21 р.

Машгиз, Москва, Третьяковский проезд, 1.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Г. А. АЛЕКСЕЕВ • В. А. АРШИНОВ
Е. А. СМОЛЬНИКОВ

РАСЧЕТ и КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

МАШГИЗ • 1950

Г. А. АЛЕКСЕЕВ, В. А. АРШИНОВ,
Е. А. СМОЛЬНИКОВ

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Допущено ОУЗ Министерства станкостроения СССР
в качестве учебного пособия
для машиностроительных техникумов*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1950

В книге на основе достижений отечественной промышленности, данных научно-исследовательских институтов, отдельных заводов и стахановцев-новаторов даются описание, расчет и конструирование металлорежущего инструмента.

Книга является учебным пособием для техникумов и составлена в соответствии с программой, одобренной Управлением по руководству техникумами МВО СССР.

Рецензенты:
инж. **Л. А. Белостоцкий**
и лауреат Сталинской премии инж. С. **П. Карцев**

Редактор канд. техн. наук ***Б. Е. Бруштейн***

Редакция литературы
***по** металлообработке и станкостроению*
***Зав.** редакцией инж. Р. Д. БЕЙЗЕЛЬМАН*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем курсе разбираются вопросы конструирования режущих, в основном машинных, инструментов для обработки металлов резанием. Что следует понимать под инструментом?

Карл Маркс пишет: „Всякая развитая совокупность машин состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины“ [1].

„Если мы присмотримся ближе к машине-орудию, или собственно рабочей машине, то мы в общем и целом увидим в ней, хотя часто и в очень измененной форме, все те же аппараты и орудия, которыми работает ремесленник и мануфактурный рабочий; но это уже орудия не человека, а орудия механизма, или механические орудия. Мы увидим, что или вся машина представляет собою лишь более или менее измененное механическое издание старого ремесленного инструмента, как в случае с механическим ткацким станком, или прилаженные к корпусу рабочей машины действующие органы являются старыми знакомыми, как веретена у прядильной машины, спицы у чулочно-вязальной машины, пилы у лесопильной машины, ножи у резальной машины и т. д.“ [2].

Далее Маркс указывает:

„Итак, рабочая машина — это такой механизм, который, получив соответственное движение, совершает своими орудиями те самые операции, которые раньше рабочий совершал подобными же орудиями“ [3].

Эти орудия рабочей машины или действующие органы ее и принято называть инструментами. Мы рассмотрим только узкую область этих инструментов — режущие инструменты для обработки металлов.

История возникновения и развития режущих инструментов неотделима от всей истории материальной культуры общества. Зародыши современных режущих инструментов можно обнаружить уже в орудиях труда каменного века.

Режущие инструменты претерпели за всю историю человечества значительные изменения. Однако некоторые ручные инструменты, как, например, напильники, дошли до наших дней в сравнительно мало измененном виде. Напильники, применявшиеся в XI веке, имели много общего с применяемыми в настоящее время.

---

[1] Карл Маркс, Капитал, т. 1, изд. 1949 г., стр. 378—379.
[2] Там же, стр. 379.
[3] Там же, стр. 379 – 380.

Исторически машинный инструмент развивался из ремесленного инструмента, перешедшего в исполнительный механизм машины-орудия. Развитие инструментов для обработки металлов резанием нельзя отделить от развития машиностроения и главным образом станкостроения.

Велика роль русских ученых, механиков, мастеров-самородков в этом развитии. Достаточно сказать, что еще в 1718 г. впервые в мире талантливый русский механик Андрей Константинович Нартов построил токарный станок с механическим передвижением резца винтом (с суппортом) и ряд других металлообрабатывающих станков. И только через 70—80 лет, в 1794 г., в Англии появился токарный станок Модслея.

Тульский мастер Яков Батищев в XVIII веке применял многошпиндельные сверлильные станки для сверления ружейных стволов. К числу основателей станкостроения относится также великий русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов. Он изобрел станки для обработки сферических поверхностей.

Мало сохранилось документов, в которых полностью отражались бы исторические вехи в развитии инструментов. Однако в имеющихся источниках[1] есть ссылки, что еще в XVII веке на Тульских и Каширских заводах впервые в России применялись при сверлении и расточке стволов пушек интересные инструменты, напоминающие современные сверло, зенкер и развертку. Эти сведения дошли до нас из „Описных книг" того времени. Сверла, или по терминологии „Описных книг" сверлаки, применявшиеся для изготовления стволов пушек, отливаемых без внутренней полости, представляли собой длинный железный стержень, одним концом закладываемый в гайку у шестерни (которой передавалось вращение от водяного колеса). На другом конце сверлака имелось четырехгранное утолщение, на которое надевался сверлящий наконечник „перка", напоминающий перовое сверло. После сверления ствол рассверливали вторым инструментом, имеющим яйцевидную медную головку со вставленными в нее стальными резцами — „перьями". По современной терминологии такой инструмент можно назвать зенкером. Замечательно, что подобные составные зенкеры применялись еще в XVII веке. Наконец, для чистовой обработки ствола пушки служили наконечники, имевшие форму цилиндра, в медные стенки которого вставлялись стальные перья (от 4 до 12 в зависимости от диаметра). Эти инструменты являлись прототипом современных сборных разверток.

Приведенные факты показывают, что еще в XVII веке передовая мысль русских механиков далеко опередила в своем развитии западные страны.

Применение различных инструментов для резания металлов имело в то время еще достаточно узкое значение и в основном строилось на опыте, без изучения процесса резания.

---

[1] См. Н. Б. Бакланов, В. В. Мавродин, И. И. Смирнов, Тульские и Каширские заводы в XVII веке, Известия Государственной академии истории материальной культуры, вып. 98, изд. 1934 г.

Но уже в 1868 г. проф. И. А. Тиме в России исследовал процесс резания, процесс отделения стружки. Он дал классификацию стружек, определил направление плоскостей скалывания (сдвига). В 1893 г. К. Л. Зворыкин создал гидравлический динамометр, дал схему сил, действующих на резец, расчетом определил положение плоскостей скалывания. В период 1913—1915 гг. Я. Г. Усачев провел большие исследования физической стороны процесса резания металлов, установил явление наклепа, разработал метод измерения температуры резца, создал теорию образования нароста. А. Н. Челюсткин и другие русские ученые продолжили эти исследования.

Однако в условиях царской России работы в области исследования процесса резания не находили практического применения. Промышленность была слабо развита. Инструментальной и станкостроительной промышленности в то время еще не было.

И только после Великой Октябрьской социалистической революции инструментальная промышленность в СССР получила должный размах. В 1921 г. старейший оружейный Сестрорецкий завод (ныне инструментальный завод им. Воскова) был переключен на производство режущего и измерительного инструмента. Был создан ряд инструментальных цехов на машиностроительных заводах.

В первой сталинской пятилетке были построены два завода — „Фрезер" им. М. И. Калинина (завод режущих инструментов) и „Калибр" (завод по изготовлению измерительных инструментов). В последующие годы было реконструировано и пущено вновь значительное количество инструментальных заводов и, кроме того, на ряде машиностроительных предприятий были созданы мощные инструментальные цехи. Теперь нельзя назвать ни одного вида режущего инструмента, который бы не изготовлялся нашими заводами. По сравнению с 1913 г. выпуск инструмента вырос в сотни раз.

С целью обеспечения станкостроительной и инструментальной промышленности инженерно-техническими кадрами была организована подготовка инженеров по этим специальностям в ряде втузов нашей страны. В 1930 г. по инициативе товарища Сталина был создан специальный станко-инструментальный институт „СТАНКИН" в Москве. За двадцать лет своего существования этот институт дал промышленности большое количество высококвалифицированных инженерных кадров. В институте развернулась научно-исследовательская и учебная работа в области конструирования и технологии станков и инструментов.

Трудами д-ра техн. наук проф. И. И. Семенченко создана советская инструментальная школа. Работниками кафедр СТАНКИН создан также ряд работ и пособий в области станкостроения и обработки резанием (профессора Н. С. Ачеркан, И. Е. Городецкий, Б. С. Балакшин, В. А. Кривоухов и др.).

С целью скорейшего всемерного развития и углубления научной работы в области станков и инструментов были созданы научно-исследовательские институты (ЭНИМС, ВНИИ, НИБВ, ЦНИЛАШ, ЦНИИТМАШ и др.) и лаборатории на заводах, которые изучают вопросы конструирования и технологии производства металлорежущих станков и инстру-

ментов. В частности, в области режущих инструментов работы А. М. Игнатьева, Г. И. Грановского, М. Н. Ларина, А. Н. Грубина и др. осветили ряд сложных и неясных вопросов. Изучением режущих инструментов вначале занималась лаборатория им. Игнатьева, на базе которой в конце 1943 г. был создан Всесоюзный научно-исследовательский инструментальный институт (ВНИИ), который в своих лабораториях проводит исследовательские работы в области теории, конструирования и технологии режущего инструмента, обобщает опыт отечественной промышленности и внедряет на заводах новые передовые методы производства режущего инструмента.

В области изучения процессов резания в ряде институтов Советского Союза (Московский авиационный, Киевский политехнический, Томский технологический и ряд других) и предприятий с 1936 по 1940 г. были проведены научно-исследовательские работы под общим руководством Комиссии по резанию металлов при Министерстве станкостроения СССР.

Работы советских ученых (В. Д. Кузнецова, В. А. Кривоухова, А. М. Розенберга, М. Н. Ларина, П. П. Грудова, А. Я. Малкина и др.) вскрыли возможность осуществления скоростного резания металлов инструментами, оснащенными твердыми сплавами. Работы советских исследователей создали советскую школу резания, в корне отличную от разрозненных исследовательских работ отдельных фирм и институтов в капиталистических странах. Скоростные методы обработки были развиты и углублены практическими работами стахановцев-скоростников. Лауреаты Сталинских премий токари Г. С. Борткевич, П. Б. Быков, А. Марков, Н. Угольков и многие другие показали, что скоростные методы обработки находят широкое распространение только в социалистической промышленности.

Инженеры лауреаты Сталинских премий М. С. Васильчук, Г. Н. Сахаров, Г. Г. Ильвер, З. Ю. Кушнер, А. И. Либерман, С. П. Карцев, Н. С. Дегтяренко, И. Е. Бурштейн и др. внесли большой вклад в дело развития отечественной науки о режущем инструменте. Они создали новые конструкции высокопроизводительных инструментов.

Наука о режущем инструменте поставлена в нашей стране на службу социалистической промышленности. Совершенствование режущего инструмента — это одно из средств скорейшего развития машиностроения А машиностроение, по выражению вождя народов товарища Сталина, является „основным рычагом реконструкции народного хозяйства“ [1].

---

[1] И. В. Сталин, Вопросы ленинизма, изд. X. Отчетный доклад XVII съезду партии, стр. 553.

ГЛАВА I

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

В настоящее время резание металлов получило чрезвычайно широкое распространение как технологический прием обработки изделий из металла. Иногда процесс обработки металлов резанием называют процессом холодной обработки металлов. Однако это название „процесс холодной обработки металлов" понимается условно как процесс, не требующий в отличие от процессов горячей обработки металлов (отливка, ковка, штамповка и т. д.) нагревания металла перед обработкой.

В отличие от процессов горячей обработки металлов нагревание изделия при резании происходит только в небольшой зоне в том месте, где происходит образование и отделение стружки и теплота, не может быстро распространиться на все изделие. Процесс резания сопровождается часто искусственным охлаждением — струей охлаждающей жидкости. Таким образом, образующаяся в зоне резания теплота практически не распространяется на все изделие. Температура обрабатываемой детали даже при скоростном резании, с высокой температурой лезвия резца, невысокая. Это обстоятельство очень важно, так как позволяет получить чистую, свободную от окислов поверхность и любой заданный размер детали. Эти особенности процесса обработки металлов резанием обеспечили широкое распространение его в металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности как основного технологического процесса. Исключительное разнообразие форм и размеров деталей привело к развитию целого ряда различных металлообрабатывающих инструментов и станков для обработки металлов резанием.

Это разнообразие типов и размеров вызывается различными требованиями к инструменту, разнообразными формами и размерами обрабатываемых деталей, различными конструкциями металлорежущих станков, а также характером производства (единичное, серийное или массовое). Рациональное использование всех резервов инструмента и станка дает возможность повысить производительность труда.

Опыт стахановцев-новаторов производства и работа ученых показали, какие огромные резервы для промышленности таит в себе правильная эксплоатация инструмента и какие перспективы открывает применение новых, прогрессивных способов обработки, новых режущих инструментов, новых конструкций станков.

Задача настоящего курса — разобрать основные принципы конструирования режущего инструмента для обработки металлов резанием.

Назначение режущего инструмента. Всякий режущий инструмент должен обеспечивать два основных условия:

1) срезать определенный слой материала;

2) обеспечить получение необходимых размеров и формы детали, а также требуемую чистоту обработанной поверхности.

Конечно, перечисленные два условия не исчерпывают всех требований к инструменту, как-то: стойкость, прочность, жесткость и т. д. Но это главные условия. Какой бы мы ни взяли режущий инструмент, будь то резец, фреза, протяжка или сверло, каждый из них должен срезать с заготовки определенный слой материала и обеспечить получение необходимых размеров и чистоты обработанной поверхности. Величина срезаемого слоя может быть различной. Например, обдирочный резец на крупном токарном станке срезает слой до 25 *мм*. Развертка при развертывании небольшого отверстия срезает слой 0,1—0,15 *мм*. Точность и чистота поверхности обрабатываемых деталей также различны. Сверло сверлит отверстие диаметром 30 *мм* с допуском около 1,5 *мм*. Протяжка обрабатывает такое же отверстие с допуском 0,027 *мм*. После обработки обдирочным резцом поверхность грубая, высота неровностей достигает 50 *мк*. После обточки алмазным резцом получается чистая поверхность с высотой неровностей, не превышающей 0,2 *мк*.

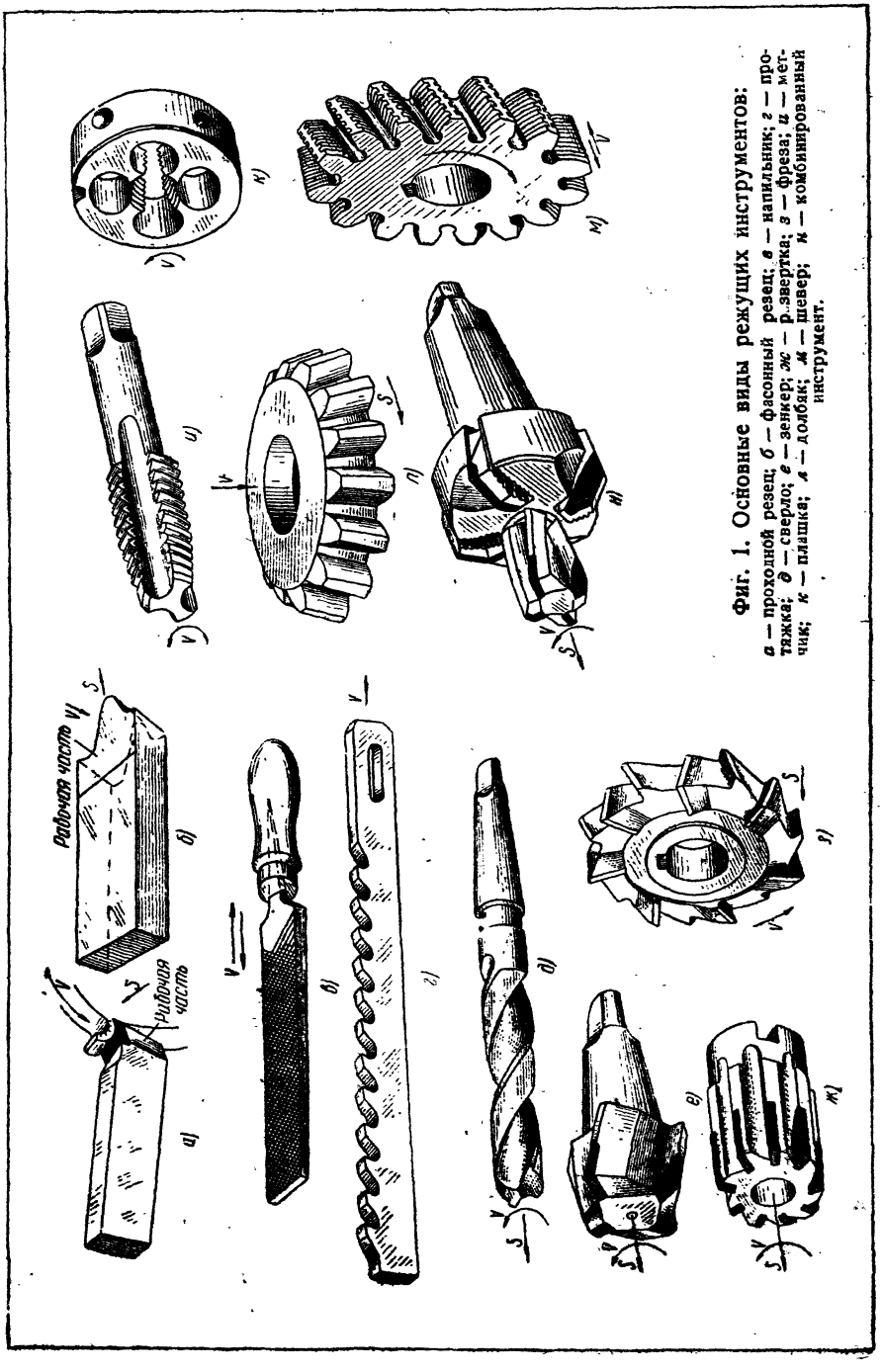
Из этих примеров видно, что условия работы режущих инструментов и требования, предъявляемые к результатам их работы, весьма разнообразны. Однако во всех случаях признаком режущего инструмента является срезание какого-то слоя материала, превращение его в стружку. Эта стружка может иметь самые различные размеры. Стружка, снимаемая шлифовальным кругом при окончательном шлифовании, почти незаметна невооруженным глазом и может быть рассмотрена только в лупу или под микроскопом. Стружка, отделяемая при обточке крупного вала на обдирочном станке, имеет значительные размеры. Но независимо от величины срезаемого слоя металла и резец и шлифовальный круг представляют собой режущий инструмент, правда, совершенно различный как по внешнему виду, так и по конструкции, материалу и способу изготовления.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Все применяемые режущие инструменты можно классифицировать по конструкции и видам обрабатываемых поверхностей. Принято подразделять режущие инструменты по конструкции на следующие основные виды.

1. **Резцы.** На фиг. 1, *а* и *б* показаны проходной и фасонный резцы (направление скорости резания показано стрелкой v, подачи—стрелкой s).

Резец представляет собой однолезвийный режущий инструмент, предназначенный для работы на токарном, револьверном, строгальном, долбежном и других станках. Резцы могут быть как простые, так и фасонные. У последних режущая кромка имеет форму, определяемую требуемой формой детали. К резцам можно отнести зуборезные гребенки.



Фиг. 1. Основные виды режущих инструментов:
а — проходной резец; *б* — фасонный резец; *в* — напильник; *г* — протяжка; *д* — сверло; *е* — зенкер; *ж* — р.-зенкер; *з* — фреза; *и* — метчик; *к* — плашка; *л* — долбяк; *м* — шевер; *н* — комбинированный инструмент.

2. **Напильники** (фиг. 1, *в*) — режущий инструмент в виде стального стержня или бруска самой разнообразной формы и сечения, на поверхности которого имеется большое количество мелких режущих зубьев. Напильники предназначены для обработки вручную различных поверхностей.

3. **Протяжки и прошивки** (фиг. 1, *г*) — многолезвийный режущий инструмент, выполненный в виде стержня с поперечными зубьями. При продольном движении протяжки зубья последовательно один за другим снимают стружку, так как каждый последующий зуб выше предыдущего на некоторую небольшую величину.

4. **Сверла** (фиг. 1, *д*) — режущий инструмент, предназначенный для получения отверстий в сплошном материале при двух совместных движениях — вращательном вокруг оси и поступательном вдоль оси инструмента.

5. **Зенкеры** (фиг. 1, *е*) — инструмент, предназначенный для увеличения диаметра отверстий. В отличие от сверл зенкеры не могут обеспечить получение отверстия в сплошном материале.

6. **Развертки** (фиг. 1, *ж*) — многолезвийные инструменты, которые, как и зенкеры, служат для обработки отверстий. В отличие от зенкеров развертки снимают очень незначительный слой материала и обеспечивают только окончательную чистовую обработку отверстий с небольшими припусками.

7. **Фрезы** (фиг. 1, *з*) — под этим названием объединена большая группа многолезвийных режущих инструментов, выполненных в виде тел вращения, отличительной особенностью которых является наличие зубьев, расположенных на образующей или торцевой поверхности тела вращения.

8. **Метчики** (фиг. 1, *и*) — режущие инструменты, предназначенные для нарезания резьбы в отверстиях. Они представляют собой винт, снабженный несколькими продольными прямыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки. К метчикам относятся различные патроны для внутренних резьб.

9. **Плашки** (фиг. 1, *к*) — режущий инструмент для нарезания наружной резьбы на изделии, выполненный в виде цельной или разрезанной гайки с прорезами, образующими режущие кромки. Плашками называют также инструмент для накатывания резьбы. К группе плашек можно отнести резьбонарезные самооткрывающиеся головки.

10. **Долбяки** (фиг. 1, *л*) — инструменты, предназначенные для нарезания зубчатых колес и других сложных профилей.

11. **Шеверы** (фиг. 1, *м*) — инструменты, предназначенные для снятия небольших слоев металла с поверхностей зуба зубчатых колес. Выполняются они в виде зубчатых колес, реек, червяков и т. д. Шевер имеет небольшие канавки на профиле, образующие режущие кромки. При относительном скольжении режущие кромки шевера „скоблят", т. е. снимают незначительную стружку.

12. **Комбинированные инструменты** (фиг. 1, *н*) представляют собой соединение двух или нескольких различных или однотипных режущих инструментов в один.

13. **Абразивные инструменты** — шлифовальные круги различных форм и размеров.

На фиг. 1 показаны лишь основные виды режущих инструментов, которые в зависимости от назначения могут быть различной конструкции.

Режущие инструменты можно классифицировать также по видам обрабатываемых поверхностей.

1. **Инструменты для обработки различных поверхностей** (плоскостей, поверхностей тел вращения и т. д.). К этим инструментам можно отнести: а) резцы; б) протяжки для наружного протягивания; в) напильники; г) фрезы; д) шлифовальные круги.

2. **Инструменты для обработки отверстий**. К ним относятся: а) сверла; б) зенкеры; в) развертки; г) расточные резцы; д) протяжки для внутреннего протягивания; в) шлифовальные круги.

3. **Инструменты для обработки резьбы**. К ним относятся: а) резьбовые резцы; б) резьбовые фрезы; в) метчики; г) плашки; д) резьбонарезные самооткрывающиеся головки, метчики и патроны; е) резьбошлифовальные круги.

Особую группу инструментов для обработки резьбы составляют плоские накатные плашки и ролики. Они, строго говоря, не являются режущим инструментом, так как не срезают стружку, а выдавливают материал, но рассматриваются они в курсе режущего инструмента.

4. **Инструменты для обработки поверхностей зуба, зубчатых колес и шлицевых соединений** (или зуборезные инструменты). К ним относятся: а) дисковые модульные фрезы; б) пальцевые фрезы; в) червячные фрезы; г) долбяки; д) шеверы; е) зубострогальные резцы; ж) зуборезные головки; з) шлифовальные круги.

Таким образом, для обработки одной и той же поверхности имеются различные инструменты.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Любой из режущих инструментов — резец, сверло, развертка, протяжка, напильник или фреза, несмотря на их совершенно различную форму, имеет общие составные части. Каждый из этих инструментов имеет так называемую рабочую часть, снабженную одной или несколькими режущими кромками; резец имеет одну главную режущую кромку, сверло имеет две главные режущие кромки, развертка, протяжка, напильник и фреза — несколько режущих кромок.

У большинства режущих инструментов рабочую часть можно разбить на две части — режущую, на долю которой приходится основная работа по снятию стружки, и калибрующую — для зачистки обработанной поверхности и направления инструмента в работе. Но не у всех инструментов можно подразделить рабочую часть на режущую и калибрующую. Если сверло, развертка, протяжка имеют режущую и калибрующую части, то резец, напильник и фреза не имеют калибрующей части.

Рабочая часть инструмента является основной его частью. Поэтому в конструировании инструмента основное место занимает определение формы и размеров рабочей части инструмента. Если рабочая часть ин-

струмента предназначена для снятия стружки с обрабатываемой заготовки, то вторая часть любого инструмента — это соединительная (зажимная) часть. Ее назначение заключается в передаче усилий, развиваемых станком, к рабочей части инструмента. У резца соединительной частью служит стержень, который зажимается в резцедержателе станка, у сверла и развертки — хвостовая часть, конусная или цилиндрическая, у протяжки — хвостовая часть, которая вставляется в патрон протяжного станка, у насадной фрезы — отверстие со шпоночным пазом, которым фреза насаживается на оправку фрезерного станка.

Конструкции соединительных частей инструмента также разнообразны и не связаны с конструкцией рабочей части. Инструменты, рабочая часть которых совершенно одинакова, для использования их на различных станках и в различных условиях снабжаются различными по конструкции соединительными (зажимными) частями. Например, сверло может иметь хвостовую часть с конусом для закрепления в конусном отверстии шпинделя сверлильного станка; цилиндрическую хвостовую часть для закрепления в патроне; четырехгранный суживающийся хвостовик для закрепления в четырехгранном отверстии ручной трещетки и т. д.

Разнообразие форм соединительных частей нежелательно, так как чем больше различных конструкций соединительных частей инструмента с одинаковой рабочей частью, тем труднее обеспечить снабжение инструментом и наладить изготовление инструмента в крупносерийном и массовом порядке. Поэтому стараются уменьшить разнообразие соединительных частей путем стандартизации гнезд рабочих шпинделей станков.

В Советском Союзе существует ряд стандартов, по которым следует выбирать размеры соединительных частей инструмента.

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Под конструированием понимается определение всех размеров и формы режущего инструмента путем расчетов и графических построений, составление рабочего чертежа инструмента, по которому можно такой инструмент изготовить, и составление технических условий. Чертеж и технические условия называются технической документацией. Задача конструктора сводится к следующему.

1. На основании данных учения о резании определить силы, действующие на режущие грани инструмента, найти наивыгоднейшие углы заточки режущих граней, подобрать наиболее подходящий материал для изготовления рабочей части инструмента, подобрать такую форму рабочей части, которая обеспечивала бы свободное отделение стружки в процессе резания.

2. На основании данных технологии металлов найти наиболее удобную для обработки форму рабочей и соединительной части инструмента, определить допуски на отдельные важнейшие размеры рабочей и соединительной части в зависимости от условий работы и требуемой точности обработки детали.

3. На основании данных учения о сопротивлении материалов произвести расчеты рабочей и соединительной части инструмента на прочность и жесткость.

4. Составить рабочий чертеж инструмента и технические условия, внеся в чертеж все необходимые данные о форме и размерах инструмента, а в технические условия — допуски, требования, предъявляемые к инструменту, данные для испытания инструмента и т. д.

Процесс резания зависит от большого числа факторов, и практически конструктору приходится иногда сталкиваться с необходимостью составления нескольких вариантов конструкций и выбирать после испытания их в работе наиболее подходящий вариант.

Как правило, конструктор режущего инструмента не применяет всех расчетов, связанных с усилиями, скоростями, теплообразованием и прочими факторами резания, из-за их сложности, однако каждому конструктору необходимо знать все основные факторы, влияющие на форму и размеры инструмента. Знание этих факторов позволяет конструктору сделать анализ конструкции режущего инструмента, определить основные недостатки и достоинства ее.

При конструировании режущего инструмента возникают две различные задачи:

1. Конструирование режущего инструмента для определенных условий работы. При этом мы имеем дело с совершенно точно заданными условиями резания (обрабатываемый материал, скорость резания, подача, глубина резания, чистота обработки и т. д.).

2. Конструирование режущего инструмента для неопределенных условий работы. Такая задача может встретиться при проектировании инструмента для неопределенного потребителя. Эта задача сводится к конструированию инструмента для некоторых средних условий работы (материал, режимы резания и т. д.).

Остановимся на разборе общих положений при конструировании режущего инструмента.

Можно считать удовлетворительной такую конструкцию инструмента, в которой разрешены следующие основные вопросы, определяющие работоспособность и пригодность инструмента для определенных условий работы.

1. Выбор типа инструмента, кинематической схемы резания и схемы распределения нагрузки.

2. Выбор материала рабочей части инструмента, соответствующего предъявляемым условиям стойкости.

3. Выбор углов режущей части (передний, задний, угол резания, угол в плане и т. д.).

4. Схема заточки и возможность восстановления режущей способности инструмента путем переточек после затупления режущих кромок.

5. Расчеты размеров и формы режущих кромок, обеспечивающие получение необходимых размеров и формы обрабатываемой поверхности.

6. Достаточное пространство для размещения или отвода стружки, образующейся при резании.

7. Отвод тепла от режущих кромок, а в некоторых случаях специальные устройства для охлаждения рабочей части во время работы.

8. Достаточная прочность и жесткость как рабочей, так и соединительной части инструмента.

9. Удобное, надежное и быстрое крепление соединительной части к станку (или оправке).

10. Рациональное использование дорогостоящего инструментального материала (быстрорежущие стали, твердые сплавы).

11. Обеспечение простой, доступной для изготовления формы как рабочей, так и соединительной части.

12. Возможность многократного использования путем регулировки размера инструмента.

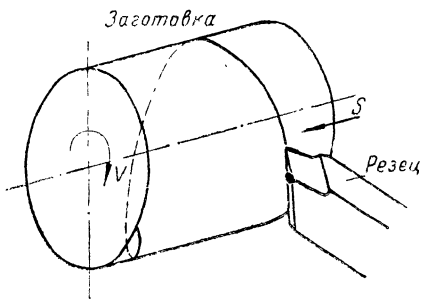
Все эти вопросы приходится решать конструктору при конструировании как рабочей, так и соединительной части сложного инструмента (например, протяжки, фрезы и т. д.). При проектировании простых инструментов, например, обычного проходного резца, вследствие простоты их конструкции часть вопросов отпадает, например, не приходится рассчитывать профиль и т. д. Некоторые элементы (прочность и жесткость инструмента) ввиду отсутствия достаточно надежных и простых методов расчета определяются конструктором приближенно. Однако все поставленные вопросы должны быть тем или иным способом решены.

Перейдем к разбору этих основных положений применительно к конструированию рабочей и соединительной части инструмента.

РАБОЧАЯ ЧАСТЬ

Прежде чем перейти к конструированию рабочей части, необходимо знать кинематическую схему резания. Что называется кинематической схемой резания?

Любой режущий инструмент снимает стружку только в том случае, если его режущая кромка перемещается относительно обрабатываемой заготовки. Перемещение это может происходить по любой траектории и осуществляется механизмом металлорежущего станка или вручную. Обычно относительное движение режущей кромки получается в результате сложения абсолютных движений инструмента и заготовки. Например, при обточке резцом какой-либо цилиндрической поверхности на токарном станке происходит два движения: первое—вращательное движение заготовки вокруг своей оси и второе—поступательное движение резца вдоль оси. Траектория перемещения режущей кромки относительно изделия будет представлять собой в этом случае винтовую линию (фиг. 2). Если рассмотреть все движения, которые осуществляются в металлорежущих станках, то увидим, что эти движения складываются из нескольких: 1) поступательных прямолинейных движений и 2) вращательных движений.



Фиг. 2. Кинематическая схема резания резцом.

Комбинации этих движений и дают нам так называемые кинематические схемы резания на отдельных видах станков. Проф. Г. И. Грановв-

ский разбивает все многообразие движений на различных металлорежущих станках на отдельные группы [1]:

первая группа — одно прямолинейное движение;

вторая группа — два прямолинейных движения;

третья группа — одно вращательное движение;

четвертая группа — одно вращательное и одно прямолинейное движение;

пятая группа — два вращательных движения;

шестая группа — два прямолинейных и одно вращательное движение;

седьмая группа — два вращательных и одно прямолинейное движение и т. д.

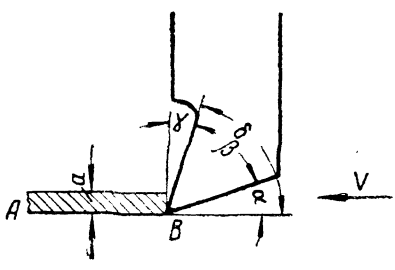
Каждая из этих групп может иметь одну или несколько комбинаций, например, во второй группе могут быть два взаимно перпендикулярных прямолинейных движения, два направленных под любым углом прямолинейных движения и т. д.

Все металлорежущие станки осуществляют одну из комбинаций движений. Следует отметить, что не все теоретически возможные комбинации использованы в металлорежущих станках. Разберем некоторые из применяемых схем резания.

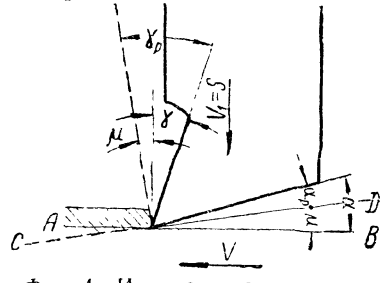
1. Одно прямолинейное движение. По этой схеме происходит работа на строгальном, долбежном, зубодолбежном и протяжном станках.

2. Одно вращательное и одно прямолинейное движение: результирующая траектория относительного движения — винтовая линия. По этой схеме работают токарные станки, сверлильные станки и т. д.

Для чего важно знать конструктору схему резания и форму траектории относительного движения режущей кромки и заготовки?



Фиг. 3. Схема движения резца при строгании.



Фиг. 4. Изменение углов α и γ при наклоне траектории на угол μ.

Чтобы уяснить себе это, рассмотрим два случая применения резца. Резец (фиг. 3), установленный на строгальном станке, двигается прямолинейно со скоростью v и срезает слой металла. Обозначим: α — задний угол резца, γ — передний угол и δ — угол резания.

Что произойдет с углами резца, когда он начнет двигаться, изменятся ли углы? Конечно, нет, так как траектория движения представляет собой прямую и лежит в плоскости резания AB.

На фиг. 4 показано другое применение резца. В этом случае траектория относительно движения отклоняется от плоскости резания

[1] См. Г. И. Грановский, Кинематика резания, Машгиз, 1948.

(линия AB), так как кроме прямолинейного движения в горизонтальном направлении со скоростью v резец движется в вертикальном направлении со скоростью (подачей) v_1.

Изменятся ли углы резца во время движения? Конечно, изменятся. Плоскость резания в данном случае отклонится и займет положение CD, задний угол $\alpha_p = \alpha - \mu$, а передний угол $\gamma_p = \gamma + \mu$. Угол μ определится из соотношения v_1 и v по формуле

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{v_1}{v}.$$

Если угол μ незначителен (например, при обточке), то и углы α и γ изменяются незначительно. Однако бывают случаи, когда угол μ имеет большую величину и углы α и γ изменяются значительно.

Следовательно, конструктор режущего инструмента обязательно должен представить траекторию относительного движения режущей кромки инструмента, прежде чем задать необходимые углы α и γ.

В дальнейшем изложении будем различать углы инструмента в статическом положении как геометрического тела и углы инструмента в рабочем положении с учетом траектории относительно движения. В рабочем положении задним углом α_p будем называть угол между касательной к траектории движения и касательной к задней поверхности инструмента. Передним углом γ_p в рабочем положении будем называть угол между нормалью к траектории и передней поверхностью инструмента в данной точке режущей кромки. В большинстве случаев эти углы мало отличаются от углов в статическом положении, так как угол наклона траектории μ мал. Однако есть случаи, когда угол наклона траектории μ значителен и углы в рабочем и статическом положении резко отличаются по величине друг от друга.

Переходим к описанию методов решения общих вопросов конструирования инструмента.

Выбор типа инструмента и кинематической схемы резания. При конструировании новых видов инструментов встречается необходимость выбора наиболее рационального типа инструмента и метода обработки. Приведем пример.

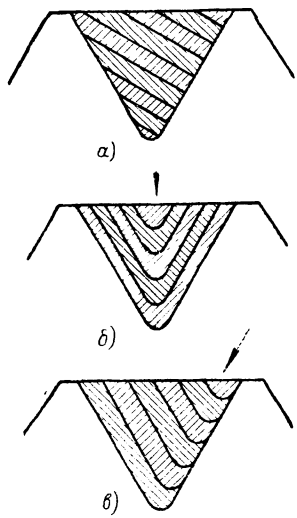
Требуется нарезать резьбу на конце вала. Каким инструментом произвести нарезание резьбы?

Как известно из технологии металлов, для нарезания резьбы можно применить резьбовой резец, резьбовую фрезу, можно обработать резьбу круглой плашкой, резьбонарезной головкой или накатным роликом и т. д. Какой из этих инструментов и способов обработки выбрать? Это можно решить, только определив в каждом случае производительность, стоимость обработки, точность обработки и чистоту обработанной поверхности и т. д. Обычно выбор способа обработки, а следовательно, и типа инструмента, решает технолог, когда он намечает в технологическом процессе изготовления детали тот или иной вид инструмента. Конструктору предлагается определенная кинематическая схема резания и определенный тип инструмента. Но каждый тип инструмента может иметь различную схему распределения нагрузки. В самом деле,

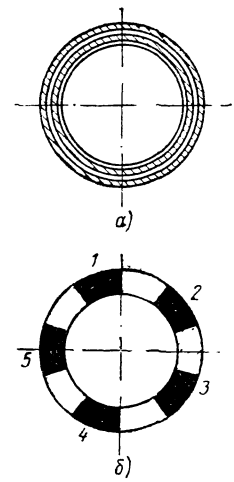
допустим, намечено изготовить резьбу на этом валике на токарном станке при помощи гребенки. Заготовка валика будет обработана по наружному диаметру, и на долю гребенки останется нарезание резьбы. Можно различными способами срезать материал впадины. На фиг. 5, *а* показано срезание параллельными стружками, фиг. 5, *б* показывает срезание постепенным углублением, фиг. 5, *в* — срезание параллельными стружками при движении резца параллельно одной стороне профиля резьбы.

Каждый из указанных способов срезания имеет свои преимущества и недостатки, и конструктор должен уметь выбрать наиболее выгодный вариант.

Приведем еще один пример. Необходимо обработать отверстие в заготовке при помощи протяжки.



Фиг. 5. Схема распределения нагрузки при нарезании резьбы.



Фиг. 6. Схема срезания при протягивании отверстия.

На фиг. 6 показаны два случая обработки. Распределим общий припуск на ряд концентрических тонких слоев, и каждый зуб протяжки будет срезать такой концентрический слой по всей окружности (фиг. 6, *а*). Стружки будут сниматься по всей окружности, но очень тонкие. Можно тот же самый припуск срезать сразу (фиг. 6, *б*). Но так как очень глубокий слой трудно срезать, то делаем протяжку не гладкую, а с зубцами. Заштрихованными черным с цифрами *1*, *2*, *3*, *4*, *5* показаны участки, которые срежет первый зуб протяжки; следующий срежет незаштрихованные участки. Таким образом стружка будет толще, но будет сниматься узкими лентами.

С точки зрения учения о резании второй способ лучше, так как выгоднее работать с бо́льшей толщиной стружки (большей подачей) и

меньшей шириной (глубиной резания). Но при втором способе обрабатываемые отверстия будут менее чистыми. Поэтому конструктор для чистовой обработки прибегает к комбинированному способу: первые стружки срезает по второй схеме, а последние — по первой.

Из разобранных примеров ясно, что способ распределения нагрузки (схема срезания материала) — очень важное условие хорошей работы инструмента. Инструментами, предназначенными для обдирочных работ, важно срезать как можно больше материала при наименьших усилиях и при наименьших затратах энергии. Инструментом, предназначенным для чистовой обработки, важно обеспечить чистоту поверхности изделия. Конечно, не только эти условия, но и другие влияют на выбор схемы срезания. Но это наиболее важные условия, которые должны быть учтены при проектировании.

Выбор материала. Выбор марки стали того или иного режущего инструмента определяется требуемой производительностью, режимами, особенностями каждого вида инструмента и условиями его работы. Большое значение при выборе марки стали имеет ее стоимость.

Например, быстрорежущая сталь стоит в 10—15 раз дороже углеродистой. Поэтому очень важно правильно применять марку стали. Конечно, быстрорежущая сталь, значительно более стойкая, чем углеродистая инструментальная сталь, дает возможность работать с более высокой скоростью резания, но совершенно неправильно применять ее на все инструменты. Например, ручной метчик или ручная развертка работают с низкой скоростью резания, и при этих условиях высокая стойкость быстрорежущей стали не будет использована. Следовательно, режущие инструменты, которыми работают вручную, совершенно нерационально изготовлять из быстрорежущей стали.

Приведем другой пример. Червячная фреза — инструмент очень сложный в обработке, он должен иметь высокую точность и стойкость. Можно ли такой инструмент изготовлять из углеродистой стали? Конечно, не следует. Во-первых, изготовление червячных фрез из углеродистой стали очень трудно, так как углеродистая сталь сильно изменяет свои размеры при термической обработке. И чем больше масса инструмента, тем эти изменения больше. Во-вторых, поскольку червячная фреза — инструмент точный (особенно чистовая червячная фреза), приходится шлифовать ее профиль, а углеродистую сталь шлифовать по профилю трудно, так как даже при незначительном нагреве поверхностный слой отпустится, потеряет твердость, и фреза не будет пригодна к работе.

Какие же основные свойства материала для инструмента следует различать?

1. Теплостойкость, т. е. свойство инструмента сохранять твердость режущих кромок при нагревании их во время работы.

Углеродистые и легированные инструментальные стали имеют температуру наивысшей стойкости в пределах 200—250° С. Дальнейшее повышение температуры вызывает размягчение режущей кромки и ее катастрофический износ. Быстрорежущие стали могут нагреваться в процессе резания до температуры 550 — 600° С. Дальнейшее нагревание

вызывает потерю твердости. Твердые сплавы могут нагреваться до температуры 900—1000° С без значительной потери твердости.

2. Износоустойчивость, т. е. способность режущей кромки сопротивляться истиранию. Исследования показывают, что износоустойчивость различных сталей различна. Наименее стойки в отношении износа инструментальные углеродистые стали, затем идут быстрорежущие стали. Наиболее износоустойчивы твердые сплавы.

3. Неизменяемость формы и размеров при термической обработке. Это важное свойство, и оно также определяет назначение стали на тот или иной инструмент. Чем больше масса, тем больше по величине деформации. В отношении неизменяемости лучшие результаты показывают стали определенного состава (ХВГ). В отношении деформации лучше всего ведут себя хромистые стали, хуже — углеродистые стали. Изделия из быстрорежущей стали также несколько меняют размеры при термической обработке.

4. Глубину прокаливаемости стали. При закалке не все стали прокаливаются насквозь по всему сечению. Это зависит не только от химического состава, но и от величины зерна стали. Углеродистая сталь одного и того же химического состава, но с различным зерном, имеет разную глубину прокаливаемости. При назначении материала необходимо знать глубину прокаливаемости. Для некоторых видов инструментов необходима сквозная закалка, например, для сверл, для других видов инструмента сквозная закалка необязательна. Например, метчик или развертка могут иметь твердую поверхность режущих перьев и мягкую незакаленную сердцевину. Углеродистые стали только при небольших размерах инструмента дают сквозную прокалку. Глубина закаленного слоя у них колеблется в зависимости от величины зерна в стали. На крупных сечениях они не дают сквозную закалку. Хромистые легированные стали дают сквозную закалку. Быстрорежущие стали также прокаливаются насквозь.

5. Склонность к обезуглероживанию поверхностного слоя, т. е. склонность к уменьшению процента углерода у поверхности вследствие выгорания углерода. Углеродистые стали мало склонны к обезуглероживанию. Быстрорежущие стали и некоторые легированные склонны к обезуглероживанию.

6. Механические свойства — предел прочности, сопротивление изгибу и пр. — имеют значение, но оценка и выбор материала с этой точки зрения производятся редко.

7. Обрабатываемость — важное свойство инструментального материала. Не все стали одинаково обрабатываются. Углеродистые стали хорошо обрабатываются резанием, но встречаются затруднения при шлифовании и заточке профилей, особенно у резьбовых и зуборезных инструментов, так как при шлифовании в зоне касания шлифовального круга возникает высокая температура, и поверхностный слой инструмента нагревается. Это приводит к потере твердости поверхностного слоя. Хромистые легированные стали обрабатываются резанием несколько хуже, шлифованием — несколько лучше, чем углеродистые стали. Обрабатываемость быстрорежущих сталей различна. Малолегированная быстро-

режущая сталь ЭИ262 обрабатывается резцом так же, как и сталь хромистая. Шлифуется эта сталь очень плохо, поэтому следует избегать применения ее для резьбовых и зуборезных инструментов со шлифованным профилем. Быстрорежущая сталь марки РФ1 резцом обрабатывается несколько лучше, чем хромистая сталь, и шлифуется очень хорошо. Этим объясняется применение стали РФ1, несмотря на ее высокую стоимость, для инструментов со шлифованным профилем (резьбовые фрезы, метчики, зуборезные инструменты со шлифованным профилем).

При выборе марки инструментальной стали кроме перечисленных свойств следует особое внимание обращать на стоимость стали. Высокая стоимость быстрорежущей стали, а также наличие в ней дефицитных примесей заставляет ограничивать ее применение и разрешать использование быстрорежущей стали только для определенных инструментов.

Можно сформулировать основные правила назначения материала для инструмента.

1. Инструменты, работающие вручную с низкими скоростями резания, должны изготовляться из износоустойчивой легированной или углеродистой стали. Теплостойкость материала, т. е. сохранение режущих свойств, при нагреве режущей кромки для таких инструментов не будет использована.

2. Применение быстрорежущей стали допускается только в случаях, когда инструмент должен иметь высокую стойкость при нагреве режущей кромки до температуры 550—600° С.

В нашей стране имеются законоположения, ограничивающие применение быстрорежущей стали определенными видами и размерами инструмента.

3. Инструменты, изготовление которых сложно, т. е. связано с большой затратой труда, даже если скорость резания при использовании их незначительна, следует изготовлять из высококачественной стойкой стали. Например, червячные фрезы изготовляются из быстрорежущей стали.

4. Инструменты крупного размера в целях экономии следует изготовлять сборными: режущие зубья — из быстрорежущей стали (лучше из твердых сплавов), а корпус — из конструкционной стали. Применение сборных конструкций кроме экономии материала дает возможность регулировать размер инструмента.

5. Инструменты, которые должны долго сохранять свой размер и допускать высокие скорости резания, следует изготовлять из твердых сплавов

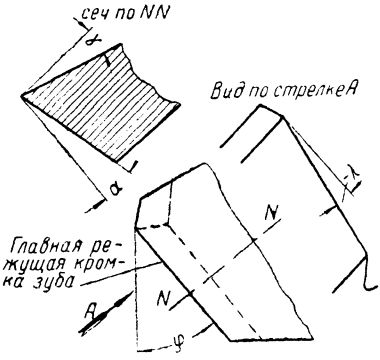
Для режущих инструментов нашли применение следующие основные марки сталей и сплавов[1]:

Углеродистые стали	У10А, У12А
Легированные (хромистые) инструментальные стали	9ХС, Х, ХВГ, ХГ, Х12АФ
Быстрорежущие стали	РФ1, ЭИ262
Конструкционные стали	40Х, 40, 45
Твердые сплавы	ВК8, Т5К10, Т15К6, Т30К4 и др.

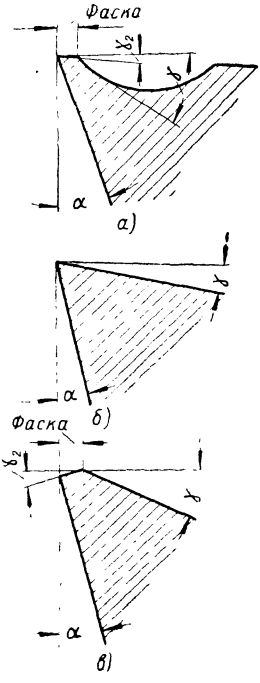
[1] Подробно о материалах см. гл. II.

Геометрия режущей части. Всякий режущий инструмент снабжен на рабочей части одним или несколькими лезвиями. Различают однолезвийные инструменты (например, резцы) и многолезвийные инструменты (сверла, фрезы и т. д.). Каждый зуб инструмента можно рассматривать как отдельный резец со всеми присущими последнему геометрическими параметрами (фиг. 7).

Главнейшие из них: задний угол α, передний угол γ, угол резания δ, главный угол в плане φ, угол наклона режущей кромки λ и форма передней грани.



Фиг. 7. Углы режущей части инструмента.



Фиг. 8. Формы передней грани инструмента.

Задним углом α называется угол между главной задней гранью и плоскостью резания.

Передним углом γ называется угол между передней гранью и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку.

Главным углом в плане φ называется угол, образованный направлением подачи и проекцией главной режущей кромки на основную плоскость.

Углом наклона режущей кромки λ называется угол, образованный кромкой и прямой, лежащей в плоскости резания и параллельной основной плоскости.

Кроме углов имеет значение форма передней грани. Наиболее распространены следующие формы передней грани (фиг. 8):

1) радиусная с фаской (фиг. 8, *а*);
2) плоская без фаски (фиг. 8, *б*);
3) плоская с фаской (фиг. 8, *в*).

Какой бы мы инструмент ни взяли, всегда режущий зуб его имеет эти основные параметры.

Учение о резании позволяет конструктору назначить правильно основные углы режущей части и форму передней грани.

В последующих главах применительно к каждому типу инструмента будут даны рекомендуемые значения наивыгоднейших или, иначе, оптимальных углов.

Схема заточки зуба инструмента. Переточка зуба инструмента заключается в снятии с него слоя металла, изношенного в процессе резания (фиг. 9).

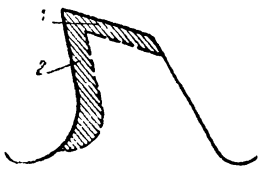
Переточка может быть произведена тремя способами:

1) только по одной задней грани *1*;

2) только по одной передней грани *2*;

3) одновременно по задней и передней граням.

Применение того или иного метода заточки обусловливается конструкцией инструмента и условиями его эксплоатации. К условиям, которые заставляют конструктора применить тот или иной метод заточки, относятся следующие.



Фиг. 9. Схема заточки зуба.

1. Характер износа: у одних инструментов (например, быстрорежущие резцы при обработке стали) износ по передней грани имеет бóльшее значение; у других инструментов (например, фасонные фрезы) зуб изнашивается значительно больше по задней грани. Следовательно, с этой точки зрения у инструментов, имеющих бóльший износ по передней грани, целесообразно затачивать зуб по передней грани. У инструментов, изнашивающихся по задней грани зуба, целесообразнее заточку производить по задней грани зуба.

2. Необходимость сохранения формы режущей кромки инструмента при переточках также влияет на выбор метода заточки инструмента. Особенное значение сохранение формы режущей кромки имеет для инструментов, предназначенных для обработки фасонных поверхностей (фасонные резцы, фасонные фрезы, метчики и т. д.). Значительно лучше удается сохранить форму режущей кромки при применении метода заточки по передней грани (затылованные инструменты: фрезы, метчики и т. д.). Однако требование сохранения формы режущей кромки при переточках не исключает применения метода заточки по задней грани, но последний усложняет технологию заточки, так как требует применения специальных станков и приспособлений.

3. Необходимость сохранения размеров инструмента после переточки (диаметр, длина, ширина и т. д.) обусловливает применение того или иного метода заточки. В зависимости от типа инструмента заточка по передней или заточка по задней грани могут обеспечить в отдельных случаях сохранение размера инструмента.

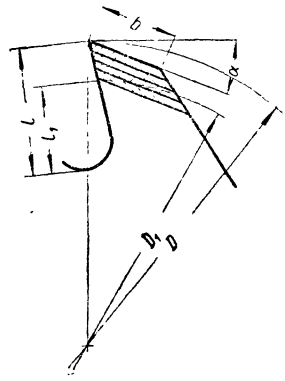
Заточка зуба инструмента по задней грани. На фиг. 10 показан в общем случае зуб инструмента (фреза, развертка, зенкер,

резец и т. д.). Последовательное снятие слоев металла при заточке со стороны задней грани дает следующие преимущества.

1. Прочность зуба на изгиб благодаря уменьшению вылета ($l > l_1$) увеличивается после переточки инструмента.

2. Заточка по задней грани обеспечивает снятие минимального слоя металла.

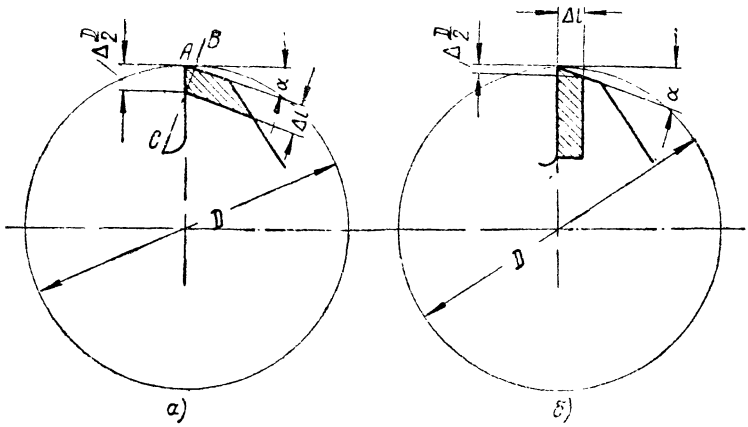
3. Заточка по задней грани обеспечивает получение более чистой поверхности, так как при этом удаляются неровности задней грани, влияние которых сказывается в большей степени на чистоте обработки, чем влияние неровностей (шероховатостей) передней грани. Неровности задней грани будут копироваться на изделии почти в натуральную величину. Неровности же, полученные на передней грани, будут копироваться в значительно уменьшенном масштабе. Таким образом, для получения чистой поверхности необходимо чисто обработать (заточить) заднюю грань, особенно у калибрующих зубьев инструмента.



Фиг. 10. Схема заточки зуба по задней грани.

Недостатки заточки по задней грани следующие.

1. Заточка по задней грани затруднительна в тех случаях, когда требуется обеспечить получение профиля (фасонный инструмент). В отдельных случаях, например, червячные модульные фрезы, заточка по задней грани вообще практически невозможна.



Фиг. 11. Изменение диаметра инструмента при затачивании:
а — по задней грани; *б* — по передней грани.

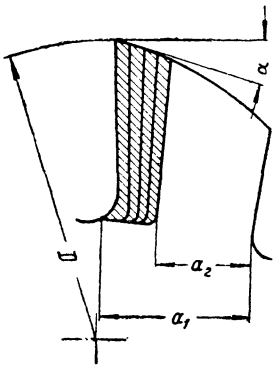
2. Заточка по задней грани приводит к изменению высоты зуба инструмента. Если это резец, то уменьшение высоты неважно, но если это зуб инструмента, диаметр которого важно сохранить, приходится отказываться от заточки по задней грани. Влияние способа заточки на изменение диаметра наглядно показано на фиг. 11.

На фиг. 11, *а* показан зуб инструмента, затачиваемый по задней грани. Если при заточке снять слой толщиной Δl, то диаметр уменьшится на величину $\Delta D = 2\frac{\Delta l}{\cos\alpha}$ (в этом легко убедиться, рассмотрев треугольник ABC).

На фиг. 11, *б* показан зуб инструмента, затачиваемый по передней грани. Если при заточке снять слой Δl, то диаметр уменьшится на величину $\Delta D = 2\Delta l \operatorname{tg}\alpha$. Сравнивая, получим, что всегда $\frac{2\Delta l}{\cos\alpha} > 2\Delta l \operatorname{tg}\alpha$.

Следовательно, изменение диаметра инструмента с зубьями, затачиваемыми по передней грани, будет меньше при условии одинакового снимаемого слоя Δl.

Эти недостатки заставляют иногда конструктора отказываться от затачивания инструмента по задней грани и переходить к затачиванию инструментов по передней грани. Однако такой переход рекомендуется проделывать только в тех случаях, когда невозможно применение заточки по задней грани, так как вообще заточка по передней грани имеет больше недостатков, чем заточка по задней грани.



Фиг. 12. Схема заточки зуба по передней грани.

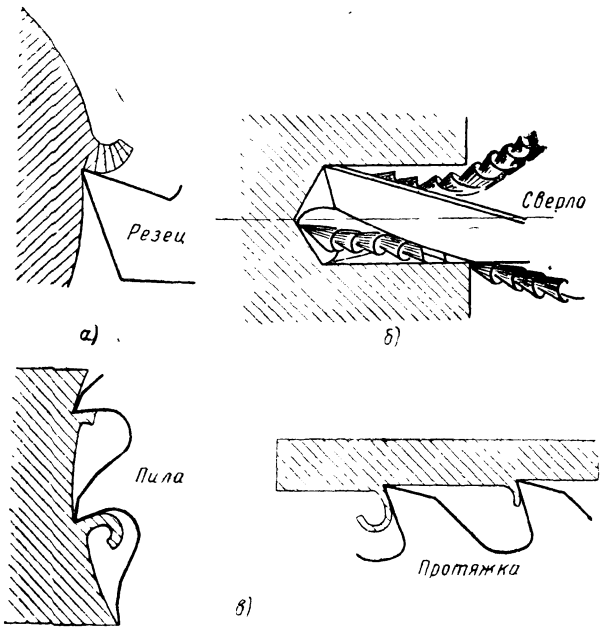
Заточка по передней грани. На фиг. 12 показана схема заточки инструмента по передней грани. После переточек уменьшается прочность зуба на изгиб, так как уменьшается площадь сечения у основания зуба (изменение размера a_1). Поэтому при конструировании зуба инструмента прочность зуба рассчитывается для переточенного зуба, а размер a_2 зуба увеличивается для нового зуба на величину слоя, подлежащего переточкам.

Изменение диаметра инструмента при заточке по передней грани зависит от величины заднего угла α и приближенно может быть принято $\Delta D = 2\Delta l \operatorname{tg}\alpha$. Следовательно, при уменьшении угла α будет резко уменьшаться ΔD. При α, близком к нулю, изменение диаметра практически неощутимо. Поэтому при конструировании инструментов, в которых требуется сохранение диаметра или во всяком случае минимальное его изменение, при переточках следует принимать заточку по передней грани. Затачивание по передней грани дает возможность сохранения профиля инструмента при переточках, что особенно важно для фасонных инструментов, имеющих сложный профиль зуба (например, червячные фрезы, дисковые фасонные фрезы, фасонные резцы). Такой зуб имеет определенную форму задней поверхности (затылка) и носит название затылованного зуба.

Принятый метод затачивания по задней или передней грани определяет основные геометрические размеры зуба инструмента и его форму. Рассматривая условия работы инструмента, конструктор выбирает соответствующий метод затачивания, а следовательно, форму зуба. Так

как износ режущего инструмента протекает, хотя и в разной степени, как по передней, так и по задней грани, то в тех случаях, когда имеет место интенсивный износ по одной и другой граням (обдирочные резцы и т. д.), принимают комбинированный метод затачивания инструмента, т. е. по задней и передней граням одновременно.

Пространство для помещения или отвода стружки. Во время резания происходит интенсивное стружкообразование. Непременное условие хорошей работы режущего инструмента — беспрепятственный отвод



Фиг. 13. Виды размещения стружки:
а — открытое пространство; *б* — каналы для отвода стружки;
в — закрытое пространство;

стружки от режущей кромки и достаточное пространство для размещения стружки. Хороший отвод стружки улучшает условия передачи тепла, образующегося *при резании, улучшает чистоту обработки, так как* стружка не захватывается следующими зубьями инструмента, не забивает пространство перед режущей кромкой и не портит тем самым обработанную поверхность.

При конструировании могут встретиться три вида размещения стружки:

1. Открытое (свободное) пространство для размещения и отвода стружки. Стружка может беспрепятственно отходить во всех направлениях (фиг. 13, *а*).

2. Каналы (канавки) для отвода стружки в одном определенном направлении (фиг. 13, *б*).

3. Закрытое пространство для размещения стружки (фиг. 13, *в*).

Под открытым пространством понимается такой вид размещения стружки, при котором отделение и дальнейшие движения стружки от режущей кромки инструмента происходят свободно. Например, при работе проходного токарного резца (фиг. 13, *а*) стружка, не встречая препятствий на своем пути, свободно отделяется. Это хорошо, когда скорость резания невысокая. При обточке с высокими скоростями часто приходится искусственным путем создавать препятствия для отвода и вынуждать сливную стружку или завиваться отдельными кольцами, или ломаться. Для этой цели делаются специальные стружколомати в виде ступеней на передней поверхности резца или в виде лунки, а также других конструкций, которые обеспечивают завивание стружки в мелкие кольца.

Под закрытым пространством для помещения стружки условимся понимать такой вид размещения стружки, при котором получаемая в процессе резания стружка не может свободно отводиться и остается в канавке перед зубом. Примеры инструментов с закрытым пространством для помещения стружки показаны на фиг. 13, *в*. Видно, что при движении протяжки или пилы каждый ее зуб снимает стружку, которая может быть в зависимости от характера обрабатываемого материала как сливной, так и стружкой надлома. При обработке стали и других вязких материалов получается сливная стружка, которая завивается в спираль, при обработке хрупких материалов — стружка надлома. Как сливная, так и стружка надлома должны быть помещены во впадину между зубьями инструмента.

Объем, занимаемый стружкой во впадине инструмента, зависит от следующих факторов:

1) длины обрабатываемой поверхности изделия L;

2) толщины снимаемой стружки a (или подачи на зуб s_z);

3) характера образования стружки, зависящего в свою очередь от свойств обрабатываемого металла.

Следовательно, для определения общего объема впадины инструмента следует учитывать указанные факторы.

В основу расчета объема впадины инструмента должны быть положены:

1) объем металла, снимаемого зубом инструмента с обрабатываемой детали;

2) увеличение этого объема при превращении металла в стружку. Это увеличение определяется величиной подачи и свойствами обрабатываемого металла.

При обработке вязких металлов образующаяся сливная стружка будет занимать бо́льший объем, чем объем снимаемого металла, так как сливная стружка завивается в спираль и благодаря ее упругости она не может быть завита плотно, без зазора между витками, поэтому занимает значительно бо́льший объем.

При обработке хрупких металлов образующаяся стружка надлома занимает тоже бо́льший объем, чем объем снимаемого металла, но благодаря тому, что эта стружка рассыпается на мелкие частицы, объем пространства, занимаемого ею, будет значительно меньше объема, зани-

маемого сливной стружкой. Как в первом, так и во втором случае объем пространства, занимаемого стружкой, может быть вычислен по формуле

$$v_{стр} = v_{мет} \cdot k,$$

где $v_{стр}$ — объем, занимаемый стружкой;
$v_{мет}$ — объем снимаемого металла;
k — коэфициент объемного увеличения стружки.

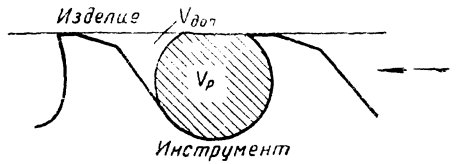
Объем снимаемого металла легко определяется по формуле

$$v_{мет} = a \cdot b \cdot L,$$

где a — толщина стружки в *мм*;
b — ширина стружки в *мм*;
L — длина обрабатываемой поверхности детали в *мм* (или длина дуги контакта зуба инструмента).

Следовательно, объем, занимаемый стружкой, может быть окончательно определен

$$v_{стр} = k \cdot a \cdot b \cdot L.$$



Фиг. 14. Пространство, занимаемое стружкой во впадине зуба.

Из фиг. 14 видно, что объем рабочей части впадины зуба $v_р$ при обработке металлов, дающих сливную стружку, должен быть равен объему, занимаемому стружкой, $v_р = v_{стр}$. Объем $v_{доп}$ в размещении сливной стружки не участвует и он не должен учитываться при определении объема впадины для вязких металлов.

При обработке хрупких металлов, дающих стружку надлома, следует учитывать также и объем $v_{доп}$, так как стружка надлома может свободно размещаться и в этой части впадины. Принимают $v_{доп} = {}^1/_3 v_р$ (для закрытого пространства).

В формулу объема рабочего пространства для стружки входит коэфициент k, который определяется опытным путем. Для определения объема впадины протяжек значение коэфициента k обычно принимается от 3 до 6.

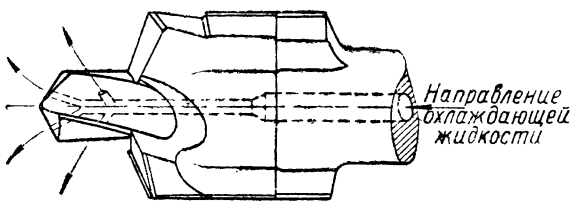
Образующаяся стружка может отходить от режущей кромки по канавкам в теле инструмента. На фиг. 13, *б* показан пример такого отвода стружки при сверлении.

В практике конструирования инструмента встречаются как наружные канавки, так и внутренние каналы для отвода стружки. У спиральных сверл имеются два режущих лезвия, стружка от которых отводится по винтовым канавкам. В настоящее время профиль винтовых канавок разработан достаточно полно, и в зависимости от назначения сверла винтовые канавки имеют соответствующий объем. Стружка, образующаяся у режущих кромок, завивается при сверлении вязких металлов в спираль и отводится по канавке в виде спирали. Однако при сверлении достаточно глубоких отверстий, глубиной более 5 диаметров, отвод стружки затрудняется благодаря повышению трения, и сверло приходится часто выводить из отверстия для очистки от стружки. При свер-

лении глубоких отверстий в хрупких металлах стружка спрессовывается, и это может привести к поломке сверла, так как резко возрастает крутящий момент от трения запрессованной стружки о стенки отверстия. Поэтому конструктору при сверлении глубоких отверстий приходится искать пути для облегчения отвода стружки из зоны ее образования от режущей кромки сверла.

Отвод стружки облегчается и обеспечивается тем, что к стенкам образующегося отверстия подается под высоким давлением охлаждающая жидкость, которая и выбрасывает полученные короткие спирали стружки из отверстия.

Определение достаточного пространства для помещения стружки обязательно. Если стружка при недостаточном объеме канавки инструмента спрессуется, это обязательно послужит причиной поломки зуба инструмента. Особенно важное значение имеет определение достаточного объема для стружки у инструментов для обработки отверстий, комбинированных инструментов, протяжек, пил, фрез, метчиков и т. д. В отдельных случаях конструктор инструмента с целью лучшего отвода стружки прибегает к принудительному ее отводу. Это можно обеспечить давлением струи охлаждающей жидкости, специальной формой канавки и углом наклона ее. Например, при конструировании гаечных метчиков, как мы увидим ниже, возможно заставить стружку соответствующим наклоном канавок идти в нужном нам направлении. В резцах это достигается выбором соответствующего угла наклона режущей кромки λ.



Фиг. 15. Подвод охлаждения у комбинированного сверла-зенкера.

Отвод тепла от режущей кромки инструмента. Процесс образования и отделения стружки сопровождается выделением значительного количества теплоты при деформации металла. Эта теплота может послужить причиной износа режущей кромки, так как повышение температуры режущей кромки выше определенного предела приводит к резкому снижению твердости материала инструмента.

Одним из основных принципов конструирования рабочей части инструмента является обеспечение у проектируемого инструмента отвода теплоты от режущей кромки. В резцах это достигается созданием определенных углов режущей части (задний угол α, передний угол γ, угол в плане φ) и, кроме того, подводом охлаждающей жидкости.

При конструировании более сложных инструментов приходится обеспечивать правильный отвод теплоты достаточными размерами самого тела зуба инструмента, а также системой каналов для подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам. Примером такой конструкции может служить конструкция комбинированного сверла зенкера с каналами для подвода охлаждающей жидкости (фиг. 15).

Прочность и жесткость зубьев рабочей части инструмента. Представим себе режущую кромку зуба любого инструмента. В результате движения ее в пространстве относительно обрабатываемой детали происходит срезание материала, образуется стружка.

Усилие P, действующее на режущую кромку, удобно разложить на отдельные составляющие P_x, P_y и P_z, действующие по осям координат. Тогда в общем виде каждая составляющая определится:

$$P_x = c_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot s^{y_{px}};$$
$$P_y = c_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot s^{y_{py}};$$
$$P_z = c_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot s^{y_{pz}},$$

где t — глубина резания в *мм*;

s — подача в *мм/об*;

c_{px}, c_{py}, c_{pz} — коэфициенты, характеризующие обрабатываемый материал;

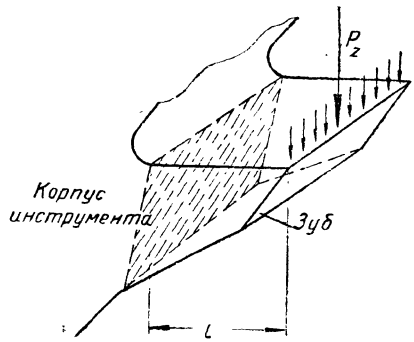
x_{px}, x_{py}, x_{pz},

y_{px}, y_{py}, y_{pz} — показатели степени при t и s. Входящие в уравнение коэфициенты и показатели степени приводятся в соответствующих нормативах.

Величина равнодействующей силы

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2}.$$

Но режущая кромка не может быть воображаемой линией в пространстве. Она всегда представляет собой пересечение передней и задней граней какого-то материального зуба инструмента. Зуб можно представить в виде балки (фиг. 16), один конец которой заделан в корпус инструмента. Обозначим вылет (высота) зуба из корпуса буквой l. Тогда можно определить, например, изгибающий момент от силы P_z, действующей на зуб:



Фиг. 16. Силы, действующие на зуб фрезы.

$$M_{изг} = P_z \cdot l \ кгмм,$$

где $M_{изг}$ — изгибающий момент;

P_z — сила резания в *кг*;

l — длина выступающей части зуба.

Но, с другой стороны, допускаемый изгибающий момент

$$M'_{изг} = WR_b,$$

где W — момент сопротивления изгибу в $мм^3$;

R_b — допускаемое напряжение в $кг/мм^2$.

Приравняв изгибающий и допускаемый моменты, найдем момент сопротивления зуба

$$W = \frac{P_z \cdot l}{R_b}.$$

Эта общая формула дает возможность определить сечение зуба инструмента в опасном месте, исходя из условий прочности. Конечно, практически при сложной форме зуба такой расчет производить трудно.

Для определения W нужно знать допускаемые напряжения R_b. В имеющихся литературных источниках определение R_b сделано для конструкционных сталей. Определение допускаемых напряжений для закаленных инструментальных сталей — задача сложная, так как допускаемые напряжения зависят от многих факторов и для инструментальных сталей мало исследованы.

В табл. 1 приведены рекомендуемые допускаемые напряжения для закаленных инструментальных сталей [1].

Таблица 1

Наименование сталей	Твердость по Роквеллу H_{RC}	Допускаемые напряжения на			
		изгиб в *кг/мм²*	растяжение в *кг/мм²*	кручение в *кг/мм²*	срез в *кг/мм²*
Быстрорежущая высоколегированная и малолегированная сталь	30—40	36	30	26	28
	62—64	48	40	35	36
Углеродистая качественная и высококачественная сталь	30—40	24	20	17	20
	60—62	36	30	26	28

Форма зуба инструмента и эпюра действующих на зуб усилий сложны, и поэтому расчет зуба на прочность становится трудной задачей. При конструировании инструмента такой расчет не всегда производится. Практическая ценность расчета на прочность снижается еще потому, что трудно учесть в расчете изменения усилий, которые происходят даже при небольшом затуплении режущих кромок, а также изменения, связанные с неравномерной нагрузкой на зубья инструмента (например, при биении фрезы по режущим кромкам часть зубьев вообще не участвует в работе, и увеличенная нагрузка приходится на последующие зубья фрезы). Однако при конструировании инструментов следует производить хотя бы упрощенный расчет на прочность.

Сложнее рассчитать режущий инструмент на жесткость и вибрации. Обычно в особо сложных и ответственных случаях производится испытание нескольких различных опытных вариантов конструкции и выбирается лучший из них.

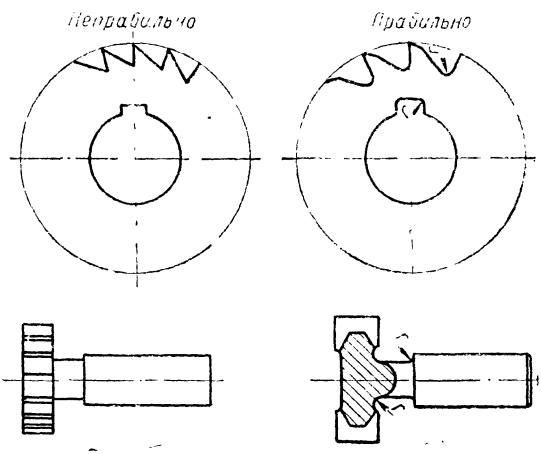
На прочность инструмента большое влияние оказывает термическая обработка. При закалке инструмента сталь получает значительные внутренние напряжения, которые могут привести к трещинам и разрушению инструмента. Концентрация внутренних напряжений происходит в местах резких изменений сечения, в острых углах и т. д. Это понятно, так как именно в острых углах происходит более быстрое

---

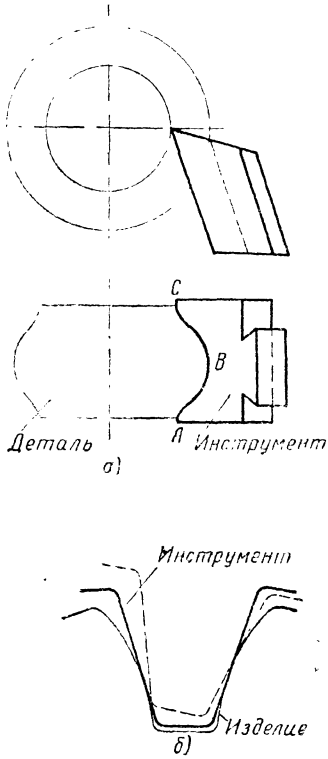
[1] Г. Н. Титов, Прочность металлорежущих инструментов, Машгиз, 1947

охлаждение. На фиг. 17 изображено несколько примеров правильно и неправильно сконструированных инструментов. Слева показаны неправильно сконструированные инструменты — в углах нет закруглений. Справа показаны правильно сконструированные инструменты — все острые углы закруглены. Острые углы и резкие переходы от сечения к сечению совершенно недопустимы. Они дают снижение прочности в несколько раз и приводят к трещинам и разрушению инструмента в процессе термической обработки. Конструктор должен избегать резких переходов и все острые углы должен закруглять.

Форма и размеры режущей кромки. При проектировании режущих инструментов, предназначенных для обработки сложных и фасонных поверхностей, например, резьбы, зубчатых колес и т. д., необходимо определить форму и размеры режущей кромки,



Фиг. 17. Примеры правильных и неправильных конструкций инструментов.



Фиг. 18. Методы получения фасонных поверхностей:

а — метод копирования; *б* — метод обкатки.

так как форма режущей кромки будет обеспечивать получение заданной фасонной поверхности. Обработка фасонной поверхности инструментом может быть двух видов:

1) копирование профиля инструмента;

2) метод обкатки.

Первый метод предусматривает получение профиля фасонной поверхности за счет прямого копирования профиля инструмента (фиг. 18, *а*); для тела вращения в радиальном сечении профилем изделия будет кривая *ABC*. Профиль инструмента в плоскости передней грани должен быть очерчен по кривой *ABC*, полученной от пересечения тела враще-

ния поверхностью передней грани. Следовательно, для определения формы режущей грани по заданной форме изделия необходимо найти линию пересечения двух поверхностей в пространстве — поверхности тела вращения и передней поверхности резца.

Второй метод (фиг. 18, *б*) предусматривает получение заданной поверхности изделия путем обкатывания. В этом случае профиль изделия будет огибающей последовательных положений кромки инструмента.

Рациональное использование инструментального материала. При проектировании инструмента не должны выпадать из поля зрения конструктора все вопросы, связанные с экономичным расходом инструментальных материалов. Стали для режущего инструмента, особенно быстрорежущая, значительно дороже и дефицитнее конструкционной стали; твердые сплавы в несколько раз дороже быстрорежущей стали. Поэтому в современном машиностроении получили чрезвычайно широкое распространение такие конструкции режущего инструмента, в которых режущая часть выполняется из быстрорежущей стали или твердых сплавов, а корпус — из конструкционной стали или менее дорогой инструментальной легированной стали.

В нашей стране инструментальная промышленность идет по пути применения сборных, сварных конструкций или конструкций с припайкой пластин твердого сплава. При проектировании таких режущих инструментов возникает вопрос о правильном и надежном креплении ножа, пластины и режущей части к корпусу инструмента.

Все многообразие способов крепления можно свести к следующим способам.

1. Механическое крепление пластины (ножа, зуба) к корпусу путем заклинивания клином или привертывания винтами. Этот способ в различных вариантах конструкции широко распространен для быстрорежущих ножей и значительно меньше для ножей из твердых сплавов.

2. Пайка пластин. Способ распространен для пластин твердого сплава и меньше — для пластин из быстрорежущей стали.

3. Сварка — наиболее широко распространенный способ изготовления инструментов. Режущая часть инструмента, изготовляемая обычно из быстрорежущей стали, сваривается с хвостовой частью, изготовляемой из конструкционной стали. В настоящее время свариваются как мелкие инструменты, так и крупные (например, сверла до 80 *мм*).

4. Литье — путем отливки двухслойного инструмента: корпус отливают из конструкционной стали, зубья — из быстрорежущей стали или твердого сплава.

Были попытки производить склеивание карбинольным клеем, но этот способ пока не получил распространения из-за резкого снижения прочности при нагреве во время работы.

Регулирование размера инструмента. Кроме экономного расходования материала сборный инструмент имеет еще одно важное преимущество перед цельным, а именно: сборный инструмент позволяет производить регулирование размера. Например, сборная развертка со вставными ножами дает возможность регулировать диаметр развертки после износа путем раздвигания ножей. Регулировка позволяет увеличить срок

службы инструмента. Поэтому нередко инструмент делается сборным только для достижения возможности регулирования. Конструктор всегда должен стремиться ввести возможность регулирования в конструкцию режущего инструмента, так как за счет регулирования можно значительно продлить общий срок службы инструмента, облегчить настройку на размер при работе инструмента и добиться повышения качества обрабатываемых деталей.

СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Соединительная часть режущего инструмента (хвостового или насадного) должна передавать мощность, получаемую от шпинделя станка, на режущую часть инструмента. Если соединительная часть будет недостаточно прочна, т. е. рассчитана неправильно, то она будет лимитировать использование мощности инструментом.

Конструкции соединительных частей разнообразны. Наиболее употребительными соединительными частями у инструментов являются следующие.

Для хвостовых инструментов с вращательным движением:

1. Квадрат на цилиндрическом хвосте.
2. Инструментальный конус с лапкой или без лапки.
3. Быстросменные зажимы различных конструкций и т. д.

Для насадных инструментов с вращательным движением:

1. Цилиндрическое отверстие с продольной шпонкой.
2. Цилиндрическое отверстие с торцевой шпонкой.
3. Замки различных конструкций.
4. Конусы.

Для инструментов с движением вдоль оси (протяжки, прошивки):

1. Хвост с клиновидной чекой.
2. Быстросменные замки различных конструкций и т. д.

Все соединения инструмента со станком или приспособлением можно подразделить на три основные группы:

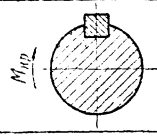
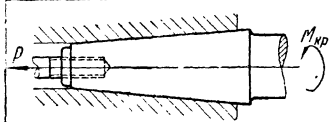
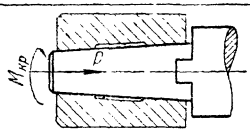
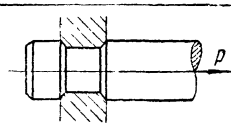
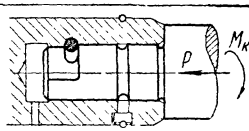
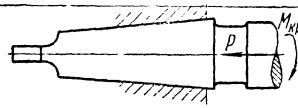
1. Жесткие соединения, передающие усилия и крутящие моменты шпонками, штифтами или какими-либо выступами. К этой группе относятся соединения хвостового или насадного инструмента квадратами, цилиндрическими отверстиями со шпонками, фланцами со шпонками, различными быстросменными замками и т. д. Эти соединения передают усилия жесткими деталями. При перегрузке таких соединений наиболее слабая часть конструкции должна разрушиться. В конструкциях инструмента эти соединения занимают основное место и широко распространены.

2. Фрикционные соединения, т. е. такие соединения, передача усилий или крутящих моментов в которых обеспечивается силами трения в стыке между соединительной частью инструмента и станка. К этой группе соединений можно отнести хвостовики инструмента, снабженные конусами, отверстия насадного инструмента с конусами, крепление инструментов, например, резцов, зажимными винтами и т. д. Фрикционные соединения также широко распространены в конструкциях инстру-

мента. Отличительной особенностью таких соединений является возможность проворачивания или смещения при перегрузках. Однако в большинстве случаев эти смещения также ведут к поломкам, поэтому соединения должны быть рассчитаны на передачу всех усилий, и нельзя надеяться на благополучный исход при перегрузках и проворачивании.

3. В практике конструирования часто совмещают жесткое соединение с фрикционным и применяют комбинированное соединение, передающее усилия как жесткими деталями, так и силами трения. Эти комбинированные соединения встречаются также часто. В табл. 2 приведены некоторые типовые крепления инструмента.

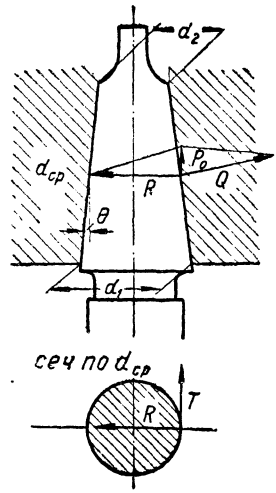
Таблица 2

Эскиз крепления	Назначение	Применение
	Передача крутящего момента	Крепление насадн. инструментов продольной шпонкой на цилиндрической оправке
	Передача крутящего момента и восприятие осевого усилия	Крепление хвостовых инструментов конусом с затяжкой
	То же	Крепление насадн. инструментов (разверток зенкеров) конусом и торцевой шпонкой
	Передача тягового осевого усилия	Крепление протяжек в кулачковом патроне
	Передача крутящего момента и восприятие осевого усилия	Крепление хвостовых инструментов штифтовым замком
	То же	Крепление хвостовых инструментов конусом с лапкой

Рассмотрим примеры расчета таких соединений по отдельным группам.

Пример расчета фрикционной соединительной части хвостового инструмента — инструментального конуса Морзе. Конусный хвост должен передать на инструмент (сверло, развертку, фрезу) от шпинделя станка крутящий момент. Для этой цели конус должен удерживаться силами трения в гнезде шпинделя от проворачивания. Лапки, которыми

снабжаются конусы, не должны служить для передачи крутящего момента. Они предназначены только для выбивания инструмента клином из гнезда шпинделя. Поэтому образующиеся в результате усилия силы трения на поверхности конуса должны создавать момент, превышающий момент резания. При сверлении затупившимся сверлом крутящий момент резания резко возрастает, и расчет должен быть произведен конструктором по максимальному крутящему моменту. На фиг. 19 изображены силы, действующие на конусный хвост.



Фиг. 19. Силы, действующие на конусный хвост инструмента.

Найдем максимальный крутящий момент сил трения, возникающих в результате действия осевого усилия P_o. Предполагаем, что силы трения на поверхности конуса будут приложены к среднему диаметру конуса. Средний диаметр конуса будет равен

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

где d_1 — больший диаметр конуса;

d_2 — меньший диаметр.

Осевое усилие P_o, действующее вдоль оси инструмента, можно разложить на две силы: Q — действующую нормально к образующей конуса и R — действующую в радиальном направлении. Силы R взаимно уравновесятся реакцией на противоположной точке поверхности конуса. Сила Q, действующая нормально к образующей конуса, создает необходимое тангенциальное усилие T, которое в свою очередь определит крутящий момент. Определим силу Q:

$$Q = \frac{P_o}{\sin\theta},$$

где θ — угол конусности хвоста.

Сила T определится с учетом коэфициента трения поверхности конуса о стенки гнезда шпинделя:

$$T = \mu_1 Q = \frac{\mu_1 P_o}{\sin\theta},$$

где μ_1 — коэфициент трения.

Крутящий момент силы трения может быть определен

$$M = \frac{T \cdot d_{cp}}{2} = \frac{\mu_1 P_o \cdot d_{cp}}{2\sin\theta} = \frac{\mu_1 P_o (d_1 + d_2)}{4\sin\theta}.$$

Коэфициент трения μ_1 при работе стали по стали принимаем равным 0,096, угол θ для наиболее употребительных конусов Морзе равен приблизительно 1°30′.

*

Выведенная зависимость[1] рассчитана на полное совпадение конусных поверхностей инструмента и гнезда. Однако в действительности этого никогда не бывает, конус и гнездо неполностью совпадают, поэтому в формулу крутящего момента должна быть введена поправка

$$M_{кр} = \frac{\mu_1 P_o (d_1 + d_2)}{4 \sin \theta} (1 - 0{,}04\Delta\theta),$$

где $\Delta\theta$ — сумма отклонений углов хвоста и гнезда от теоретического угла в минутах.

На основании измерений неточности изготовления конусов можно принять эту ошибку $\Delta\theta$ равной 5′. Тогда $(1-0{,}04\,\Delta\theta)=0{,}8$ и

$$M_{кр} = \frac{0{,}8\mu_1 P_o}{4 \sin \theta} \frac{(d_1 + d_2)}{} = \frac{0{,}2\,\mu_1 P_o (d_1 + d_2)}{\sin \theta}.$$

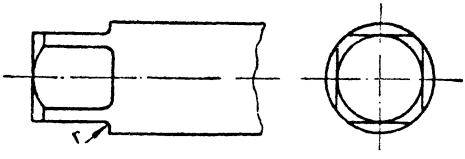
Осевое усилие P_o у конусов должно обеспечиваться или осевым усилием, возникающим в процессе резания, например, у сверла или зенкера, или обеспечиваться специальным натяжным устройством в тех случаях, когда при работе инструмента достаточного осевого усилия не возникает, например, при работе хвостовой фрезы. Полученный момент силы трения $M_{кр}$ должен быть передан шейкой инструмента. Прочность шейки инструмента и самого конуса может быть рассчитана на кручение, исходя из полученного момента трения.

При конструировании хвостовых инструментов с конусом размеры конуса выбираются по стандарту ГОСТ 2847-45 и должны быть проверены приведенным расчетом. Сила P_o может быть рассчитана для каждого конуса, исходя из прочности конуса или шейки конуса.

Пример расчета квадратного хвостовика

Передача усилия квадратным хвостовиком (фиг. 20) встречается у ручных разверток, гаечных и ручных метчиков и других инструментов для вращательного движения резания.

По данным акад. А. Н. Динника напряжение на скручивание можно подсчитать по формуле



Фиг. 20. Квадрат на хвостовике инструмента.

$$\tau = k_{кв} \frac{M_{кв}}{b^3}$$

или

$$M_{кв} = \frac{\tau \cdot b^3}{k_{кв}},$$

где b — сторона квадрата;

$k_{кв}$ — коэфициент, равный 4,8 *мм*.

Однако в месте перехода плоскостей квадрата в круглое сечение хвостовика имеет место концентрация напряжений, поэтому в формулу следует ввести коэфициент k_τ. Для стандартных хвостовиков $k_\tau \approx 2$.

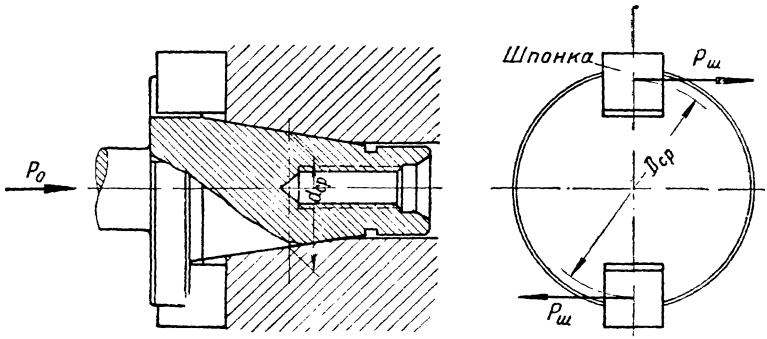
Тогда формула примет вид

$$\tau = k_\tau \cdot k_{кв} \frac{M_{кв}}{b^3}.$$

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. I, ОНТИ, 1936.

В хвостовиках инструмента обязательно с целью увеличения прочности следует вводить большие радиусы закруглений r, тогда квадрат будет выдерживать значительно большие крутящие моменты.

Приведем пример расчета комбинированного крепления инструмента, передающего усилие как шпонками, так и силами трения, возникающими между элементами соединений (фиг. 21). Таким примером может



Фиг. 21. Схема крепления конусом и шпонками.

служить крепление оправки фрезы в шпинделе фрезерного станка. Крутящий момент M_1 будет передаваться шпонками, работающими на срез[1]:

$$M_1 = \frac{R \cdot F \cdot D_{ср}}{2},$$

где R — допускаемое напряжение на срез у шпонок;

F — площадь среза шпонок;

$D_{ср}$ — диаметр (средний) действия сил $P_ш$.

Крутящий момент M_2, передаваемый силами трения на конусе, может быть определен по формуле

$$M_2 = \frac{\mu_1 P_o \cdot d_{ср}}{4 \sin \theta}(1 - 0{,}04\Delta\theta).$$

Общий крутящий момент, передаваемый комбинированным соединением, будет равен сумме M_1 и M_2. Как следует из рассуждений, такое комбинированное соединение позволяет передавать значительные крутящие моменты и поэтому может быть рекомендовано при тяжелых работах. Усилие P_o в таком соединении создается за счет затяжки болта.

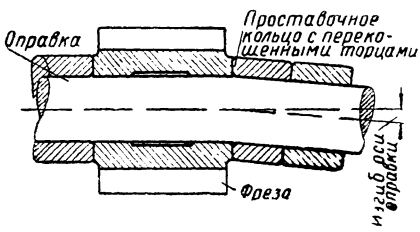
Важным условием, которому должна удовлетворять принятая конструкция соединительной части, является легкая и быстрая установка инструмента на станке. Большинство режущих инструментов, предназначенных для вращательного движения, должно быть установлено в шпиндель центрично, т. е. ось инструмента, например, фрезы или сверла, должна точно совпадать с осью шпинделя.

---

[1] Шпонки кроме среза работают также на смятие, и поэтому следует дополнительно производить проверку на смятие.

С точки зрения правильной установки наиболее надежной (при условии чистой поверхности хвоста и гнезда) является установка в конус, так как такая установка производится без зазора. Однако установка в конусное гнездо может быть неправильной, если в соединение попадет грязь или мелкая стружка. Поэтому при эксплоатации конусных соединений обязательным условием хорошей установки является содержание гнезд и конусов инструмента в чистоте и без забоин. Перед посадкой обязательна очистка. При соединении на цилиндрической поверхности оправки или на центрирующем цилиндрическом выступе на точность установки будет влиять зазор в соединении. Насадные режущие инструменты снабжаются отверстием со шпоночным пазом.

Такие отверстия для инструментов предусмотрены по ГОСТ 4020-48. Центрирование обеспечивается скользящей посадкой 2-го класса точности или при особо точных инструментах скользящей посадкой 1-го класса точности (например, для червячно-модульных фрез с шлифованным профилем зуба отверстие имеет посадку 1-го класса точности).



Фиг. 22. Изгиб оправки из-за перекоса торцов проставочного кольца.

Необходимо отметить, что правильная установка на оправке может быть при недостаточно аккуратном обращении легко нарушена. Например, при установке насадной фрезы на цилиндрическую оправку закрепление производится гайкой, но для сохранения длины на оправку приходится надевать проставочные кольца; если торцы проставочных колец не будут параллельны между собой и перпендикулярны оси отверстия, оправка при зажиме ее гайкой деформируется (фиг. 22).

ПРОСТОТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Технологичность конструкции, т. е. простота в изготовлении инструмента, — очень важный вопрос, который должен учитываться конструктором режущего инструмента.

В настоящее время существует много различных способов обработки металлов — ковка, штамповка, литье, обработка резанием и т. д. Принятый технологический процесс изготовления во многом зависит от конструктивных форм инструмента. Чем проще форма, тем проще изготовление. Поэтому при определении формы и размеров инструмента должен учитываться способ его изготовления. При конструировании режущего инструмента, который предполагается получать путем отливки, следует учитывать особенности технологии литья. Если, например, предполагается получать спиральное сверло путем прокатки и завивки, а не путем фрезерования, приходится учитывать особенности процесса прокатки и завивки в конструкции сверла.

Инструмент, оснащенный пластинками твердого сплава, имеет конструктивные особенности, вызванные условиями технологии пайки.

Сварные инструменты, у которых рабочая часть изготовлена из быстрорежущей стали и приварена к хвостовой части, изготовленной из конструкционной стали, также имеют ряд особенностей.

В сборных инструментах, выполненных из нескольких деталей, должна быть учтена особенность изготовления каждой детали.

Следовательно, конструктор должен ясно представлять технологию изготовления данного инструмента и ее особенности и учитывать последние при проектировании.

В настоящем курсе при рассмотрении конструирования отдельных видов инструмента отмечаются и технологические особенности, но в целом технология инструмента не затрагивается.

Обычно при конструировании инструмента все перечисленные вопросы решаются комплексно.

Д-р техн. наук проф. И. И. Семенченко в своих работах по конструированию и технологии отдельных видов режущего инструмента выделяет отдельные конструктивные элементы инструмента и дает затем определение этих элементов. Например, для определения конструкции сверла в целом необходимо определить его элементы: диаметр, длину, ширину паза, толщину сердцевины, угол при вершине, угол наклона канавок и т. д.

В дальнейшем при изложении конструирования отдельных видов инструментов принята методика анализа отдельных конструктивных элементов инструмента, разработанная д-ром техн. наук проф. И. И. Семенченко.

РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

После расчетов должен быть составлен рабочий чертеж инструмента. Рабочий чертеж представляет собой основной документ. На нем должны быть указаны все необходимые данные для изготовления данного инструмента.

Рабочий чертеж должен иметь достаточное количество проекций с тем, чтобы дать наглядное представление о форме инструмента. При сложной форме инструмента вычерчивание инструмента полностью со всеми проекциями и сечениями занимает много времени, поэтому существует ряд условностей, которые значительно упрощают графическую работу.

Условности при черчении инструмента сводятся к следующим.

1. Канавки не всегда изображаются (например, у метчиков, разверток, фрез и др.).

2. Если инструмент имеет несколько зубьев, вычерчивают только 2—3 зуба, остальные не вычерчиваются.

3. Винтовые линии заменяют при черчении фрез, разверток и т. д. прямыми линиями.

4. Профиль инструмента вычерчивается обычно отдельно в большом масштабе.

5. Сечения для обозначения величины передних и задних углов вычерчиваются только частичные.

На рабочем чертеже должны быть указаны все размеры инструмента. Простановка размеров должна производиться в строгом соответствии с правилами черчения. При составлении рабочих чертежей нормалей допускается вычерчивание проекций с буквенными обозначениями размеров, затем числовые значения даются в таблицах, в которых указываются все необходимые данные. Такие чертежи однотипных инструментов с таблицами размеров получили широкое распространение в практике.

На чертеже инструмента обязательно указывается чистота обработки поверхностей. Не все поверхности инструмента имеют одинаковое значение в работе инструмента. Отмечается чистота важнейших поверхностей инструмента. К таким поверхностям относятся следующие.

1. Режущие поверхности зуба инструмента, передняя поверхность, задняя поверхность влияют на чистоту обработанной поверхности детали, на стойкость инструмента и условия резания, сход стружки и т. д. Поэтому важно указать чистоту этих поверхностей в чертеже.

2. Опорные и установочные поверхности инструмента, например, отверстие и торец у насадных инструментов, хвостовая часть у конусных инструментов, должны быть также обработаны с определенной заданной степенью чистоты поверхности, так как от чистоты этих поверхностей зависит правильная установка инструмента и закрепление его на станке. Остальные поверхности инструмента менее важны и чистота их может быть указана по общим соображениям.

Рекомендуется при простановке знаков обработки на поверхности инструмента пользоваться данными ВНИИ МСС, приведенными в табл. 3.

Таблица 3

Знаки обработки поверхностей режущих инструментов

Тип инструмента	Режущие поверхности			Опорные и установочные поверхности	
	Передняя	Задняя	Поверхность профиля	Опорная поверхность	Торец
Проходные резцы	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7		▽▽ 6	
Спиральные сверла	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7в		▽▽▽ 7в	
Хвостовые зенкеры	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7в		▽▽▽ 7в	
Машинные развертки	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8		▽▽▽ 8	
Шлифованные метчики	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8	▽▽▽ 9	▽▽▽ 7в	
Ручные метчики	▽▽▽ 7в	▽▽▽ 7	▽▽▽ 6в	▽▽▽ 7в	
Круглые плашки	▽▽▽ 7	▽▽▽ 7	▽▽▽ 6в	▽▽▽ 7в	▽▽▽ 7в
Простые протяжки	▽▽▽ 8в	▽▽▽ 9	▽▽▽ 9	▽▽▽ 7в	
Зуборезные гребенки	▽▽▽ 9в	▽▽▽ 9в	▽▽▽ 9в	▽▽▽ 8	▽▽▽ 8
» долбяки	▽▽▽ 9в	▽▽▽ 9в	▽▽▽ 9в	▽▽▽▽ 10	▽▽▽▽ 10
Червячные фрезы	▽▽▽ 8в	▽▽▽ 8	▽▽▽ 9	▽▽▽ 9	▽▽▽ 8

Примечание. Все данные таблицы относятся к легированным и быстрорежущим сталям. У инструментов, оснащенных твердыми сплавами, следует принимать чистоту поверхностей режущих граней на один класс выше.

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На рабочем чертеже инструмента или отдельно от него должны быть указаны технические условия на приемку этого инструмента, в которых должны быть отражены все технические требования к данному инструменту.

В технических условиях на режущий инструмент приводятся следующие разделы.

1. Описание внешнего вида инструмента.
2. Перечисление основных допусков, обеспечивающих качество инструмента: биение режущих кромок, биение торцов и т. д.
3. Подробное указание на материал инструмента.
4. Твердость отдельных частей инструмента.
5. Описание испытания инструмента в работе.
6. Описание маркировки (клеймение) и упаковка инструмента. При изготовлении режущего инструмента небольшими партиями основные данные из технических условий выписывают обычно в чертеже инструмента.

В СССР технические условия на стандартные виды инструмента являются обязательными.

Существуют специальные стандарты технических условий на режущий инструмент.

1. Технические условия на сверла спиральные как цилиндрические, так и с коническим хвостом приведены в ГОСТ 2034-43, допуски на сверла — в ГОСТ 885-41.
2. Технические условия на зенкеры с коническим хвостом и насадные (цельные и сварные) приведены в ГОСТ В-1677-42.
3. Технические условия на развертки:

а) хвостовые и насадные (цельные или сварные) — в ОСТ 2811-40;

б) хвостовые и насадные (сборные со вставными ножами) — в ГОСТ 1523-42.

4. Технические условия на фрезы:

а) цельные цилиндрические, торцевые, дисковые и пазовые — ГОСТ В-1695-42;

б) дисковые трехсторонние и торцевые насадные со вставными ножами — ГОСТ 1671-42;

в) торцевые концевые — ГОСТ 4049-48;

г) угловые — ГОСТ 4050-48;

д) фасонные полукруглые — ГОСТ 4051-48;

е) дисковые зуборезные — ГОСТ В-1678-42;

ж) резьбовые гребенчатые — ГОСТ 1336-47;

з) червячные зуборезные чистовые однозаходные — ГОСТ 2973-45.

5. Технические условия на пилы:

а) круглые цельные (фрезы отрезные) — ГОСТ 2679-44;

б) круглые сегментные — ГОСТ 4048-48.

6. Технические условия на напильники:

а) обыкновенные всех сечений — ГОСТ В-1465-42;

б) надфили — ГОСТ В-1513-42.

7. Технические условия на метчики приведены в ГОСТ 3449-46. Допуски на метчики приводятся отдельно в ОСТ ВКС 7217 (для метрической резьбы) и ОСТ ВКС 7218 (для дюймовой резьбы).

8. Технические условия на круглые плашки приведены в ГОСТ В-1679-42.

9. Технические условия на винторезные самооткрывающиеся головки с круглыми плашками — ГОСТ 4383-48.

10. Технические условия на зуборезные гребенки — ГОСТ 4335-48.

11. Технические условия на зуборезные долбяки — ГОСТ 331-41.

Технические условия на остальные виды инструментов можно принимать по нормалям, приводимым в справочных руководствах.

ГЛАВА II

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Резание металлов сопровождается большими давлениями на режущий инструмент и тепловыделением, что приводит режущий инструмент к износу. Поэтому основными требованиями, предъявляемыми к материалам для изготовления режущей части инструмента, являются:

1) износоустойчивость при высокой температуре нагрева;

2) сохранение этой износоустойчивости в течение продолжительного времени.

Первое требование во многом определяется твердостью материала в нагретом состоянии, второе — его красностойкостью (теплостойкостью).

Все материалы, применяемые для изготовления режущего инструмента, можно разбить на следующие группы:

1) инструментальные углеродистые стали;

2) инструментальные легированные стали;

3) быстрорежущие стали и их заменители (малолегированные быстрорежущие стали);

4) конструкционные стали;

5) твердые сплавы;

6) абразивные материалы.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Инструментальные углеродистые стали служили основным материалом режущего инструмента до 70-х годов прошлого века. Основной составляющей примесью их является углерод, от содержания которого зависят свойства стали. Количество углерода составляет 0,6—1,4%. Чем больше углерода, тем большую твердость будет иметь сталь после термической обработки. Но с увеличением содержания углерода уменьшается вязкость стали. Она становится более хрупкой и плохо выдерживает нагрузку, особенно ударную.

В ГОСТ В-1435-42 инструментальная углеродистая сталь делится на два класса: класс I — качественная сталь; класс II — высококачественная сталь.

Классы стали подразделяются на марки (табл. 4).

В обозначениях марок сталей буква „У“ показывает, что сталь „углеродистая“. Рядом стоящие с буквой „У“ цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква „Г“ пока-

зывает, что сталь содержит повышенное содержание марганца („марганцовистые" стали), а буква „А" — что сталь „высококачественная".

Таблица 4

Марки инструментальных углеродистых сталей

Класс стали	Марка стали	Содержание элементов в %						
		Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Никель	Сера	Фосфор
				Не более				
Качественная	У7	0,60—0,74	⩽0,40	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
	У8	0,75—0,85	⩽0,40	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
	У8Г	0,80—0,90	0,35—0,60	0,35	0,30	0,25	0,040	0,040
	У9	0,86—0,94	⩽0,35	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
	У10	0,95—1,09	⩽0,30	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
	У10Г	0,95—1,09	0,15—0,40	0,35	0,30	0,25	0,040	0,040
	У12	1,10—1,25	⩽0,30	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
	У13	1,26—1,40	⩽0,40	0,35	0,20	0,25	0,040	0,040
Высококачественная	У7А	0,60—0,74	0,25—0,35	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030
	У8А	0,75—0,85	0,25—0,35	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030
	У8ГА	0,80—0,90	0,35—0,60	0,35	0,30	0,25	0,030	0,030
	У9А	0,86—0,94	0,20—0,30	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030
	У10А	0,95—1,09	0,15—0,25	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030
	У10ГА	0,95—1,09	0,15—0,40	0,35	0,30	0,25	0,030	0,030
	У12А	1,10—1,25	0,15—0,25	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030
	У13А	1,26—1,40	0,25—0,35	0,30	0,20	0,25	0,030	0,030

Основным отличием высококачественной стали от качественной является то, что в первой находится меньшее содержание вредных примесей — серы и фосфора ($\leqslant 0{,}03\%$).

Сера придает стали красноломкость, а фосфор — хладноломкость. Уменьшенное содержание серы и фосфора придает стали меньшую склонность к образованию трещин при закалке.

Марганец оказывает влияние на прокаливаемость стали. Прокаливаемость (способность стали принимать закалку на определенную глубину) повышается при повышении содержания марганца. При повышенном содержании марганца (больше $0{,}4\%$) усиливается склонность стали к образованию трещин при закалке в воду. Меньшее содержание марганца и кремния в высококачественной углеродистой стали придает ей меньшую прокаливаемость по сравнению с качественной сталью.

При нормальной закалке инструментальной углеродистой стали структура ее состоит из мартенсита и остаточного аустенита и имеет твердость $H_{R_C} = 61 \div 65$. Углеродистые инструментальные стали выдерживают при резании температуру нагрева инструмента до 200—250° С. При условиях работы, вызывающих большую температуру нагрева инструмента при резании, инструмент теряет твердость и быстро выхо-

дит из строя. Поэтому инструмент из этих сталей не может быть применен при работе на высоких скоростях резания, вызывающих большое тепловыделение. Большим недостатком углеродистых сталей являются значительные деформации, возникающие при термической обработке. Это ограничивает применение их при изготовлении такого инструмента, как крупные цилиндрические фрезы, тонкие прорезные фрезы, фрезы сложной конструкции, червячные фрезы, резьбовой инструмент и т. п.

Для изготовления металлорежущего инструмента наибольшее применение находят марки У10А и У12А.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Режущую способность инструментальной углеродистой стали можно повысить путем введения в нее легирующих элементов. К таким элементам относятся хром, вольфрам, молибден, ванадий, никель и др.

Инструмент из инструментальных легированных сталей выдерживает температуру нагрева в процессе резания до 350—400° С, что дает возможность работать на более высоких режимах резания. Инструмент из легированных сталей дает возможность работать на скоростях резания, в 1,2—1,5 раза больших по сравнению со скоростями резания, допускаемыми инструментом из инструментальных углеродистых сталей. Эти стали обладают большей прокаливаемостью и меньшей деформацией при термической обработке.

По ГОСТ 14958-39 на инструментальные легированные стали в табл. 5 приводятся их группы, марки и химический состав.

Легированные стали, содержащие хром, обозначаются буквой Х, вольфрам — В, никель — Н, молибден — М, марганец — Г, кремний — С.

Цифры, стоящие перед буквами, указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента, а после букв — среднее содержание легирующих примесей в целых процентах.

Содержание серы и фосфора в сталях допускается не более 0,03% каждого.

Хромистые стали содержат до 13% хрома, который сообщает стали твердость, повышает сопротивление износу и способствует повышению прокаливаемости. При закалке эти стали мало деформируются, что очень важно при изготовлении сложного инструмента.

Хромокремнистые стали благодаря присадке кремния имеют более повышенную чувствительность к закалке, чем хромистые стали.

Хромовольфрамовые стали содержат присадку хрома и вольфрама. Эти стали обладают малой деформацией при термической обработке, а потому находят применение при изготовлении инструмента сложной формы. Сталь ХВ5 называется алмазной, так как она имеет высокую твердость (H_{R_C} до 70) и износоустойчивость. Однако красностойкостью эта сталь не обладает, а потому инструмент из этой стали не может работать при высоких скоростях резания, когда имеет место большое тепловыделение. Но при обработке на малых скоростях резания сталь является высокостойкой. Она применяется для обработки твердых мате-

риалов (отбеленного чугуна, нагартованных поверхностей и т. д.) на низких скоростях резания при стружках малого сечения.

Таблица 5

Некоторые группы и марки легированной инструментальной стали

Группа стали	Марка стали	Химический состав в %				
		Углерод	Марганец	Кремний	Хром	Вольфрам
Хромистая	Х12	2,00—2,30	⩽0,35	⩽0,40	11,5—13,0	—
	ХГ	1,30—1,50	0,45—0,70	⩽0,35	1,30—1,60	—
	Х	0,95—1,10	⩽0,40	⩽0,35	1,30—1,60	—
Хромокремнистая	9ХС	0,85—0,95	0,30—0,60	1,20—1,60	0,95—1,25	—
Хромовольфрамовая	3ХВ8 *	0,30—0,40	0,20—0,40	⩽0,35	2,20—2,70	7,50—9,00
	ХВ5 **	1,25—1,50	⩽0,30	⩽0,30	3,40—4,70	4,50—5,50
	ХВГ	0,90—1,05	0,80—1,10	0,15—0,35	0,90—1,20	1,50—1,60
	9ХВГ	0,85—0,95	0,90—1,20	0,15—0,35	0,50—0,80	0,50—0,80
Хромоникелевая	5ХНМ ***	0,50—0,60	0,50—0,80	⩽0,35	0,50—0,80	Никель 1,40—1,80
	6ХНМ ***	0,60—0,70	0,50—0,80	⩽0,35	0,50—0,80	1,40—1,80

* Ванадий 0,20—0,50%.
** Ванадий 0,15—0,30%. Обязательное присутствие оговаривается заказчиком.
*** Молибден 0,15—0,30%.

Хромоникелевые стали, содержащие малое количество углерода, и присадки, способствующие повышению прокаливаемости (хром, никель, марганец), обладают большой вязкостью и глубокой прокаливаемостью.

Для изготовления металлорежущего инструмента наибольшее применение находят марки Х, 9ХС, 9ХВГ.

БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Если в вольфрамовой стали повысить содержание вольфрама до 11—19%, а хрома — до 3—5%, то инструмент, изготовленный из такой стали, выдерживает температуру нагрева до 600° С, не теряя при этом своих режущих свойств. Такая сталь называется быстрорежущей. Она дает возможность инструменту работать на скоростях резания, в 2—3 раза превышающих скорости, допускаемые инструментом, изготовленным из инструментальной углеродистой стали. По ОСТ 4112 устанавливаются марки быстрорежущих сталей, приводимые в табл. 6.

Таблица 6

Марки быстрорежущих сталей и их химический состав

Химический состав в %	Марки стали		
	РК5	ЭИ262	РФ1
Углерод С	0,65 -0.77	0,85—0,95	0,70—0,80
Вольфрам W	17,0—18,5	8,5—10,0	17,5—19,0
Ванадий V	1,0—1,4	2— 2,6	1,0—1,4
Кобальт Со	4,5—5,5	—	—
Молибден Мо	0,3—0,6	—	0,3 *
Хром Cr	3,6—4,5	4— 4,6	3,8—4,6
Марганец Mn	⩽0,40	⩽0,45	⩽0,40
Кремний Si	⩽0,40	⩽0,45	⩽0,40
Никель Ni	⩽0,20	⩽0,35	⩽0,20
Сера S	⩽0,030	⩽0,035	⩽0,030
Фосфор P	⩽0,030	⩽0,04	⩽0,030

* Оговаривается заказчиком.

Наиболее распространенной является сталь РФ1, содержащая 17,5—19% вольфрама. Сталь Р отличается от стали РФ1 меньшим содержанием ванадия. По своим свойствам она близка к стали РФ1, но обладает меньшей режущей способностью. Сталь РК5 обладает более высокими режущими свойствами, чем сталь РФ1. Но в связи с наличием в ней 5% кобальта она применяется для инструмента, работающего в тяжелых условиях, например, при обработке сталей с высоким пределом прочности (до 140 *кг/мм*^{2}), при сверлении трудно обрабатываемых сталей аустенитового класса и др. Сталь марки РО имеет низкие режущие свойства, а потому в настоящее время для изготовления режущего инструмента не применяется. Сталь РФ2, имея малое содержание углерода и высокое содержание ванадия, не дает высокой твердости после закалки и отпуска.

Основным недостатком высоковольфрамовых быстрорежущих сталей является дефицитность входящих в них легирующих элементов. Поэтому была поставлена задача замены таких сталей другими (малолегированными), которая успешно была разрешена в СССР в период 1936—1939 гг.

Основное отличие малолегированных быстрорежущих сталей от высоковольфрамовых быстрорежущих заключается в том, что в них количество вольфрама понижено (а в отдельных сталях исключено совсем), а количество хрома повышено.

В промышленности широкое распространение получила малолегированная быстрорежущая сталь ЭИ262, являющаяся модификацией стали РФ2. Химический состав стали ЭИ262 в %: $C = 0{,}85 \div 0{,}95$ $W = 8{,}5 \div 10$; $V = 2 \div 2{,}6$; $Cr = 4 \div 4{,}6$; Mn — не более 0,45; Si — не более 0,45;

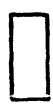
Ni — не более 0,35; S — не более 0,35; P — не более 0,04. При вдвое меньшем содержании вольфрама эта сталь по своим режущим свойствам равноценна стали РФ1.

Из всех быстрорежущих сталей в настоящее время употребляются в основном стали ЭИ262 и РФ1.

Так как непосредственное резание производит режущая часть инструмента (головка), то нет необходимости делать инструмент целиком из дорогой быстрорежущей стали. В связи с этим применяются пластинки, навариваемые на державку из менее дорогой конструкционной стали. Форма и размер пластинок определяются ГОСТ 2379-44. В табл. 7 приводятся формы пластинок и их назначение.

Таблица 7

Форма пластинок из быстрорежущей стали и их назначение

№ формы	Эскизы пластинок	Назначение пластинок	№ формы	Эскизы пластинок	Назначение пластинок
41		Для проходных отогнутых широких чистовых резцов	47		Для резьбовых резцов
42		Для токарных проходных отогнутых, а также для токарных подрезных резцов	48		Для строгальных двухсторонних и фасонных резцов
43		Для токарных и строгальных отогнутых подрезных резцов	49		Для отрезных и прорезных резцов
44		Для прямых проходных $\varphi = 45°$ (правые и левые) резцов	50		Для строгальных резцов для строжки ласточкина хвоста
45		Для прямых проходных $\varphi = 60°$ (правые и левые) резцов	51		Для токарных резцов для проточки канавок под выход резьбы
46		Для расточных резцов для глухих отверстий и для строгальных подрезных	52		Для чистовых проходных и галтельных резцов

Приведенные пластинки применяются в основном для резцов. В целях экономии быстрорежущих сталей при изготовлении более сложного инструмента (сверла, зенкеры, развертки, метчики, фрезы и др.) он

делается сварным: рабочая часть — из быстрорежущей стали, а хвостовая — из конструкционной стали. Из быстрорежущей стали делаются и цельные режущие зубья (для фрез, зенкеров и др.), закрепляемые тем или иным способом в корпусе, сделанном из менее дорогой конструкционной стали.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Инструментальные стали выпускаются в виде прутков и полос, форма и размер которых определяются соответствующими ГОСТ (ГОСТ 1133-41 на круглое и квадратное сечение, ОСТ 10007-38 на полосовую сталь прямоугольного сечения). В них даются технические условия и допускаемые отклонения в размерах.

Качество инструментальных сталей, выпускаемых металлургическими заводами, определяется техническими условиями на них, которые даются в соответствующих стандартах (ГОСТ В-1435-42 — для инструментальных углеродистых сталей, ОСТ 14958-39 — для инструментальных легированных сталей, ОСТ НКТП 4112 — для инструментальных быстрорежущих сталей). Согласно этим техническим условиям сталь должна поставляться установленного химического состава в отожженном состоянии, определенной микроструктуры и твердости, с определенной глубиной обезуглероженного слоя, без поверхностных пороков и т. д. По всем этим данным завод-изготовитель производит контроль. Для предотвращения брака контроль производится и на заводе-потребителе.

№ группы	Характеристика стали по чувствительности к закалке при температурах		
	780°	820°	860°
0	1 мм	1,5 мм	2 мм
1	1,5	3	4
2	3–4	6–7	Сквозная без перегрева
3	3,5–4	Сквозная без перегрева	Сквозная с перегревом
4	Сквозная без перегрева	Сквозная с перегревом	Сквозная с перегревом и трещинами

Фиг. 23. Шкала прокаливаемости для углеродистой инструментальной стали (сечение образцов 20×20 *мм*).

Важной проверкой для инструментальных углеродистых и некоторых легированных сталей является проверка на прокаливаемость. Различный инструмент требует закалки на различную глубину. Так, например, сверла должны закаливаться по всему сечению перемычки, так как в противном случае после переточки сверло будет работать незакаленной частью. Для разверток нужно иметь закаленным только зуб, так как сердцевина ее непосредственного участия в резании не принимает. Мягкая сердцевина при этом будет облегчать правку развертки после термической обработки.

На фиг. 23 дана шкала прокаливаемости для инструментальной углеродистой стали по данным завода „Электросталь". Чем больше глубина прокаливаемости, тем больше номер группы.

Каждая группа шкалы применима для определенного размера того или иного инструмента. Чем больше инструмент, тем больший номер группы должна иметь сталь. Сталь, имеющая группу прокаливаемости 0 (малую прокаливаемость), мало применима, так как инструмент, изготовленный из такой стали, не будет иметь достаточной глубины закалки. Увеличение прокаливаемости может быть достигнуто повышением температуры закалки. Но это приводит к укрупнению зерна, что делает сталь более хрупкой.

Качество инструментальной стали характеризуется также возникновением трещин при термической обработке. Если материал дает закалочные трещины, то инструмент, изготовленный из такого материала, не будет прочным, и во время работы возможна его поломка. Контроль закалочных трещин производится путем многократных закалок. Закалка повторяется несколько раз до тех пор, пока трещины не будут обнаружены, что выявляется простым осмотром образцов. Более надежным является осмотр простым глазом поверхности, замоченной в керосине и слегка обдутой песком. Керосин выступает через некоторое время по краям трещины. Такой способ позволяет улавливать более мелкие трещины.

Еще более мелкие трещины можно обнаружить с помощью электромагнита. В этом случае образец кладется на полюсы электромагнита и намагничивается. Магнитные силовые линии рассеиваются вокруг трещины, которую можно выявить, если полить намагниченную часть образца суспензией железной пыли в трансформаторном масле. Железная пыль сконцентрируется в местах рассеяния магнитного потока, т. е. вдоль трещины. Чем больше число закалок до появления трещин, тем лучше материал. Материал, давший трещину при первой закалке, считается бракованным.

Для быстрорежущей стали особенно важным является контроль твердости в состоянии поставки с металлургического завода. При твердости $H_B > 255$ возможно появление закалочных трещин. От каждой плавки обязателен контроль на термическую обработку (закалка и отпуск). Для быстрорежущих сталей после нормальной термической обработки (закалка и отпуск) твердость должна быть 62—65 H_{R_C}. Для сложного инструмента (плоских плашек, резьбовых гребенок, метчиков, резьбовых фрез и др) быстрорежущую сталь надлежит проверить и по микроструктуре. В состоянии поставки структура должна представлять собой сорбитообразную массу с равномерно распределенными в ней мелкими карбидами.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Режущий инструмент нецелесообразно делать целиком из дорогостоящих инструментальных сталей, а потому широкое распространение находит составной и сборный инструмент, у которого нерабочая (хвостовая) часть и корпус делаются из конструкционных сталей. Для этой цели применяются углеродистые стали (40, 45, 50 по ГОСТ В-1050-41)

и качественные стали (40Х, 45Х, 40ХН по ОСТ 7124). Химический состав сталей 45, 50 и 40Х приведен в табл. 8.

Таблица 8

Химический состав некоторых конструкционных сталей, применяемых для изготовления составного и сборного режущего инструмента

Химический состав в %	Углеродистые стали (марка)		Качественные стали (марка)
	45	50	40Х
Углерод	0,40—0,50	0,45—0,55	0,35—0,45
Марганец	0,50—0,80	0,50—0,80	0,50—0,80
Кремний	0,17—0,37	0,17—0,37	0,17—0,37
Хром	Не более 0,30	Не более 0,30	0,8—1,10
Никель	„ „ 0,30	„ „ 0,30	0,30
Сера	„ „ 0,045	„ „ 0,045	0,040
Фосфор	„ „ 0,045	„ „ 0,045	0,040
Сумма серы и фосфора не более	—	—	0,075

Углеродистые стали применяются для корпусов сборных разверток, державок для резцов, хвостовых частей стержневого инструмента, втулок, гаек, винтов и др.

Качественные стали применяются для изготовления корпусов инструмента, работающего в более тяжелых условиях (например, фрезы). Наибольшее применение находит сталь 40Х, которая после закалки в масло и отпуска дает возможность сохранить точность пазов, в которые вставляются режущие резцы (ножи).

Кроме указанных конструкционных сталей для державок резцов (ножей) сборных фрез применяются также инструментальные углеродистые стали У7А и У8А. Они употребляются при применении твердых сплавов, требующих жестких условий работы. В последнее время для корпусов литого инструмента применяют также специальный чугун.

ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Качество материала, применяемого для изготовления рабочей части режущего инструмента, может быть охарактеризовано той наибольшей температурой, при которой инструмент не теряет своих режущих качеств. Чем выше эта критическая температура, тем с более высокими режимами резания можно работать. Поэтому очень важно было найти материалы, которые выдерживали бы высокую температуру, возникающую в процессе резания. Такими материалами в настоящее время являются твердые сплавы.

Режущие инструменты из инструментальных углеродистых сталей не теряют режущих свойств в процессе резания при нагреве до 250°, а инструменты из быстрорежущих сталей — до 600° С. Режущие инструменты, оснащенные твердыми сплавами, выдерживают температуру на-

грева до 900—1000°, сохраняя при этом высокую твердость. Это дает возможность производить резание металлов такими инструментами на высоких скоростях. В настоящее время при соответствующей геометрии режущей части инструмента скорость резания доходит до 1800 *м/мин* при обработке стали 45 и до 4000 *м/мин* — при обработке алюминия. Кроме того, твердые сплавы дали возможность обрабатывать закаленные и трудно обрабатываемые стали, которые раньше не поддавались резанию.

Успешное применение в металлообрабатывающей промышленности твердых сплавов дает основание сказать, что для такого широко распространенного инструмента, как резцы и торцевые фрезы, твердые сплавы являются основным материалом, вытеснив тем самым быстрорежущую сталь. Все более широкое применение находят твердые сплавы и в других видах режущего инструмента (зенкеры, развертки, сверла, червячные фрезы и др.).

Твердые сплавы разбиваются на две группы:

1) литые твердые сплавы;

2) металло-керамические твердые сплавы.

Большим недостатком литых твердых сплавов является их хрупкость, а потому в обработке металлов резанием они не применяются, будучи вытесненными более высококачественными металло-керамическими твердыми сплавами.

Металло-керамические твердые сплавы состоят из карбидов тугоплавких материалов, связанных твердым раствором карбидов в цементирующем веществе. В качестве тугоплавких материалов применяются вольфрам и титан, а в качестве связующего (цементирующего) вещества — кобальт и реже никель. Эти сплавы делаются однокарбидными (содержащими карбиды вольфрама) и двухкарбидными (содержащими карбиды вольфрама и титана). Металло-керамические сплавы тверже литых и более вязки. Они изготовляются прессованием соответствующих порошков с последующим их спеканием.

Прежде чем производить прессование и спекание, необходимо приготовить порошки карбидов и связующего вещества. Карбид вольфрама получается путем смешения порошка чистого вольфрама с сажей и соответствующим прокаливанием при температуре 1400—1500° С в течение 2—2,5 часов. Прокаливание производится в водородной атмосфере в электрических или газовых печах. Полученный таким образом карбид вольфрама размельчается до мелкого порошка и смешивается с цементирующим веществом (кобальтом). Это смешение можно производить при одновременном размельчении в шаровых мельницах зерен карбидов и зерен кобальта. Процесс смешения продолжается несколько суток.

Кроме такого механического способа смешения применяется и химический.

При изготовлении двухкарбидного сплава приготовленную смесь карбида вольфрама и кобальта смешивают с карбидом титана.

После приготовления такой смеси она связывается склеивающим веществом (3%-ный раствор синтетического каучука в бензине). Полученная масса подвергается сначала прессованию, а затем спеканию.

Прессование производится под большим давлением (от 700 до 4200 *кг/см*^{2}) в специальных формах из твердого сплава или закаленной стали. После этого пластинки (или изделия другой формы) сушатся. Спекание производится в электропечах в атмосфере водорода в две операции.

Предварительное спекание происходит при температуре около 800° С. Изделие при этом получается малой прочности, что дает возможность придать ему соответствующую форму (резанием или шлифованием) перед окончательным спеканием, после которого обработка изделия затруднительна.

Окончательное спекание производится при температуре 1400 — 1500° С. При этом кобальт переходит в жидкое состояние, в котором частично растворяются карбиды, остающиеся после остывания в виде твердого раствора. В результате получается плотная и очень твердая пластинка, соответствующая форме, в которой происходило прессование.

Полученные таким образом твердые сплавы имеют высокую плотность (удельный вес), твердость и износоустойчивость при высоких температурах. Теплоемкость твердых сплавов меньше теплоемкости быстрорежущей стали, а теплопроводность примерно та же.

Металло-керамические твердые сплавы, выпускаемые в СССР, делятся на две основные группы:

1) однокарбидные вольфрамокобальтовые сплавы, состоящие из карбида вольфрама (WC) и кобальта; к ним относятся сплавы ВК3, ВК6, ВК8 и др.;

2) двухкарбидные вольфрамотитанокобальтовые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама, карбидов титана и кобальта; к этой группе сплавов относятся сплавы Т5К10, Т15К6, Т30К4 и др.

В обозначении сплавов вольфрамокобальтовой группы цифра показывает процентное содержание в сплаве кобальта. Например, в сплаве ВК8 — 8% кобальта и 92% карбидов вольфрама. В обозначении сплавов вольфрамотитанокобальтовой группы цифра после буквы К показывает процентное содержание кобальта, а цифра после буквы Т — процентное содержание карбидов титана. Например, в сплаве Т15К6 — 6% кобальта, 15% карбидов титана и остальное — карбиды вольфрама.

В табл. 9 даются химический состав и физико-механические свойства наиболее распространенных твердых сплавов.

Чем больше в сплаве карбидов, тем выше его твердость. Но с увеличением твердости уменьшается вязкость твердого сплава. Он делается более хрупким и плохо выносит ударную нагрузку.

Вязкость сплава зависит в основном от содержания в нем кобальта. На вязкость оказывает влияние также и размер зерна. Чем мельче зерно, тем более вязок сплав. Вольфрамокобальтовые сплавы более вязки и менее хрупки, чем вольфрамотитанокобальтовые сплавы. Это объясняется тем, что в последних находится большое количество свободных карбидов титана, которые очень хрупки. Поэтому при обработке чугунов, когда получается стружка надлома и ударная пульсирующая нагрузка на режущее лезвие, рекомендуется применять сплавы

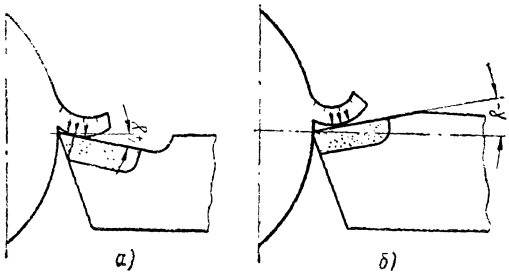
вольфрамокобальтовой группы как более вязкие. При обработке стали, когда процесс резания протекает более спокойно и когда имеет место большое истирающее действие на передней грани со стороны сходящей стружки, рекомендуется применять сплавы вольфрамотитанокобальтовой группы, которые по сравнению со сплавами вольфрамокобальтовой группы более тверды и износоустойчивы, но менее вязки.

Таблица 9

Химический состав и физико-механические свойства твердых сплавов

Марка сплава	Примерный химический состав в %			Физико-механические свойства		
	WC	Co	TiC	Предел прочности при изгибе в *кг/мм²*	Удельный вес	Твердость по Роквеллу шкала А
				Не менее		
ВК3, ВК3а . . .	97	3	—	100	14,9	89
ВК6, ВК6а . . .	94	6	—	120	14,6	88,5
ВК8	92	8	—	130	14,4	88
Т5К10	85	10	5	115	12,4	88,5
Т15К6	79	6	15	110	11,1	90
Т30К4	66	4	30	90	9,5	91

Применение вольфрамокобальтовых сплавов при обработке чугуна, а вольфрамотитанокобальтовых при обработке стали во многом определяется и тем, что вольфрамотитанокобальтовые сплавы, имея бо́льшую красностойкость, имеют меньший коэфициент трения и меньшую слипаемость (свариваемость) со стальной стружкой, что способствует и меньшему износу режущего инструмента.



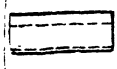
а) *б)*

Фиг. 24. Резец с положительным (*а*) и отрицательным (*б*) передним углом.

Мы уже говорили, что бо́лее производительным будет тот инструмент, материал которого выдерживает большую температуру нагрева, не теряя при этом твердости. Однако наряду с теплоустойчивостью и износоустойчивостью инструмент должен быть и достаточно прочным. Твердые же сплавы, имеющие высокую твердость и низкий предел прочности при изгибе (90—130 *кг/мм²*), не выдерживают больших нагрузок на режущее лезвие при положительном значении переднего угла γ. Для упрочнения режущего лезвия передний угол делается отрицательным (фиг. 24).

Таблица 10

Формы и назначение пластинок из металло-керамических твердых сплавов

Условное обозначение формы	Эскиз	Назначение (примерное)
01		Для проходных (прямых и отогнутых), чистовых широких, расточных и прорезных резцов
02		Для проходных (прямых и отогнутых), чистовых широких, расточных и прорезных резцов с наибольшим износом по задней грани
06		Для подрезных и расточных резцов (правых и левых) при расточке глухих отверстий
07		Для подрезных и проходных резцов (правых и левых)
10		Для проходных прямых и расточных резцов (правых и левых); для ножей подрезных и торцевых фрез
11		Для чистовых (проходных и расточных) и резьбовых резцов
12		Для чашечных (галтельных и бандажных) резцов
13		Для отрезных и прорезных резцов
14		Для сверл
15		Для резцов фасонных и для обработки пазов типа „ласточкин хвост" (правых и левых)
16		Для галтельных и бандажных резцов
17		Для сверл при обработке неметаллических материалов
18		Для круглофасонных резцов
20		Для торцевых фрез и цековок
21		Для концевых и шпоночных фрез. Для зенкеров при обработке глухих отверстий и цековок
24		Для дисковых, концевых и Т-образных фрез
25		Для зенкеров при обработке сквозных отверстий

Продолжение табл. 10

Условное обозначение формы	Эскиз	Назначение (примерное)	Условное обозначение формы	Эскиз	Назначение (примерное)
26		Для разверток	30		Для червячных фрез
27		Для облицовочных зенкеров	31		Для угловых фрез
28		Для комбинированных двухперых зенкеров	32		Для резцов канавок в шкивах под клиновые ремни
29		Для шпоночных протяжек			

При положительном значении переднего угла γ пластинка испытывает деформации изгиба и среза (фиг. 24, *а*), т. е. как раз те деформации, которые плохо выдерживает твердый сплав. При отрицательном переднем угле γ (фиг. 24, *б*) пластинка испытывает деформацию сжатия, которую хорошо выносят твердые сплавы (предел прочности твердых сплавов при сжатии превышает 400 *кг/мм*^{2}).

Такой инструмент, имеющий высокую теплоустойчивость и прочность (за счет отрицательного угла γ), позволяет вести обработку на высоких скоростях резания и обрабатывать твердые и закаленные металлы.

Наряду с отрицательным передним углом упрочнение режущего лезвия инструмента из твердого сплава достигается и положительным углом наклона λ главной режущей кромки.

Отрицательное значение переднего угла наряду с упрочнением режущего лезвия из твердого сплава приводит и к более тяжелым условиям резания. Поэтому отрицательный передний угол надо применять тогда, когда нагрузка на режущее лезвие такова, что при положительном переднем угле не обеспечивается достаточной его прочности.

Широкое применение твердых сплавов наряду с большей производительностью диктуется также и тем, что при правильном их использовании расход дорогих режущих металлов является более низким, чем при применении быстрорежущей стали.

Для металлорежущего инструмента металло-керамические твердые сплавы выпускаются в виде пластинок, форма и размер которых определяются ГОСТ 2209-49.

В табл. 10 приводятся формы пластинок и их назначение.

Пластинки каждой формы делаются нескольких размеров.

Технические условия на пластинки из металло-керамических твердых сплавов определяются ГОСТ 4872-49. Согласно этому ГОСТ нашей промышленностью в настоящее время выпускаются пластинки семи марок.

Примерное назначение марок твердых сплавов приводится в табл. 11.

Таблица 11

Примерное назначение марок твердого сплава

Марка сплава пластинок	Примерное назначение
ВК3а	Для обработки стекла, мрамора и электродных углей
ВК6	Для чистовой и черновой обработки чугуна, цветных металлов и сплавов при равномерном сечении стружки и при непрерывном резании. Для обработки неметаллических материалов
ВК6а	Для обработки твердого чугуна и неметаллических материалов
ВК8	Для черновой и получистовой обработки чугуна, цветных металлов и сплавов при неравномерном сечении стружки или при прерывистом резании. Для обработки неметаллических материалов
Т5К10	Для черновой обработки углеродистой и легированной стали с неравномерным сечением стружки или при прерывистом резании
Т15К6	Для чистовой и получистовой обработки углеродистой и легированной стали с относительно равномерным сечением стружки и при непрерывном резании
Т30К4	Для чистовой обработки стали при снятии тонких непрерывных стружек на высоких скоростях резания

ГЛАВА III

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

РОЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Износоустойчивость инструмента в работе. Целью всякой термической обработки является получение таких физических и физико-механических свойств стали, которые необходимы для данного изделия в соответствии с условиями его службы.

В то время как для деталей машин и строительных конструкций решающее значение имеет совокупность таких механических характеристик, как предел прочности, ударная вязкость, удлинение, поперечное сжатие — для режущего инструмента эти механические характеристики второстепенны.

Качество режущего инструмента определяется в основном его износоустойчивостью, способностью сохранять продолжительное время в хорошем состоянии режущие кромки. При этом крайне важно, чтобы режущее лезвие инструмента не притуплялось, не выкрашивалось, не изнашивалось быстро в условиях значительного нагрева инструмента в процессе резания.

Решающее значение в получении высокой износоустойчивости инструмента имеет, наряду с правильным выбором марки и качества стали для того или иного вида режущих инструментов, правильная термическая обработка.

В процессе резания наибольшее удельное давление падает на тонкие режущие кромки, которые подвергаются поэтому весьма значительному нагреву и истиранию. Следовательно, для получения износоустойчивого инструмента надо путем термической обработки обеспечить высокую твердость режущего лезвия $H_{R_C} = 60 \div 65$ и нормальную микроструктуру.

При работе с высокими скоростями резания и с большими нагрузками выделяется большое количество тепла. Следовательно, для работы в этих условиях необходимо применять для изготовления инструмента такие стали, которые при правильной термической обработке получают свойство красностойкости, т. е. способны сохранять высокую твердость при разогреве режущего лезвия до 600° С, а следовательно, износоустойчивы *при высоких режимах резания*. К этому классу относятся быстрорежущие стали. Кроме износоустойчивости для многих режущих инструментов важна также величина сопротивления кручению, особенно

для инструментов малого поперечного сечения. Поэтому во многих случаях бывает необходимо обеспечить и достаточно высокую твердость сердцевины инструмента.

Прочность хвостовика. Хвостовая часть ручных разверток и метчиков служит для закрепления инструментов. Конец хвостовой части развертки или метчика — квадрат — вставляется в вороток и передает вращение инструменту. Прочность хвостовика, предохранение его граней от выкрашивания и смятия углов обеспечиваются соответствующей термической обработкой. Эта обработка позволяет получить на хвостовой части инструмента твердость $H_{R_C} = 30 \div 40$, что обеспечивает предохранение углов как от выкрашивания, так и от смятия.

Хвостовая часть машинных разверток, машинных метчиков, сверл с коническим хвостом и других видов машинного инструмента может подвергаться смятию в процессе выбивания инструмента из патрона или шпинделя и должна иметь тоже повышенную твердость $H_{R_C} = 30 \div 40$, которая также достигается термической обработкой. Таким образом, основная цель термической обработки инструментов заключается:

1) в получении высокой износоустойчивости режущих кромок инструмента;

2) в получении прочной хвостовой части инструмента.

В зависимости от вида и назначения инструмента термическая обработка может производиться или только для получения износоустойчивости режущих кромок (фрезы), или же она имеет целью, кроме того, придать достаточную механическую прочность хвостовику (стержневой инструмент — сверла, развертки, метчики, зенкеры).

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

Красностойкость быстрорежущей стали. Многие инструменты предназначены для работы при таких условиях резания, когда на режущей кромке инструмента развивается высокая температура, достигающая 600° С. Ни углеродистые инструментальные стали, ни легированные инструментальные стали не пригодны для изготовления подобного рода инструментов. Применение быстрорежущей стали для изготовления инструмента позволяет сохранить твердость режущей кромки инструмента в условиях высокого нагрева в процессе резания.

Способность сохранять твердость и износоустойчивость в горячем состоянии в течение продолжительного времени, т. е. красностойкость, является характерным свойством быстрорежущей стали.

Высокая красностойкость быстрорежущей стали в процессе резания определяется двумя основными условиями — химическим составом стали и особыми условиями ее термической обработки. По химическому составу быстрорежущая сталь характеризуется высоким содержанием легирующих элементов — хрома, вольфрама и ванадия при сочетании их с определенным содержанием углерода. Наличие в стали этих легирующих элементов позволяет получить путем соответствующей термической обработки такую микроструктуру стали которая обеспечивает красностойкость стали в процессе резания.

При нагреве закаленной углеродистой стали до температуры свыше 200° С растворенный углерод выделяется из мартенсита в виде цементита, и твердость углеродистой стали быстро падает. В быстрорежущей стали легированный мартенсит сохраняет свою высокую твердость при нагреве до высоких температур благодаря тому, что быстрорежущая сталь легирована такими элементами, которые затрудняют процесс распада легированного мартенсита.

Практически выделение специальных карбидов из мартенсита происходит при температурах выше 500° С. Следовательно, высокое содержание легирующих элементов в быстрорежущей стали обеспечивает сохранение мартенсита этой стали, а следовательно, и ее высокой твердости при нагреве до температур выше 500° С. При этом распад мартенсита и при температурах 500—550° С идет крайне медленно, что позволяет сохранять высокую твердость в горячем состоянии продолжительное время. Только нагрев выше 600° С значительно ускоряет процесс распада мартенсита и вызывает понижение твердости, поэтому температура 600° и является предельной для нагрева быстрорежущей стали в процессе резания.

Качество термически обработанной быстрорежущей стали определяется:

1) исходной микроструктурой и макроструктурой;
2) условиями закалки;
3) условиями отпуска.

Закалка быстрорежущей стали. Нагрев быстрорежущей стали при закалке до высоких температур, отстоящих недалеко от температуры плавления, является специфической особенностью термической обработки этой стали. Такой высокий нагрев быстрорежущей стали при закалке вызывается необходимостью растворить в аустените возможно большее количество специальных карбидов. Практически температуры нагрева для разных марок быстрорежущей стали колеблются в пределах 1200—1300° С.

Температуры нагрева применяемых в настоящее время быстрорежущих сталей приведены ниже:

Марка стали	Температура закалки в °С
Р	1270—1290
РФ1	1270—1290
ЭИ262	1230—1250
РК5	1280—1300

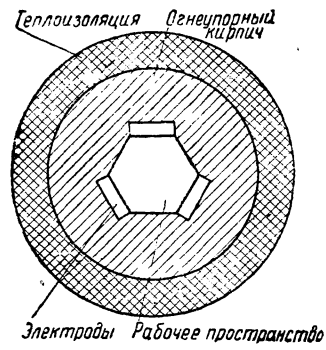
Теплопроводность быстрорежущей стали в 2—3 раза меньше теплопроводности углеродистых сталей, поэтому должен быть предусмотрен медленный нагрев стали от комнатных температур до температур, при которых образуется при нагреве аустенит, т. е. до 820—870° С.

Эту первую стадию нагрева называют подогревом при закалке и осуществляют в 1 или 2 цикла. Первый подогрев быстрорежущей стали производится при температуре 500—600° С в какой-либо пламенной печи. Второй подогрев быстрорежущей стали производится или в пламенных печах, или в соляных ваннах при температуре 830—860° С.

Во время второго подогрева необходимо обеспечить не только сквозной прогрев инструмента по всему сечению до указанной температуры, но необходимо также дать достаточную выдержку при данной температуре для того, чтобы в стали при низких температурах второго подогрева успел закончиться процесс превращения в аустенит. Таким образом, сталь будет подготовлена к окончательному нагреву при высоких температурах.

В противоположность медленному подогреву окончательный нагрев должен производиться по возможности быстро. Быстрый нагрев при высоких температурах необходим потому, что при длительной выдержке при высоких температурах чрезвычайно легко возникают такие дефекты быстрорежущей стали, как карбидная сетка по границам зерен аустенита и обезуглероживание поверхности инструмента, особенно его режущих граней.

Оборудование для нагрева. Первый подогрев (до 500—600° С) и второй подогрев (до 830—860° С) быстрорежущей стали могут производиться в печи любой конструкции. Необходимо только обеспечить в печи нейтральную или восстановительную атмосферу во избежание обезуглероживания инструмента и окисления его поверхности в процессе подогрева.



Фиг. 25. Горизонтальный разрез электродной соляной ванны для закалки инструментов.

Во многих случаях для второго подогрева инструмента при 830—860° С целесообразно применять соляные ванны, содержащие расплавленную смесь солей $BaCl_2$ — 78% и NaCl—22%.

Время выдержки при подогреве в соляной ванне принимается из расчета 2 мин. на 1 *см* диаметра инструмента.

Окончательный нагрев инструмента производится в электродной соляной ванне, наполненной расплавленным хлористым барием. Нагрев печи осуществляется электрическим током. Электрический ток подводится к печи при помощи электродов — пластин из мягкого железа. Электродная ванна выкладывается из плотно подогнанного шамотного кирпича, образующего рабочее пространство печи в виде шестигранной призмы (фиг. 25). Электроды, подводящие ток, заделываются в три боковые стенки печи и одной боковой поверхностью обращены внутрь ванны, соприкасаясь с расплавленной солью. Высокое электросопротивление хлористого бария позволяет получать высокие температуры нагрева (до 1300° С). Нагреваемый в ванне инструмент не должен соприкасаться с железными электродами ванны, так как это приводит к местному оплавлению инструмента.

Время выдержки. Необходимое время выдержки инструмента в электродной соляной ванне при окончательном нагреве определяется в зависимости от формы и размеров инструмента. Практически принимают для всех сверл, разверток, зенкеров и метчиков из стали Р,

Р Ф1 и ЭИ262 время выдержки из расчета от 1 до 1,2 мин. на 1 *см* диаметра изделия независимо от его конфигурации.

В то время как излишняя выдержка при закалке приводит к перегреву и обезуглероживанию инструмента, недостаточная выдержка приводит к недостаточному растворению карбидов, малой легированности аустенита и в результате этого к понижению твердости при последующем отпуске.

Таким образом, только строгое соблюдение режима нагрева как по температуре, так и по выдержке обеспечивает правильную закалку быстрорежущей стали.

Охлаждение при закалке. Обычно в качестве охладителей применяется или масло с температурой от 20 до 100° С, или струя воздуха, или расплавленная соль.

Из этих охладителей наибольшее применение имеют горячие соли, второе место занимает масло (веретенное). Нагрев масла выше 100° С не рекомендуется во избежание вспышки масла при закалке. Для лучшей циркуляции масла при закалке, способствующего более равномерному охлаждению изделий и охлаждению самого масла, применяется перемешивание масла в закалочном баке струей воздуха от вентилятора. Но масло как охлаждающая среда при закалке быстрорежущей стали имеет ряд недостатков. Кроме опасности воспламенения существенным недостатком при закалке в масло является повышенная деформация изделий по сравнению с закалкой в горячих солях, а при закалке в масло крупных, массивных фрез возможно и возникновение трещин.

При закалке длинных и тонких изделий в масло отмечается довольно значительная поводка, искривление оси изделий.

В особо неблагоприятных условиях происходит закалка в масло концевого инструмента, подвергавшегося стыковой сварке и имеющего сварной шов или на рабочей части (например, на спирали сверл), или близко около нее (метчики, развертки). В этом случае часто возникают трещины или по сварному шву, или на расстоянии 1,5—2 *мм* от него.

Указанные недостатки ограничивают применение масла как закалочной среды при закалке. Охлаждение в масле производится только для изделий несложной формы, как, например, вставные ножи для сборного инструмента.

Охлаждение в масле также часто применяют при закалке мелких сверл.

Лучшей средой охлаждения при закалке быстрорежущей стали являются расплавленные соли. Наиболее широко применяются в качестве охлаждающих сред ванны из расплавленной калиевой селитры KNO_3.

После окончательного нагрева в электродной соляной ванне инструменты некоторое время подстуживаются на воздухе и затем охлаждаются в ванне из расплавленной калиевой селитры, имеющей рабочую температуру 400—500° С. Дальнейшее охлаждение производится на спокойном воздухе.

Такое ступенчатое охлаждение при закалке быстрорежущей стали имеет ряд существенных преимуществ сравнительно с закалкой в масло.

Охлаждение в горячих солях значительно уменьшает закалочную деформацию, устраняет закалочные трещины на массивных изделиях и резко сокращает брак по трещинам по сварному шву.

Твердость быстрорежущей стали после правильной закалки должна быть в пределах $H_{R_C} = 62 \div 65$. Но одна только твердость еще не характеризует качества закалки. Только исследование микроструктуры или определение процента остаточного аустенита позволяет сделать заключение о правильности закалки стали.

Отпуск быстрорежущей стали. Отпуск быстрорежущей стали обычно производится при температуре 550° С. Во время выдержки при этой температуре из остаточного аустенита выделяются мелкодисперсные карбиды; выделение этих карбидов из аустенита обедняет аустенит углеродом и легирующими примесями, и остаточный аустенит становится поэтому менее устойчивым Такой несколько обедненный аустенит при охлаждении частично превращается в мартенсит, который называют вторичным мартенситом. За счет образования вторичного мартенсита твердость быстрорежущей стали при отпуске остается или неизменной, или даже несколько повышается — это явление известно под названием вторичной твердости, а сам процесс превращения при отпуске остаточного аустенита в мартенсит называют вторичным мартенситным превращением.

Если повторить отпуск несколько раз, то распад остаточного аустенита будет более полным. Поэтому на практике обычно применяют многократный отпуск.

Режим отпуска быстрорежущей стали, таким образом, состоит в нагреве до температуры 550° С, выдержке в течение 1 часа при этой температуре и охлаждении до комнатной температуры. Такой отпуск повторяется несколько раз и называется многократным. Для стали РФ1 и Р рекомендуется 2—3-кратный отпуск, для стали ЭИ262—3—4-кратный.

Отпуск осуществляется обычно в электровоздушных отпускных вертикальных печах с циркуляцией воздуха. Печи снабжаются вентилятором для перемешивания воздуха и создания одинаковой температуры по всему рабочему пространству печи. Изделия загружаются в печь в дырчатых корзинах, что способствует лучшему омыванию изделий горячим воздухом. Отпускные печи снабжаются автоматическими регулирующими приборами, обеспечивающими соблюдение температуры отпуска.

Особенность закалки сварного инструмента. Большое значение имеет правильное расположение сварного шва на стержневых инструментах. В процессе нагрева при закалке инструмент погружается в ванну таким образом, чтобы верхняя зона рабочей части инструмента находилась ниже уровня соли в ванне. Кроме того, инструмент за счет теплопроводности прогреется еще на некоторую часть своей длины, выступающей над поверхностью ванны. Следовательно, во избежание сильного перегрева сварной шов должен располагаться выше рабочей части инструмента на величину, примерно равную диаметру рабочей части.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Сверла с цилиндрическим хвостом. Сверла диаметром до 3 *мм* нагреваются при закалке в вертикальных муфельных газовых печах. Для этой цели применяются обычно двухмуфельные печи с одним подогревательным муфелем, изготовляемым из жаропрочной стали, и одним керамическим муфелем для окончательного нагрева; лучшими керамическими муфелями являются тонкостенные карборундовые муфели, обладающие довольно значительной теплопроводностью. Нагрев в муфелях характеризуется тем, что здесь отсутствует соприкосновение сверл с печными газами. Передача тепла внутрь муфеля производится через стенки муфеля за счет его теплопроводности. Сверху оба муфеля накрываются крышками. В крышках муфелей имеется ряд отверстий для помещения в них сверл. Сверло удерживается за его хвостовую часть клещами и через отверстия в крышках опускается рабочей частью в муфель. В подогревательном муфеле поддерживается температура 800—900° С, в муфеле окончательного нагрева — температура закалки. Измерение температуры в муфеле производится при помощи платино-платинородиевой термопары, заключенной в фарфоровую трубку и погруженную через одно из отверстий в крышке в муфель.

Время выдержки при нагреве сверл в муфеле окончательного нагрева в 1,5—1,8 раза более соответствующего времени нагрева в соляной ванне.

Охлаждение сверл диаметром до 3 *мм* производится на плите, помещенной в масляном бачке. Во время охлаждения сверло прокатывается по плите металлическим утюгом, что производится с целью уменьшения закалочных деформаций.

Сверла диаметром 3,1 — 15 *мм* нагреваются при закалке в плоских клещах. Подогрев сверл в таких клещах производится обычно в вертикальной газовой шахтной печи, открытой сверху. Окончательный нагрев происходит в соляной ванне обычным образом.

Сверла с коническим хвостом диаметром 4—70 *мм*. Подогрев сверл обычно производится в горизонтальных камерах газовых печей. Окончательный нагрев сверл происходит в соляной ванне.

По окончании установленной выдержки конические сверла вынимаются из соляной ванны и подстуживаются на воздухе в вертикальном положении приблизительно до 1000° С, затем сверла переносят в горячую селитровую ванну, имеющую температуру 400—550° С. Назначением подстуживания стержневого инструмента является снижение закалочных деформаций за счет уменьшения разности температур между нагретым изделием и охлаждающей средой.

Развертки машинные и котельные, метчики гаечные, зенкеры и хвостовые фрезы. Закалка их производится при подогреве в камерных печах с окончательным нагревом в соляной ванне, подстуживанием на воздухе и охлаждением в селитровой ванне при 400—550° С.

Фрезы с отверстиями. Различные виды фрез с отверстиями обрабатываются принципиально одинаковым методом — с медленным подо-

гревом до 830—860° С в газовых камерных печах, с окончательным нагревом в соляных ваннах, подстуживанием на воздухе, охлаждением в селитровой горячей ванне при 400—500° С.

Различие в конфигурации и величине фрез вносит только некоторые особенности в режимы обработки, а именно: для крупных фрез обязательны: первый подогрев при 500—650° и второй подогрев при 830—860° С.

Мелкие фрезы могут подогреваться только один раз при 830—860° С, минуя первый подогрев.

Закалку больших фрез можно производить только в больших электродных соляных ваннах, где обеспечивается достаточное расстояние от фрез до электродов (не менее 60 *мм*) и большая стабильность температур за счет большого объема ванны.

Плашки для раздвижных самооткрывающихся метчиков. К термической обработке этого инструмента предъявляются повышенные требования. Каждая плашка подвергается тщательному контролю не только по твердости, но и по микроструктуре. Требования по микроструктуре заключаются в обеспечении отсутствия крупноигольчатого мартенсита и большого количества остаточного аустенита.

Термическая обработка этого инструмента производится особенно тщательно. Интервал закалочных температур суживается до 1270—1280° С. Нагрев плашек производится на специальных приспособлениях, где плашка устанавливается на ребро и соприкасается с приспособлением лишь в нескольких точках.

Протяжки круглые и плоские. Закалка протяжек длиной до 600 *мм* может осуществляться в соляных ваннах. Для этого необходимо применять специальные соляные ванны, имеющие глубину не менее 800 *мм*.

Подогрев протяжек до 830—860° С можно производить различным образом, но лучшим способом является подогрев их в глубоких соляных ваннах, содержащих смесь солей 78% $BaCl_2$ + 22% NaCl. При окончательном нагреве в соляной ванне при 1260—1280° С протяжка должна находиться в строго вертикальном положении, будучи подвешена на проволоке. Это уменьшает деформацию в процессе нагрева. Затем протяжку подстуживают на воздухе в строго вертикальном положении; после этого протяжка охлаждается в горячей селитровой ванне или на воздухе и немедленно, в горячем виде, подвергается правке. Отпуск протяжек необходимо производить тоже в вертикальном положении. При закалке протяжек длиной более 700 *мм* применяются специальные вертикальные электрические печи сопротивления с защитной атмосферой.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛЕГИРОВАННОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

Влияние легирующих элементов на рост зерна аустенита. Все легирующие элементы за исключением марганца уменьшают рост зерна аустенита при нагревании стали. Но они препятствуют росту зерна в различной степени в зависимости от того, в каком количестве и в какой форме находятся легирующие элементы в стали.

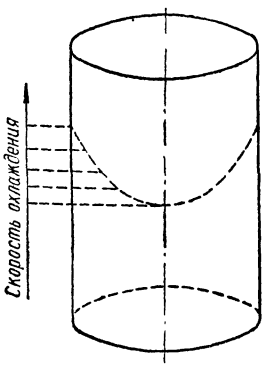
Легирующие элементы, растворенные в феррите, слабо влияют на рост зерна аустенита.

Легирующие элементы, содержащиеся в карбидах, повышают устойчивость карбидов, затрудняют их растворение в аустените при нагревании. Наличие этих устойчивых карбидов и затрудняет рост аустенитного зерна, препятствует перегреву стали. Именно поэтому легированные инструментальные стали гораздо менее склонны к перегреву, чем обычные углеродистые стали, это значительно облегчает термическую обработку инструмента.

Критической скоростью закалки называют минимальную скорость охлаждения, переохлаждающую аустенит до мартенситного превращения.

Легирующие элементы снижают критическую скорость закалки стали. Чем меньше критическая скорость закалки, тем легче переохладить аустенит до температур начала мартенситного превращения, т. е. в легированных сталях мартенсит при закалке может быть получен при меньшей скорости охлаждения, чем в углеродистых сталях (при одинаковом содержании углерода).

Особенно значительно роль легирующих элементов и преимущества легированной стали по сравнению с углеродистой сказываются при закалке изделий, имеющих большое поперечное сечение. В этом случае огромное значение приобретает прокаливаемость стали, которая в свою очередь зависит от критической скорости закалки данной стали.



Фиг. 26. Уменьшение скорости охлаждения от поверхности к центру цилиндрического образца.

Прокаливаемость стали. Для инструментальных сталей под прокаливаемостью подразумевают глубину проникновения мартенситной зоны в закаленную сталь, т. е. глубину зоны, имеющей твердость мартенсита. Изделие, нагретое при закалке по всему сечению до аустенитного состояния, может после охлаждения прокалиться на различную глубину. Мартенситная зона может образоваться по всему сечению изделия, тогда имеет место сквозная прокаливаемость, и сталь называют чувствительной к закалке.

В другом случае в центре сечения может не получиться мартенситной структуры, а она образуется лишь у поверхности, проникая на различную глубину. Эта глубина зависит от состава стали и величины поперечного сечения изделия; она зависит также и от величины зерна стали. Величина зерна стали в свою очередь зависит от условий плавки и разливки стали при ее изготовлении.

Охлаждение при закалке изделия определенного сечения происходит неравномерно: скорость охлаждения поверхности изделия всегда больше скорости охлаждения центра. Если, например, охлаждать цилиндрический образец с какой-то определенной скоростью, то скорость охлаждения различных точек его поперечного сечения будет убывать от поверхности к центру по некоторой параболической кривой (фиг. 26).

. Благодаря снижению легирующими примесями критических скоростей закалки на многих легированных инструментальных сталях можно получать сквозную прокаливаемость на больших сечениях.

Охлаждающие среды при закалке. В качестве охлаждающих сред при закалке легированных и углеродистых сталей применяют главным образом различные жидкие среды. Механизм действия жидких охлаждающих сред при закалке сводится к следующему.

В начале охлаждения при соприкосновении нагретого металла с охлаждающей жидкостью на поверхности металла образуется паровая рубашка, которая малотеплопроводна и задерживает охлаждение, затем эта пленка разрывается, и происходит энергичное охлаждение изделия за счет парообразования жидкости; температура изделия быстро понижается до температуры кипения жидкости. Дальнейшее охлаждение идет медленно путем теплоотдачи от поверхности металла к жидкости.

По данным проф. Штейнберга скорость охлаждения, получаемая при закалке в различных средах, представлена в табл. 12.

Таблица 12

Закаливающая среда	Скорость охлаждения в град сек в интервалах температур	
	650—550° С	300—200° С
Вода при 18°	600	270
„ „ 26°	500	200
„ „ 50°	100	170
„ „ 74°	30	200
Вода плюс 10% едкого натра	1200	300
„ „ 10% по аренной соли	1100	300
„ „ 10% соды	800	270
Дестиллированная вода	250	200
Мыльная вода	30	200
Минеральное масло	100—120	20—50

Эта таблица показывает, что скорость охлаждения в воде с различными добавками колеблется в верхнем интервале от 1200 до 30° в секунду, но при этом все водные растворы в мартенситном интервале 300—200° С дают очень высокую скорость охлаждения — 170—270° в секунду.

Такая высокая скорость охлаждения в мартенситном интервале чрезвычайно опасна для инструментальных сталей в отношении деформации и трещин, особенно при закалке инструментов больших сечений.

Как видно из таблицы, охлаждающая способность воды сильно колеблется в зависимости от ее температуры; для получения устойчивых результатов закалки необходимо поэтому пользоваться водой при температурах 15—30° С.

Весьма ценным качеством различных масел, применяемых для охлаждения при закалке, является их свойство сохранять почти одинаковую охлаждающую способность при изменении температуры масла от 20 до 100° С, что стабилизирует результаты закалки.

Недостатками масел в качестве охлаждающей среды являются легкая воспламеняемость их и изменение их свойств при длительной эксплоатации под действием высокой температуры.

Поверхность изделий, закаливаемых в масло, покрывается темным пригаром, который получается при разложении летучих составных частей масел под действием высокой температуры закаливаемых изделий.

Способы закалки. При закалке различных углеродистых и легированных инструментальных сталей применяют различные способы. Выбор того или иного способа закалки зависит от химического состава стали, величины зерна, от формы и размеров изделий и от требуемых свойств в результате закалки.

Закалка в одном охладителе. В этом случае все охлаждение с начала до конца осуществляется в каком-либо из охладителей, приведенных в табл. 12; чаще всего в качестве охладителя применяется для этой цели вода или масло. Нагретое изделие погружается, полностью или частично, на требуемую длину в охладитель и находится здесь до полного охлаждения. Многие инструменты из легированной стали можно обрабатывать таким способом, применяя в качестве охлаждающей среды масло. Из углеродистых сталей полной закалке в масло могут подвергаться лишь изделия толщиной до 6—10 *мм*.

Прерывистая закалка. Нагретое изделие охлаждается сначала в сильном охладителе, но не до конца; когда температура изделия достигает 100—150° С, изделие быстро перебрасывают в слабый охладитель, где оно находится до полного охлаждения.

Обычно в качестве первого сильного охладителя применяют воду, а в качестве второго, слабого охладителя — масло. Такой способ применяется, в частности, при закалке высокоуглеродистых инструментальных сталей.

Недостатком этого метода является трудность определения подходящего момента для переброски изделия из первого охладителя во второй. Если изделие будет вынуто слишком рано и не успеет миновать при охлаждении интервал быстрого распада аустенита, то вместо образования мартенсита произойдет трооститное превращение. При охлаждении толстого изделия может произойти отпуск мартенсита поверхностных слоев за счет теплоты внутренних еще недостаточно охладившихся слоев. При излишней задержке изделия в первом охладителе могут возникнуть трещины и произойти коробление изделия. Такой способ работы требует большой опытности калильщика.

Ступенчатая закалка. При этом способе охлаждение нагретого изделия разбивается на 2 этапа. Вместо резкого охлаждения изделия, нагретого до высокой температуры закалки, в холодном охладителе, как это делается при обычной закалке, при ступенчатой закалке изделие первоначально охлаждается в горячей среде, а затем на воздухе. В качестве охлаждающей среды при ступенчатой закалке применяются обычно расплавленные смеси солей, имеющие рабочую температуру несколько выше мартенситной точки для данной стали. Следовательно, в горячей соли можно значительно переохладить аустенит без его разложения. Изделие выдерживается при этом в горячей соли до тех пор, пока оно

во всех точках сечения приобретет температуру горячей соли. Обычно это время для разных изделий колеблется в пределах 5—20 мин. Затем изделие охлаждается на воздухе и в период этого охлаждения и происходит превращение аустенита в мартенсит. Такой способ закалки позволяет править деформированные изделия в горячем состоянии немедленно после выемки из охлаждающей ванны. Кроме того, этот способ закалки дает минимальные внутренние напряжения и гарантирует от появления трещин на изделии.

Ступенчатая закалка весьма пригодна для легированных сталей. При закалке углеродистых инструментальных сталей применение ее сужается ввиду возможности закаливать в горячих солях только малые изделия из углеродистых сталей диаметром до 6—10 *мм* из-за большой критической скорости охлаждения углеродистой стали и невозможности достигнуть ее в центральной части толстых изделий.

Другим видом ступенчатой закалки является закалка в горячих солях, имеющих температуру несколько ниже мартенситной точки. В этом случае во время выдержки в горячей среде уже начинается частичный распад аустенита на поверхности охлаждаемых изделий, и изделие извлекается из ванны в ходе процесса распада. Применение такого вида ступенчатой закалки позволяет получать более интенсивное охлаждение и в случае закалки углеродистых сталей повышает до 12—15 *мм* диаметр закаливаемых этим способом изделий.

Практическое применение для ступенчатой закалки имеют соли, приведенные ниже:

Соль	Температура плавления в °С
KNO_3	335
$NaNO_2$	271
$NaNO_3$	317
50% KNO_3 + 50% $NaNO_2$	137
50% KNO_3 + 50% $NaNO_3$	218

Наиболее часто применяется смесь 50% KNO_3 + 50% $NaNO_2$ с температурой плавления 137°, которую практически можно применять для инструментальных сталей в интервале температур 170—230° С. При этом верхние границы этого температурного интервала дают ступенчатую закалку первого рода, т. е. без мартенситного превращения во время выдержки, а при нижних температурах этого интервала может иметь второй вид ступенчатой закалки с частичным мартенситным превращением в стали в процессе выдержки в селитровой ванне.

Интенсивность закалки изделий в селитровых ваннах является промежуточной между интенсивностью охлаждения в воде и охлаждения в масле.

Практические приемы охлаждения при закалке. В выполнении операции закалки большую роль играют применяемые приемы охлаждения, особенно при закалке углеродистых инструментальных сталей.

Метод погружения изделий в охлаждающую ванну, особенно в интенсивный охладитель, значительно влияет на деформацию закаливаемых изделий. Необходимо погружать изделие строго вертикально вдоль его

длинной оси, это дает более равномерное охлаждение и облегчает удаление пара с поверхности изделия.

Погружение изделий в наклонном положении дает одностороннюю деформацию. Еще более увеличивается деформация при погружении изделия вдоль короткой оси, т. е., например, при погружении пластины горизонтально, широкой стороной вниз.

Большое значение имеет и способ движения изделия в охладителе во время охлаждения при закалке. Необходимо двигать изделие в охладителе вдоль его длинной оси, так как если двигать изделие в направлении короткой оси, то одна сторона изделия будет охлаждаться более интенсивно за счет быстрой смены охладителя у этой поверхности.

При охлаждении изделий, имеющих глухие, несквозные отверстия, необходимо погружать изделие такими отверстиями вверх, чтобы не образовалась неподвижная паровая рубашка в глухом отверстии.

При охлаждении деталей, имеющих переменное сечение, необходимо погружать изделие толстым концом вниз.

Те места изделия, которые имеют острые подрезы или отверстия (если в этих местах не требуется высокая твердость), необходимо изолировать асбестовым шнуром или смесью асбеста с глиной. Закалку очень тонких, пластинчатых изделий нужно производить с применением закалочных прессов.

Термическая обработка стали 9ХС. Широкое применение этой стали при изготовлении сверл, разверток, метчиков, круглых плашек и других режущих инструментов объясняется тем, что термическая обработка этой стали проста, устойчива по своим результатам и обеспечивает высокие режущие свойства инструмента. Как хром, так и в особенности кремний значительно повышают критические точки при нагреве стали, поэтому оптимальной температурой закалки инструмента из стали 9ХС является температура 860—880° С.

Весьма ценным свойством этой стали является ее глубокая прокаливаемость; практически любые режущие инструменты, изготовленные из стали 9ХС, прокаливаются насквозь. Высокая прокаливаемость стали 9ХС объясняется наличием в ней хрома и кремния.

Так как сталь 9ХС имеет малую критическую скорость закалки, то она легко закаливается как в масле, так и в горячей селитре при температурах 170—230° С. Но закалка в масло дает большие деформации и значительно затрудняет правку деталей после закалки. Закалка в горячей селитре дает значительно лучшие результаты. После 1000 измерений кривизны было обнаружено, что сверла диаметром 25 *мм*, закаленные в масло, имеют среднюю кривизну 0,65 *мм*, а закаленные в селитре при 180—220° С — 0.35 *мм*.

Наиболее рациональна закалка изделий в горячих селитровых ваннах, она обеспечивает минимум деформаций и отсутствие закалочных трещин.

Недостатком стали 9ХС при термической обработке является повышенная склонность ее к обезуглероживанию, но этот недостаток устраняют путем введения буры в соляные ванны, применяемые для нагрева стали 9ХС. Нагрев стали 9ХС при закалке можно производить в соляных

ваннах. Для этой цели могут применяться как тигельные соляные ванны, так и электродные соляные ванны.

Лучшими ваннами являются электродные соляные ванны.

Подогрев инструментов из стали 9ХС осуществляется в камерных или вертикальных газовых печах; температура подогрева 400—500° С, время подогрева принимается из расчета 10 мин. на 1 *см* диаметра изделия. Затем инструмент погружается в электродную соляную ванну. Время выдержки при нагреве в соляной ванне при температуре 860—880° С определяется в зависимости от диаметра или толщины изделия, исходя из расчета необходимого времени нагрева — 2 мин. на 1 *см* диаметра изделия; для пластин это время увеличивается в 1,5 раза.

Охлаждение производится в горячей селитровой ванне, содержащей смесь солей 50% $KNO_3 + 50\%NaNO_2$, с рабочей температурой 170—200° С; время выдержки в селитровой ванне 5—20 мин., затем охлаждение на воздухе. Здесь имеет место ступенчатая закалка. Твердость после закалки $H_{R_C} = 62 \div 65$.

Отпуск инструмента из стали 9ХС производится при температуре 150—220° С в зависимости от требуемой твердости. Обычно для этой цели применяются электровоздушные отпускные печи с принудительной циркуляцией воздуха при помощи вентилятора, что обеспечивает выравнивание температуры по всему объему рабочего пространства печи. Время выдержки при температуре отпуска колеблется от 1,5 до 4 час. Небольшое падение твердости при отпуске наблюдается только за первый час выдержки, дальнейшее увеличение выдержки, не снижая твердости, увеличивает вязкость инструмента.

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕКОТОРЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ СТАЛИ 9ХС

Сверла с цилиндрическим хвостом диаметром 3,1—20 *мм*. При нагреве таких сверл для закалки необходимо строго одинаково по длине погружать сверла в ванну. Погружается вся спираль и небольшой участок цилиндрической части сверла, примыкающей к спирали. Такой метод погружения позволяет сохранить незакаленную зону на цилиндрической части сверла в одинаковых местах, что необходимо для последующего клеймения сверл. Наличие незакаленной хвостовой части повышает вязкость инструмента.

Сверла с цилиндрическим хвостом диаметром 12—20 *мм*. Отпуск цилиндрических сверл различных размеров производится при различных температурах ввиду различия в твердости сверл (табл. 13).

Сверла с коническим хвостом диаметром 6—80 *мм*. Закалка этих сверл производится с нагревом их в клещах. Отпуск — при температуре 150—160° С с выдержкой 1,5 часа.

Развертки ручные и машинные. Закалка разверток производится так же, как закалка сверл.

Плашки круглые. Особенности термической обработки круглых плашек зависят от требования высокой вязкости для данного вида инструмента при снижении требований по твердости до $H_{R_C} = 58 \div 60$,

а также определяются расположением режущей грани инструмента в его центральной части. При закалке плашки подвешиваются на специальных многоместных приспособлениях, надеваются на них стружечным отверстием. Охлаждение плашек в горячей селитре производится вместе с приспособлением, после чего плашки охлаждаются на воздухе. Отпуск закаленных плашек производится в электровоздушной печи при температуре 220° С с выдержкой 4 часа, что обеспечивает снижение твердости до $H_{RC} = 58 \div 60$ и дает значительную вязкость, необходимую для данного инструмента по условиям его работы.

Таблица 13

Диаметр сверл в *мм*	Температура отпуска в °С	Выдержка при отпуске в час.	Твердость после отпуска H_{RC}
0,5—3,0	170—180	1,5	58—60
3,1—5,0	160—170	1,5	59—62
5,1—20,0	150—160	1,5	61—64

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

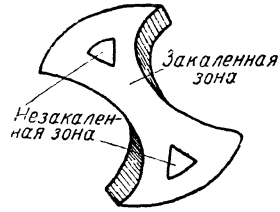
Принцип термической обработки стали У10А и У12А. Из углеродистых инструментальных сталей для изготовления режущих инструментов употребляются исключительно стали марок У10А и У12А; при этом наиболее часто употребляется сталь У12А.

Закалка этих сталей производится при нагреве до температур 780—820° С.

Характерной особенностью углеродистых сталей является высокая критическая скорость закалки, поэтому для получения при закалке высокой твердости эти стали необходимо подвергать быстрому охлаждению. Инструменты, имеющие малое сечение, можно закаливать в масло или горячих солях, для более крупных изделий необходимо охлаждение в воде. При этом даже резкое охлаждение в воде сталей У10А и У12А дает неглубокую прокаливаемость, и инструмент, изготовленный из стали У12А, обычно имеет непрокаленную, мягкую сердцевину даже при высокой твердости поверхности. Такой инструмент с непрокаленной сердцевиной менее хрупок в эксплоатации. Но наличие мягкой сердцевины может быть допущено и желательно лишь на определенных видах инструментов, к которым относятся метчики, развертки.

Также вполне возможно изготовлять из стали У12А и круглые плашки, так как охлаждение при закалке идет и в центральной части плашки, а мягкая, непрокаленная зона увеличивает вязкость плашки. Для такого инструмента, как сверла, по характеру их работы необходимо иметь сквозную закалку перемычки. Непрокаленная зона здесь может располагаться лишь так, как это показано на фиг. 27.

Так как закалка углеродистых сталей в основном (кроме малых сечений) производится с охлаждением в воде, где сталь после высокого нагрева получает весьма резкое охлаждение, то это всегда приводит к весьма значительной деформации изделий и часто к возникновению закалочных трещин. Наибольшие деформации возникают при сквозной закалке, но и при поверхностной закалке деформации довольно значительны.



Фиг. 27. Сверло из стали У12А, имеющее достаточную глубину закаленного слоя.

Способы нагрева углеродистой стали. Большое значение при закалке углеродистых сталей имеет способ нагрева. При закалке инструмента из сталей У10А и У12А применяют нагрев в свинцовой ванне, нагрев в соляной ванне, нагрев токами высокой частоты. Из этих трех способов наилучшие результаты как по качеству продукции, так и по производительности имеет нагрев токами высокой частоты.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НЕКОТОРЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Закалка метчиков из стали У12А может производиться с нагревом в соляных ваннах, свинцовых ваннах и на агрегатах т. в. ч. Сложность термической обработки метчиков заключается в том, что при охлаждении их в воде возникают значительные деформации и происходит изменение всех элементов резьбы метчика: изменяются наружный, средний и внутренний диаметр, шаг и профиль резьбы. Так как профиль ручных метчиков не подвергается после термической обработки шлифованию, то закалка их должна производиться при таких условиях, которые обеспечивают сохранение шага метчика после закалки в пределах $\pm$ 0,05 *мм*.

Из жидких ванн, применяемых для нагрева метчиков при закалке, относительно меньшую величину деформации шага резьбы метчиков дают свинцовые ванны. Поэтому на свинцовых ваннах производят закалку только мелких метчиков, которые приобретают достаточную твердость при охлаждении в горячих селитровых ваннах. Практически на свинцовых ваннах производят обработку метчиков диаметром до 8 *мм*. Все метчики диаметром от 10 *мм* и выше целесообразно закаливать на агрегатах т. в. ч.

Сверла из сталей У10А и У12А целесообразно изготовлять лишь диаметром до 8—10 *мм*. Закалка сверл этих размеров производится при нагреве в свинцовых или соляных ваннах, при этом лучшие результаты дают свинцовые ванны. Мелкие сверла диаметром 0,25—3 *мм* нагревают в свинцовых ваннах до 780—820° С и быстро переносят в закалочные масляные бачки с плитами, где сверла охлаждаются при катании их под металлическим утюгом для уменьшения кривизны. Сверла диаметром 3,1—10 *мм* можно охлаждать после закалки или в горячее масло, или в расплавленную селитру, имеющую температуру 170—220° С

Из стали У12А могут изготовляться все ручные развертки диаметром от 3 до 50 *мм*. Мелкие развертки диаметром до 6—8 *мм* подвергаются ступенчатой закалке при нагреве в свинцовой или соляной ванне и охлаждении в селитровой ванне, имеющей температуру 170—220° С, с последующим охлаждением на воздухе. Развертки диаметром от 10 до 50 *мм* нагревают в соляных или свинцовых ваннах и подвергают прерывистой закалке, охлаждая первоначально в воде с последующим перенесением в масло. В воду обычно добавляют при этом поваренную соль в количестве 5—10%.

Отпуск углеродистой инструментальной стали. Отпуск инструментов из углеродистой стали основан на тех же принципах, как и отпуск инструментов из легированных сталей. Температура отпуска колеблется в пределах 160—240° С, при этом метчики и развертки из углеродистых сталей обычно отпускают в электровоздушных печах при температуре 160—180° С с выдержкой 1,5 часа.

Твердость инструмента из углеродистой стали. После закалки все сверла, развертки, метчики и плашки, изготовляемые из стали У10А и У12А, должны иметь твердость не менее чем 62 единицы по Роквеллу. После отпуска инструменты должны иметь следующую твердость:

Наименование инструмента	Твердость H_{RC}
Сверла диаметром 0,25—3,0 *мм*	58—60
„ „ 3,1—5,0 „	59—62
„ „ 5,1 *мм* и выше	61 и выше
Развертки диаметром 3—6 *мм*	59—62
„ „ 7—14 „	60—63
„ „ 14 *мм* и выше	61—64
Метчики диаметром 6 *мм*	58—62
„ „ 7—10 *мм*	59—63
„ „ 10 „	60—63

Поверхностная термическая обработка в электромагнитном поле токов высокой частоты. Термическая обработка инструментов при помощи токов высокой частоты дает большие преимущества по сравнению с их обработкой в соляных или свинцовых ваннах.

Нагреваемый инструмент помещают в магнитное поле, создаваемое индуктором, соединенным с генератором высокой частоты. Индуктор представляет собой медное кольцо или медную трубку с несколькими витками, охлаждаемыми изнутри проточной водой. Под действием электромагнитного поля индуктора в нагреваемом изделии индуктируется электродвижущая сила, под действием которой в изделии возбуждаются вихревые электрические токи. Эти токи создают в свою очередь внутри изделия электромагнитное поле, под действием которого вихревые токи оттесняются к поверхности изделия. Плотность тока на поверхности изделия оказывается наибольшей. Изделие как проводник электрического тока благодаря сопротивлению нагревается. Так как практически переменный ток идет лишь по поверхностному слою детали, а внутренняя часть детали свободна от тока, поэтому и происходит нагрев лишь поверхностного слоя.

Применяются два вида установок для нагрева изделий токами высокой частоты — с ламповым или машинным генератором. Установки с машинным генератором дают ток высокой частоты в пределах 500—15 000 пер/сек: в установках с ламповым генератором частота тока от 10 000 до 10 000 000 пер/сек.

При нагреве инструментов необходимо применять частоту тока порядка нескольких сотен тысяч периодов в секунду, поэтому в инструментальном производстве применяются исключительно установки с ламповыми генераторами.

Частота тока оказывает огромное влияние на глубину проникновения тока по сечению изделия, а именно: чем больше частота тока, тем меньше глубина проникновения тока, а следовательно, и меньше глубина закаленной зоны.

Ниже приведено[1] влияние частоты тока на глубину закалки при нагреве стальных деталей до 850—900° С: при частоте тока 50 пер/сек глубина проникновения тока составляет 90 *мм*, при 2000 пер/сек — 14 *мм*, при 10 000 пер/сек — 6 *мм*, при 300 000 пер/сек — 1 *мм*, при 1 000 000 пер/сек — 0,2 — 0,5 *мм*.

Применяются два способа нагрева изделий — единовременный нагрев и последовательный. При единовременном нагреве поверхность изделия нагревается за один прием. Охлаждаются изделия в баке или струями воды.

Последовательный нагрев применяется при закалке длинных изделий с постоянным поперечным сечением. В этом случае нагреваются последовательно отдельные участки по длине изделия, которое перемещается при этом вдоль оси и нагретые участки его охлаждаются струями воды из разбрызгивателя.

Наиболее широкое применение в инструментальном производстве имеет закалка на установке т. в. ч. метчиков из углеродистой стали У12А. Такой метод закалки значительно уменьшает деформацию всех элементов резьбы метчиков, в частности, полностью разрешая трудный вопрос деформации шага резьбы метчиков.

Установки т. в. ч. получили широкое применение в инструментальном производстве также и для напайки пластин из твердых сплавов на державки.

Закалка квадратов и лапок хвостовой части инструментов. Квадраты и лапки хвостовой части разверток, метчиков, сверл и других инструментов должны быть закалены на твердость $H_{RC} = 30 \div 40$. Так как инструменты из стали У12А и 9ХС изготовляются цельными, а инструменты из стали РФ1 и ЭИ262 — сварными, с применением на хвостовики среднеуглеродистых сталей, то приходится подвергать закалке хвостовики инструмента из сталей У12А, 9ХС и 45. Закалка хвостовиков у инструментов из стали У12А и 9ХС является первой операцией термической обработки и производится до закалки рабочей части. Закаленный хвостовик отпускается при нагреве под закалку рабочей части инструмента за счет теплопроводности изделия. При после-

[1] См. А. П. Гуляев, Металловедение, Оборонгиз, 1948.

дующем отпуске инструмента при 160—180° С твердость окончательно выравнивается в нужных пределах. На большинстве сварных инструментов с рабочей частью из стали ЭИ262 и РФ1 и хвостовой частью из стали 45 закалку квадратов и лапок хвостовой части инструмента производят после отпуска. Это объясняется тем, что при высокой температуре отпуска быстрорежущей стали, т. е. при 550° С, происходит весьма значительное снижение твердости закаленной углеродистой стали 45.

Закалку хвостовиков стали У12А и 9ХС можно производить как в свинцовой, так и в соляной ванне, но производительность при закалке в свинцовой ванне значительно выше, поэтому закалка хвостовиков из стали 45 производится обычно в свинцовой ванне. При обработке различных коротких и толстых изделий применение свинцовых ванн особенно необходимо, так как в этом случае должна быть обеспечена высокая скорость нагрева хвостовика, чтобы предотвратить возможность снижения твердости закаленной рабочей части за счет теплопроводности изделия при высокой температуре нагрева. Такую высокую скорость нагрева дает свинцовая ванна. Температура нагрева при закалке хвостовиков выдерживается в обычных пределах — 780—820° для стали У12, 860—880° для стали 9ХС и 830—860° С для стали 45.

Охлаждение при закалке хвостовиков из стали 9ХС производится в масле, а хвостовики из стали У12А и 45 подвергаются прерывистому охлаждению в воде с самоотпуском.

Термическая обработка корпусов сборного инструмента. Корпуса цилиндрических фрез изготовляют из конструкционной стали 40Х. Термическая обработка этих корпусов заключается в закалке и отпуске. После окончания операций термической обработки корпуса подвергаются химическому оксидированию для создания коррозионной устойчивости. Термическая обработка корпусов имеет целью дать достаточную механическую прочность корпусу. При сравнительно невысокой твердости $H_{RC} = 35 \div 42$ должна быть обеспечена высокая вязкость.

Закалка корпусов из стали 40Х производится обычно при нагреве в газовых камерных печах или в соляных ваннах. Температура нагрева стали 40Х выдерживается в пределах 830—850° С. Время нагрева определяется в зависимости от линейных размеров корпуса. Охлаждение при закалке производится в масле или селитровой ванне с температурой 160—200° С. Наличие хрома в стали 40Х позволяет получать в процессе закалки при охлаждении в масле или в селитре твердость $H_{RC} = 45 \div 55$. Применение при закалке мягких охлаждающих сред, как масло или селитра, имеет большое значение. Это обеспечивает минимальные деформации, что крайне важно для корпусов, имеющих сложную конфигурацию, повышающую склонность к образованию закалочных трещин и значительной деформации при закалке. Отпуск корпусов цилиндрических фрез производится в электровоздушных отпускных печах при температуре 425—525° С с выдержкой 1—1,5 часа. Это дает повышение вязкости и снижение твердости до $H_{RC} = 35 \div 42$. Выбор оптимальной температуры отпуска в интервале 425—525° С производится в зависимости от твердости, полученной после закалки.

Корпуса для дисковых трехсторонних фрез изготовляются обычно тоже из стали 40Х и подвергаются закалке в пламенных или электродных соляных ваннах. Нагрев производится до 830—850° С с последующим охлаждением в масле.

Отпуск корпусов для дисковых фрез производится в электровоздушных печах при температуре 475—550° С с выдержкой 1—2 часа. Оптимальная температура отпуска выбирается исходя из твердости после закалки. Более высокая температура отпуска в этом случае связана с тем, что корпуса трехсторонних фрез после термической обработки должны иметь твердость $H_{RC} = 30 \div 37$.

Корпуса для сборных разверток изготовляют из стали 40Х. Согласно техническим условиям корпуса должны иметь твердость головки $H_{RC} = 35 \div 42$ и твердость лапки хвостовика $H_{RC} = 30 \div 40$. Закалка лапки у корпусов сборных разверток производится при нагреве в свинцовой ванне до 830—850° С с охлаждением в масле. Закалка головки производится при нагреве в соляной ванне, при этом погружается в ванну вся головка и 15—20 *мм* цилиндрической части. Охлаждение при закалке производится обычно в селитровой ванне. Отпуск корпусов сборных разверток проводится в электровоздушных отпускных печах при температуре 425—525° С.

Обработка инструментов холодом. Из новейших методов термической обработки особое значение имеет обработка холодом. В настоящее время обработка холодом получила широкое распространение в различных отраслях промышленности. Приоритет введения этого новейшего и оригинального метода термической обработки принадлежит советским ученым (работы С. С. Штейнберга, А. П. Гуляева и Н. А. Минкевича)[1].

Обработка холодом производится или с помощью жидкого воздуха, или с применением специальных холодильных установок для глубокого охлаждения.

Из инструментальных сталей особенно большое значение обработка холодом имеет для быстрорежущих сталей.

Если немедленно после охлаждения до комнатной температуры закаленную быстрорежущую сталь подвергнуть обработке холодом, то количество остаточного аустенита сокращается в стали РФ1 с 40 до 20% и в стали ЭИ262 с 30 до 10%.

Опыт показал, что обработку холодом быстрорежущей стали нужно производить немедленно после закалки, так как выдержка при комнатной температуре стабилизирует остаточный аустенит. Но так как и после обработки холодом еще имеется остаточный аустенит, то необходимо после нее произвести однократный отпуск.

Инструмент из быстрорежущей стали при закалке необходимо охлаждать в горячих средах, после чего медленно охлаждать его до комнатной температуры перед замораживанием. Такая подготовка стали

[1] См. А. П. Гуляев, П. П. Грудов, А. А. Бадаева, „Станки и инструмент“ № 3—4, 1949, „Обработка холодом инструментов из быстрорежущих сталей“.

дает возможность избежать возникновения трещин при обработке холодом. Таким образом обработка холодом инструмента из быстрорежущей стали должна производиться в промежутке между операциями закалки и отпуска.

Обработка холодом имеет смысл лишь после закалки. Обработка холодом после отпуска не дает никакого эффекта, так как она не вызывает дополнительного превращения аустенита. Кроме того, обработка холодом как бы компенсирует некоторые случайные отклонения в выполнении режима термической обработки, как недогрев при закалке и недостаточный отпуск на отдельных изделиях. Таким образом, обработка холодом одновременно является способом, улучшающим среднее качество инструмента при массовом производстве.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Правка инструмента. Значительное искривление после закалки вызывает необходимость проверять стержневой инструмент (сверла, развертки, метчики и др.) на биение и подвергать его правке. Для всех изделий устанавливают допуски на кривизну после термической обработки по рабочей и хвостовой части. Такие данные для сверл с коническим хвостом приведены в табл. 14.

Таблица 14[1]

Допустимое биение сверл после термической обработки

Место измерения	Диаметр сверл в *мм*							
	5—8,9	9—13	13,1—15	15,1—24	24,1—35	35,1—40	40,1—50	51—52
Рабочая часть	0,13	0,16	0,16	0,19	0,22	0,22	0,23	0,26
Хвостовая часть	0,25	0,25	0,24	0,24	0,27	0,29	0,29	0,29

Инструменты из углеродистых и легированных сталей правятся после отпуска, когда термическая обработка окончена и инструмент имеет вязкость больше, чем после закалки.

Инструменты из быстрорежущих сталей подвергаются правке 2 раза — после закалки и после отпуска. Это объясняется тем, что неотпущенная быстрорежущая сталь легче правится благодаря наличию в ней большого количества остаточного аустенита.

Антикоррозийная обработка инструментов. Для предохранения инструментов от коррозии на длительное время применяется особая обработка, которая носит название процесса оксидирования. На поверхности металла имеются естественные окисные пленки, но они тонки и непрочны. Процесс оксидирования сводится к получению на поверхности

[1] См. НКТМ, Бюро технических нормативов, Типовые технологические процессы на изготовление режущего инструмента, часть VIII.

изделия более толстых и прочных окисных пленок. Защитное действие окисных пленок заключается в том, что они механически препятствуют взаимодействию атомов металла с коррозионной средой.

В практике термической обработки применяются два вида оксидирования — термическое оксидирование и химическое оксидирование.

Способ термического оксидирования применяется для инструментов из быстрорежущих сталей, сущность его заключается в нижеследующем.

Инструменты из быстрорежущей стали после закалки подвергаются тщательной пескоструйной или химической очистке с целью полного удаления с поверхности изделия солей и других загрязнений, которые могут вызвать коррозию. После тщательной очистки инструмент подвергают нормальному отпуску при 550° С; при этом в процессе нагрева и происходит термическое оксидирование. Благодаря наличию в стали значительного количества легирующих элементов и высокой температуры нагрева на поверхности изделий создается довольно прочная окисная пленка.

Для предохранения от коррозии углеродистых и легированных инструментальных сталей применяется метод химического оксидирования. В этом случае образование окисных пленок происходит в жидкой окислительной среде, а операция оксидирования складывается из ряда переходов.

Инструмент, подлежащий оксидированию, прежде всего подвергают обезжириванию в щелочном растворе, затем промывают в проточной холодной воде для удаления щелочей с поверхности изделия перед травлением. После промывки инструмент подвергается травлению в растворе соляной кислоты с целью полной очистки поверхности изделий и подготовки ее к оксилированию. Продолжительность травления составляет 5—10 мин. После этого инструмент подвергается оксидированию в жидкой ванне, имеющей следующий состав: сода каустическая (NaOH) — 650 *г*; нитрит натрия ($NaNO_2$) — 250 *г*; вода — 1 *л*.

При таком составе ванна должна кипеть при температуре 135—141° С. Эта температура и является рабочей температурой в процессе оксидирования. Продолжительность оксидирования инструмента колеблется от 30 мин. до 1 часа; углеродистые стали У10 и У12А оксидируются легче и быстрее, чем сталь 9ХС. При оксидировании на поверхности изделий образуется пленка из магнитной окиси железа. После оксидирования изделия промывают в проточной воде для удаления с поверхности остатков солей, которые могли бы явиться впоследствии очагами коррозии. После этого изделия в течение 10—20 мин. кипятятся в 10%-ном растворе эмульсии, затем просушиваются и смазываются вазелиновым маслом.

Правильно выполненный процесс химического оксидирования обеспечивает устойчивое сопротивление коррозии.

Контроль качества термической обработки. Высокая стойкость и производительность инструментов может быть достигнута лишь при строгом контроле процессов термической обработки и правильно организованном контроле качества изделий.

Измерение и контроль температур осуществляются с помощью специальных термоэлектрических, радиационных и оптических пирометров.

Для автоматической регулировки температур в печах широко применяются контактные гальванометры и самописцы.

Чрезвычайно большое значение имеет правильная проверка твердости инструментов.

Основное значение в инструментальном производстве имеют два метода контроля: измерение твердости по Роквеллу и определение твердости тарированным напильником.

Весь режущий инструмент, имеющий параллельные грани (фрезы, плашки), необходимо подвергать проверке на твердость на приборе Роквелла. Измеряемая и опорная поверхности должны быть хорошо зачищены, так как неровности и риски на поверхности, а также загрязнение поверхности искажают результаты измерения твердости.

Клейменая поверхность изделий не может являться опорной поверхностью.

Твердость измеряют алмазным конусом с нагрузкой 150 *кг*, единицы твердости обозначают H_{RC}.

При измерении твердости круглых плашек местом измерения является зуб плашки.

Определение твердости инструмента тарированным напильником широко применяется при проверке сверл, разверток, метчиков и зенкеров.

Кроме того, проверке напильником подлежат также все фрезы после проверки на приборе Роквелла с целью определения отсутствия обезуглероженного слоя.

Напильники, применяемые для определения твердости режущих инструментов, тарируются по набору специальных эталонов твердости, имеющих вид гладких калибровых пробок. Напильники, предназначенные для проверки закаленной быстрорежущей стали, не должны спиливать эталон с твердостью $H_{RC}=62 \div 63$, но оставлять след на эталоне с твердостью $H_{RC}=61$. Для определения твердости углеродистых и легированных сталей применяют напильники, тарированные на более низкую твердость.

Твердость инструментов должна быть одинакова по всей его рабочей части за исключением сварных сверл, имеющих сварной шов на спирали. Исходя из этого и устанавливается место проверки твердости на различных режущих инструментах. Так как при недостаточно глубоком погружении стержневого инструмента в ванну при закалке может иметь место пониженная твердость верхнего участка рабочей части инструмента, то необходимо проверять твердость именно на верхнем участке.

Так, например, у метчиков обязательно проверяется верхняя калибрующая нитка. Сверла проверяются в трех местах по длине спирали, при этом на сварных сверлах может быть допущена пониженная твердость на участке около сварного шва на длине, равной примерно диаметру сверл.

Кроме определения твердости все инструменты подвергаются наружному осмотру с целью выявления трещин, оплавления и других наружных дефектов.

Контроль микроструктуры инструментов осуществляется при помощи различных магнитометрических приборов, определяющих соотношение количества немагнитного аустенита и остальных магнитных фаз. Такой контроль имеет особо большое значение для инструментов из быстрорежущих сталей, где важно определение степени отпуска. Все эти методы контроля дополняются периодическим исследованием микроструктуры.

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КОНСТРУКЦИЮ ИНСТРУМЕНТОВ

При конструировании режущих инструментов и выборе марки стали для определенного инструмента конструктор должен учесть ряд особенностей термической обработки и свойств инструментальных сталей.

Инструментальная промышленность использует в основном легированные инструментальные стали и быстрорежущие стали. В меньшем количестве употребляются углеродистые инструментальные стали У12А и У10А. На сборный инструмент употребляются конструкционные стали.

Стремление делать инструменты преимущественно из быстрорежущей стали часто является следствием неправильного представления о свойствах этой стали, в частности, о твердости ее после термической обработки. Между тем твердость быстрорежущей стали после термической обработки не превосходит твердости углеродистой и легированной стали.

Применение быстрорежущих сталей рационально лишь для тех инструментов, которые по условиям своей эксплоатации должны обладать красностойкостью.

В настоящее время из употребляемых трех марок быстрорежущих сталей практически широкое применение имеют марки РФ1 и ЭИ262, а использование стали РК5 ограничено. Стали РФ1 и ЭИ262 почти равноценны.

Из легированных инструментальных сталей весьма хорошие результаты дает применение дешевой стали 9ХС. Широкое применение стали 9ХС объясняется большими технологическими преимуществами при ее термической обработке. Практически в любом сечении эта сталь имеет сквозную прокаливаемость при ступенчатой закалке в горячих средах, что обеспечивает минимальную деформацию изделий. Поэтому рекомендуется применять сталь 9ХС для такого режущего инструмента, как круглые плашки, развертки, сверла, а также для корпусов твердосплавного инструмента.

Таким образом, резьбовой инструмент с нешлифованной резьбой целесообразно изготовлять из стали У12А. Инструмент с шлифуемой резьбой не рекомендуется изготовлять из углеродистых и легированных сталей ввиду того, что резьба в процессе шлифования легко отпускается,

твердость понижается ввиду низкой температуры распада мартенсита в этих сталях. В этом случае целесообразнее применение стали ЭИ262 или РФ1. Сталь У12А не рекомендуется применять для длинных изделий во избежание деформации при закалке в воде. Также нецелесообразно применение стали У12А для изготовления фрез.

Использование стали У12А для изготовления разверток возможно в том случае, если при запуске в производство эта сталь контролируется по чувствительности к закалке. Для таких инструментов, как трубные и муфтонарезные плашки, где нарезание зуба плашек производится после их термической обработки шлифовальным камнем, совершенно необходимо применение быстрорежущих сталей. Это вызывается опасностью отпуска плашки в процессе нарезания зуба.

Конструкционные стали в инструментальном производстве находят применение лишь для корпусов сборного инструмента и хвостовиков сварного стержневого инструмента, а также для мелких деталей сборного инструмента (шурупы, кольца и др.) и державок резцов с напаянной пластинкой.

Для корпусов сборного инструмента наиболее подходящей является сталь 40Х, пригодная для ступенчатой закалки в селитровых ваннах с минимальными деформациями. Сталь 45 или 50 нецелесообразно использовать на корпуса ввиду необходимости закалки их в воде и получения при этом больших деформаций. На хвостовики инструмента обычно применяют сталь 45 или 50.

При конструировании инструментов также необходимо иметь в виду такие особенности нагрева при закалке, как образование переходных зон твердости. Если две зоны различной твердости граничат между собой, то невозможно обеспечить на цельном, несварном инструменте резкий переход от одной зоны к следующей зоне. Например, если на режущей части инструмента необходима твердость $H_{R_C} = 62$, а на направляющей части — твердость $H_{R_C} = 40 \div 50$, то при термической обработке обязательно образуется переходная зона с последовательно падающей твердостью от высшей к низшей, например, $H_{R_C} = 58$, 55 и т. д.

При сварном коротком и толстом инструменте тоже возникает переходная зона, так как обработка производится в два приема. В длинных сварных изделиях с рабочей частью из быстрорежущей стали, расположенной в середине, приходится иметь в виду еще следующее обстоятельство.

Для того чтобы закалить середину изделия, его необходимо погрузить одним концом в соляную ванну. Следовательно, если нельзя допустить значительного перегрева одного конца, то этот конец вместе с рабочей частью должен быть изготовлен из быстрорежущей стали.

Если перегрев направляющей не имеет большого значения, тогда можно и этот конец изготовить из стали 45, но надо иметь в виду, что он будет несколько перегрет. В обоих случаях при закалке другого конца образуется переходная по твердости зона.

Для возможности правки изделий после термической обработки весь стержневой инструмент должен быть зацентрован и в том случае, если это не требуется для последующей механической обработки.

При выборе места для клеймения необходимо избегать расположения клейм вблизи различных впадин и прорезов, а также не допускать излишне глубокого клеймения во избежание образования трещин при термической обработке. Не рекомендуется располагать клейма на широких гранях тонких изделий во избежание больших деформаций при закалке.

Необходимо во всех случаях избегать внутренних резких углов и подрезов. Все подрезы и канавки должны иметь достаточный радиус закругления во избежание трещин.

При разработке технологии на изготовление различных фрез с отверстиями, изготовленных из быстрорежущей стали, необходимо принимать во внимание расширение отверстий фрез при закалке. Для крупных фрез это расширение отверстий больше, чем для мелких.

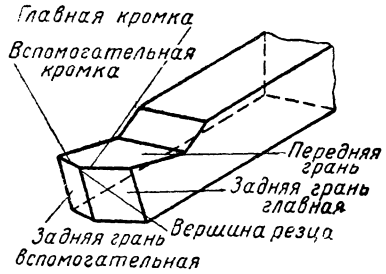
ГЛАВА IV

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕЗЦОВ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Резец является одним из простых и наиболее распространенных металлорежущих инструментов. Основные определения для обработки резцами даны в ОСТ ВКС 6897 и 6898. Эти определения для резца в основном сохранены и для других видов режущего инструмента.

Резец состоит из головки, т. е. рабочей части резца, и тела или стержня, служащего для закрепления резца в резцедержателе станка.



Фиг. 28. Элементы резца.

Головка резца (фиг. 28) имеет следующие элементы: 1) переднюю грань; 2) задние грани; 3) режущие кромки; 4) вершину.

Передней гранью называется поверхность резца, по которой сходит стружка.

Задними гранями называются поверхности, обращенные к обрабатываемой детали. Их две — главная и вспомогательная.

Режущие кромки образуются пересечением передней и задних граней. Их две — главная режущая кромка и вспомогательная.

Главная режущая кромка выполняет главную работу резания. Она образуется от пересечения передней и главной задней граней. Вспомогательная режущая кромка образуется от пересечения передней и вспомогательной задней граней. Вспомогательных режущих кромок, а следовательно, и вспомогательных задних граней может быть две (например, у отрезного резца).

Вершиной резца является место сопряжения главной режущей кромки со вспомогательной.

Для определения углов резца устанавливаются следующие исходные плоскости: 1) плоскость резания; 2) основная плоскость.

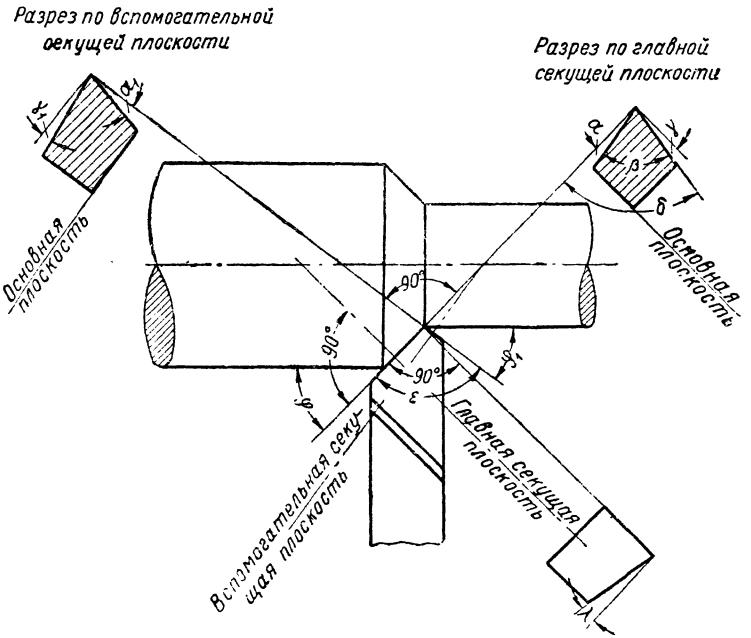
Плоскостью резания называется плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через режущую кромку.

Основной плоскостью называется плоскость, параллельная продольной и поперечной подачам. У токарных резцов с призматическим телом за эту плоскость может быть принята нижняя опорная поверхность резца.

ГЛАВНЫЕ УГЛЫ РЕЗЦА

Главные углы резца (фиг. 29) измеряются в главной секущей плоскости, перпендикулярной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Главным задним углом α называется угол между главной задней гранью резца и плоскостью резания.



Фиг. 29. Главные углы резца.

Углом заострения β называется угол между передней и главной задней гранью резца.

Передним углом γ называется угол между передней гранью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку.

Углом резания δ называется угол между передней гранью резца и плоскостью резания.

При указанном определении главных углов резца плоскость резания есть плоскость, проходящая через режущую кромку и перпендикулярная к основной плоскости.

При положительном γ между этими углами существует зависимость:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90°; \qquad \delta + \gamma = 90°;$$

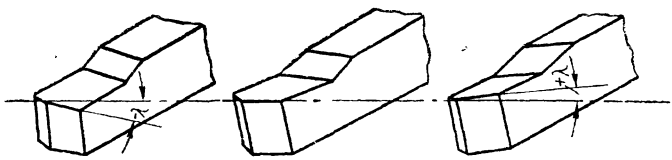
$$\delta = 90° - \gamma; \qquad \delta = \alpha + \beta.$$

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УГЛЫ И УГЛЫ В ПЛАНЕ

Вспомогательным задним углом α_1 называется угол между вспомогательной задней гранью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Вспомогательный задний угол измеряется во вспомогательной секущей плоскости, перпендикулярной к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. В этой же плоскости измеряется и вспомогательный передний угол γ_1.

Главным углом в плане φ называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.



а) *б*) *з*)

Фиг. 30. Угол наклона главной режущей кромки.

Углом при вершине в плане ε называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость: $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180°$.

Углом наклона главной режущей кромки λ называется угол, заключенный между режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости (фиг. 30).

Угол наклона главной режущей кромки считается положительным, когда вершина резца является наинизшей точкой режущей кромки (фиг. 30, *в*); отрицательным, когда вершина резца является наивысшей точкой режущей кромки (фиг. 30, *а*); и равен нулю при главной режущей кромке, параллельной основной плоскости (фиг. 30, *б*).

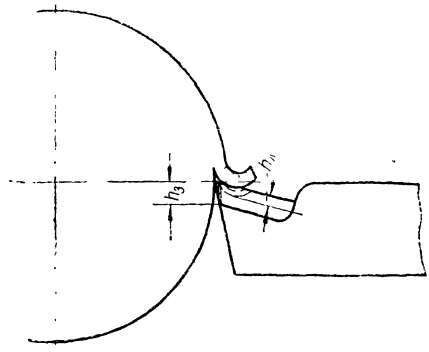
ВЫБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦОВ

Процесс резания металлов сопровождается износом режущего инструмента, который выражается в том, что на передней грани резца от трения сходящей стружки образуется лунка, а на главной задней грани и у вершины — площадка с задним углом, равным 0°. Последняя образуется в результате трения инструмента своими задними гранями об обрабатываемое изделие. Износ по передней грани характеризуется глубиной лунки $h_л$, а износ по задней грани — величиной площадки $h_з$ (фиг. 31). При достижении определенной величины износа $h_л$ и $h_з$ инстру-

мент приходит в такое состояние, что работа им становится невозможной; такой инструмент необходимо переточить, удалив с него изношенные слои. Чем меньше изнашивается инструмент во время его работы, тем он лучше или, как говорят, инструмент имеет более высокую стойкость.

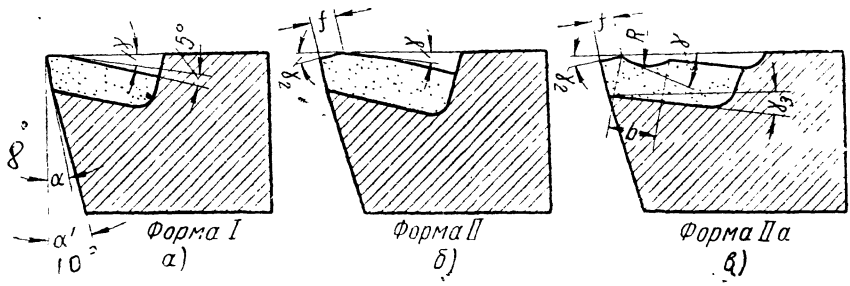
На износ инструмента (а следовательно, и стойкость) влияют следующие факторы:

1) физико-механические свойства обрабатываемого материала;
2) физико-механические свойства материала инструмента;
3) состояние истирающихся поверхностей режущего инструмента;
4) род и физико-химические свойства смазочно - охлаждающей жидкости;
5) параметры резания (скорость резания, подача, глубина резания);
6) геометрические параметры режущей части инструмента.



Фиг. 31. Износ резца.

Геометрические параметры режущей части инструмента, под которыми понимают его углы, форму режущих кромок, форму передней грани, оказывают большое влияние на износ (стойкость) резца. Оптимальное значение геометрических параметров зависит от материала обрабатываемого изделия, материала инструмента, типа инструмента и условий обработки.



Фиг. 32. Формы передней грани резца:
а — плоская положительная; *б* — плоская с отрицательной фаской; *в* — радиусная с отрицательной фаской.

Передняя грань резцов делается нескольких форм. Наиболее простой является плоская положительная форма (фиг. 32, *а*). Она рекомендуется для резцов всех типов при обработке чугуна, для обработки сталей с подачами до 0,2 *мм*, а также для фасонных резцов со сложным контуром режущей кромки.

Для упрочнения режущего лезвия на некоторой ширине f делается фаска под углом γ_2 (фиг. 32, *б*). Такая форма называется плоской

с отрицательной фаской. Ширина фаски f зависит от подачи. По ГОСТ 2320-43 при $s > 0{,}2$ *мм* на один оборот или двойной ход

$$f = (0{,}8 \div 1)s \text{ мм}.$$

При работе с подачами $s \leqslant 0{,}2$ *мм* режущие кромки притупляют оселком, не допуская ширины фаски более 0,2 *мм*.

Передний угол на фаске γ_2 для токарных резцов с пластинками из быстрорежущих сталей делают равным 0°, а для резцов с пластинками из твердых сплавов $-2 \div -5°$. Для строгальных и долбежных резцов угол $\gamma_2 = +3° \div +5°$. Плоская форма с отрицательной фаской применяется для обработки сталей, а также чугуна при наличии ударной нагрузки на резец.

Для облегчения стружкоотвода (стружкозавивания) при обработке сталей передняя грань делается с выкружкой радиусом R (фиг. 32, *в*). Такая форма называется радиусной с отрицательной фаской. Ширина фаски и угол γ_2 — как и у формы плоской с отрицательной фаской. По ГОСТ 2320-43 радиус выкружки $R \geqslant 3$ *мм* и берется в зависимости от типа резца, величины подачи и механических свойств обрабатываемого металла.

Для токарных проходных и расточных резцов

$$R = (10 \div 15)s \text{ мм};$$

для резцов строгальных и долбежных

$$R = (30 \div 40)s \text{ мм};$$

для резцов отрезных и прорезных

$$R = (50 \div 60)s \text{ мм}.$$

При обработке сталей с $\sigma_b > 70$ *кг/мм*^{2} берутся верхние пределы указанных значений. Ширина выкружки

$$b = 2R \sin(\gamma - \gamma_3),$$

где γ — передний угол резца;

γ_3 — угол опорной поверхности под пластинку.

Форма передней грани, показанная на фиг. 32, *в*, применяется для резцов всех типов за исключением фасонных со сложным контуром режущей кромки.

Для резцов с пластинками из твердых сплавов при тяжелых условиях работы применяются также плоская отрицательная двойная форма III и плоская отрицательная одинарная форма IIIа (см. табл. 17, стр. 91). Форма III при наличии отрицательного угла лишь на площадке шириной 4 *мм* более удобна при заточке и доводке, чем форма IIIа.

Передний угол γ делается для облегчения процесса резания, уменьшения трения и износа. Наиболее благоприятным значением угла γ был бы угол 45°. Но такая величина переднего угла делает резец недостаточно прочным. Поэтому при обработке твердых металлов, когда в процессе резания возникают большие силы, а также при обработке хрупких металлов (чугун), когда вследствие стружки надлома нагрузка на

резец сосредоточена на участке, близко расположенном к режущей кромке, в целях ее упрочнения передний угол приходится уменьшать. Чем мягче обрабатываемый металл, тем меньшие силы будут действовать на резец, тем, следовательно, бо́льшим может быть взят передний угол γ. Вследствие хрупкости твердых сплавов передний угол для них берется меньшим, чем для резцов из быстрорежущей стали, а в отдельных случаях (при обработке твердых и прочных металлов) — отрицательным.

По ГОСТ 2320-43 рекомендуются значения переднего угла, приведенные в табл. 15.

Таблица 15

Значения переднего угла

Материал режущей части		Быстрорежущие стали						
Обрабатываемый материал		Сталь				Чугун		
σ_b в *кг/мм*^{2}	Свыше	—	50	80	100	—	—	—
	До	50	80	100	120	—	—	—
H_B	Свыше	—	150	235	290	—	150	200
	До	150	235	290	350	150	200	250
Обозначение формы передней грани по фиг. 32	Подача в *мм/об*	Величина переднего угла $\gamma°$						
IIа	—	—	30		—	—	—	—
II	Свыше 0,2							
I	До 0,2	25	25	20	12	20	12	8
	Свыше 0,2		20	12	8			

Примечание. У резцов строгальных и долбежных, а также у токарных резцов, предназначаемых для обработки прерывистых поверхностей или литых с коркой, величины переднего угла 30° и 25° по таблице заменяются $\gamma = 20°$, а величина угла 20° заменяется $\gamma = 12°$.

Задний угол α делается для уменьшения трения задних граней инструмента об обрабатываемое изделие. Однако большое значение заднего угла уменьшает угол заострения β, т. е. снижает прочность режущей кромки. По ГОСТ 2320-43 задний угол α рекомендуется в пределах 6—12° (табл. 16).

При работе проходными резцами с врезанием с подачей более 0,2 *мм/об* задний угол α берется 8°.

У резцов с пластинками из быстрорежущих сталей или твердых сплавов задняя грань делается под двумя углами (см. фиг. 32, *а*). Пластинка затачивается под углом α, а державка под углом $\alpha' = \alpha + (3 \div 5°)$.

Это делается в целях облегчения заточки и доводки пластинки, а при пластинке твердого сплава и для уменьшения износа дорогого круга из карбида кремния (зеленого карборунда), так как двойная заточка исключает засаливание круга материалом державки. Сама державка затачивается раньше и на простом корундовом круге (менее дорогом, чем карборундовый круг).

Таблица 16

Значения заднего угла в градусах

Резцы		Подача в *мм* на один оборот или двойной ход	
		До 0.2	Свыше 0,2
Проходные	Токарные	12	6
	Строгальные и долбежные	8	
Подрезные, расточные, прорезные, отрезные, автоматно-тангенциальные, фасонные и резьбовые		12	8

Задний вспомогательный угол α_1 берется равным главному заднему углу α у всех резцов кроме прорезных и отрезных. У последних $\alpha_1 = 1 \div 2°$.

Скоростное резание металлов, основанное на применении твердых сплавов, потребовало больших исследовательских работ, успешно проведенных в нашей стране. Большой вклад в дело повышения эффективности процесса резания внесли и стахановцы-скоростники. Изучение их опыта работы и анализ результатов научно-исследовательских работ, проведенных в многочисленных лабораториях институтов и заводов, дали возможность разработать геометрические параметры инструментов и режимы для скоростного резания. В табл. 17 приведены формы передней грани, а в табл. 18 — выбор задних и передних углов для резцов, оснащенных твердыми сплавами.

Главный угол в плане φ и вспомогательный φ_1 оказывают большое влияние на износ резца. Чем меньше главный и вспомогательный углы в плане, тем более массивной будет головка резца, тем тоньше стружка и длиннее активная часть режущей кромки, тем меньшую термодинамическую нагрузку будет испытывать единица длины режущего лезвия, тем лучше, следовательно, теплоотвод и выше стойкость резца. Кроме того, малые углы φ и φ_1 способствуют получению более чистой обработанной поверхности. Но с уменьшением φ и φ_1 увеличивается отжим резца от изделия и при недостаточной жесткости системы (станок — изделие — резец — приспособление) возможно возникновение вибраций (дрожаний), при которых работа практически невозможна. Поэтому при условиях обработки, не обеспечивающих достаточной жесткости системы, необходимо назначать значение угла φ от 60° до 90°.

Таблица 17

Выбор формы передней грани
(по данным Министерства станкостроения)

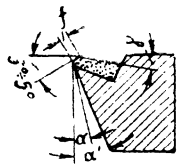
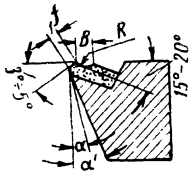
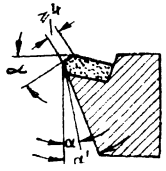
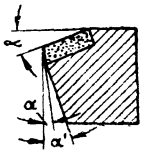
Форма передней грани	Область применения	Способ отвода стружки
I и II $f = 0 \div 0{,}8$ *мм* 	Обработка серого и ковкого чугуна. Обработка стали с пределом прочности $\sigma_b \leqslant 80$ *кг/мм²*. Обработка стали с пределом прочности $\sigma_b > 80$ *кг/мм²* при недостаточной жесткости или виброустойчивости детали	При обработке стали для отвода стружки требуется применение стружколомателей
IIа $f = 0{,}2 \div 0{,}3$ *мм*; $B = 2 \div 2{,}5$ *мм*; $R = 4 \div 6$ *мм*: 	Получистовая обработка стали ($t = 1 \div 5$ *мм*, $s \geqslant 0{,}3$ *мм/об*) с пределом прочности до 80 *кг/мм²*. Примечание. Радиусная форма образуется электроискровым способом Образование радиусной формы при помощи абразивных кругов не допускается	Применения дополнительных способов отвода стружки не требуется
III 	Обработка стали с пределом прочности $\sigma_b > 80$ *кг/мм²* с образованием лунки или проточины на передней грани при достаточной жесткости и виброустойчивости детали. Обработка стали с ударом, неравномерным припуском по корке	Для отвода стружки требуется применение стружколомателей или придание специальных значений φ и λ для дробления стружки
IIIа 	Обработка стали $\sigma_b > 80$ *кг/мм²* без образования лунки на передней грани, при достаточной жесткости и виброустойчивости детали; заточка резца только по задней грани	Для отвода стальной стружки требуется применение стружколомателей или придание специальных значений φ и λ для дробления стружки

Таблица 18

Выбор задних и передних углов

(по данным Министерства станкостроения)

Обрабатываемый металл		$\alpha°$		$\gamma°$	
		Величина подачи s		Форма передней грани	
		$< 0{,}3$	$\geqslant 0{,}3$	I, II, IIa	III, IIIa
Стали конструкционные углеродистые и легированные	$\sigma_b \leqslant 110$ *кг/мм²*	12	8	15	−5
	$\sigma_b > 110$ *кг/мм²*	12	—	—	−10
Чугун серый	$H_B \leqslant 220$	10	6	12	—
	$H_B > 220$	10	6	8	—
Чугун ковкий	$H_B = 140 \div 150$	12	8	15	—

В табл. 19 по данным МСС дается выбор главного угла в плане для проходных резцов.

Таблица 19

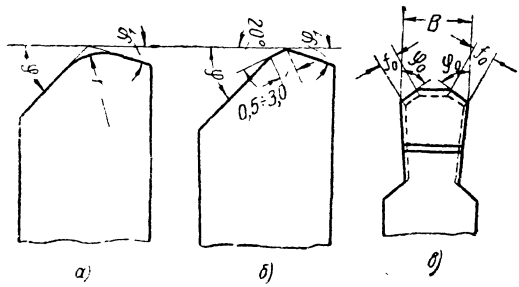
Выбор главного угла в плане

Значения φ°	Условия работы
10—30	При обработке деталей в условиях особо жесткой системы (станок — инструмент — деталь) и малых глубин резания
45	При обработке в условиях достаточно жесткой системы (станок — инструмент — деталь). Наиболее распространенный угол
60—75	При обработке с ударами и в условиях недостаточно жесткой системы (станок — инструмент — деталь). При многорезцовом точении
80—90	При обработке длинных и тонких деталей. При многорезцовом точении

У подрезных резцов главный угол в плане $\varphi = 30 \div 60°$, у прорезных и отрезных 80—90°.

Вспомогательный угол в плане также назначается в зависимости от условий обработки. Для проходных резцов при жестких условиях и работе без врезания $\varphi_1 = 5 \div 10$; для проходных резцов при обработке нежестких деталей без врезания или при обработке жестких деталей, но с врезанием, $\varphi_1 = 15 \div 30°$; при продольной обточке нежестких деталей, но с врезанием, $\varphi_1 = 30 \div 45°$. Для подрезных резцов $\varphi_1 = 10 \div 15°$, для прорезных и отрезных резцов $1—2^c$. У отогнутых резцов вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 30 \div 45°$.

Угол наклона главной режущей кромки влияет на направление схода стружки. При положительном угле наклона $+\lambda$ токарного проходного резца (см. фиг. 30) стружка сходит на обработанную поверхность (в сторону, противоположную подаче). При этом она наматывается на обрабатываемую деталь, царапает уже обработанную поверхность и мешает рабочему следить за процессом обработки. Поэтому при чистовой обработке рекомендуется отрицательное значение угла λ ($0 \div -4^c$), при котором стружка будет сходить вперед резца. Но положительное значение угла λ делает головку резца более массивной и стойкой. Поэтому при обдирочных работах, когда нагрузка на резец большая и когда качество обработанной поверхности не имеет особого значения, рекомендуется положительное значение угла λ ($0 \div +4°$). При обточке прерывистых поверхностей, когда на резец может действовать ударная нагрузка, угол λ берется $+10° \div +30°$. Это делается потому, что при положительном угле λ удар приходится не на вершину резца, являющуюся наиболее чувствительным местом головки, а на удаленную от вершины часть режущей кромки. При отрицательном переднем угле и $\varphi = 70°$ положительное значение $\lambda = +10° \div +12°$ содействует дроблению стружки на короткие участки. У подрезных, прорезных и отрезных резцов угол наклона главной режущей кромки делается равным 0°.



Фиг. 33. Сопряжение режущих кромок:

а — радиусное; *б* — с переходной кромкой; *в* — с двумя переходными кромками.

Радиус закругления при вершине резца в плане (фиг. 33, *а*) содействует повышению стойкости резца и улучшению качества обработанной поверхности. Однако увеличение радиуса приводит к возникновению вибраций, а потому $r > 5$ *мм* делать не рекомендуется. У проходных и расточных резцов с пластинками из быстрорежущей стали при s до 0,2 *мм*/*об* $r = 0,5 \div 5$ *мм*, а при $s > 0,2$ *мм* — 1 — 3 *мм*. У подрезных резцов $r = 0,5 \div 2$ *мм*, у прорезных и отрезных — 0,5—0,8 *мм*.

Для проходных резцов с пластинками из твердых сплавов радиус закругления делают меньше (0,5—2 *мм*), так как большое его значение приводит к вибрациям, которые плохо выносят твердые сплавы.

При невозможности точной заточки вершины резца по радиусу можно делать прямолинейную переходную кромку (фиг. 33, *б*). У прорезных и отрезных резцов (фиг. 33, *в*) угол в плане переходных кромок φ_0 делается 45—75°. Длина переходных кромок для прорезных резцов

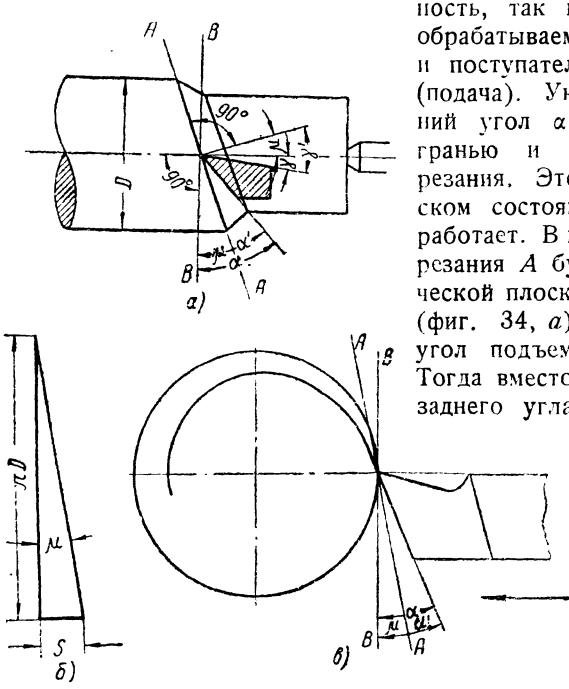
$$f_0 \approx 0{,}25B,$$

а для отрезных 0,5—1 *мм*. Задние углы на переходных кромках делаются равными главному заднему углу α.

УГЛЫ РЕЗЦА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Плоскость резания есть касательная к поверхности резания, которая в действительности при точении представляет собой винтовую поверхность, так как наряду с вращением обрабатываемой детали имеет место и поступательное перемещение резца (подача). Указанный на фиг. 34 задний угол α заключен между задней гранью и вертикальной плоскостью резания. Это задний угол в статическом состоянии, т. е. когда резец не работает. В процессе работы плоскость резания A будет составлять с теоретической плоскостью B некоторый угол μ (фиг. 34, *а*), представляющий собой угол подъема винтовой поверхности. Тогда вместо полученного при заточке заднего угла α будем иметь фактический задний угол α', который меньше теоретического на угол μ, т. е.

$$\alpha' = \alpha - \mu.$$



Фиг. 34. Углы резца в процессе резания:
а — при продольном точении; *б* — при поперечном точении; *в* — при точении по спирали.

Винтовая линия при развертывании ее на плоскости представляет собой гипотенузу прямоугольного треугольника (фиг. 34, *б*), одним из катетов которого является подача s, а другим — длина окружности цилиндра, на котором винтовая линия образуется. Из этого треугольника угол подъема μ определится

$$\operatorname{tg}\mu = \frac{s}{\pi D}.$$

Из уравнения видно, что угол подъема винтовой линии μ увеличивается с увеличением подачи s и уменьшением диаметра обрабатываемого изделия. А потому чем больше подача и меньше диаметр обрабатываемого изделия, тем на большую величину действительный задний угол во время резания будет отличаться от угла резца в статическом состоянии. При обычно употребляемых при точении подачах угол μ имеет малую величину, а потому редко принимается в расчет.

При поперечном точении также имеет место влияние подачи на величину заднего угла в процессе резания. В связи с вращением детали и поступательным движением резца вершина последнего описывает архимедову спираль (фиг. 34,*в*), касательная к которой и будет представлять собой действительную плоскость резания. Чем больше подача, тем круче пойдет спираль и тем большим будет угол μ — угол между теоретической плоскостью резания B и действительной A. Следовательно, действительный задний угол

$$\alpha' = \alpha - \mu$$

будет уменьшаться с увеличением подачи, а также по мере приближения резца к оси обрабатываемой детали.

Если задний угол во время работы уменьшается на величину μ, то передний угол увеличивается на эту же величину (фиг. 34, *а*), т. е.

$$\gamma' = \gamma + \mu.$$

На величину углов резца во время работы оказывает влияние и установка вершины резца по отношению к оси обрабатываемой детали. В случае наружного точения при установке вершины резца выше оси детали передний угол увеличивается, а задний уменьшается. При установке вершины резца ниже оси детали, наоборот, задний угол увеличивается, а передний уменьшается. При расточке изменение углов α и γ с изменением положения вершины резца по отношению к оси обрабатываемой детали будет обратным.

ТИПЫ РЕЗЦОВ

Резцы — наиболее распространенный вид металлорежущего инструмента. Они применяются на станках токарных, револьверных, расточных, карусельных, строгальных, долбежных, полуавтоматах и автоматах.

Резцы классифицируются[1]: 1) по направлению подачи; 2) по конструкции головки; 3) по виду станков; 4) по виду обработки; 5) по установке относительно обрабатываемого изделия; 6) по характеру обработки; 7) по сечению стержня; 8) по роду материала; 9) по способу изготовления.

1. По направлению подачи резцы делятся на правые и левые (фиг. 35, *а*). Правыми резцами называются такие резцы, у которых при наложении на них сверху ладони правой руки так, чтобы пальцы

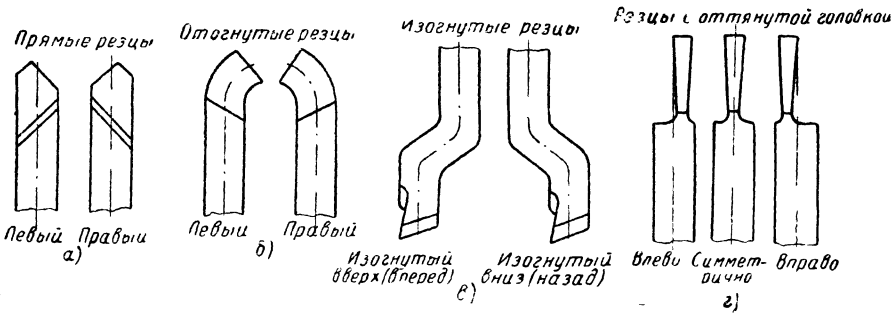
[1] Проф. д-р техн. наук И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, гл. VI, Машгиз 1948.

были направлены к вершине, главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца. На токарном станке эти резцы работают при подаче справа налево, т. е. к передней бабке станка.

Левыми резцами называются такие резцы, у которых при наложении левой руки главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца.

2. По конструкции головки резцы делятся на прямые, отогнутые, изогнутые и с оттянутой головкой.

Прямыми резцами называются такие резцы, у которых ось резца в плане и боковом виде прямая (фиг. 35, *а*).



Фиг. 35. Конструкция головки резца:

а — прямая; *б* — отогнутая; *в* — изогнутая; *г* — оттянутая.

Отогнутыми резцами называются резцы, у которых ось резца в плане отогнута (фиг. 35, *б*).

Изогнутыми резцами называются такие резцы, у которых ось резца в боковом виде изогнута (фиг. 35, *в*).

Резцами с оттянутой головкой называются такие резцы, у которых головка у́же тела (фиг. 35, *г*). Такие резцы могут быть влево оттянутыми, симметричными и вправо оттянутыми.

3. По виду станков резцы делятся (в соответствии со станками, на которых они применяются) на токарные, строгальные, долбежные, резцы для полуавтоматов, автоматно-револьверные и расточные.

4. По виду обработки резцы делятся на проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, галтельные, резьбовые, фасонные.

Проходные резцы применяются для обработки деталей вдоль оси вращения. Они делаются как прямыми (фиг. 36, *а*), так и отогнутыми (фиг. 36, *б*).

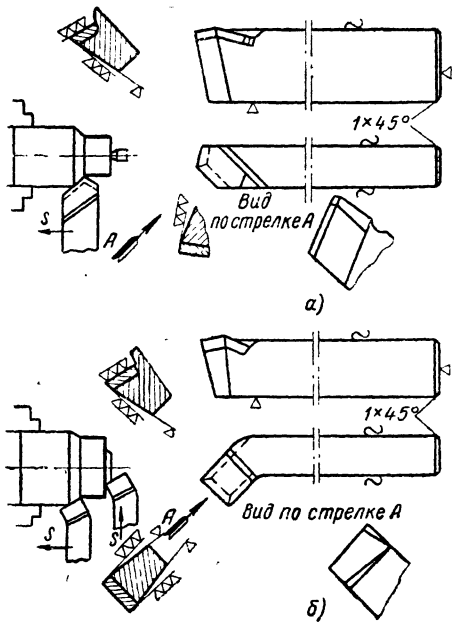
Подрезные резцы применяются для обработки деталей в направлении, перпендикулярном или наклонном к оси вращения (фиг. 37). Делаются эти резцы как прямыми (фиг. 37, *б*), так и отогнутыми (фиг. 37, *а*).

Подрезка торца может быть произведена и проходным отогнутым резцом, если сообщить ему поперечную подачу.

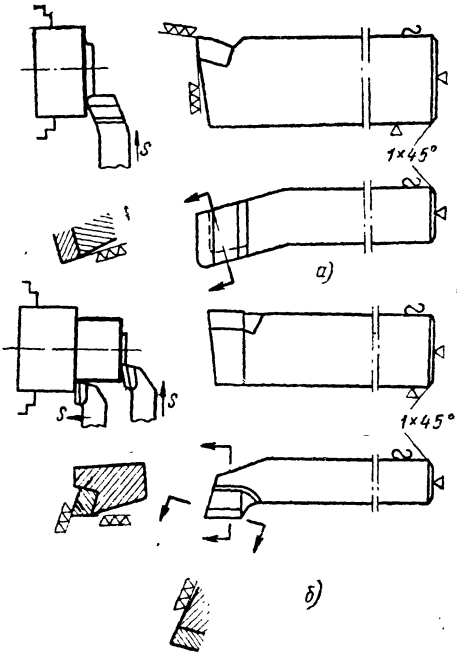
Часто обточку поверху совмещают с подрезкой торцевой поверхности. В этом случае применяется подрезной упорный резец с главным

углом в плане $\varphi = 90^\circ$ (фиг. 37, *б*). При небольшом его повороте для создания вспомогательного угла в плане φ_1 этот резец может быть использован и для подрезки всего торца.

Отрезные и прорезные резцы применяются для отрезки (разрезки) заготовки и прорезки узких пазов (канавок). Они также делаются как прямыми (фиг. 38, *а*), так и отогнутыми (фиг. 38, *б*).



Фиг. 36. Проходные резцы:
а — прямой; *б* — отогнутый.



Фиг. 37. Подрезные резцы:
а — отогнутый; *б* — упорный.

Расточные резцы применяются для расточки сквозных (фиг. 39, *б*), глухих отверстий (фиг. 39, *а*) и для выборки внутренних канавок (фиг. 39, *в*).

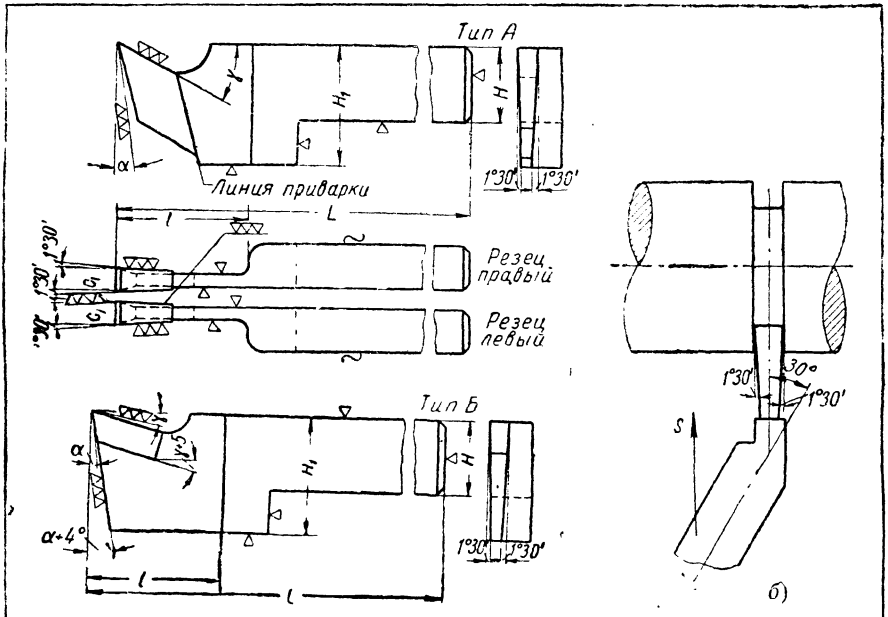
Галтельные резцы применяются для протачивания закругленных канавок.

Резьбовые резцы применяются для нарезания наружной и внутренней резьбы.

Фасонные резцы применяются для обработки фасонных поверхностей.

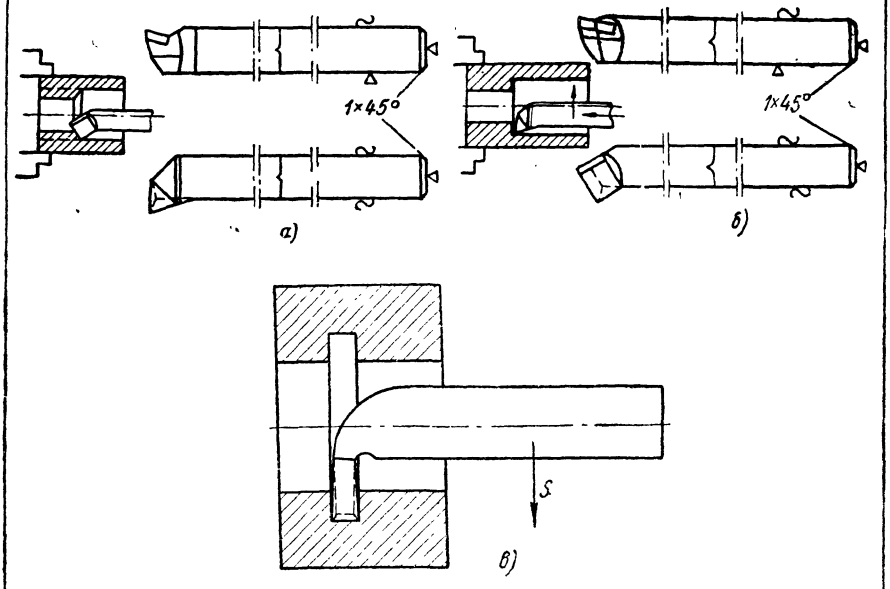
5. По установке относительно обрабатываемой детали резцы делятся на радиальные и тангенциальные.

Радиальные резцы (обычные) устанавливаются так, что тело резца (державка) располагается в горизонтальной плоскости. Такое расположение приводит к тому, что державка резца испытывает поперечный изгиб от силы P_z.



Фиг. 38. Отрезные резцы:

а — прямые; *б* — отогнутые.



Фиг. 39. Расточные резцы:

а — для глухих отверстий; *б* — для сквозных отверстий; *в* — для выборки внутренних канавок.

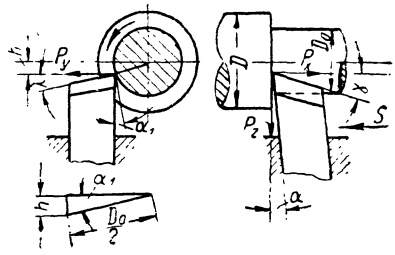
Тангенциальные резцы устанавливаются по касательной к обрабатываемой детали, т. е. тело резца занимает почти вертикальное положение (придается наклон для образования заднего угла α) (фиг. 40). Сила P_z будет направлена вдоль оси резца, что приводит к сжатию и продольному изгибу державки резца. Такое расположение придает державке большее сопротивление главной силе резания P_z.

Тангенциальные резцы затачиваются по передней грани. Для образования угла α_1 — заднего угла на вспомогательной режущей кромке — вершина резца располагается ниже оси изделия на величину

$$h = \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{10}\right) D.$$

Из фиг. 40 следует, что

$$\sin \alpha_1 = \frac{h \cdot 2}{D_0}.$$



Фиг. 40. Установка тангенциального резца.

Тангенциальные резцы просты в заточке и установке, что является их основным преимуществом. Они применяются в основном на токарных автоматах и полуавтоматах.

6. По характеру обработки резцы делятся на обдирочные (черновые), чистовые и для тонкого точения (алмазная обработка).

7. По сечению стержня резцы делятся на прямоугольные, квадратные и круглые. Нормальные размеры сечения стержня резцов приведены в табл. 20.

Таблица 20

Размеры сечений стержня резцов

Прямоугольное $B \times H$ в *мм*	Квадратное $a \times a$ в *мм*	Круглое D в *мм*
10 × 16	12 × 12	12
12 × 20	16 × 16	15
16 × 25	20 × 20	20
20 × 30	25 × 25	25
25 × 40	30 × 30	—
30 × 45	40 × 40	—
40 × 60	60 × 60	—

Размер сечения стержня резца определяется по силам, действующим на резец в процессе резания, и по размерам паза в резцедержателе.

8. По роду материала резцы делятся на резцы с пластинками из твердых сплавов, с пластинками из быстрорежущих сталей и их заменителей, из инструментальных легированных сталей и из инструментальных углеродистых сталей.

9. По способу изготовления резцы делятся на цельные и составные.

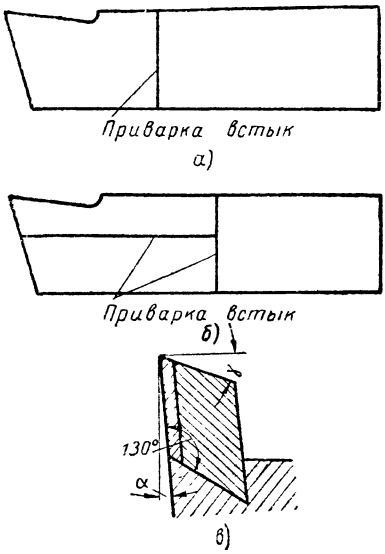
Цельные резцы — это резцы, у которых головка и державка сделаны целиком из одного и того же материала. Такие резцы делаются только из инструментальной углеродистой стали.

В случае применения дорогостоящих твердых сплавов и быстрорежущих сталей нецелесообразно делать резец целиком из этих материалов. Поэтому в целях экономии резцы делаются составными: головка

из материала с высокими режущими свойствами (твердый сплав, быстрорежущие стали), а тело резца или державка — из конструкционной углеродистой стали.

Для резцов малого сечения (до 12×12 *мм*) головка из быстрорежущей стали приваривается встык к державке (фиг. 41, *а*).

Для резцов к автоматно-револьверным станкам быстрорежущая сталь в виде полосы приваривается к державке, которая делается как сплошной, так и с приваренным встык основанием для полосы из быстрорежущей стали (фиг. 41, *б*).



Фиг. 41. Сварные резцы.

А. М. Игнатьев предложил и осуществил приварку тонких пластин (1,5—4 *мм*) из быстрорежущей стали на державку из углеродистой стали. Такие резцы имеют форму столбиков и устанавливаются в специальной державке под определенным задним углом α (фиг. 41, *в*). Заточка производится по передней грани.

Наибольшее распространение получили составные резцы с пластинками (из быстрорежущих сталей и твердых сплавов), прикрепленными тем или иным способом к головке державки резца.

Пластинки из быстрорежущей стали привариваются.

Способы приварки: 1) газовая сварка; 2) кузнечная сварка; 3) электрическая сварка.

Пластинки из твердых сплавов припаиваются, а также крепятся механически.

Проходные резцы. Проходные прямые резцы делаются по ГОСТ 2380-44, а отогнутые — по ГОСТ 2381-44. Геометрические параметры режущей части назначаются согласно условиям работы.

Проходные резцы делятся на обдирочные и чистовые.

Обдирочные резцы служат для удаления значительных слоев металла без особого требования к чистоте обработанной поверхности.

Чистовые резцы служат для удаления относительно малых слоев металла. Применяются они после обдирочных и должны обеспечивать более чистую обработанную поверхность и более точный размер изделия.

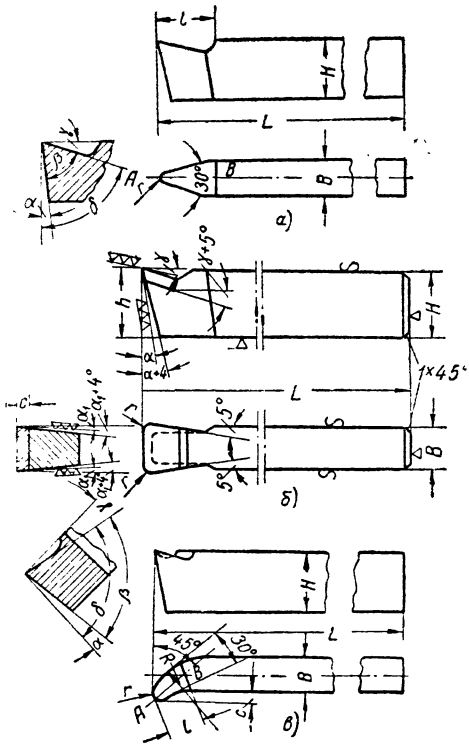
Чистовые резцы делаются как с большим радиусом закругления при вершине (фиг. 42, *а*), так и лопаточными — по ГОСТ 2383-44 (фиг. 42, *б*). Кроме прямых радиусные чистовые резцы делаются и отогнутыми (фиг. 42, *в*). Радиус закругления $r = 2 \div 6$ *мм* для радиусных и $r = 1 \div 3$ *мм* — для лопаточных.

Подрезные резцы. Подрезные резцы делаются по ГОСТ 2921-45 (см. фиг. 37, *а*), подрезные упорные (см. фиг. 37, *б*) — по ГОСТ 2922-45.

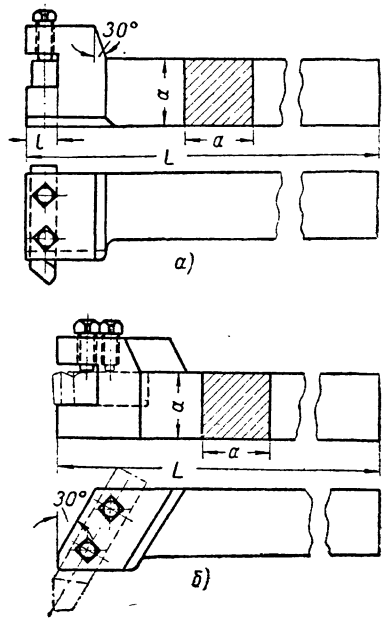
Отрезные резцы. По ГОСТ 2382-44 эти резцы делаются двух типов (см. фиг. 38, *а*): тип А — с приваренной встык пластинкой, тип Б — с пластинкой, приваренной сверху державки. Высота головки H_1 больше высоты стержня H, что делается с целью повышения прочности головки резца. Ширина отрезного резца

$$C_1 \approx 0{,}6\,L^{0{,}5},$$

где D — диаметр разрезаемого изделия.



Фиг. 42. Чистовые резцы:
а — прямой радиусный; *б* — лопаточный; *в* — радиусный отогнутый.



Фиг. 43. Державки для резцов.

Малый боковой угол (1°30′) вызывает большое трение и тяжелые условия работы отрезных резцов. При малой ширине головки и больших вылетах это приводит к частой поломке таких резцов.

Расточные резцы. Для сквозных отверстий расточные токарные резцы делаются по ГОСТ 2384-44 (см. фиг. 39, *б*), а для глухих — по ГОСТ 2385-44 (см. фиг. 39, *а*).

Чистовой расточной резец подобен расточному для глухих отверстий, но имеет большее значение радиуса закругления при вершине ($r = 2 \div 5$ *мм*).

Расточные резцы работают при больших вылетах из резцедержателя, что не дает возможности снимать стружку большого сечения. При обработке больших отверстий применяются специальные оправки (дер-

жавки), в которых крепятся резцы малых размеров. На фиг. 43, *а* дана державка с прямым закреплением, а на фиг. 43, *б* — с косым закреплением. Расточные резцы для расточных станков крепятся в державках круглого сечения. На фиг. 44 даны типы закреплений резцов с помощью винтов и с помощью конических штифтов [1].

Для облегчения установки резца в державке применяется крепление, допускающее регулирование величины вылета из державки (фиг. 45, *а*).

Чтобы установить резец (круглого сечения) на необходимый размер x, нужно отвернуть винт *3*, вынуть резец с регулировочным винтом *4* из оправки *1*, отвернуть винт-фиксатор *5* и, ввертывая или вывертывая регулировочный винт *4*, отрегулировать размер x. После этого надо завернуть винт-фиксатор *5*, и резец готов к установке его в оправке.

В табл. 21 даются диаметры расточных оправок и резцов к ним в зависимости от размера растачиваемого отверстия.

Таблица 21

Диаметры расточных оправок и резцов [1]

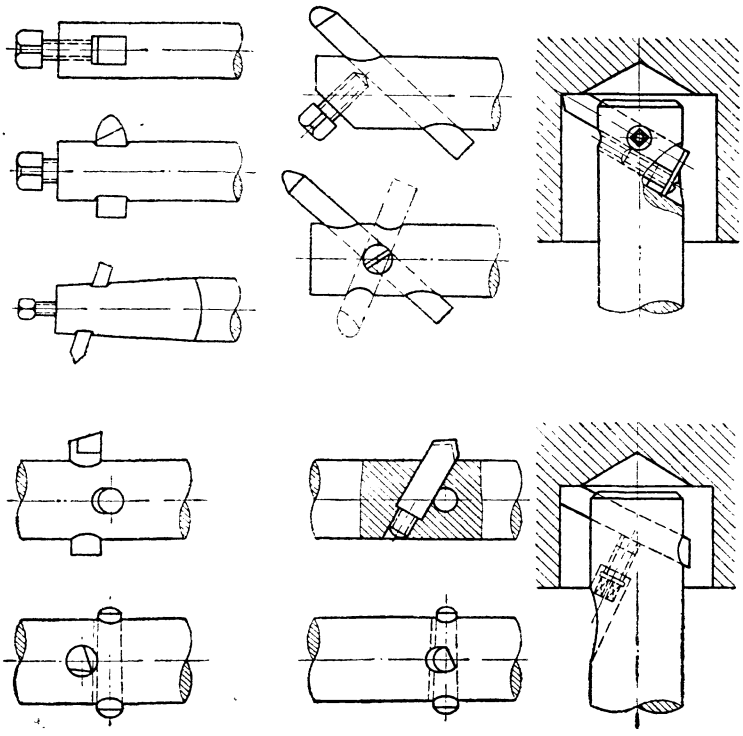
Диаметры растачиваемого отверстия в *мм*	Диаметр оправки в *мм*	Диаметр резца в *мм*	Диаметры растачиваемого отверстия в *мм*	Диаметр оправки в *мм*	Диаметр резца в *мм*
40—50	32	10	86—100	60	18
51—70	40	12	101—140	80	20
71—85	50	16	141—200	100	24

На фиг. 45, *б* дано закрепление резцов, допускающее регулирование вылета резца, не вынимая его из оправки. Для этого достаточно отвернуть боковой винт-фиксатор *1* и подвернуть или отвернуть упорный винт с внутренним шестигранником *2*.

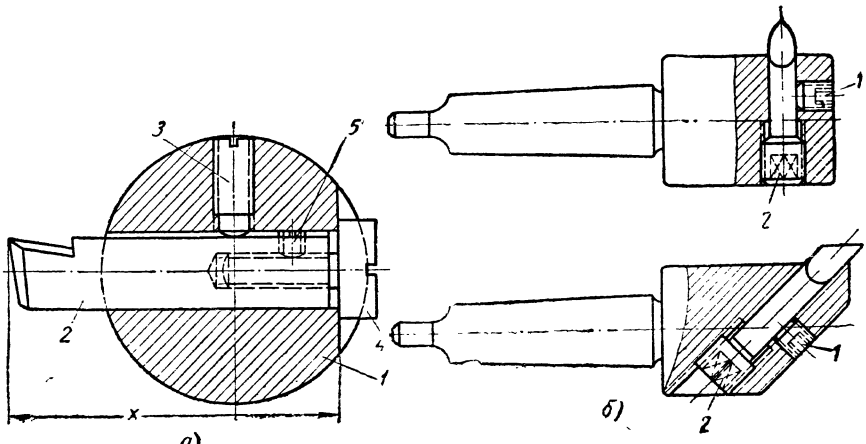
Кроме резцов с одним лезвием применяются резцы с двумя лезвиями (фиг. 46), обеспечивающие точное расположение оси отверстия при малом диаметре оправки (державки). Они крепятся винтом и не требуют установки на размер.

Пластинчатые резцы. Для расточки отверстия диаметром больше 40 *мм* применяются также пластинчатые резцы, представляющие собой заточенную пластинку (фиг. 47, *а*), вставленную и закрепленную в оправке. На фиг. 47, *б* дано закрепление пластинчатого резца с помощью клина, на фиг. 47, *в* — с помощью гайки и контргайки, на фиг. 47, *г* — с помощью винта с торца оправки. Хорошей конструкцией считается закрепление резца, как указано на фиг. 47, *д*. В оправке делается паз, в который вставляются резец *1* и вкладыш *2*. Винт *3* имеет коническую поверхность, которая при завертывании давит на наклонную плоскость вкладыша *2* и прижимает резец *1* к оправке. Во избежание выпадания вкладыша при вынимании резца он прижимается винтом *4*.

[1] Фигуры 44—50 и табл. 21 взяты из Энциклопедического справочника „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

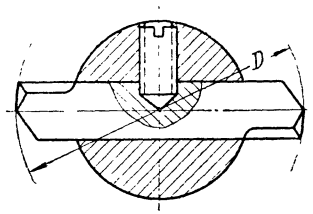


Фиг. 44. Крепление расточных резцов в державках круглого сечения.

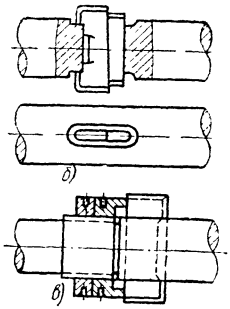


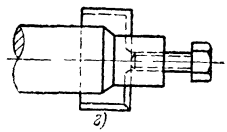
Фиг. 45. Крепление резца с регулированием на размер.

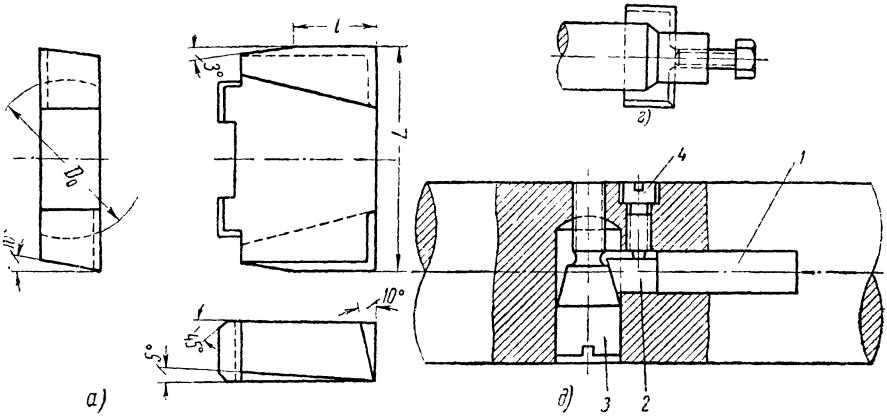
Резцы-блоки. Широкое распространение в металлообрабатывающей промышленности получили резцы-блоки, состоящие из корпуса с одной или несколькими парами вставных регулируемых резцов. Сам корпус крепится в оправке. Такие блоки делаются для черновой обработки, для чистовой обработки, а также комбинированными, когда в корпусе наряду с резцами для черновой обработки имеются резцы и для чистовой обработки.



Фиг. 46. Резец с двумя лезвиями.





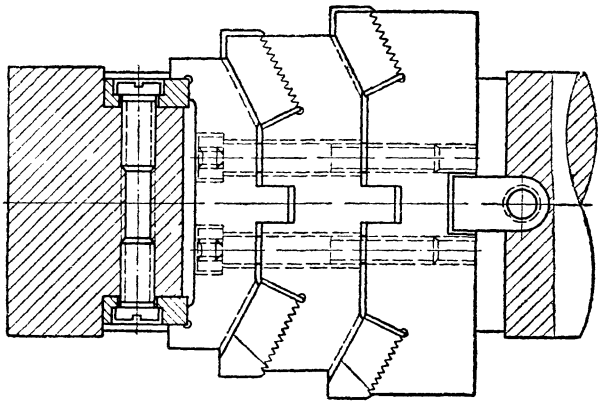


Фиг. 47. Пластинчатые резцы и методы их закрепления.

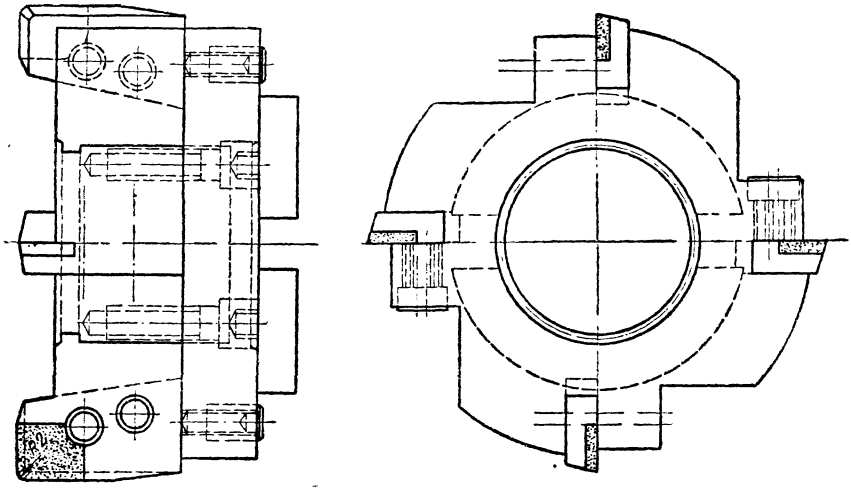
На фиг. 48 дана конструкция блока для черновой обработки, с корпусом, состоящим из трех частей (конструкция ЭНИМС). Резцы имеют рифления, позволяющие их регулировку на размер (путем перестановки на следующее рифление) по мере износа и переточки. Резцы-блоки допускают более полное использование твердых сплавов, дают высокое качество и точность обработанной поверхности, удобны в работе.

Расточные головки. В массовом производстве для предварительной обработки отверстий применяются также расточные головки, обладающие большой производительностью. Они представляют собой корпус (головку) со вставленными в него и соответствующим образом закрепленными резцами. Крепление резцов может быть осуществлено винтами, коническими штифтами и другими способами (см. гл. VII, VIII и IX).

На фиг. 49 дана расточная головка с резцами, оснащенными твердым сплавом, закрепленными винтами. Число резцов от 4 до 8 выбирается в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия.



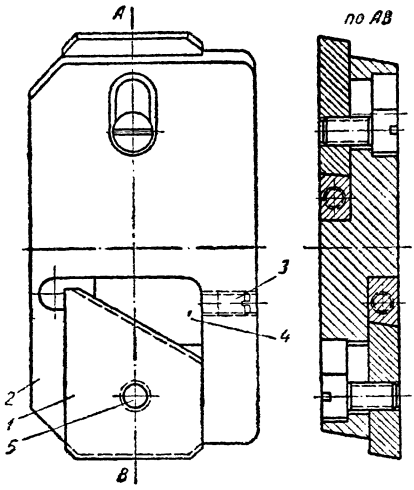
Фиг. 48. Блок для черновой обработки.



Фиг. 49. Расточная головка.

Плавающие резцы. Плавающие резцы предназначаются для окончательной обработки (калибровки) отверстий. Они представляют собой два свободно вложенных в расточную оправку резца (фиг. 50), удаляющих в процессе резания очень тонкие слои металла. Резцы самоустанавливаются в ранее обработанном отверстии, а потому исключается влияние неточности установки на точность обработанной поверхности.

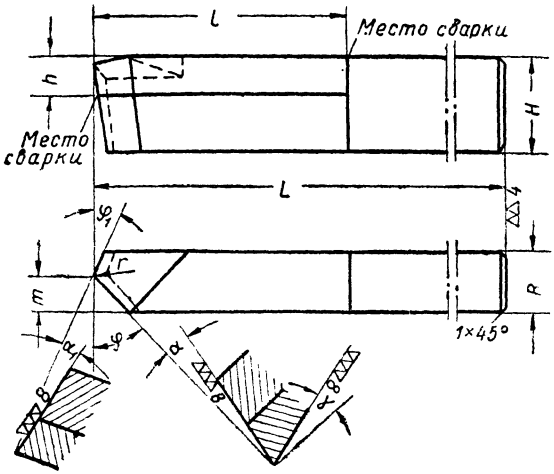
На фиг. 50 представлен составной плавающий резец, который свободно вставляется в паз оправки и может перемещаться в радиальном направлении. Этот резец дает возможность регулировки размера по диаметру. Для этого нужно отвернуть зажимной винт *5* и подвернуть нажимной винт *3*, который, воздействуя на клинообразный вкладыш *4*, переместит резец *1* в радиальном направлении по пазу корпуса *2*. После такой установки винт *5* закрепляется, и резец готов к работе, для чего он должен быть вставлен в соответствующий паз расточной оправки.



Фиг. 50. Составной плавающий резец.

Плавающие резцы делают диаметром до 600 *мм*.

Резцы к полуавтоматам и автоматно - револьверным станкам. Резцы к этим станкам делаются сварными (фиг. 51). Они работают с врезанием (поперечной подачей) и без врезания. При работе с врезанием вспомогательный угол в плане φ_1 делается 20—45°. При этом угол при вершине в плане не должен быть больше 90°, иначе врезание будет затруднительным. При закреплении таких резцов в державках они устанавливаются под углом 15° и 30° к направлению, перпендикулярному оси заготовки. При закреплении резцов в расточной оправке они устанавливаются под углом 90°, 30° и 45° к оси оправки.



Фиг. 51. Полуавтоматный проходной прямой резец.

Резцы полуавтоматные проходные прямые быстрорежущие, правые и левые (фиг. 51), делаются по ГОСТ 3786-47.

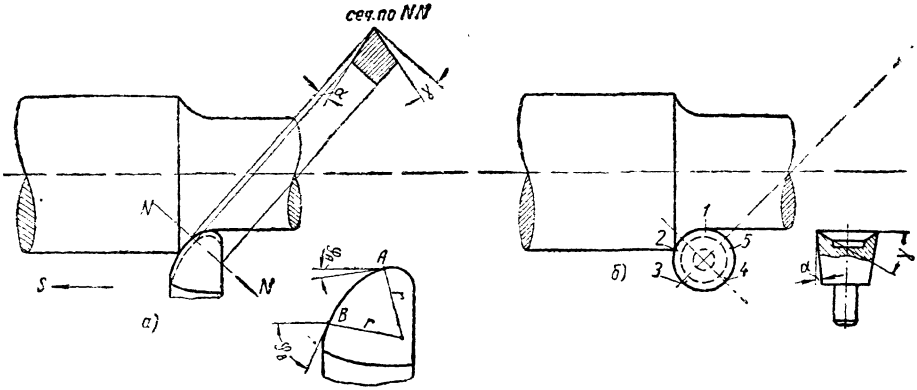
Резцы полуавтоматные проходные прямые, с углом $\varphi = 90°$, быстрорежущие правые и левые делаются по ГОСТ 3787-47, резцы полуавтоматные подрезные — по ГОСТ 3788-47, резцы полуавтоматные подрезные для работы в центрах — по ГОСТ 3789-47, резцы полуавтоматные

подрезные прямые, с углом $\varphi = 10°$ — по ГОСТ 3790-47, резцы полуавтоматные, фасочные — по ГОСТ 3791-47.

Резцы автоматно-револьверные призматические делаются по ГОСТ 3792-47—3800-47. Резцы круглые автоматные прорезные, отрезные фасочные односторонние и фасочные делаются по ГОСТ 3801-47—3804-47.

Технические условия на полуавтоматные и автоматно-револьверные резцы даются в ГОСТ 3805-47. Геометрические параметры режущей части на эти резцы берутся по ГОСТ 2320-43.

Резцы с криволинейной режущей кромкой. Кроме резцов с прямолинейной режущей кромкой имеются резцы с криволинейной режущей кромкой (фиг. 52, *а*). Они отличаются от резцов с прямолинейной режущей кромкой тем, что главный и вспомогательный углы в плане



Фиг. 52. Резец с криволинейной режущей кромкой.

у них переменны. Чем ближе точка режущей кромки к вершине резца, тем меньше углы φ и φ_1. Резец с криволинейной режущей кромкой имеет также и переменное значение переднего угла. При плоской заточке по передней грани точка режущей кромки, расположенная на вершине резца, имеет наименьшее значение переднего угла. Большой радиус закругления у вершины способствует получению более чистой обработанной поверхности по сравнению с резцом с прямолинейной режущей кромкой, у которого $r = 0{,}5 \div 5$ *мм*. Однако вследствие трудности заточки такие резцы находят малое распространение.

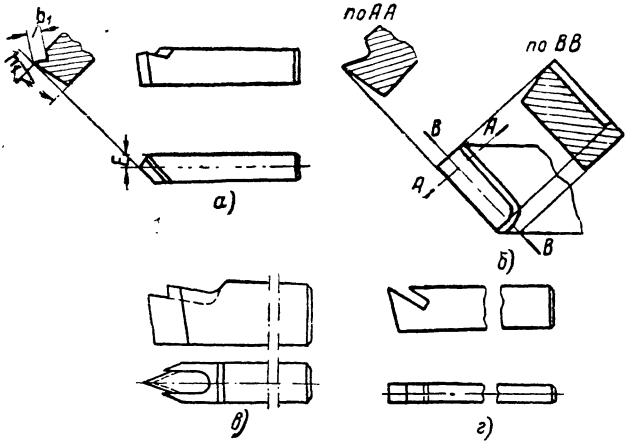
К резцам с криволинейной режущей кромкой относятся также чашечные резцы (фиг. 52, *б*), применяющиеся при обточке вагонных и паровозных осей и при обточке бандажей. При затуплении одного участка резец поворачивается и режет другим, острым, участком. Заточка производится по передней грани при затуплении резца по всей длине окружности.

Резцы с пластинками из твердых сплавов. В целях повышения жесткости державка для резцов с пластинками из твердых сплавов делается из Ст. 5 или 6 по ГОСТ 380-41 с термической обработкой ($H_{RC} = 30 \div 40$), а также из сталей У7А и У8А.

Для надежного крепления пластины должно быть обеспечено ее плотное прилегание к опорной поверхности державки. Для этого гнездо под пластину рекомендуется обрабатывать в два прохода — черновой и чистовой.

В зависимости от конструкции и назначения инструмента применяется открытое гнездо (фиг. 53, *а*), полузакрытое (фиг. 53, *б*), закрытое (фиг. 53, *в*) и врезное (фиг. 53, *г*).

Открытое гнездо просто в изготовлении и применяется почти для всех типов резцов.



Фиг. 53. Гнезда под пластинку твердого сплава:
а — открытое; *б* — полузакрытое; *в* — закрытое; *г* — врезное.

Полузакрытое гнездо делается для пластин с закруглением. Такая форма обеспечивает более надежное крепление пластин, но требует применения концевой фрезы, радиус которой равен (может быть и несколько меньше) радиусу пластинки.

Закрытое гнездо применяется для резцов с малыми размерами пластин. Такое гнездо обеспечивает плотное закрепление пластины.

Для более надежного закрепления пластин малого размера у отрезных резцов применяется врезное гнездо.

Опорная поверхность пластинки также подвергается обработке (очистке). Пластины обрабатываются на специальных полировально-шлифовальных станках или на обычных плоскошлифовальных. Очистка пластин может производиться и вручную, на простых точильно-шлифовальных станках. Однако шлифование вручную не может дать достаточно ровной поверхности.

Припой, соединяющий пластинку с державкой, должен иметь температуру плавления не выше 1100—1200° С, но и не ниже 700—800°.

Наиболее распространенным припоем для пластин твердого сплава служит химически чистая электролитическая красная медь (температура плавления 1050° С) в виде проволоки, фольги, мелкой стружки или тонкого порошка.

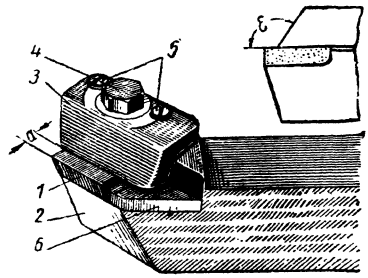
При отсутствии красной меди применяется латунь, недостатком которой является относительно низкая температура плавления (900° С) и низкая теплопроводность. Она дает меньшую прочность соединения при нагреве припоя сверх 400°, а потому не рекомендуется на инструмент для скоростного резания.

Находят применение и сплавы меди с никелем (88% красной меди и 12% никеля), выдерживающие температуру до 1150° С и дающие более прочное соединение пластины с державкой.

Во избежание окисления пластинки и припоя при напайке применяется флюс — бура (переплавленная для удаления влаги при температуре 700—750° С и размолотая в порошок).

Слой припоя должен равномерно заполнять все места соприкосновения пластины с державкой.

Напайка резцов производится в муфельных печах с нефтяным или газовым отоплением, в электропечах, в электропечах с защитной средой, на электросварочных аппаратах и с помощью токов высокой частоты.



Фиг. 54. Механическое крепление пластинки твердого сплава.

За последнее время широкое распространение получила напайка пластин из твердого сплава с помощью токов высокой частоты. Этот способ отличается высокой производительностью (более 120 резцов в час), так как нагрев длится всего 10—15 сек. Малый период нагрева вызывает незначительное окисление, что способствует получению высококачественной припайки.

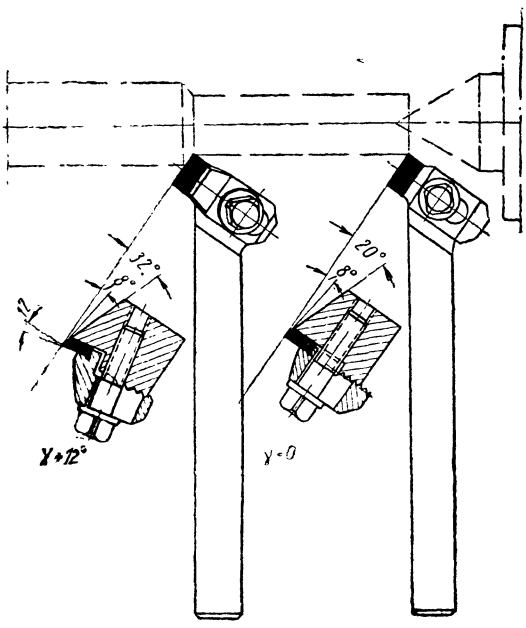
Напайка пластин является дорогой и трудоемкой операцией, приводящей в отдельных случаях к трещинам и последующему разрушению пластин во время работы. В связи с этим большого внимания заслуживает механическое крепление пластин к державке (фиг. 54).

Пластина *1* прижимается к державке *2* планкой *3* посредством завинчивания болта *4*. Винты *5* служат для регулирования плоскости соприкосновения планки *3* с пластиной *1*. По мере переточки пластинки она может перемещаться по гнезду под действием винтов, расположенных с торца пластинки (на фиг. 54 их не видно). Для регулировки размера *а* планка *3* может иметь продольный паз, допускающий ее перемещение вдоль ширины пластинки. На фиг. 54 дано гнездо полузакрытого типа, для получения которого к основанию открытого гнезда приварена пластинка *6*.

На фиг. 55 дана конструкция механического крепления пластины, разработанная на заводе „Фрезер“ инженерами Барсовым и Фесечко. Крепление пластины к державке производится с помощью прижима и болта.

В прижиме сделан паз, допускающий перемещение прижима в горизонтальной плоскости перпендикулярно главной режущей кромке пластины. Прижим имеет рифления, которые входят в рифле-

ния на державке. Это исключает перемещение прижима во время работы. Кроме силы зажатия от болта пластинка имеет упор в уступ прижима, что обеспечивает более прочное закрепление.



Фиг. 55. Механическое крепление конструкции завода „Фрезер".

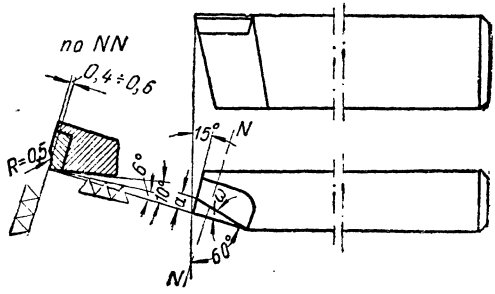
При цельной еще не переточенной пластинке прижим находится в крайнем правом положении. По мере износа и переточки прижим перемещается на одно рифление.

Механическое крепление обеспечивает более полное использование твердого сплава, исключает заточку державки (пластинка затачивается в отдельной державке) и сокращает в обращении количество державок (так как при затуплении режущей кромки меняется только пластинка).

При скоростном резании металлов в короткие промежутки времени образуется большое количество сильно разогретой стружки. При обработке сталей без применения специальных стружколомателей стружка сходит в виде ленты, которая наматывается на обрабатываемую деталь, обвивает резцовую головку и представляет опасность для рабочего Во избежание получения такой стружки применяются стружколоматели.

На передней грани резца делается уступ высотой 0,4—0,6 *мм* (фиг. 56), в который упирается стружка. В этом случае стружка получается в виде небольших, завитых в спираль с малым радиусом кусочков. Порог делается под углом ω к главной режущей кромке:

$$\omega = 8 \div 20°.$$



Фиг. 56. Стружколомающий уступ.

Чем больше глубина резания, тем меньше угол ω. Среднее значение $\omega = 10°$.

Ширина стружколомателя *a* делается в зависимости от подачи и глубины резания (табл. 22).

Таблица 22

Ширина *a* стружколомателя в *мм* (по данным завода ЗИС)

Глубина резания в *мм*	Ширина *a* при подаче в *мм/об*				
	0,2—0,31	0,32—0,44	0,45—0,57	0,58—0,7	0,71—0,81
0,4—1,4	1,6	2	2,4	2,8	3,2
1,4—7	2,4	3,2	4	4,4	4,8
7—13	3,2	4	4,8	5,2	5,1
13—20	4	4,8	5,6	6	6,4

Передний угол на уступе делается такой же величины, что и на всей передней грани. Стружколомающий уступ обеспечивает хорошее ломание стружки при подачах больше 0,2 *мм/об*. При меньших подачах, и в особенности при обработке вязкого материала, он не всегда обеспечивает надежное стружколомание.

Для этой же цели у резцов делается выкружка на передней грани (форма IIа, см. табл. 17, стр. 91), идущая параллельно режущей кромке. Такая выкружка обеспечивает надежное завивание и ломание стружки на широком диапазоне подач, включая и подачи меньше 0,2 *мм*.

Стружколомателя в виде порогов и выкружек трудоемки в изготовлении и при больших размерах понижают прочность лезвия резца. Для устранения этих недостатков применяются стружколомателя, напаянные на пластинку твердого сплава. Материалом стружколомателя может служить легированная сталь 9Х, 40Х или Х5Н — при обработке простых сталей, и из твердого сплава — при обработке закаленных сталей.

При механическом креплении пластин в качестве стружколомателя может служить прижим, в который впаяна пластинка твердого сплава (во избежание быстрого износа прижима от сходящей стружки). Средними параметрами установки (фиг. 54) накладного стружколомателя являются: $\varepsilon \approx 120°$, $\omega = 5 \div 20°$, $a = 3 \div 8$ *мм*. Чем больше угол φ, тем большим должны быть угол ω (угол между режущей кромкой и рабочей гранью стружколомателя — см. фиг. 56) и размер *a* (расстояние от вершины резца до кромки рабочей грани стружколомателя, измеренное в направлении, перпендикулярном к режущей кромке резца).

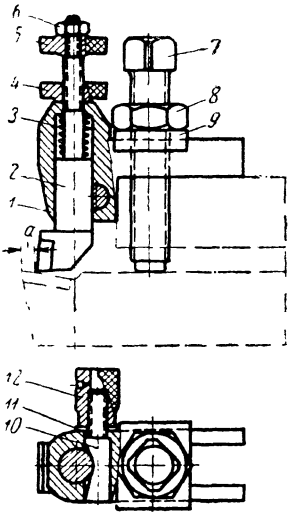
Наиболее полное разрешение задачи стружколомания может дать применение универсального стружколомателя, который позволяет в зависимости от условий работы менять расстояние упора от режущей кромки.

На фиг. 57 показан стружколомателя конструкции завода „Борец", который закрепляется на резцедержателе токарного станка посредством крепежного винта *7* через шайбу *9* гайкой *8*. В корпусе *1* помещаются стержень *2* и пружина *3*. Гайка *4* создает натяжение пружины, под действием которой стержень прижимается к передней грани резца. Перемещение на размер *a* производится после освобождения контргайки *8* или винта *7*. Стопор *10* посредством гайки *12* и шайбы *11* закрепляет стержень *2*. При отпущенном стопоре *10* стержень при помощи

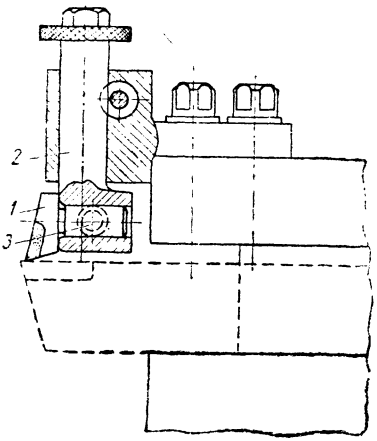
накатанной головки *5*, закрепленной гайкой *6*, может быть повернут на любой угол φ.

Накладной стружколоматель (фиг. 57а) конструкции ВНИИ закрепляется также на супорте станка. У этого стружколомателя головка *1*, вставленная в стержень *2*, имеет возможность поворота вокруг горизонтальной оси (при отвертывании винта *3*), что дает возможность упору головки самоустанавливаться на передней грани резца при различных углах λ и γ.

При работе резцом с отрицательным передним углом короткая стружка получается при положительном значении угла наклона главной режущей кромки λ (до $+20^\circ$) при отношении глубины резания к подаче не более 10.



Фиг. 57. Стружколоматель конструкции завода „Борец".



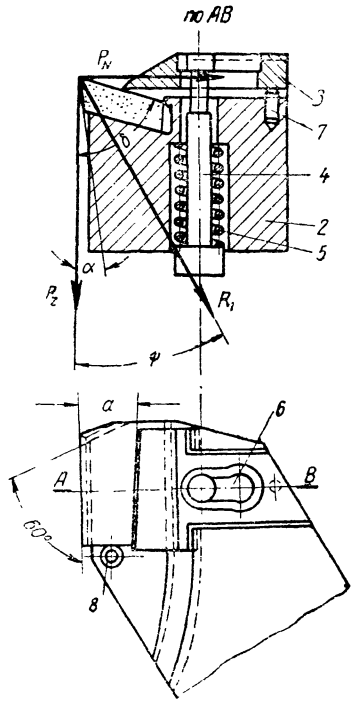
Фиг. 57а. Стружколоматель конструкции ВНИИ.

Закрепление пластин с помощью сил, действующих на резец при резании. Всесоюзный научно-исследовательский инструментальный институт Министерства станкостроения предложил новый оригинальный способ закрепления пластинок в державках, основанный на использовании сил, действующих на резец в процессе резания (авторы Г. М. Рывкин и Б. И. Самойлов).

На фиг. 58 дано такое закрепление. На пластину *1*, свободно лежащую в гнезде, действуют силы P_Z и P_N. Сила P_Z — тангенциальная составляющая; сила P_N — равнодействующая сил P_x и P_y, отталкивающая резец от поверхности резания. Равнодействующая этих сил R_1, направленная под углом ψ, при $\alpha < \psi < \delta$ проходит через опорную поверхность и прижимает пластинку к державке 2. При $\psi < \alpha$ пластинка будет опрокидываться вниз (против часовой стрелки), а при $\psi > \delta$ пластинка будет подниматься кверху (по часовой стрелке). Как показывают исследования, наибольшее значение ψ имеет место при тонких стружках и работе затупленным лезвием (до 65° при толщине среза

0,025 *мм*). Если врезать пластинку под углом 75° ($\delta = 75°$), то передний угол γ будет 15° и при толщине среза больше 0,3 *мм* наименьшее значение $\psi = 22°$. Таким образом, при $\psi_{min} = 22°$ и $\psi_{max} = 65°$ легко соблюсти условие $\alpha < \psi < \delta$, т. е. имеет место положение, когда сила R_1 будет прижимать пластинку к державке.

Для того чтобы при транспортировке пластинка не выпала, она прижимается через накладку *3* штифтом *4* и пружиной *5*. Накладка *3* служит стружколомателем, который плотно прижимается к пластинке сходящей стружкой. Для того чтобы стружколомать был более стоек против истирания его стружкой, он отливается из быстрорежущей стали с присадкой бора. Регулирование размера *a* — расстояния стружколомателя от вершины резца — производится путем перемещения накладки *3* около штифта *4*, входящего в прорезь *6*. Местоположение стружколомателя *3* и пластинки *1* определяется также штырями *7* и *8*. Пластинки затачиваются в специальных державках, которые свободно вставляются в державку *2* взамен затупленных. При $\gamma = 15°$ и $\alpha = 10°$ пластинка допускает вылет из державки на величину около 1,5 *мм*. Державки делаются комплектами из 3 шт. После затупления пластинки в державке № 1 пластинка перетачивается и вставляется в державку № 2, имеющую меньшую опорную поверхность и т. д.



Фиг. 58. Крепление пластинки с помощью сил, возникающих при резании.

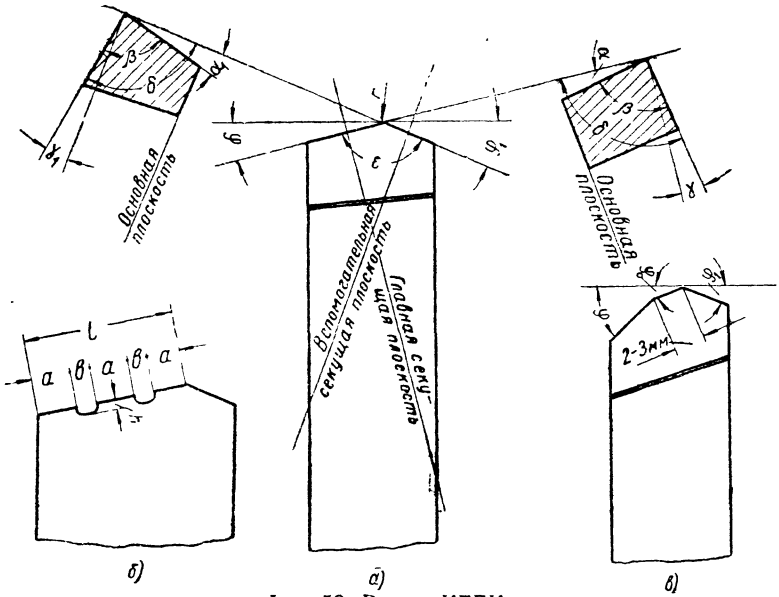
Наряду с устранением напайки, успешным разрешением вопроса стружколомания, быстросменностью пластинки, отсутствием заточки державки этот способ уменьшает скалывание пластинок при неожиданной остановке станка, когда резец находится под стружкой. Пластинка в этом случае вывертывается из-под накладки *3*, не разрушаясь, тогда как при жестком креплении происходит ее скалывание.

Резцы КБЕК. На фиг. 59, *а* дан резец с пластинкой из твердого сплава конструкции КБЕК (Кривоухов, Бруштейн, Егоров, Козлов), характерной особенностью которого являются малые углы в плане и отсутствие радиуса закругления при вершине резца в плане.

Геометрические параметры резца: $\gamma = -5°$, $\alpha = 12°$, $\varphi = 10 \div 20°$, $\varphi_1 = 10°$, $\alpha_1 = 12°$, $\lambda = 0°$, $r = 0°$.

Отсутствие радиуса закругления при вершине дает постоянное значение заднего и переднего углов в любой точке режущей кромки и облегчает

деформацию срезаемого слоя при вершине резца. Это приводит к уменьшению износа у вершины резца как по главной, так и вспомогательной задним граням. Облегчение деформаций у вершины содействует равномерному износу резца по задней грани на протяжении всего активного участка режущей кромки (у обычных резцов наибольший износ имеет место у вершины резца). Малые углы в плане создают направление сил, составляющее малый угол с осью резца, что при наличии отрицательного переднего угла делает пластинку резца более прочной и износоустойчивой. Малые углы в плане содействуют также получе-



Фиг. 59. Резцы КБЕК.

нию более чистой обработанной поверхности. Совокупность указанных факторов обеспечивает малый износ резца на больших скоростях резания и дает возможность сохранять размеры изделия на большой длине обработанной поверхности.

Отрицательный передний угол создает большое тепловыделение, приводящее к размягчению срезаемого слоя. Малые же углы в плане и отсутствие радиуса закругления обеспечивают хороший теплоотвод от режущей кромки резца и предотвращают концентрацию тепла на отдельных ее участках. Как показали исследования, проведенные в Московском авиационном институте, температура режущих кромок резца КБЕК ниже температуры стружки, тогда как у резцов обычной геометрии, наоборот, температура режущих кромок выше температуры стружки. Все это делает резцы КБЕК высокоустойчивыми против износа и дает возможность работать на высоких скоростях резания. Такие трудно обрабатываемые стали, как нержавеющие и закаленный хромансиль, возможно обрабатывать этими резцами со ско-

ростью резания до 300 *м/мин*, а углеродистую сталь 45 — со скоростью резания до 1500 *м/мин*.

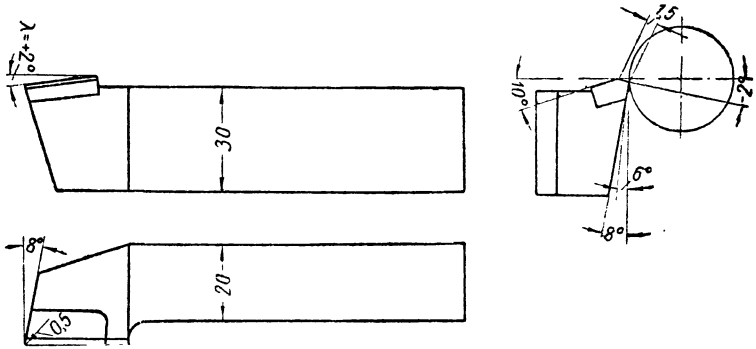
Малые углы в плане вызывают большие силы отжима и способствуют возникновению вибраций. Поэтому резцы КБЕК могут быть применены для работы при условии достаточной жесткости станка, приспособления, резца и изделия. Соотношение между длиной обрабатываемого изделия L и его диаметром D не должно быть больше шести, т. е.

$$\frac{L}{D} < 6.$$

Возникновению вибраций могут препятствовать рекомендуемые авторами две канавки на режущей кромке и на задней грани (фиг. 59, *б*). Ширина канавки

$$b = 0{,}1l,$$

где l — длина активной части режущей кромки.



Фиг. 60. Резец токаря-скоростника Г. С. Борткевича.

Глубина канавки

$$h = (0{,}2 \div 0{,}25)\, s,$$

где s — подача в *мм/об*.

Расстояние между канавками

$$a = \frac{l - 2b}{3}.$$

Малый угол в плане φ не дает возможности работать с большой глубиной резания. Для устранения этого недостатка авторами предложена конструкция резца КБЕК с ломаной режущей кромкой (фиг. 59, *в*). Геометрические параметры такого резца следующие: $\varphi_0 = 10 \div 20°$, $\varphi = 45 \div 75°$, $\varphi_1 = 10°$, $\gamma = -5°$, $\alpha = 12°$, $\alpha_1 = 12°$, $\lambda = 0 \div +15°$, $r = 0$.

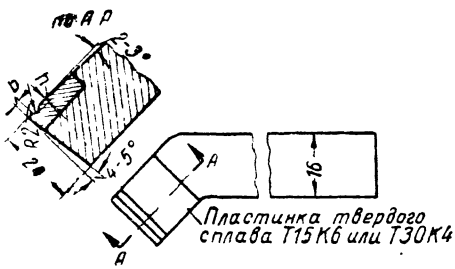
Резцы такого типа при достаточной жесткости системы (станок — изделие — резец) и достаточной мощности станка позволяют производить обработку с любой глубиной резания.

Резец Г. С. Борткевича. Токарь-скоростник Ленинградского завода имени Свердлова лауреат Сталинской премии Г. С. Борткевич применяет правый подрезной резец (фиг. 60), которым он наряду

с обточкой цилиндрических поверхностей производит подрезку торца, обточку конусов и отделку внутренних выточек. Резец имеет следующую геометрию:

передний угол (на фаске шириной 1,5 *мм*) .	$\gamma = -2°$
задний угол у пластинки	$\alpha = 6°$
» » » державки	$\alpha' = 8°$
угол наклона главной режущей кромки . . .	$\lambda = +2°$
главный угол в плане (при обточке)	$\varphi = 90°$
вспомогательный угол в плане	$\varphi_1 = 8°$
радиус закругления при вершине резца в плане	$r = 0{,}5$ *мм*

В процессе резания на передней грани резца образуется лунка. По мере увеличения износа эта лунка приближается к режущей кромке. Ленточка между лункой и режущей кромкой постепенно уменьшается. Г. С. Борткевич практически установил необходимость сохранения ширины ленточки в пределах 0,8—1,5 величины подачи. При ленточке меньше 0,8 лунка быстро приближается к режущей кромке, и она разрушается. Во избежание этого Борткевич во время работы внимательно наблюдает за ленточкой и легко восстанавливает ее карборундовым оселком (зернистость 400), не снимая резца со станка. Такие подправки ленточки производятся через каждые 12—20 мин.



Фиг. 61. Резец токаря-скоростника П. Б. Быкова.

Пользуясь этим способом, Г. С. Борткевич работает вышеуказанным резцом на скорости резания до 700 *м/мин*. Переточка резца производится через 45—60 мин. машинного времени и вызывается износом по задней грани и дальнейшим углублением лунки.

Резец П. Б. Быкова. Токарь-скоростник Московского завода шлифовальных станков лауреат Сталинской премии П. Б. Быков обрабатывает углеродистые стали со скоростью резания до 1800 *м/мин* при стойкости резца 60—120 мин. На фиг. 61 дан один из проходных резцов, применяемых П. Б. Быковым. Передний угол $\gamma = +2° \div +3°$, задний угол $\alpha = 4 \div 5°$, главный угол в плане $\varphi = 45°$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0$. Для улучшения стружкоотвода резец имеет на передней грани лунку, которая способствует завиванию стружки в спираль с малым радиусом. Такая стружка сходит с резца, не наматываясь на изделие, чем обеспечивается безопасность работы.

Глубина лунки $h = 0{,}5 \div 1{,}5$ *мм*, ширина ленточки $b = 0{,}2 \div 1{,}5$ *мм*, радиус лунки $R = 2$ *мм*.

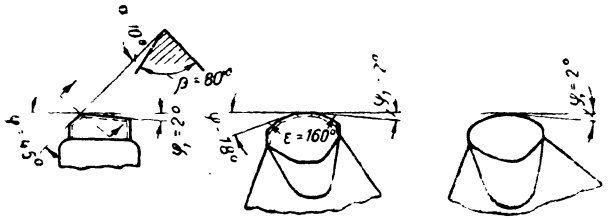
Особое внимание при заточке П. Б. Быков уделяет остроте режущей кромки, ее гладкости и отсутствию в ней зазубрин.

Резцы для тонкого точения. Для тонкого точения, которое характеризуется высокими скоростями резания (до 1000 *м/мин* и выше), малыми подачами (от 0,02 до 0,12 *мм/об*) и глубинами резания

(0,05—0,3 *мм*), применяют алмазные резцы, а также резцы, оснащенные твердыми сплавами. Вследствие указанных режимов силы резания и нагрев детали незначительны. Это обеспечивает высокое качество поверхностного слоя и высокую точность обработки. Точность размеров соответствует 2-му и 1-му классу.

Тонкой обработкой производятся обточка, расточка, подрезка, а также фрезерование.

Основными типами резцов при тонком точении являются проходные и расточные. Резцы с алмазами применяются для обработки цветных металлов и сплавов, а резцы с пластинками твердых сплавов — для обработки чугуна и стали. Размер алмазов рекомендуется около 1 карата (1 карат = = 0,2 *г*). Высокая твердость алмаза позволяет при остродоведенном лезвии снимать стружку малой толщины (0,02 *мм*) при высоких скоростях резания и обеспечивает незначительный износ резца, что дает



Фиг. 62. Формы лезвия алмазных резцов.

возможность сохранять постоянство диаметра обработанной поверхности на большой длине обработки. Средняя стойкость алмазных резцов 40—50 час.

Недостатками алмазных резцов являются их дефицитность, высокая стоимость и хрупкость.

По форме лезвия алмазные резцы делятся на резцы с одним лезвием, с несколькими лезвиями-фасками (фасетная огранка) и с круглым лезвием (фиг. 62).

Резцы с одной режущей кромкой применяются в основном для внутреннего точения. Резцы с фасетной огранкой позволяют использовать между переточками 3—6 граней (фасок). Резцы с круглым лезвием применяются для обработки пластмасс, эбонита, твердой резины.

Резцы из твердых сплавов делаются с одним лезвием.

В табл. 23 даются геометрические параметры резцов для тонкого точения.

Положительный угол наклона главной режущей кромки λ применяется при одностороннем точении и особенно при обработке вязких металлов. Для двухсторонних резцов угол $\lambda = 0$.

Передний угол резцов с алмазами берется в пределах 0—5°. Большее значение переднего угла не рекомендуется, так как это уменьшает угол заострения β, снижает прочность и приводит к выкрашиванию режущей кромки.

Величины углов в плане выбираются в зависимости от жесткости детали и характера обработки. У резца, предназначенного для двух-

стороннего резания (при подаче справа налево или слева направо), угол $\varphi_1 = 45°$. Значение угла $\varphi_1 < 2°$ принимается у резцов, предназначенных для заглаживания обработанной поверхности.

Таблица 23

Геометрические параметры резцов для тонкого точения *

Обрабатываемый материал	Углы заточки резца в град.					Радиус вершины R в *мм* ***
	Задний α	Передний ** γ	Углы в плане		Угол наклона λ	
			φ	φ_1		
Антифрикционные сплавы (баббит, белый металл)	Расточка 8÷15° в зависимости от диаметра, обточка 5÷10°	3÷12	Для твердых сплавов от 45 до 90° в зависимости от назначения резца Для алмазов от 18 до 45°	От 0 до 45° в зависимости от назначения резца 5÷15°	—	0,5÷1,0
Алюминий и его сплавы		0÷10			0÷7	0,5÷1,5
Твердая бронза		—7÷0			0	0,3÷0,5
Сталь		—5÷5			0÷35°	0÷1,0
Чугун		0			0÷15°	0,5÷1,0

* Д. Г. Белецкий, Технология чистовой обработки, Машгиз, 1949.

** Меньшие значения для алмазных резцов, у которых $\gamma_{max} = 5°$.

*** Для алмазов $R \leqslant 0{,}2 \div 0{,}5$ *мм* независимо от обрабатываемого материала.

Повышенное значение радиуса закругления при вершине в плане улучшает качество (микрогеометрию) обработанной поверхности, но вызывает склонность резца к вибрациям.

Алмаз и пластинка из твердого сплава закрепляются в державке с помощью медного или латунного припоя, а также механическим путем. Для надежного закрепления алмаз заливается припоем на $^2/_3$ своей величины.

Пластинки из твердого сплава припаивают сверху, как у обычных резцов, или вставляют в прорезь и заливают припоем.

Державки для резцов изготовляются из конструкционной стали (сталь 40) или из инструментальной углеродистой стали У6. Чаще всего они круглого сечения и снабжаются продольной лыской для направления и зажима резца в соответствующей оправке. При тонкой расточке такая оправка подобна обычной для расточных резцов. При тонкой обточке оправка имеет гнездо, ось которого перпендикулярна к оси обрабатываемого изделия. Диаметр державки резцов для тонкого точения 5—10 *мм*, длина 8—40 *мм*.

Закрепление алмаза с помощью припоя является хотя и надежным средством, но при неосторожном нагревании алмазы можно легко повредить. Механическое крепление исключает это, но оно громоздко и применяется для обточки, а также расточки отверстий большого диаметра.

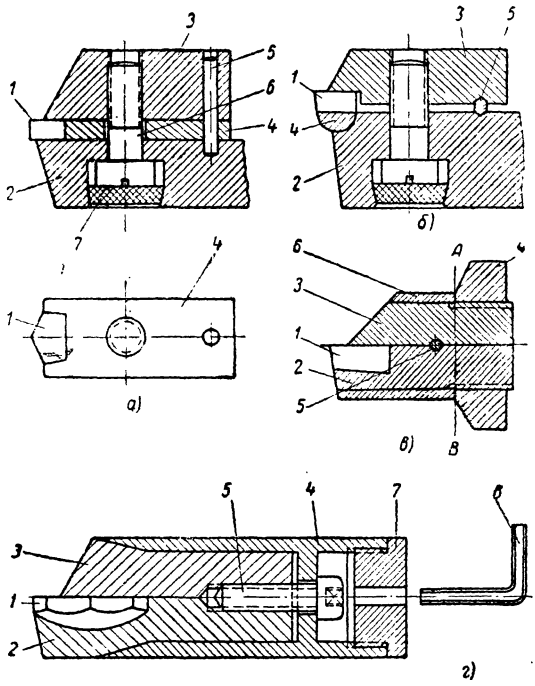
На фиг. 63 приводятся различные способы механического закрепления алмаза.

На фиг. 63, *а* алмаз *1* зажат между державкой *2* и планкой *3* через промежуточную прокладку *4*, фиксируемую штифтом *5*. После закрепления винтом *6* его головка зачеканивается свинцовой пломбой *7*.

На фиг. 63, *б* для лучшей опоры и избежания дополнительных внутренних напряжений алмаз *1* устанавливается на сферическую подкладку *4*. Для обеспечения соосности отверстия в планке *3* с отверстием в державке *2* между ними ставится штифт *5*.

На фиг. 63, *в* обе половинки державки сжимают алмаз *1* при навинчивании гайки *4*, которая сдвигает коническую втулку *6*. После зажатия для предотвращения смещения втулки просверливается сквозное отверстие под штифт *5*. Перед постановкой резца в оправку гайка *4* отвертывается, а резьбовой хвостовик отрезается по линии *АВ*.

На фиг. 63, *г* показан алмаз *1*, имеющий сферическое основание, что дает возможность свободно установить режущей кромкой его любую фаску. Обе части зажима (*2* и *3*) имеют коническую поверхность, упирающуюся в конус втулки *4*. При ввертывании винта *5* (с помощью торцевого ключа *6*) обе части зажима перемещаются во втулке *4* и закрепляют алмаз *1*.



Фиг. 63. Способы механического закрепления алмаза.

Обработка (заточка) алмаза производится по передней грани, по задним граням и по радиусу сопряжения режущих кромок. Процесс обработки заключается в доводке, которая производится на чугунном диске, шаржированном алмазной пылью.

РАСЧЕТ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

При подборе сечения резца необходимо считаться с качеством обрабатываемого материала, глубиной резания, подачей, геометрией резца и другими факторами, влияющими на силу резания P_z, действующую на резец в вертикальном направлении.

Сила P_z создает изгибающий момент

$$M_{изг} = P_z \cdot l \ кгмм,$$

где l — вылет резца из резцедержавки.

С другой стороны, максимальный изгибающий момент, допускаемый сечением державки резца,

$$M'_{изг} = R_b \cdot W \ кгмм,$$

где R_b — допускаемое напряжение на изгиб в $кг/мм^2$;

W — момент сопротивления сечения резца в $мм^3$.

Для сырой углеродистой стали $R_b = 24 \ кг/мм^2$.

Для державок из углеродистой стали, подвергнутых термической обработке по режиму быстрорежущей стали, допускаемое напряжение на изгиб примерно в 2 раза выше.

Момент сопротивления для державок прямоугольного сечения

$$W = \frac{B \cdot H^2}{6} \ мм^3,$$

где B — ширина державки резца в опасном сечении в $мм$;

H — высота державки резца в опасном сечении в $мм$.

Момент сопротивления для державок круглого сечения

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \ мм^3,$$

где d — диаметр державки в $мм$.

Приравнивая $M_{изг}$ моменту $M'_{изг}$, можно определить минимальное сечение державки резца из условия ее прочности.

Произведем расчет державки резца прямоугольного сечения:

$$M_{изг} = M'_{изг}; \qquad P_z \cdot l = \frac{BH^2}{6} R_b,$$

откуда

$$BH^2 = \frac{P_z \cdot l \cdot 6}{R_b}.$$

Так как $H \approx 1{,}5B$, то

$$B(1{,}5B)^2 = \frac{P_z \cdot l \cdot 6}{R_b};$$

$$B^3 = \frac{P_z \cdot l \cdot 6}{2{,}25 R_b};$$

$$B = \sqrt[3]{\frac{P_z \cdot l \cdot 6}{2{,}25 R_b}} \ мм.$$

Определив таким образом ширину державки резца, уточняем ее величину по табл. 20, откуда берется и соответствующая высота H.

Так как у державки квадратного сечения ширина B равна высоте H, то

$$B^3 = \frac{P_z \cdot l \cdot 6}{R_b};$$

$$B = \sqrt[3]{\frac{P_z \cdot l \cdot 6}{R_b}} \text{ мм}.$$

Для державок круглого сечения

$$P_z \cdot l = \frac{\pi d^3}{32} R_b,$$

откуда

$$d^3 = \frac{32 P_z \cdot l}{\pi R_b};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 P_z \cdot l}{\pi R_b}} \text{ мм}.$$

Максимальную нагрузку, допускаемую прочностью резца при известных B и H, можно определить из тех же основных положений:

$$M_{изг} = M'_{изг};$$

$$P_{z\,доп} \cdot l = \frac{BH^2}{6} R_b;$$

$$P_{z\,доп} = \frac{BH^2 \cdot R_b}{6l} \text{ кг}$$

для резца прямоугольного сечения.

Для резца круглого сечения

$$P_{z\,доп} = \frac{\pi d^3 \cdot R_b}{32l} \text{ кг}.$$

Для определения максимальной нагрузки, допускаемой прочностью головки резца, в приведенные формулы ставятся размеры державки в ослабленном сечении и соответствующий размер l.

Максимальная нагрузка, допускаемая жесткостью резца, определяется из условия допустимой стрелы прогиба резца

$$P_{z\,жест} = \frac{f \cdot 3 \cdot EJ}{l^3},$$

где f — допускаемая стрела прогиба в *мм*;

E — модуль упругости материала резца в *кг/мм²*;

J — момент инерции сечения державки;

l — расстояние от вершины резца до рассматриваемого (опасного) сечения.

При черновом точении допускаемая стрела прогиба $f \approx 0{,}1$ *мм*, а при чистовом $f \approx 0{,}05$ *мм*.

Модуль упругости для стали $E = 20\,000 \div 22\,000$ *кг/мм²*.

Момент инерции для прямоугольного сечения

$$J = \frac{BH^3}{12}.$$

Для круглого сечения

$$J = 0{,}05d^4.$$

Приведенный расчет державок на плоский изгиб является достаточно простым, но не точным. При этом расчете учитывается одна сила P_z, да и то только ее действие на изгиб. На резец же в процессе резания действуют три силы: P_z, P_y и P_x, которые, действуя на державку, вызывают в ней дополнительные напряжения. В результате этого державка испытывает сложное сопротивление, на которое в действительности она и должна быть рассчитана.

Как показали исследования, проведенные Г. Н. Титовым, а также Г. Г. Иноземцевым, на величину напряжений, возникающих при сложном сопротивлении, оказывают влияние конструкция головки и главный угол в плане.

В табл. 24 по данным Г. Г. Иноземцева приводятся (с учетом сложного сопротивления) допускаемые напряжения, которые следует учитывать при плоском изгибе державок.

Таблица 24

Значения допускаемых напряжений для державок из стали 50 при плоском изгибе (с учетом сложного сопротивления)

Условия	Допускаемые напряжения при плоском изгибе в *кг/мм²* при главном угле в плане в град.						
	30	45	60	75	90	90 отогнутый	45 отогнутый
Для сырых державок R_b в *кг/мм²*	12	10	8	6,5	5,5	5,5	13
Для закаленных державок R_b в *кг/мм²* . . .	24	20	16	13,0	11,0	11,0	26

ЗАТОЧКА РЕЗЦОВ

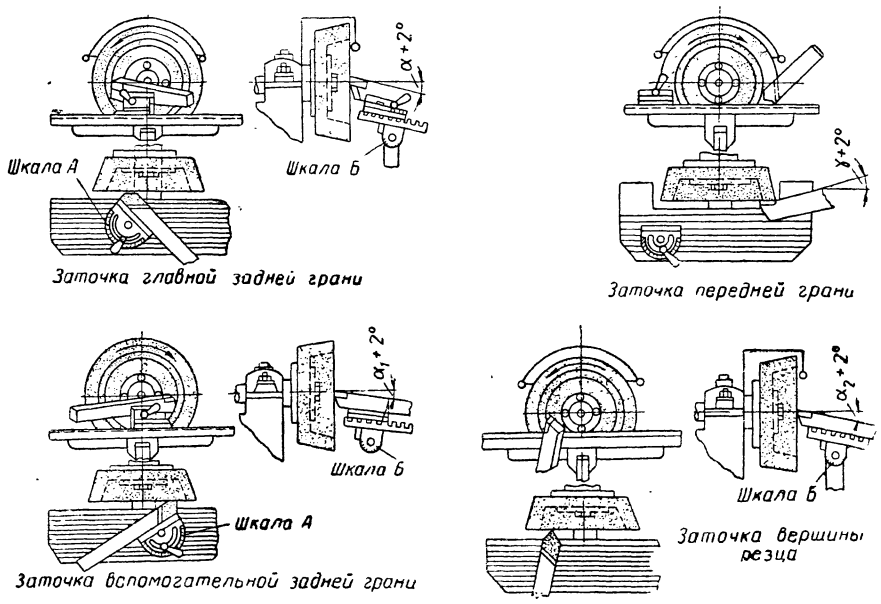
Заточка резцов производится при их изготовлении, а также во время их эксплоатации, после того, как резец затупился. Она может быть выполнена вручную на обычных точилах, на специальных станках для заточки резцов, а также на универсально-заточных станках.

При заточке на простом точиле резец держат в руках, опирая его на подручник. Такая заточка малопроизводительна, так как для получения необходимых углов заточки приходится производить частые измерения.

На фиг. 64 дана схема установки левого резца на поворотном подручнике-столике при заточке по главной задней грани, по вспомогательной задней грани, по передней грани и при заточке вершины. Заточ-

кой по задним граням получаются задние углы (соответственно α и α_1), заточкой по передней грани — передний угол γ и угол наклона главной режущей кромки λ, заточкой по вершине — радиус закругления при вершине в плане и задний угол на криволинейном участке.

При заточке на специальных станках резец крепится в головке или в специальном приспособлении (тисках), имеющих возможность пово-



Фиг. 64. Схема установки резца на подручнике при заточке резца.

рота вокруг трех осей по горизонтальной, вертикальной и наклонной шкалам. Для заточки радиуса закругления при вершине в плане применяется специальное приспособление, установленное на стол станка. Чаще заточка радиуса производится вручную.

Все заточные станки дают возможность поворота резцов не в главной и вспомогательной секущих плоскостях (в которых задаются и измеряются углы γ, α, γ_1 и α_1), а в продольной (параллельной оси резца) и поперечной (перпендикулярной оси резца) плоскостях. В продольной плоскости $a - b$ главная режущая кромка резца будет иметь углы $\gamma_{прод}$ и $\alpha_{прод}$ (фиг. 65, a), а в поперечной плоскости $c - d$ — углы $\gamma_{попер}$ и $\alpha_{попер}$. Между этими углами существует следующая зависимость:

$$\operatorname{tg}\alpha_{попер} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sin\varphi}; \qquad \operatorname{tg}\alpha_{прод} = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\varphi};$$

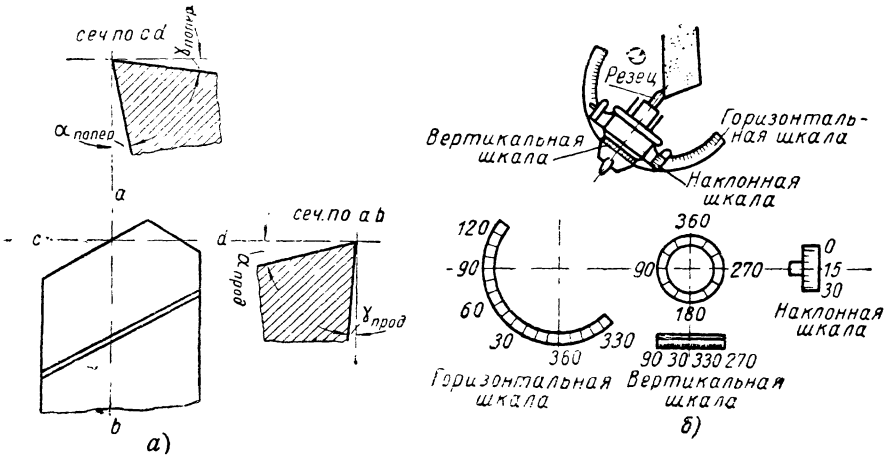
$$\operatorname{tg}\gamma_{прод} = \operatorname{tg}\gamma\cos\varphi - \operatorname{tg}\lambda\sin\varphi;$$

$$\operatorname{tg}\gamma_{попер} = \operatorname{tg}\gamma\sin\varphi + \operatorname{tg}\lambda\cos\varphi.$$

Значения углов γ и λ берутся со своими знаками.

На фиг. 65, *б* дана схема шкал головки резцезаточного станка Ленинградского завода имени Ильича.

Для заточки вспомогательной задней грани под угол α_1 резец сначала надо установить так, чтобы вспомогательная режущая кромка была параллельна торцевой плоскости шлифовального круга. Для этого головка поворачивается на соответствующий угол вокруг вертикальной оси с отсчетом по горизонтальной шкале. Затем необходимо повернуть



Фиг. 65. Схема шкал головки резцезаточного станка.

резцедержатель вокруг горизонтальной оси с отсчетом по вертикальной шкале на угол $\alpha_{попер}$. Аналогичным образом может быть заточена и главная задняя грань.

Для заточки передней грани под угол γ резец устанавливается так, чтобы основная плоскость резца была параллельна плоскости круга. Затем производится поворот резца вокруг вертикальной оси с отсчетом по горизонтальной шкале на угол $\gamma_{прод}$ и поворот вокруг горизонтальной оси с отсчетом по вертикальной шкале на угол $\gamma_{попер}$.

Наклонная шкала служит для поворота оси резца в вертикальной плоскости. Она может быть использована при заточке отрезного резца по задней грани.

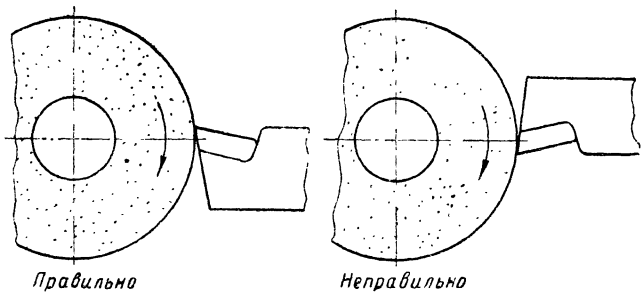
Установка лимбов может производиться по расчету, а также по специальным таблицам, имеющимся на станке.

Заточка резцов производится дисковыми и чашечными шлифовальными кругами. В первом случае заточка задних граней и предварительная обработка передней производятся периферией круга. На торце круга производится чистовая заточка передней грани. При работе на чашечных кругах заточка производится их торцевой частью.

Резцы из быстрорежущей стали затачиваются в две операции: 1) черновая заточка; 2) чистовая заточка. Черновая заточка производится алундовыми или корундовыми кругами твердостью СМ1—СМ2, зерни-

стостью 24 — 36, чистовая — зернистостью 60 — 80. Заточка производится с обильным охлаждением (не менее 15 — 20 *л/мин*), чтобы не вызвать прижогов (отпуска), которые сильно снижают режущие свойства резцов. В качестве охлаждающей жидкости применяется вода с 2 — 3% соды, а также обычная эмульсия. Давление на резец при заточке должно быть равномерным и не больше 2 — 3 *кг*. Скорость вращения круга 18 — 25 *м/сек*.

Важным фактором при заточке резцов, особенно с пластинками твердых сплавов, является направление вращения шлифовального круга. При вращении круга на режущую кромку (фиг. 66) она получается более острой, без зауселцев, так как в этом случае снижается возможность выкрашивания. При таком направлении вращения круга



Фиг. 66. Направление вращения круга при заточке резцов.

пластинка прижимается к державке, что предохраняет ее от отскакивания.

Для получения прямолинейности режущей кромки и равномерного износа круга резец необходимо перемещать вдоль рабочей поверхности круга.

Кроме чистовой заточки резцы с пластинками из быстрорежущей стали подвергаются доводке по всем элементам режущей части резца. Доводкой удаляется поврежденный (отпущенный при заточке) слой, получаются более чистые обработанные поверхности резца, обеспечивается прямолинейность режущих кромок и острота лезвия. Доводка значительно повышает стойкость резца и обеспечивает более чистую обработанную поверхность на изделии.

Доводка по задней и передней граням производится с помощью специальных паст ГОИ на чугунном диске, вращающемся со скоростью 0,8—2 *м/сек*. Доводка по радиусу закругления при вершине угла в плане производится вручную, мелкозернистым (зернистостью 400) оселком.

К заточке резцов с пластинками из твердых сплавов ввиду их хрупкости предъявляют более высокие требования.

Станок для заточки таких резцов должен быть жестким и во избежание возникновения вибраций должен устанавливаться на фундамент. Шпиндель станка не должен иметь радиальных или осевых люфтов.

Шлифовальный круг должен быть правильно выбранным, хорошо выверенным и надежно закрепленным. Заточка производится или с обильным охлаждением, или всухую. В последнем случае для удаления пыли необходима вентиляция.

Заточка державки по главной и вспомогательной задним граням производится корундовым кругом зернистостью 24—36, твердостью СТ1—СТ2 при скорости вращения круга около 25 *м/сек*.

Черновая заточка пластинки по задним и передним граням производится кругами из карбида кремния. Для пластинок из вольфрамокобальтовых сплавов применяют круги зернистостью 30—60, твердостью $М_3$—$СМ_1$; для пластинок из вольфрамотитанокобальтовых сплавов — зернистостью 30—60, твердостью М2—М3. Скорость вращения круга 15—18 *м/сек*, подача резца на круг 0,004—0,006 *мм*.

Чистовая заточка по пластинке производится кругами из карбида кремния зернистостью 80—100, твердостью М2—М3 для вольфрамокобальтовых сплавов и М1—М2 — для вольфрамотитанокобальтовых. Скорость вращения круга 10—15 *м/сек*, подача 0,002—0,004 *мм*.

Радиус закругления затачивается кругами из карбида кремния зернистостью 80—100, твердостью М1—М2.

Окончательной операцией при заточке резцов с пластинками из твердых сплавов является обязательная доводка по всем элементам режущей части резца. Доводка резца повышает его стойкость и улучшает качество обработанной им поверхности.

Доводка по задним и передней граням производится с помощью паст из карбида бора (зернистостью 270—325) на чугунном диске, вращающемся со скоростью до 3 *м/сек*.

Доводка по радиусу закругления при вершине резца в плане производится вручную, мелкозернистым оселком из карбида кремния (зернистость 400).

Так как доводку производят не по всей площади граней, а лишь на ленточке шириной 2—3 *мм*, то необходимо, чтобы грани резца были заточены под углы на 2—3° больше тех, которые назначены и указаны на чертеже.

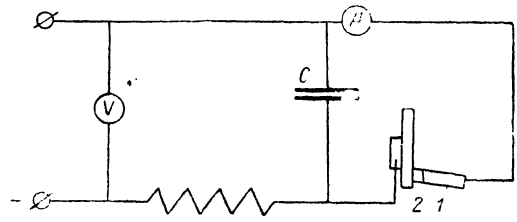
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗАТОЧКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Рассмотренная выше абразивная заточка твердосплавного инструмента требует применения дорогих кругов из зеленого карбида кремния и обязательной доводки при помощи дорогого карбида бора. В связи с этим широкое распространение находят электрические методы заточки. Эти методы исключают применение абразивного инструмента, обеспечивают высокое качество поверхностей и прямолинейность режущих кромок инструмента, дают возможность иметь одну установку инструмента для полного цикла заточки (обдирка, шлифование, доводка).

К электрическим методам заточки режущего инструмента относятся:

1) электроискровая заточка;
2) анодно-механическая заточка.

Электроискровая заточка. Электроискровой метод обработки металлов предложен лауреатом Сталинской премии д-ром техн. наук Б. Р. Лазаренко. На фиг. 67 дана принципиальная электрическая схема электроискровой заточки режущего инструмента. Затачиваемый инструмент *1* подключен к одному полюсу, а вращающийся диск *2* — к другому. Диск и резец помещаются в ванну с диэлектриком (минеральное масло с температурой вспышки не ниже 180°) или производится полив в место их соприкосновения (до 25 *л/мин*). Диск делается из меди, латуни и чугуна. Источником тока служит генератор постоянного тока, заряжающий обкладки конденсатора *C*. Существует высоковольтный электроискровой способ (напряжение 110—220 *в*) и низковольтный (10—30 *в*). При высоковольтном способе затачиваемый инструмент подключается к отрицательному полюсу (катод), а диск — к положительному (анод), при высоковольтном — наоборот. Наиболее удобным, дающим более качественную обработанную поверхность и высокую производительность, является низковольтный способ.



Фиг. 67. Схема электроискровой заточки.

При сближении диска и резца между их выступающими частями за счет запасенной в конденсаторе энергии происходит мощный искровой разряд. Металл с большой скоростью выбрасывается в жидкую диэлектрическую среду. Такими последовательными разрядами происходит постепенное разрушение выступов (шероховатостей) затачиваемой поверхности.

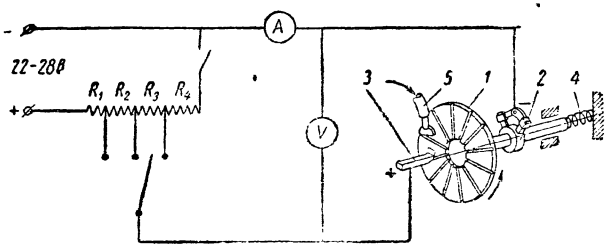
Производительность заточки и качество заточенной поверхности зависит от емкости, силы тока, силы прижатия резца к диску и скорости вращения диска. Чем меньше емкость и сила тока, тем меньше съем металла, но более качественна поверхность. С увеличением скорости вращения диска чистота заточенной поверхности улучшается. Изменение указанных параметров с целью получения более качественной поверхности при доводке производят на станке, не вынимая резца из резцедержателя.

Низковольтный электроискровой способ характеризуется следующими данными: емкость — 0—500 *мкф*; напряжение — 10—30 *в*; скорость вращения диска — 10—30 *м/сек*; мощность установки — 5—6 *квт*.

Специальных станков для электроискровой заточки в настоящее время не выпускается. Они создаются соответствующей переделкой обыкновенных абразивных заточных станков.

Анодно-механическая заточка. Анодно-механический способ заточки, предложенный дважды лауреатом Сталинской премии инж. В. Н. Гусевым, нашел более широкое промышленное применение как более производительный. На фиг. 68 дана принципиальная электрическая схема анодно-механических заточных станков. Заточной диск *1*

(диаметром 150—250 *мм*, сделанный из меди, стали или чугуна) укреплен на шпиндельной головке станка и с помощью скользящего контакта 2 подключен к отрицательному полюсу (катод). Затачиваемый резец 3 зажимается в универсальные тиски (обеспечивающие возможность заточки резца по всем его элементам с одного закрепления) и подключается к положительному полюсу (анод). Сила прижатия резца к диску регулируется пружиной 4 (1—10 *кг*). В процессе заточки через сопло 5 к месту заточки подается рабочая жидкость (специальный электролит) — 6—10 *л/мин*. Для равномерного подвода жидкости ко всей затачиваемой поверхности и для облегчения удаления продуктов заточки на рабочей поверхности диска делаются прямые (с углом наклона к оси 20—30°) или спиральные (четырехзаходные) канавки с шириной



Фиг. 68. Схема анодно-механической заточки.

паза 2—4 *мм* и глубиной 5—7 *мм*. Источником тока служит генератор постоянного тока напряжением 20—30 *в*.

Специальный электролит, попадая между диском и затачиваемой гранью резца, образует на ней (на аноде) под действием постоянного тока нерастворимую защитную пленку, обладающую высоким электрическим сопротивлением. Вращающийся диск (со скоростью 8—12 *м/сек*) удаляет ту часть этой пленки, которая образуется на близрасположенных к диску поверхностях, т. е. на выступах затачиваемой поверхности. Наряду с электрохимическим разрушением выступов, вследствие высокого сопротивления пленки поверхностный слой (выступы) подвергается сильному разогреву и оплавлению. Расплавленный металл в виде мелких частичек удаляется вращающимся диском. В результате такого постепенного разрушения выступающих частиц получается высокое качество поверхности.

На производительность и качество заточенной поверхности влияют электрический режим (напряжение, сила тока), давление затачиваемого резца на диск и скорость вращения диска. Чем меньше напряжение и сила тока, тем меньше производительность, но выше качество поверхности. Для конкретных условий обработки по производительности имеется свое оптимальное значение скорости вращения диска. Увеличение скорости вращения диска способствует повышению качества поверхности. Давление между диском и затачиваемым резцом должно быть в определенных пределах, так как повышенное давление может привести к полному разрушению пленки в отдельных участках и за-

мыканию между электродами. На производительность оказывает влияние и плотность электролита. Оптимальное значение ее 1,34—1,36 *г/см³*. Испарение жидкости приводит к увеличению плотности и снижению производительности. Поэтому необходимо следить за плотностью электролита, а также производить его регулярную очистку и замену.

В промышленности получили распространение анодно-механические станки, модернизированные на базе абразивных заточных станков. Новыми специально разработанными для анодно-механической заточки являются станки АМЗ-10 и АМЗ-Р (ОКБ Министерства станкостроения).

На анодно-механическом заточном станке обдирка, шлифование и доводка производятся с одной установки резца. При этом каждому из указанных переходов соответствует свой электрический режим, регулируемый соответствующим включением определенного сопротивления цепи.

В табл. 25 по данным И. Я. Богорад приводятся электрические режимы и характеристики отдельных переходов при заточке твердосплавных резцов средних размеров (16×20) при напряжении генератора 22—24 *в*.

Таблица 25

Электрические режимы и характеристики отдельных переходов при заточке

Переход	Электрический режим		Сопротивление в омах (всей цепи)	Производительность в *мм/мин*	Чистота поверхности $H_{ск}$ в *мк*
	Рабочее напряжение в *в*	Сила тока в *а*			
Обдирка	18—20	50—70	0,10—0,15	1,0—1,5	25
Шлифование	15—17	13—15	0,5—0,7	0,1—0,2	10
Доводка	8—12	4—8	2,0—2,5	0,03—0,06	0,2—0,6

К недостаткам анодно-механического метода относится загрязнение электролитом оборудования, во избежание чего необходимо применение специальных защитных устройств.

Наряду с широким применением электрических методов заточки для резцов и фрез их можно успешно применять для заточки и более сложного инструмента.

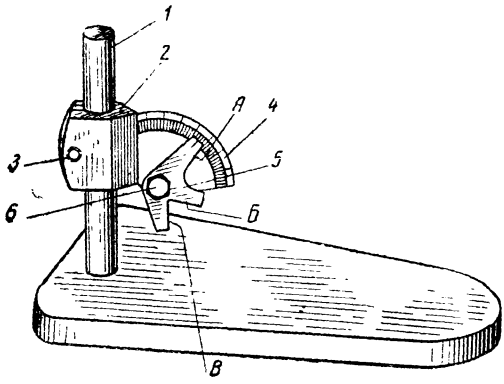
КОНТРОЛЬ РЕЗЦОВ ПОСЛЕ ЗАТОЧКИ

Контроль резцов заключается в проверке качества заточки их режущих кромок и геометрии режущей части.

Режущие кромки должны быть прямолинейны и не должны иметь зазубрин. Пластинки после заточки не должны свешиваться по краям державки и не должны иметь трещин, видимых при рассмотрении в лупу при 5—10-кратном увеличении. Вершина резца должна быть

плавно округлена. Опорная поверхность резца должна быть плоской, прямолинейной и плотно прилегать к контрольной плите. Углы заточки должны быть выдержаны согласно чертежу и иметь отклонения, не превышающие допустимые. Для проверки углов заточки применяются угломеры и шаблоны.

На фиг. 69 дан настольный угломер, служащий для измерения переднего угла, задних углов и угла наклона главной режущей кромки. По вертикальной стойке *1*, закрепленной в плите, передвигается ползунок *2*, зажимаемый винтом *3*. Скругленная пластинка *4*, вделанная в ползунок *2*, имеет шкалу с делениями, по которой может двигаться рычаг *5*, вращаясь вокруг оси *6*. Рычаг имеет три ребра: *А*, *Б* и *В*. На ребре *А* нанесена риска, которая совпадает с нулевым положением шкалы, когда ребро *Б* горизонтально. Между ребрами *Б* и *В* угол 90°, так что при горизонтальном положении ребра *Б* ребро *В* будет расположено вертикально.



Фиг. 69. Настольный угломер.

Для измерения переднего угла γ ребро *Б* поворачивается до соприкосновения с передней гранью резца, установленного на плиту угломера. Для измерения заднего угла α ребро *В* поворачивается до соприкосновения с задней гранью резца. При этих измерениях ребра устанавливаются в направлении, перпендикулярном к проекции главной режущей кромки на основную плоскость (т. е. в главной секущей плоскости, в которой задаются главные углы резца). Для измерения угла наклона главной режущей кромки λ ребро *Б* направляется по режущей кромке.

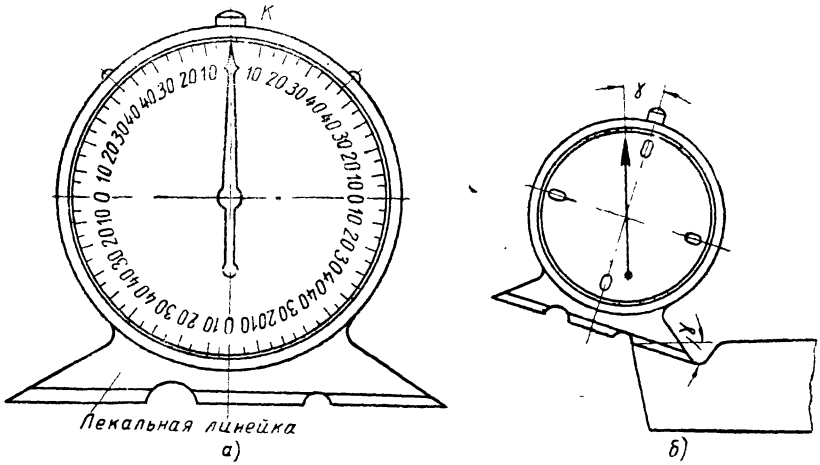
Величины углов при этих измерениях фиксируются по совпадению риски на ребре *А* с тем или иным делением шкалы.

Главный угол в плане φ, вспомогательный угол в плане φ_1 и угол при вершине в плане ε могут быть измерены универсальным угломером.

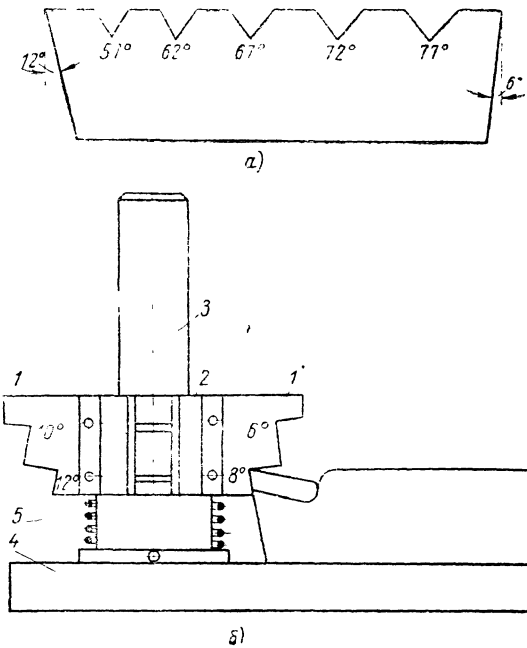
На фиг. 70, *а* показан угломер ВНИИ, в основу конструкции которого положен принцип отвеса. Стрелка угломера всегда стоит вертикально и при горизонтальном или вертикальном положении лекальной линейки совпадает с нулевым делением шкалы. Но если проверяемая поверхность наклонна, то при наложении на нее лекальной линейки стрелка укажет на шкале угол наклона по отношению к горизонтали или вертикали. Для закрепления стрелки в том или ином положении по отношению к шкале в приборе имеется тормозное устройство.

Этим угломером можно измерить передний угол резца, задние углы, угол наклона главной режущей кромки, главный и вспомогательный углы в плане.

Для измерения переднего угла (фиг. 70, *б*) резец надо установить на горизонтальную плоскость и лекальную линейку положить на пе-



Фиг. 70. Угломер конструкции ВНИИ.



Фиг. 71. Шаблоны для измерения углов резца.

реднюю грань (в направлении, перпендикулярном к прое ции главной ре ущей кромки). После нажима на кнопку *К* (для того чтобы отпустить тормоз) стрелка придет в вертикальное положение и ука-

жет на циферблате величину переднего угла. Аналогичным способом измеряются и другие углы: задний угол, главный и вспомогательный углы в плане, угол наклона главной режущей кромки.

Кроме указанных угломеров углы измеряются с помощью шаблонов. На фиг. 71, *а* дан плоский шаблон для измерения заднего угла и угла заострения, на фиг. 71, *б* — комбинированный шаблон для измерения переднего и заднего углов. Он состоит из набора нескольких плоских шаблонов *1*, укрепленных во втулке *2*; последняя может свободно перемещаться и поворачиваться по стойке *3*, закрепленной на плите *4*. Пружина *5* служит для удержания втулки с шаблонами в верхнем положении. Это дает возможность легко измерять углы у резцов любых размеров. При измерении резец подводится под тот или иной шаблон, для чего втулка с шаблонами опускается при нажатии на нее рукой.

Радиус закругления при вершине в плане контролируется специальными радиусными шаблонами.

СТРОГАЛЬНЫЕ РЕЗЦЫ

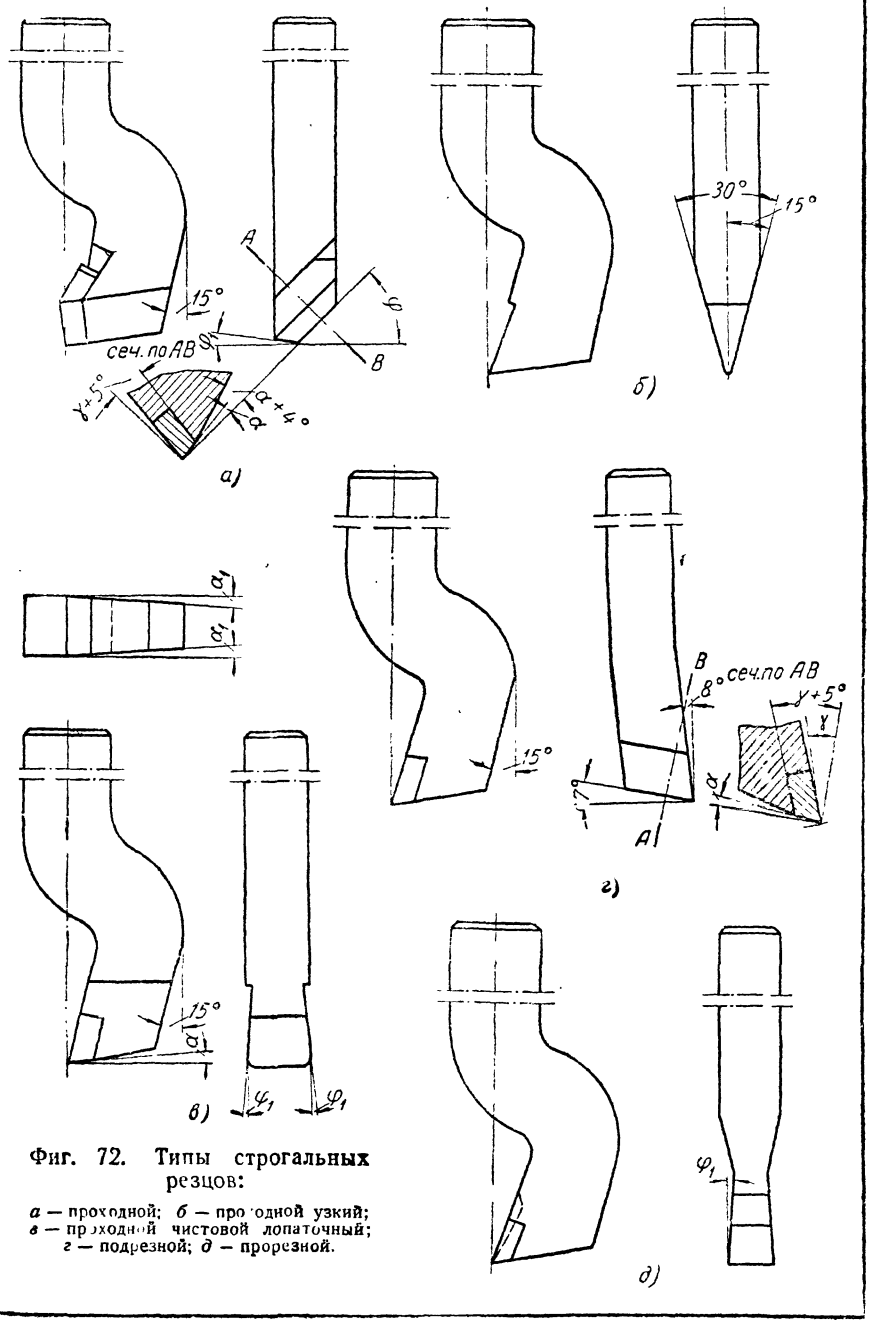
Строгальные резцы применяются для обработки плоскостей и фасонных поверхностей на строгальных станках.

При строгании резец находится под воздействием стружки только во время рабочего хода. При холостом ходе он нагрузки не испытывает и охлаждается. Это благоприятно сказывается на его стойкости. Но, с другой стороны, строгальный резец каждый раз входит в изделие с ударом, что отрицательно сказывается на его прочности и стойкости. Ударная нагрузка на резец заставляет уменьшать скорость резания и увеличивать сечение резца.

Строгальные резцы бывают простыми и фасонными. На фиг. 72 даны типы строгальных резцов. Проходные резцы (фиг. 72, *а*) применяются для строгания плоскостей по всей ширине изделия без уступов. Узкий проходной резец (фиг. 72, *б*) применяется там, где применение обычного проходного резца затруднено. Чистовые лопаточные резцы (фиг. 72, *в*) применяются для чистовой обработки плоскостей. Наряду с лопаточным резцом, работающим с большими подачами и малыми глубинами резания, режущая кромка чистового резца делается и округленной с радиусом 6—15 *мм*. Подрезной строгальный резец (фиг. 72, *г*) применяется для обработки боковых поверхностей изделия, боковых поверхностей выступов и углублений, имеющихся на изделии. Прорезные резцы (фиг. 72, *д*) применяются для строгания узких пазов.

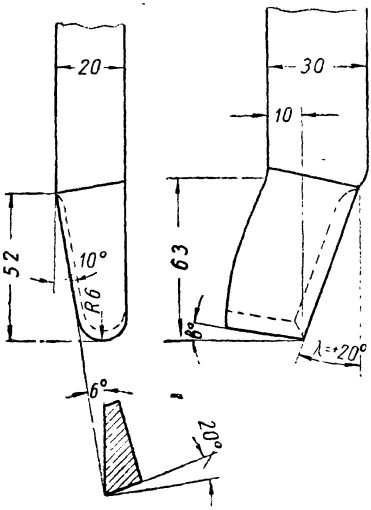
Строгальные резцы рекомендуется делать изогнутыми, так чтобы вершина резца проходила по оси резца (по ГОСТ 2880-45, 2881-45 и 2882-45) или находилась в плоскости опорной грани. Это делается для того, чтобы уменьшить или совсем исключить врезание вершины резца в обработанную поверхность при его изгибе от сил резания, что особенно важно для резцов с пластинками из твердых сплавов.

Геометрические параметры режущей части строгальных резцов берутся по ГОСТ 2320-43. Угол наклона главной режущей кромки λ обязательно берется положительным ($+10 \div +20$). Это делается для того,

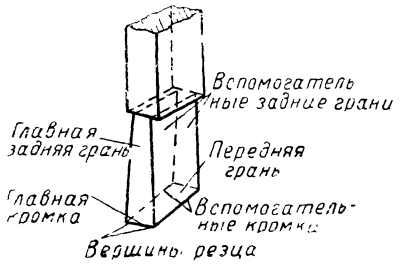


Фиг. 72. Типы строгальных резцов:

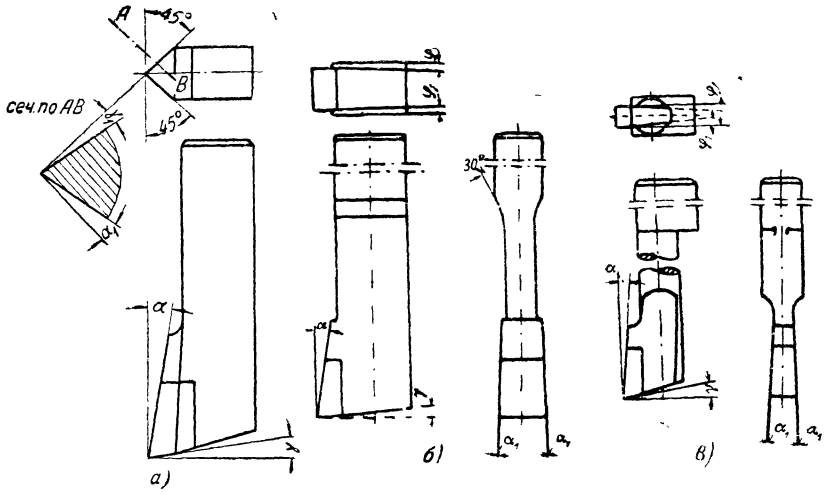
а — проходной; *б* — проходной узкий; *в* — проходной чистовой лопаточный; *г* — подрезной; *д* — прорезной.



Фиг. 73. Строгальный резец, применяемый строгальщиком Никифоровым.



Фиг. 74. Элементы головки долбежного резца.



Фиг. 75. Типы долбежных резцов:

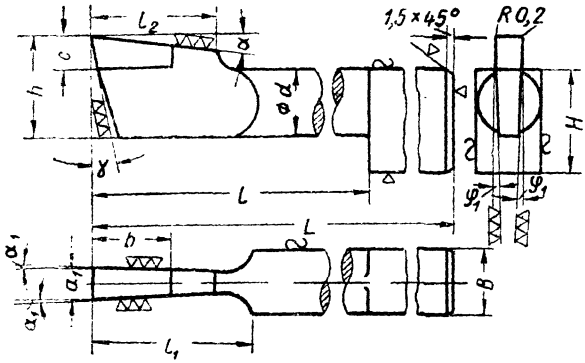
а — проходной двухсторонний; *б* — шпоночный; *в* — прорезной.

чтобы удар при врезании пришелся не на вершину резца, а на более удаленную от нее часть режущей кромки. Размеры на резцы строгальные проходные с углом $\varphi = 45°$ с пластинками из быстрорежущей стали даны в ГОСТ 2880-45, на резцы строгальные подрезные с пластинками из быстрорежущей стали — в ГОСТ 2881-45, на резцы строгальные чистовые широкие с пластинками из быстрорежущей стали — в ГОСТ 2882-45. Строгальные резцы делаются также и с пластинками из твердых сплавов.

На фиг. 73 показан резец, применяемый Ю. Никифоровым — строгальщиком Московского автомобильного завода имени Сталина. Резец — из быстрорежущей стали с положительным углом наклона главной режущей кромки ($\lambda = +20°$). Передний угол $\gamma = 20°$, радиус закругления при вершине 6 *мм*. Такой резец позволяет вести обработку с глубиной резания до 60 *мм*.

ДОЛБЕЖНЫЕ РЕЗЦЫ

Работа долбежных резцов подобна работе строгальных резцов и отличается лишь тем, что возвратно-поступательное движение совершается в вертикальной плоскости и сила резания P_z направлена вдоль оси резца. Элементы головки долбежного резца даны на фиг. 74.



Фиг. 76. Долбежный шпоночный резец.

На фиг. 75 показаны типы долбежных резцов. Проходной двухсторонний резец (фиг. 75, *а*) применяется для обработки на проход вертикально расположенной плоскости. Шпоночный резец (фиг. 75, *б*) применяется для прорезания во втулках шпоночных канавок. Прорезной резец (фиг. 75, *в*) подобен шпоночному и применяется для прорезки узких пазов.

Геометрические параметры режущей части долбежных резцов следует выбирать по ГОСТ 2320-43.

На фиг. 76 показан долбежный шпоночный резец с пластинкой из быстрорежущей стали (размеры по ГОСТ 2883-45). Долбежные подрезные резцы делаются по ГОСТ 2884-45, а долбежные проходные двухсторонние — по ГОСТ 2885-45.

Наряду с пластинками из быстрорежущих сталей для долбежных резцов применяют и соответствующие пластинки из твердых сплавов.

ГЛАВА V

ФАСОННЫЕ РЕЗЦЫ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Фасонным резцом называют такой резец, режущие кромки которого имеют форму, определяющуюся формой профиля изделия. Фасонные резцы применяют:

1) для обработки тел вращения на станках с вращательным движением детали (токарные, револьверные станки и автоматы);

2) для обработки деталей на станках с прямолинейным движением детали или резца (строгальные, долбежные).

Фасонным резцом можно производить как обработку деталей с фасонным криволинейным профилем (фиг. 77), так и обработку деталей с прямолинейными участками профиля, объединив в один переход несколько переходов и даже операций.

Фасонные резцы применяются в крупносерийном и массовом производстве. Они обеспечивают высокую производительность, однородность формы профиля и точность размеров обрабатываемых деталей. Если для изготовления фасонной детали обычными токарными резцами нужен высококвалифицированный токарь, то эта же работа выполняется на револьверном станке или автомате при помощи фасонных резцов рабочим низкой квалификации. Кроме того, простые токарные резцы не могут обеспечить постоянства формы профиля в течение продолжительного времени, в то время как фасонными резцами это условие всегда выполняется даже при значительной величине партии обрабатываемых деталей.

Расчет времени обработки также показывает большое преимущество фасонных резцов перед простыми резцами — затрата времени на обработку будет в несколько раз меньше.

Одним из основных достоинств фасонных резцов (особенно круглых) является большое количество допускаемых ими переточек. Вот почему фасонные резцы находят все более широкое распространение, несмотря на их значительную стоимость и сложность в изготовлении.

Фасонные резцы можно разделить на следующие группы [1]:

1. По форме — резцы круглой формы, резцы призматические и резцы стержневые.

2. По установке относительно детали — резцы радиальные и резцы тангенциальные.

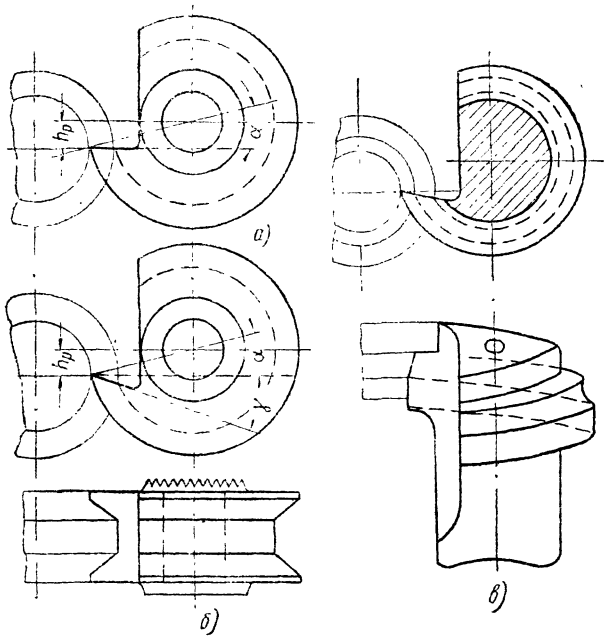
---

[1] Г. И. Грановский, Фасонные резцы, Машгиз, 1947.

3. По расположению оси — резцы с параллельным расположением оси по отношению к оси детали и резцы с наклонным расположением оси или базы крепления.

4. По форме образующей поверхности — круглые резцы с кольцевыми образующими, круглые резцы с винтовыми образующими, призматические резцы с плоскими образующими.

Круглые фасонные резцы (фиг. 77) представляют собой тела вращения, имеющие отверстие или хвостовик для закрепления в державке. Круг-



Фиг. 77. Типы фасонных круглых резцов:
а — передний угол $\gamma = 0$; *б* — передний угол $\gamma > 0$; *в* — с профилем по винтовой линии.

лые резцы могут быть применены как для наружной, так и для внутренней обработки. На фиг. 77 приведено несколько типов круглых резцов.

1. Круглый резец с передним углом, равным нулю (фиг. 77, *а*).

2. Круглый резец с заточкой передней поверхности под определенным передним углом γ и λ (фиг. 77, *б*).

3. Круглый резец с профилем по винтовой линии (фиг. 77, *в*).

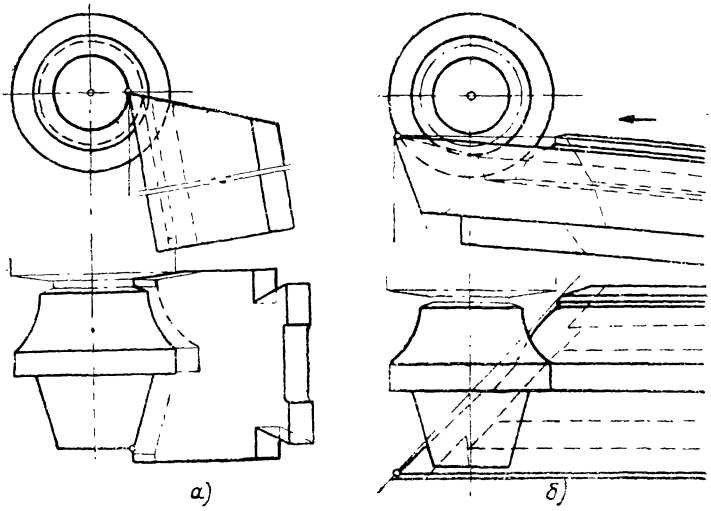
На фиг. 78 изображены фасонные призматические резцы:

1) нормальный призматический резец с радиально расположенной режущей кромкой (фиг. 78, *а*) и

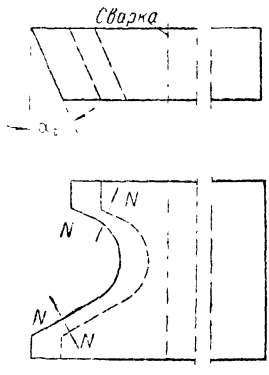
2) тангенциальный резец (фиг. 78, *б*).

На фиг. 79 изображен стержневой фасонный резец для затылования.

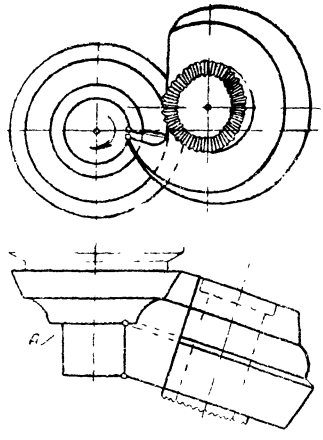
Призматические резцы позволяют производить обработку только наружных поверхностей тел вращения или плоских деталей. Как круг-



Фиг. 78. Типы фасонных призматических резцов:
а — с радиально расположенной режущей кромкой; *б* — тангенциальный.



Фиг. 79. Стержневой фасонный затыловочный резец с $\gamma = 0$.



Фиг. 80. Круглый фасонный резец с наклонным расположением оси.

лые, так и призматические резцы могут быть самых разнообразных форм. Круглые резцы, показанные на фиг. 77, имеют оси или установочные базы, параллельные оси детали, но не исключается возможность применения резцов и с наклонной осью или базой.

Резцы с наклонным расположением оси или базы ввиду их сложности применяются редко и главным образом в том случае, когда форма детали не дает возможности применить резцы с параллельным расположением базы. Например, для детали, показанной на фиг. 80, лучше применить резец с наклонным расположением оси резца (базы), так как в противном случае обработка уступа *А* с поверхностью, расположенной перпендикулярно оси, будет затруднительна. Если резец будет иметь ось, расположенную параллельно оси изделия, то на участке *А* нельзя будет создать достаточного заднего угла.

Фасонные резцы представляют собой сложный инструмент. Сложность их заключается в том, что они должны иметь определенный заданный профиль режущей кромки. Если, например, необходимо обработать фасонным резцом деталь, изображенную на фиг. 77, *б*, то режущая кромка фасонного резца должна иметь такую форму, которая обеспечивала бы строго заданную фасонную форму обрабатываемой детали.

Всегда ли фасонная форма детали точно соответствует фасонной форме резца? На этот вопрос можно ответить отрицательно.

Задача конструктора при конструировании фасонных резцов сводится к нахождению такой формы режущей кромки фасонного резца, при которой обеспечивалось бы получение заданного профиля детали.

ГЕОМЕТРИЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

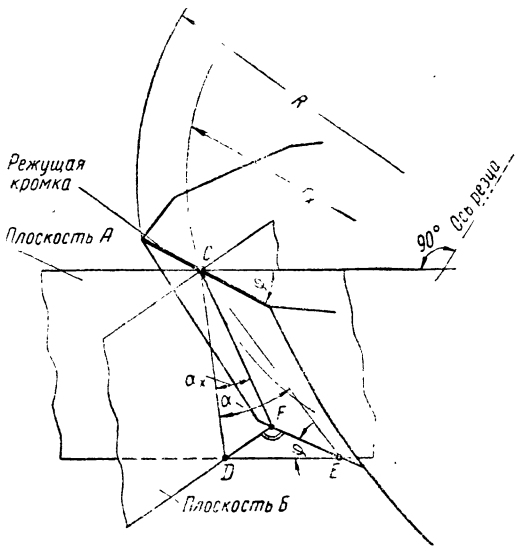
Фасонный резец, так же как и обычный, проходной или подрезной, или иной резец, должен быть снабжен соответствующими задними и передними углами с тем, чтобы процесс снятия стружки проходил при достаточно выгодных условиях. Все, что касается задних и передних углов обычных резцов, может быть почти целиком перенесено и на фасонные резцы. Так же как у обычных резцов, у фасонного резца должен быть выбран передний угол в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Для вязких материалов этот угол должен быть выбран бо́льшим, для более хрупких материалов — меньшим. Можно рекомендовать для выбора переднего угла γ следующие данные (по И. И. Семенченко):

при обработке алюминия и меди	20—30°
„ „ мягкой стали	20°
„ „ стали средней твердости	15°
„ „ твердой стали и мягкого чугуна	10°
„ „ весьма твердой стали и твердого чугуна .	5°
„ „ весьма твердого чугуна, бронзы и латуни .	0°

Задний угол режущей кромки резца зависит от формы фасонного резца и от его типа. Если взять задний угол большой, то режущая кромка фасонного резца будет ослаблена. Если взять задний угол слишком малый, то может возникнуть сильное трение задней поверхности фасонного резца о поверхность обрабатываемой детали.

Для круглых фасонных резцов задний угол α выбирается в пределах 10—15°. Для призматических фасонных резцов задний угол может быть несколько больше — в пределах 12—17°, а в отдельных случаях для резцов, предназначенных для затылования режущего инструмента, например, для резцов, предназначенных для затылования фасонных фрез, задний угол α может приниматься и до 25—30°, с тем чтобы обеспечить необходимый задний угол $\alpha_p = \alpha - \mu$ при относительном движении заготовки и резца.

Задний угол α фасонного резца для затылования приходится брать большим потому, что угол μ наклона траектории относительного движения достигает значительной величины (10—15°).



Фиг. 81. Определение заднего угла α_x.

Приведенные величины заднего и переднего углов для фасонных резцов относятся только к наружным точкам профиля резца. Задний и передний углы на остальных точках профиля резца изменяются и не равны принятым величинам. С приближением рассматриваемых точек к центру круглого резца задний угол непрерывно возрастает, а передний угол уменьшается. Кроме того, на величину заднего, а также и переднего угла влияет наклон режущей кромки относительно оси детали. На участках детали с поверхностью, наклонной по отношению к оси (т. е. на тех участках, где поверхность тела вращения образована линиями, наклонными по отношению к оси детали), задние углы фасонного резца будут уменьшаться в зависимости от угла наклона образующей по отношению к оси детали. На участке, имеющем образующую параллельно оси детали, задний угол не изменяется. На участке, имеющем образующую, перпендикулярную оси детали, задний угол равен нулю. Задний угол резца в любой произвольной точке профиля (режущей кромки) можно определить следующим образом.

Представим себе режущую кромку круглого фасонного резца, наклоненную под углом φ к линии, перпендикулярной оси детали (фиг. 81). Определим, какой задний угол α_x будет в сечении, перпендикулярном режущей кромке, если задний угол в сечении, перпендикулярном оси изделия, задан и равен α.

Рассечем режущую кромку в точке C двумя плоскостями A и $Б$. Если в сечении плоскостью A, перпендикулярной оси резца, задний

угол будет равен α, то в плоскости $Б$, перпендикулярной режущей кромке, задний угол будет иметь другое значение — α_x.

Из треугольников CDE и CDF можно определить эти углы. Из треугольника CDE находим

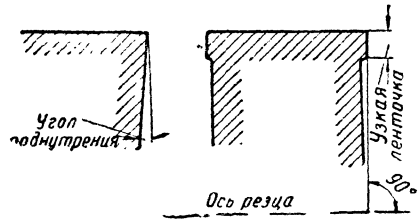
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{DE}{CD},$$

а из треугольника CDF имеем

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{DF}{CD}.$$

Отсюда

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha_x} = \frac{DE}{CD}\cdot\frac{CD}{DF} = \frac{DE}{DF}.$$



Фиг. 82. Оформление участков, где $\varphi = 0$.

Но в треугольнике DEF угол между сторонами DE и EF представляет собой не что иное, как угол φ наклона линии образующей поверхности вращения к оси детали, следовательно, $DF = DE\sin\varphi$. Преобразуя выведенную формулу, получим

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \operatorname{tg}\alpha\sin\varphi.$$

Если рассматриваемая нами точка C режущей кромки лежит на наружном диаметре резца, то эта формула будет достаточна для определения угла α_x или так называемого угла бокового зазора.

Если же точка C лежит не на наружном диаметре резца, а на некотором радиусе r_x, как это показано на фиг. 81, то в полученную нами формулу необходимо ввести коррективы, поскольку величина угла α в точке C не будет соответствовать величине заднего угла на наружном диаметре резца. Таким образом, боковой задний угол α_x в некоторой произвольной точке C режущей кромки можно определить по формуле [1]

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{R}{r_x}\operatorname{tg}\alpha\sin\varphi.$$

В этой формуле R и r_x — соответствующие расстояния наружной и произвольной точек от центра или базы крепления резца; φ — угол между касательной к профилю резца в точке C и прямой, перпендикулярной оси резца.

Необходимо выбирать такой задний угол α_x в сечении, перпендикулярном к режущим кромкам, который бы обеспечивал работу фасонного резца без трения задней грани об обрабатываемую поверхность. Если значение заднего угла α_x будет меньше 2—3°, то необходимо задаться большим задним углом α.

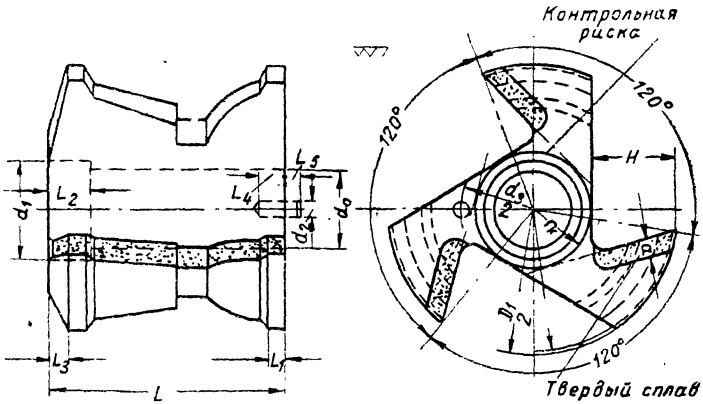
Значительно ухудшаются условия резания на участках профиля детали, имеющих образующую, перпендикулярную к оси детали или резца. На этих участках задний угол α_x будет равен нулю, так как

[1] И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

угол φ, входящий в формулу, равен нулю. Для обеспечения достаточно хорошей работы на таких участках режущей кромки необходимо или делать поднутрение режущей кромки у резца, как показано на фиг 82, или делать резец с наклонным расположением оси, как показано на фиг. 80, или, наконец, применять резцы с винтовой поверхностью, показанной на фиг. 77, *в*.

КОНСТРУКЦИЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Фасонные резцы — дорогой и сложный инструмент. Они изготовляются из дорогостоящей инструментальной стали (быстрорежущая сталь, легированная инструментальная сталь) и поэтому делаются сборными. У круглого резца только сам резец изготовлен из быстрорежущей стали, а державка, на которой он крепится, изготовлена из конструкционной стали.



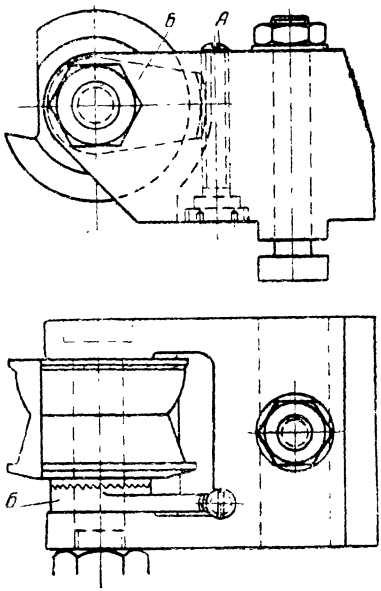
Фиг. 83. Фасонный резец с пластинками твердого сплава.

Применение твердого сплава для фасонных резцов не получило еще достаточно широкого распространения, так как обработка твердого сплава шлифовальными кругами затруднительна. Фасонный резец с пластинками твердого сплава, приводимый Г. И. Грановским, показан на фиг. 83. У призматического резца, так же как и у круглого, только сам резец изготовлен из быстрорежущей стали, а державка, в которой он закрепляется, — из углеродистой конструкционной стали. На фиг. 84 показано наиболее распространенное крепление круглого фасонного резца. Для того чтобы резец не проворачивался на державке, делается или зубчатая рифленая поверхность, или резец снабжается специальным отверстием для передачи крутящего момента. Изображенный на фиг. 84 фасонный круглый резец установлен на державке. Поворот резца вокруг оси для переточки может обеспечиваться как поворотом винта *А*, так и перемещением резца относительно рифленого торца рычага *Б*. Державки или стойки для фасонных круглых резцов могут иметь самое разнообразное конструктивное оформление.

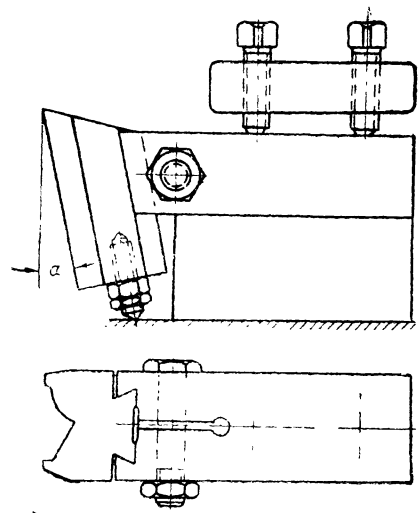
Призматические фасонные резцы закрепляются в державках различных конструкций. Один из типов крепления показан на фиг. 84а.

Такой тип крепления применяется для резцов большего размера. Благодаря винту, ввертываемому в основание фасонного призматического резца, жесткость крепления повышается, так как винт может упираться в супорт станка и поддерживать дополнительно резец.

Основными конструктивными элементами фасонного круглого резца, которые необходимо определить, являются диаметр резца, диаметр отверстия, длина резца, размеры выемки для стружки, а также все элементы профиля фасонного резца.



Фиг. 84. Крепление круглого фасонного резца.



Фиг. 84а. Крепление призматического фасонного резца.

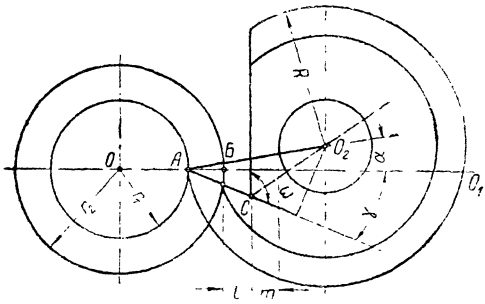
Элементами призматического фасонного резца, которые необходимо определить конструктору, являются ширина резца, толщина, высота, размеры профиля.

Разберем более подробно определение всех конструктивных элементов фасонного круглого резца, а также профилирование как круглых фасонных резцов, так и призматических резцов.

Наружный диаметр резца определяется с учетом высоты профиля изделия. Для этой цели можно рекомендовать графическое построение[1], приведенное на фиг. 85. Вокруг оси O изделия проводим две концентрические окружности радиусами, равными наибольшему и наименьшему радиусам детали. Через точку A под углом γ проводим линию, изображающую собой след плоскости заточки передней грани резца. Из той же точки A проводим линию под углом α, равным заднему углу резца.

[1] Г. И. Грановский, Фасонные резцы, Машгиз, 1947.

На расстоянии l от точки касания $Б$ проводим линию, перпендикулярную линии OO_1. Это расстояние l представляет собой минимальное расстояние, необходимое для отвода стружки от передней грани резца. Из полученной точки C пересечения вертикальной линии с линией передней грани проводим линию, делящую угол ω пополам; точка пересечения этой линии и линии, идущей под углом α, будет искомой точкой O_2 — центром круглого резца. Размер l принимается в зависимости от толщины и объема срезаемой стружки в пределах от 3 до 12 *мм*. Зная центр резца (точка O_2), можно, проведя окружность радиуса R, определить графически остальные размеры резца. Для определе ия диаметра отверстия следует принять определенный размер толщины стенки m, который принимается в пределах от 6 до 10 *мм*.



Фиг. 85. Графическое построение габаритных размеров круглого фасонного резца.

Приведенный способ определения наружного диаметра резца очень прост и дает надежные результаты для резцов средних размеров. Наружный диаметр резца D и диаметр отверстия d можно также принимать в следующих пределах (по И. И. Семенченко):

D в *мм*	30	40	50	60	75	90
d в *мм*	13	16	16	22	22	27

В случае применения фасонных резцов для внутренней обработки диаметр фасонного резца должен быть равен 0,6—0,85 диаметра отверстия. Если у такого резца невозможно изготовить отверстие для оправки, то тело резца выполняется за одно целое с хвостовиком. Хвостовой резец изготовляется из целого куска металла, если он небольших размеров, и делается сварным, если он достаточно большой.

Ширина фасонного резца зависит от длины обрабатываемой детали, но всегда рекомендуется ширину резца (если деталь позволяет) делать несколько больше длины обрабатываемой детали. Круглые фасонные резцы снабжаются обычно для установки и закрепления их на оправке зубьями на одном из торцов. Угол профиля зубьев равен 90°. Чаще всего число зубьев принимается равным 34. Эти зубья служат для фиксирования поворота резца перед заточкой. Поскольку зубьев немного, то при повороте на один зуб резец поворачивается на значительный угол ($^1/_{34}$ окружности); но, безусловно, такой большой слой нельзя снимать при переточках, и поэтому в конструкции державок для круглых резцов предусмотрен более тонкий способ поворота резца. Напри-

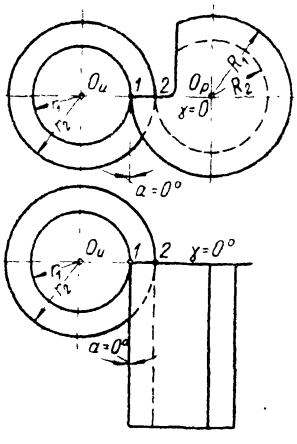
мер, в державке, приведенной на фиг. 83, для поворота резца предусмотрен специальный рычаг *Б*, снабженный зубьями на одной стороне и регулируемый винтом *А* относительно корпуса державки. В других конструкциях державок для круглых резцов также предусматриваются соответствующие детали и узлы для поворота резца на небольшой угол.

Резцы, имеющие небольшой диаметр и, самое главное, незначительную ширину (до 15 *мм*), можно закреплять на державке только силами трения и не предусматривать торцевых зубьев.

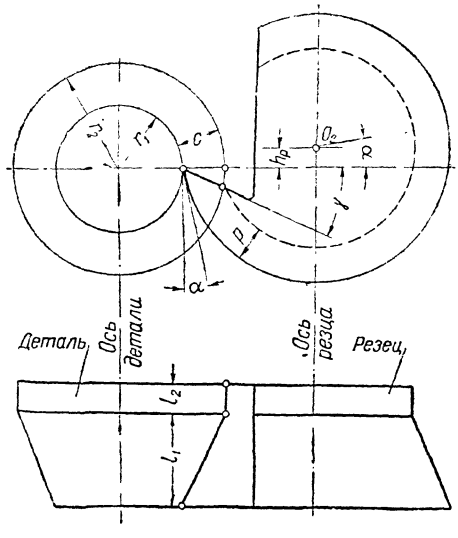
Наиболее сложной частью расчета фасонных резцов является определение профиля фасонного резца. Выше уже указывалось, что профиль фасонного резца не соответствует в точности профилю детали, а в большей или меньшей степени отличается от последнего. Рассмотрим методы определения профиля фасонного резца.

РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ФАСОННОГО РЕЗЦА

На фиг. 86 показано схематично расположение фасонного круглого и фасонного призматического резцов при обработке детали на токарном станке. Резцы поставлены в такое положение, при котором как передний, так и задний углы равны нулю. При указанном положении профиль



Фиг. 86. Установка круглого и призматического резцов при $\gamma = 0$, $\alpha = 0$.



Фиг. 87. Установка круглого резца при $\gamma > 0$, $\alpha > 0$.

резца будет в точности совпадать с профилем обрабатываемой детали. Однако такая установка резцов практически не применяется, так как условия резания резцами, имеющими передний и задний углы, равные нулю, чрезвычайно тяжелые, и резание, по существу, невозможно. Для обеспечения необходимых условий резания прибегают к созданию необходимых заднего и переднего углов. Задний угол на фасонном резце создается следующим путем.

У круглого фасонного резца задний угол α создается за счет смещения центра резца относительно центра детали на величину h_p (см. фиг. 77, *а*), а у призматического фасонного резца — в результате наклона резца (см. фиг. 84). Передние углы у круглого или призматического резца создаются благодаря наклону передней грани резца. Практически не всегда прибегают к созданию обоих углов — переднего и заднего. Если задний угол α всегда должен быть у резца больше нуля, то передний угол γ может быть равен нулю и может быть не равен нулю. На фиг. 87 показан общий случай, когда передний угол γ и задний угол α не равны нулю. В этом случае можно заметить, что профиль резца по сравнению с профилем детали изменяется. Действительно, если на детали глубина профиля равна разности максимального и минимального радиусов (на фиг. 87 этот размер обозначен буквой C), то соответствующий ему размер глубины P профиля резца никогда не будет равен, а всегда будет меньше C, т. е. $C > P$. Отсюда можно сделать вывод, что глубина профиля фасонного резца изменяется по сравнению с глубиной профиля детали, и, следовательно, все размеры профиля, измеряемые перпендикулярно оси детали, на резце изменяются. Что касается размеров l_1 и l_2 профиля детали, измеряемых вдоль ее оси, то, как можно заметить из второй проекции фиг. 87, они в точности равны размерам профиля резца, измеренным в том же направлении. Следовательно, при наличии переднего и заднего углов все размеры профиля, идущие вдоль оси детали (ширина), никаких изменений в профиль резца не вносят. Это положение, однако, справедливо только для резцов, ось которых (у круглых резцов) или базовая сторона (у призматических резцов) параллельна оси детали. Если ось резца или базовая сторона его будут иметь наклон по отношению к оси детали, то размеры, идущие вдоль оси, также будут изменяться [1].

Разберем подробно способы нахождения профиля фасонного резца при заданном профиле детали. Их можно подразделить на два основных способа:

1) графический; 2) аналитический (расчетный).

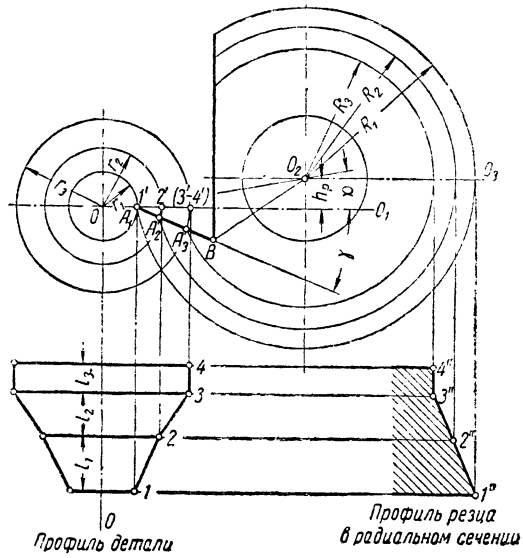
Преимуществом графического способа является наглядность. К его недостаткам можно отнести неточность, связанную с неточностью графических построений.

Преимущество аналитического способа — высокая точность определения размеров. Недостатком этого способа является сложность в вычислениях, особенно для криволинейных профилей. Можно практически так разграничить область применения графического и аналитического способов: графический способ следует применять в тех случаях, когда фасонный резец рассчитывается для обработки неточных деталей криволинейной формы; аналитический способ предпочтительнее применять тогда, когда фасонный резец предназначается для обработки достаточно точных деталей. Если же деталь имеет сложную криволинейную форму, то удобнее и надежнее всего провести расчет профиля обоими способами и сравнить полученные результаты.

---

[1] Г. И. Грановский, Фасонные резцы, Машгиз, 1947.

Графический способ определения профиля фасонного круглого резца. На фиг. 88 приведен графический способ определения профиля фасонного круглого резца. Строим вначале профиль детали. Для этой цели проводим ось OO_1, от этой оси откладываем соответствующие размеры профиля детали и строим в левом углу чертежа профиль детали. Затем проектируем полученные точки профиля на ось OO_1, получаем точки $1'$, $2'$, $3'$, $4'$. Из центра изделия проводим окружности соответствующими радиусами r_1, r_2, r_3. Мы получили проекцию детали на плоскость, перпендикулярную оси детали. Задавшись определенным углом γ и определенным углом α, а также соответствующим наружным диаметром резца (способ определения наружного диаметра резца см. стр. 143), построим центр резца O_2, расположенный выше центра детали на величину $h_p = R_1 \sin \alpha$.



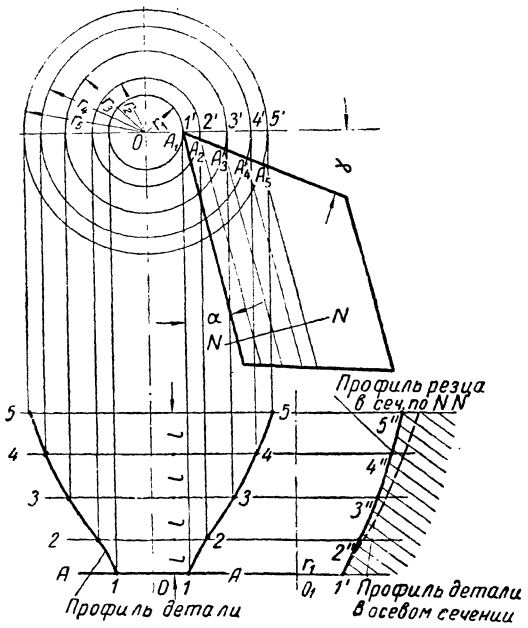
Фиг. 88. Графическое построение профиля круглого фасонного резца по заданному профилю изделия.

Для построения центра резца можно раствором циркуля, равным наружному радиусу фасонного резца, сделать засечку из точки A_1, находящейся на пересечении горизонтальной оси OO_1 с окружностью радиуса r_1. Затем проводим линию O_2O_1, параллельную линии OO_1, на расстоянии h_p, и точка O_2 пересечения этой линии с засечкой, сделанной из точки A_1, будет искомым центром окружности круглого резца. Теперь проведем линию передней грани фасонного резца. Для этой цели из точки A_1 проводим линию A_1B под углом γ к линии OO_1. Если соединить точки пересечения A_1, A_2 и A_3 линии передней грани с соответствующими окружностями радиусов r_1, r_2 и r_3 с центром O_2 фасонного резца, получим соответствующие радиусы фасонного резца R_1, R_2, R_3 и т. д.

Теперь можно построить профиль фасонного резца в радиальном сечении. Для этой цели достаточно провести линию $1—1''$, отложить от этой линии осевые размеры l_1, l_2, l_3, которые, как нам известно, не будут претерпевать никаких изменений и будут равны соответствующим осевым размерам изделия, так как ось круглого резца параллельна оси обрабатываемого изделия. Из соответствующих точек пересечения осевых размеров отложим изменившиеся размеры, и меренные перпендикулярно оси детали. Эти размеры будут равны разности соответ-

ствующих радиусов фасонного круглого резца. Проектируя точки пересечения окружностей с линией, проходящей через центр резца и параллельной линии $1—1''$, получим профиль фасонного резца в радиальном сечении (точки $1''$, $2''$, $3''$, $4''$).

Мы разобрали общий случай, когда фасонный круглый резец имеет передний угол γ, не равный нулю. Если передний угол γ равен нулю, то построение производится в том же порядке, только линия A_1B будет проходить не наклонно по отношению к линии OO_1, а совпадает с ней. Если профиль детали имеет сложную форму, рекомендуется проводить построение профиля резца для большого числа точек профиля детали. Удобно для этой цели профиль детали рассечь рядом параллельных прямых, перпендикулярных оси детали и проходящих на одинаковом расстоянии l друг от друга.



Фиг. 89. Построение профиля фасонного призматического резца.

Графический способ построения профиля фасонного призматического резца. На фиг. 89 показан графический способ построения профиля фасонного призматического резца, у которого передний угол γ не равен нулю. Аналогично предыдущему способу строим профиль детали в двух проекциях и рассекаем его рядом параллельных прямых. Из точек пересечения параллельных прямых с профилем детали 1, 2, 3, 4, 5 проектируем соответствующие окружности r_1, r_2, r_3, r_4, r_5. Считая, что вершина резца должна будет лежать на оси детали, получим точку A_1. Из этой точки проведем линию передней грани резца под углом γ и линию задней грани под углом α. Обозначим точки пересечения соответствующих окружностей r_1, r_2, r_3, r_4 и r_5 с линией передней грани резца через A_1, A_2, A_3, A_4 и A_5. Из этих точек проведем линии, параллельные задней грани резца. Теперь остается построить последнюю проекцию, а именно сечение резца перпендикулярно его задней грани (сечение NN). Проведем линию AA, от нее отложим ряд отрезков l и проведем через концы отрезков линии $2—2$, $3—3$, $4—4$ и 5 5, параллельные линии AA. Расстояния между этими параллельными линиями, представляющие собой размеры профиля резца,

измеренные вдоль оси детали, будут в точности равны соответствующим размерам *l* детали, измеренным вдоль ее оси. На полученных параллельных линиях откладываем соответствующие точки пересечения их с линиями, параллельными задним граням резца. Полученные точки *1″*, *2″*, *3″*, *4″* и *5″* соединяем плавной кривой, получаем профиль фасонного призматического резца в сечении *NN*.

Если фасонный призматический резец не будет иметь переднего угла γ, то построение остается таким же, только линия передней грани резца не будет наклонена к линии центра детали.

Графические способы построения профиля фасонного круглого резца и призматического резца наглядны, и на них можно легко убедиться в том, как искажается профиль детали. Для сравнения профиля детали с профилем резца на фиг. 89 пунктиром показан профиль детали; видно, что он значительно отличается от профиля резца.

Расчет профиля круглого фасонного резца. Графические расчеты не дают возможности получить точный профиль. Приведем более точные расчеты аналитическим путем. Точность аналитических расчетов может быть, вообще говоря, любая, и вычисления должны производиться с точностью до 0,001 *мм*. Ниже приводятся способы определения размеров профиля резца, рекомендуемые д-ром техн. наук Г. И. Грановским.

На фиг. 90 показана схема расчета профиля круглого фасонного резца с передним углом, не равным нулю. На фигуре схематично показана передняя грань такого резца линией *aM*. Точки пересечения передней грани с соответствующими радиусами детали обозначим цифрами *1*, *2*, *3*, *4*, *5*. Радиусы этих точек r_1, r_2, r_3, r_4 и r_5 и осевые расстояния между соответствующими сечениями *1*, *2*, *3*, *4*, *5* на нижней проекции заданы в чертеже детали и определяют собой узловые точки профиля детали. В точки *1*, *2*, *3*, *4*, *5* из центра O_2 проведены окружности R_1, R_2, R_3, R_4. Эти окружности представляют собой сечения круглого резца, соответствующие точкам *1*, *2*, *3*, *4*, *5*. Если из точек *1*, *2*, *3*, *4*, *5* провести линии, соединяющие их с центром резца, получим, проведя также линию, перпендикулярную передней грани резца O_2M, ряд треугольников $1MO_2$, $2MO_2$, $3MO_2$, $4MO_2$. Гипотенузами этих треугольников будут соответствующие радиусы R_1, R_2, R_3, R_4 и т. д. Для нас важно найти размеры, обозначенные буквами B_1, B_2, B_3, B_4 и т. д. Возьмем один треугольник $1MO_2$. В этом треугольнике угол O_21M равен углу $(\alpha + \gamma)$. Радиус R_1 будет равен наружному радиусу фасонного резца. Сторона $\overline{1M}$ будет равна B_1 и определится из формулы

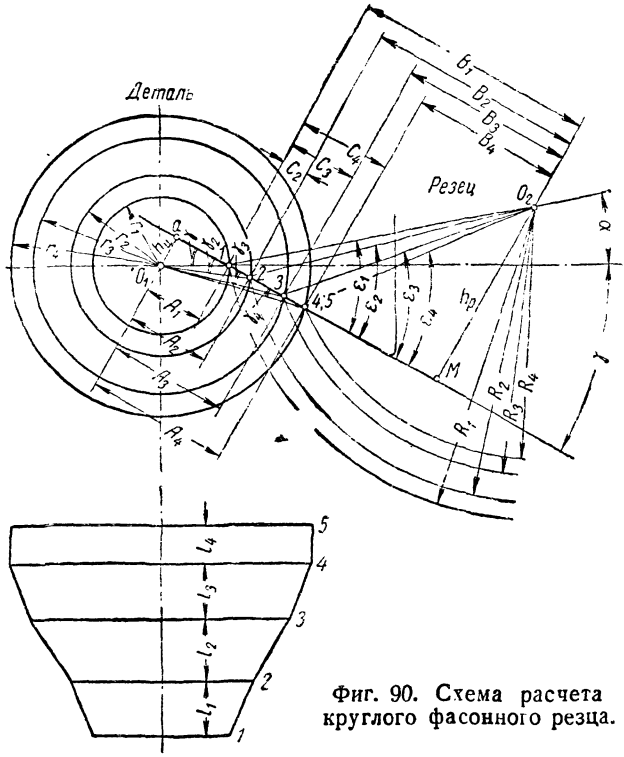
$$B_1 = R_1 \cos \varepsilon_1 = R_1 \cos(\alpha + \gamma).$$

Зная размеры B_1, B_2, B_3 и т. д., можно было бы определить соответствующие размеры радиусов резца. Определение размеров B_1, B_2, B_3, B_4 можно произвести, пользуясь схемой (фиг. 90).

Линией *aM* обозначена передняя грань резца. Чтобы определить расстояния C_2, C_3, C_4 и т. д., строим ряд прямых линий, проходящих через точки *1*, *2*, *3*, *4* и перпендикулярных линии *aM*. Соединяя

точки *1*, *2*, *3*, *4* с центром изделия, мы получим ряд прямоугольных треугольников $1aO_1$, $2aO_1$, $3aO_1$ и т. д. Если взять любой из этих треугольников, например, самый меньший, то видно, что для определения стороны $1a$ достаточно составить простое уравнение $\overline{1a} = r_1 \cos\gamma$. Аналогично этому для определения стороны $\overline{2a}$ достаточно составить уравнение $\overline{2a} = r_2 \cos\gamma_2$.

Если из размера стороны $\overline{2a}$ вычесть размер стороны треугольника $\overline{1a}$, получим искомое расстояние C_2. Зная это расстояние C_2, не-



Фиг. 90. Схема расчета круглого фасонного резца.

трудно определить соответствующий радиус фасонного резца из треугольника $1MO_2$

Так как фасонный резец обычно должен быть рассчитан по целому ряду узловых точек, то для удобства можно составить следующую схему расчета:

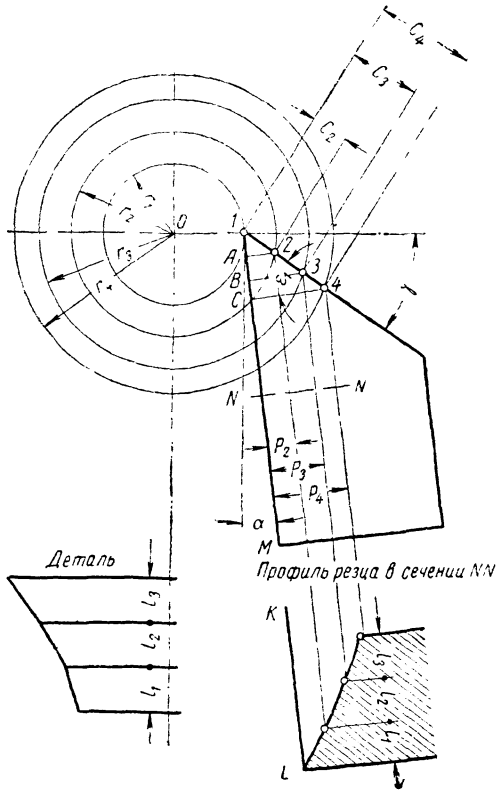
Определение размеров C_2, C_3, C_4 и т. д. по фиг. 90

1. $h_u = r_1 \sin\gamma$.
2. $A_1 = r_1 \cos\gamma$.
3. $\sin\gamma_2 = \frac{h_u}{r_2}$.
4. $A_2 = r_2 \cos\gamma_2$.
5. $C_2 = A_2 - A_1$.
6. $\sin\gamma_3 = \frac{h_u}{r_3}$.
7. $A_3 = r_3 \cos\gamma_3$.
8. $C_3 = A_3 - A_1$.
9. $\sin\gamma_4 = \frac{h_u}{r_4}$.
10. $A_4 = r_4 \cos\gamma_4$.
11. $C_4 = A_4 - A_1$.

Решив эти уравнения, мы получим абсолютные числовые размеры C_2, C_3, C_4 и т. д. с любой необходимой точностью. Рекомендуется вести расчет размеров до 0,001 *мм*. Можно теперь, зная эти размеры, произвести расчет соответствующих радиусов фасонного резца. Из фиг. 90 можно составить ряд уравнений для расчета радиусов:

1. $\varepsilon_1 = \alpha + \gamma$.
2. $h_p = R_1 \sin \varepsilon_1$.
3. $B_1 = R_1 \cos \varepsilon_1$.
4. $B_2 = B_1 - C_2$.
5. $\operatorname{tg} \varepsilon_2 = \dfrac{h_p}{B_2}$.
6. $R_2 = \dfrac{h_p}{\sin \varepsilon_2} = \dfrac{B_2}{\cos \varepsilon_2}$.
7. $B_3 = B_1 - C_3$.
8. $\operatorname{tg} \varepsilon_3 = \dfrac{h_p}{B_3}$.
9. $R_3 = \dfrac{h_p}{\sin \varepsilon_3} = \dfrac{B_3}{\cos \varepsilon_3}$.
10. $B_4 = B_1 - C_4$.
11. $\operatorname{tg} \varepsilon_4 = \dfrac{h_p}{B_4}$.
12. $R_4 = \dfrac{h_p}{\sin \varepsilon_4} = \dfrac{B_4}{\cos \varepsilon_4}$.

Для практических расчетов удобнее все эти уравнения записать в расчетную таблицу и вести расчет по таблице. На стр. 152 приведен числовой пример расчета круглого фасонного резца.



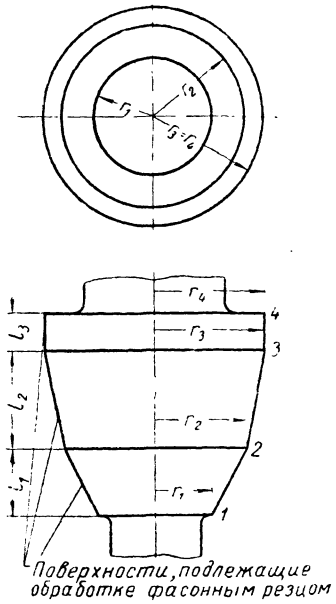
Фиг. 91. Схема расчета призматического резца.

Расчет профиля призматического фасонного резца. Аналогично приведенному расчету круглого фасонного резца можно производить расчет призматического фасонного резца. На фиг. 91 изображена схема расчета призматического фасонного резца. Как видно из фиг. 91, для расчета достаточно определить расстояния от линии задней грани *1M* до линии *2*, *3* и *4*. Эти искомые расстояния обозначены на чертеже буквами P_2, P_3 и P_4. Возьмем для примера расчет расстояния P_2. Из фиг. 91 видно, что если известны расстояния C_2, C_3, C_4, которые могут быть вычислены аналогично расчету для круглого фасонного резца, то нетрудно определить соответствующие искомые расстояния P_2, P_3 и P_4, которые являются катетами прямоугольных треугольников, построенных на чертеже. Эти треугольники обозначены *1A2*, *1B3*, *1C4*.

Можно составить ряд уравнений для решения построенных прямоугольных треугольников и определить по ним соответствующие расстояния P_2, P_3 и P_4.

1. $\varepsilon_1 = \alpha + \gamma$.
2. $P_2 = C_2 \cos \varepsilon_1$.
3. $P_3 = C_3 \cos \varepsilon_1$.
4. $P_4 = C_4 \cos \varepsilon_1$.

По приведенным уравнениям можно подсчитать расстояния P_2, P_3, P_4 с точностью до 0,001 *мм*. Для построения профиля резца достаточно отложить эти расстояния от прямой KL на параллельных линиях, отстоящих друг от друга на соответствующих отрезках l_1, l_2, l_3. Удобно расчет призматического резца также свести в таблицу.



Фиг. 92. Эскиз детали.

Пример расчета круглого фасонного резца. На фиг. 92 показана деталь, для которой требуется спроектировать круглый фасонный резец. Исходные данные для расчета примем следующие:

1. $r_1 = 15$ *мм*
2. $r_2 = 24$ „
3. $r_3 = 29$ „
4. $r_4 = 29$ „
5. $l_1 = 12$ *мм*
6. $l_2 = 16$ „
7. $l_3 = 10$ „

Углы: передний угол — $\gamma = 20°$; задний угол — $\alpha = 12°$.

Расчет будем производить по схеме, приведенной на стр. 150.

Определим вначале размеры C_2, C_3, C_4 (см. фиг. 90), а затем необходимые размеры радиусов R_1, R_2, R_3.

Для удобства расчета составим таблицу. В таблице указаны логарифмы размеров. Это сделано с целью облегчения и ускорения действий умножения и деления, которые, как известно из математики, заменяются сложением и вычитанием соответствующих логарифмов.

Расчетные формулы	Обозначение размера	Численная величина размера	Логарифм размера
$h_u = r_1 \sin \gamma$	r_1 $\sin \gamma$ h_u	15,0 sin 20° 5,136	1,17610 $\bar{1}$,53405 0,71015
$A_1 = r_1 \cos \gamma$	r_1 $\cos \gamma$ A_1	15,0 cos 20° 11,187	1,17610 $\bar{1}$,97299 1,04909

Продолжение

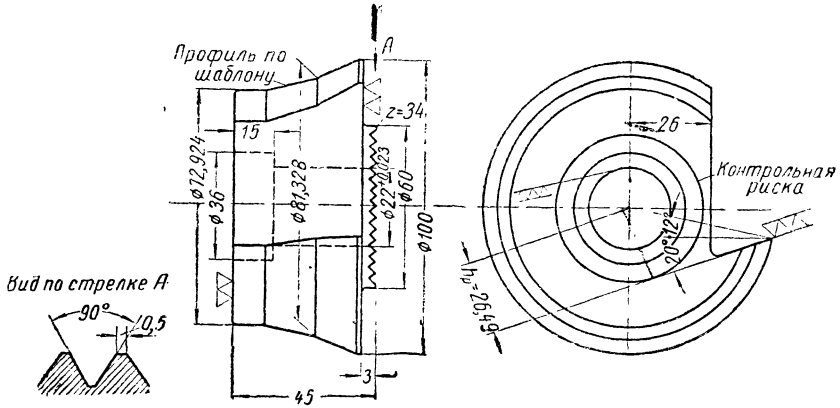
Расчетные формулы	Обозначение размера	Численная величина размера	Логарифм размера
$\sin\gamma_2 = \frac{h_u}{r_2}$	h_u r_2 $\sin\gamma_2$	5,136 24,0 sin 12°20′36″	0,71015 1,38021 $\bar{1}$,32994
$A_2 = r_2\cos\gamma_2$	r_2 $\cos\gamma_2$ A_2	24,0 cos 12°20′36″ 23,445	1,38021 $\bar{1}$,98984 1,37005
$C_2 = A_2 - A_1$	A_2 A_1 C_2	23,445 11,187 12,258	— — —
$\sin\gamma_3 = \frac{h_u}{r_3}$	h_u r_3 $\sin\gamma_3$	5,136 29 0 sin 10°11′25″	0,71015 1,46239 $\bar{1}$,24776
$A_3 = r_3\cos\gamma_3$	r_3 $\cos\gamma_3$ A_3	29,0 cos 10°11′25″ 28,542	1,46239 $\bar{1}$,99309 1,45548
$C_3 = A_3 - A_1$	A_3 A_1 C_3	28,542 11,187 17,355	— — —
$\varepsilon_1 = \alpha + \gamma$	α γ ε_1	20° 12° 32°	— — —
$h_p = R_1\sin\varepsilon_1$	R_1 $\sin\varepsilon_1$ h_p	50,0 sin 32° 26,496	1,69897 $\bar{1}$,72420 1,42318
$B_1 = R_1\cos\varepsilon_1$	R_1 $\cos\varepsilon_1$ B_1	50,0 cos 32° 42,403	1,69897 $\bar{1}$,92842 1,62739
$B_2 = B_1 - C_2$	B_1 C_2 B_2	42,403 12,258 30,145	— — —
$\operatorname{tg}\varepsilon_2 = \frac{h_p}{B_2}$	h_p B_2 $\operatorname{tg}\varepsilon_2$	26,496 30,145 tg 40°39′40″	1,42318 1,47921 1,93397
$R_2 = \frac{h_p}{\sin\varepsilon_2}$	h_p $\sin\varepsilon_2$ R_2	26,496 sin 40°39′40″ 40,664	1,42318 1,81397 1,60921

Продолжение

Расчетные формулы	Обозначение размера	Численная величина размера	Логарифм размера
$B_3 = B_1 - C_3$	B_1 C_3 B_3	42,403 17,355 25,048	— — —
$\operatorname{tg} \varepsilon_3 = \frac{h_p}{B_3}$	h_p B_3 $\operatorname{tg} \varepsilon_3$	26,496 25,048 tg 46°36′35″	1,42318 1,39877 0,02441
$R_3 = \frac{h_p}{\sin \varepsilon_3}$	h_p $\sin \varepsilon_3$ R_3	26,496 sin 46°36′35″ 36,462	1,42318 1,86134 1,56184
$B_4 = B_1 - C_4$ по условию $C_4 = C_3$	B_1 C_4 B_4	42,403 17,355 25,048	— — —
$\operatorname{tg} \varepsilon_4 = \frac{h_p}{B_4}$ по условию $\varepsilon_4 = \varepsilon_3$	h_p B_4 $\operatorname{tg} \varepsilon_4$	26,496 25,048 tg 46°36′35″	— — —
$R_4 = \frac{h_p}{\sin \varepsilon_4}$ по условию $R_4 = R_3$	h_p $\sin \varepsilon_4$ R_4	26,496 sin 46°36′35″ 36,462	— — —

Таким образом, в результате расчета мы получили искомые радиусы резца: $R_1 = 50{,}0$ *мм*, $R_2 = 40{,}664$ *мм*, $R_3 = R_4 = 36{,}462$ *мм*.

В этой таблице при расчете мы приняли величину радиуса R_1 равной 50 *мм*. Можно также этот радиус R_1 определить графически, проделав построение, приведенное на стр. 144.



Фиг. 93. Круглый фасонный резец.

На фиг. 93 приведен рабочий чертеж рассчитанного нами круглого резца со всеми размерами. Резец изображен в двух проекциях. Допуски

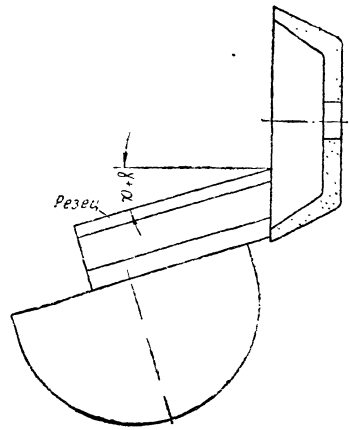
на точность изготовления всех линейных размеров резца непосредственно не задаются. Задаются обычно допуски на изготовление всех размеров шаблона для данного резца, и профиль резца измеряется шаблоном. Допуски на изготовление шаблона принимаются в пределах 0,01—0,02 *мм*, если резец предназначен для точных работ; для неточных работ допуски шаблона могут быть взяты большими.

Для облегчения точной установки резца на высоте центра изделия на теле резца должны быть сделаны насечки. И, наконец, для удобства заточки рекомендуется на резце дать контрольную круговую риску, радиус которой равен h_p.

В чертеже резца должны быть приведены также данные о марке инструментальной стали, твердости и т. д.

ЗАТОЧКА ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Заточка фасонных резцов, как круглых, так и призматических, должна производиться исключительно по передней грани. Для заточки можно применять универсально-заточные станки; заточку следует производить чашечными кругами. Заточка вручную фасонных резцов недопустима, и для крепления затачиваемых резцов обязательно должны применяться приспособления, которые позволяли бы установить затачиваемый резец по отношению к плоскости чашечного круга под определенным углом.



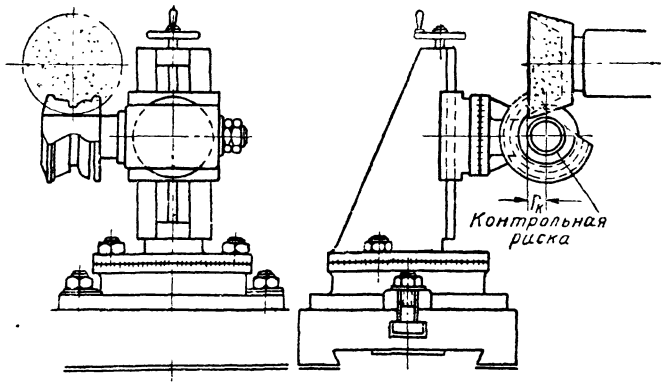
Фиг. 94. Схема установки призматического резца при заточке.

Если передний угол резца не будет строго выдержан по чертежу резца, то профиль резца будет искажен, и резец не даст точного изделия, поэтому при заточке фасонных резцов необходимо обращать особое внимание на правильное расположение резца относительно шлифовального круга. На фиг. 94 показана схема приспособления для заточки призматического фасонного резца. Это приспособление должно давать возможность установить резец под определенным углом, равным сумме заднего и переднего углов призматического резца. Можно для заточки призматических резцов использовать также универсальные тиски, поставив их под соответствующим углом.

Как видно из фиг. 94, установка призматического фасонного резца довольно проста, и требования установки сводятся к тому, чтобы получить правильный угол заточки резца Угол $(\gamma+\alpha)$ может быть измерен у призматического резца благодаря его простой форме универсальным угломером. Значительно сложнее установить круглый фасонный резец и заточить его правильно. На фиг. 95 показана установка круглого фасонного резца при заточке его на универсально-заточном станке. Ось круглого резца должна быть расположена относи-

тельно плоскости вращения режущих кромок шлифовального круга на расстоянии $r_к$, равном $h_р$.

Для того чтобы при заточке фасонного резца облегчить установку его относительно плоскости вращения шлифовального круга, рекомендуется на резце давать круговую контрольную риску радиусом, равным $r_к$. Если эта контрольная риска на резце имеется, то можно, приставив линейку к плоскости чашечного круга, довольно точно установить плоскость относительно контрольной риски. Можно также для измерения заточки фасонных резцов применять специальные установоч-



Фиг. 95. Установка круглого резца при заточке.

ные шаблоны. Следует отметить только, что при заточке круглого фасонного резца нужно особое внимание уделять точной установке его, в противном случае резец может сильно изменить профиль детали. После заточки резцов, которая производится обычно чашечными кругами зернистостью 46—80 и твердостью СМ1 — СМ2, рекомендуется заправить оселком переднюю грань резца.

Как круглый, так и призматический фасонный резец после заточки должен быть проконтролирован в отношении правильности углов, и установка фасонного резца относительно оси центров на станке должна быть также строго проверена.

ГЛАВА VI

СВЕРЛА

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

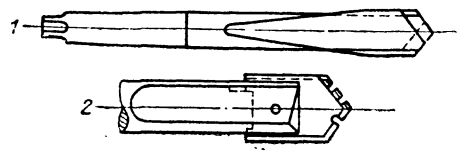
Сверло является режущим инструментом, предназначенным для сверления отверстий в сплошном материале, а также для рассверливания предварительно просверленных отверстий.

В машиностроении сверление отверстий чрезвычайно широко распространено. Нет ни одной машины, при изготовлении которой можно было бы обойтись без сверления.

Типы сверл и их классификация. По конструкции все существующие типы сверл сводятся к следующим основным группам.

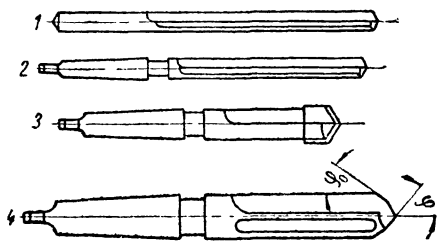
I. Сверла перовые (фиг. 96) бывают двух типов: *1* — сверла перовые цельные из одного куска металла и *2* — сверла перовые составные.

II Сверла с прямыми канавками (фиг. 97), разделяющиеся в свою очередь на: *1* — сверла с цилиндрическим хвостовиком, *2* — сверла с коническим хвостовиком, *3* — сверла с прямыми канавками составные и *4* — сверла с двойной заточкой.

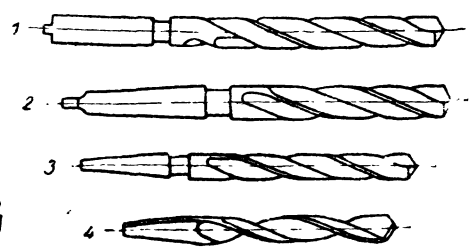


Фиг. 96. Перовые сверла.

III Сверла спиральные (с винтовыми канавками) (фиг. 98) делятся на следующие типы: *1* — сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком, *2* — сверла спиральные с коническим хвостовиком, *3* — сверла спиральные с четырехгранным суживающимся хвостовиком (для трещеток), *4* — сверла спиральные витые.

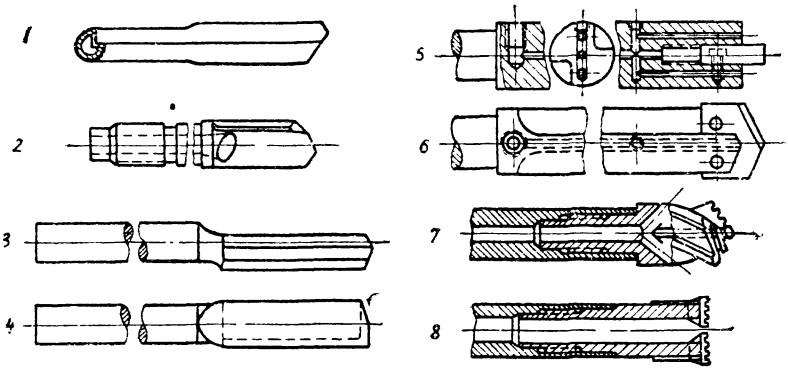


Фиг. 97. Сверла с прямыми канавками.



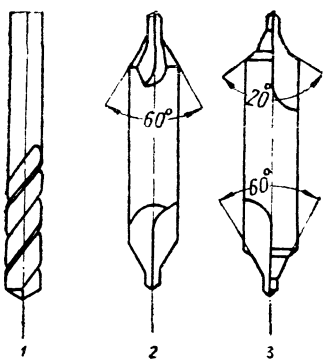
Фиг. 98. Спиральные сверла.

IV. Сверла для сверления глубоких отверстий (т. е. для отверстий глубиной более пяти диаметров) (фиг. 99). Эти сверла также разделяются на ряд типов: сверла ружейные цельные *1* и составные *2*,



Фиг. 99. Сверла для глубоких отверстий.

сверла пушечные *3—4*, шпиндельные *5—6*, сверла для глубоких отверстий спиральные составные *7* и сверла кольцевые *8*.



Фиг. 100. Центровочные сверла.

V. Сверла центровочные (фиг. 100): *1*—простые, *2*—комбинированные, *3*—с предохранительным конусом.

Приведенная классификация сверл по ГОСТ 2894-45 охватывает только основные часто встречающиеся типы сверл. На практике для выполнения различных работ приходится проектировать и применять специальные комбинированные сверла. Кроме того, каждый из приведенных выше типов имеет значительное количество разновидностей конструкций.

Разберем основные конструктивные элементы наиболее распространенных спиральных сверл.

СПИРАЛЬНЫЕ СВЕРЛА

Спиральные сверла предназначаются:

1) для сверления отверстий без последующей обработки (после сверления можно получить при правильной заточке сверла отверстие 5-го класса точности);

2) для сверления отверстий „под зенкер", т. е. когда последующей обработкой служит обработка зенкером (зенкер может быть заменен также расточным резцом);

3) для сверления отверстий „под развертку", т. е. когда последующим методом обработки служит развертывание;

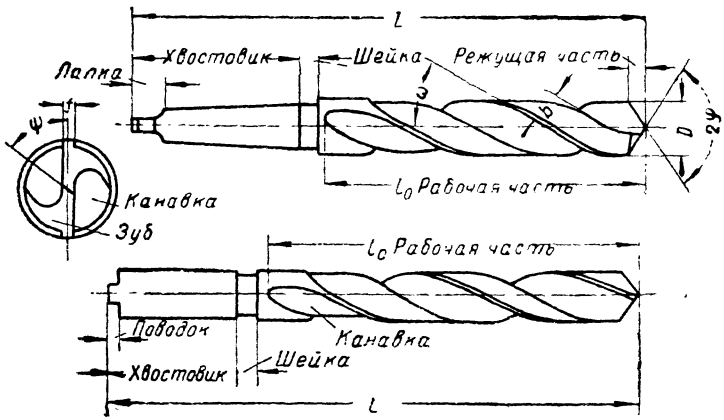
4) для сверления „под резьбу" — последующая обработка производится метчиком.

Для всех перечисленных работ сверла должны быть правильно подобраны по диаметру.

В ГОСТ 885-41 указано применение сверл и выбор их диаметра в зависимости от назначения сверла.

При сверлении благодаря имеющимся неточностям установки, несимметричности режущих кромок сверло имеет тенденцию разбивать отверстие, т. е. делать отверстие несколько большего диаметра. Поэтому при выборе диаметра сверла должна учитываться эта особенность.

Для получения отверстий 2-го, 3-го и 4-го классов точности после сверления приходится вводить последующую обработку — зенкерование, развертывание, протягивание, так как сверление не обеспечивает требуемой точности. В стандарте имеются рекомендуемые диаметры сверл в за-



Фиг. 101. Части сверла.

висимости от точности сборки машин. Точность сборки разделяется на две группы —точная и грубая, которые характеризуются принимаемыми при сборке величинами зазоров между сопряженными деталями При точной сборке зазоры меньше по абсолютной величине, при грубой сборке — больше. Для сверления под резьбу стандарт предусматривает разбивку сверл на две группы — для вязких и хрупких металлов.

Дело в том, что при нарезании резьбы метчиком в просверленном отверстии вследствие пластических деформаций металла увеличивается высота витка резьбы в гайке, следовательно, происходит уменьшение внутреннего диаметра отверстия. Это явление сказывается заметнее у вязких металлов и меньше у хрупких и твердых металлов. Поэтому диаметр сверла под резьбу выбирается несколько больше внутреннего диаметра резьбы гайки. Величина превышения диаметра колеблется от 10 до 25% высоты резьбы и зависит от свойств обрабатываемого металла.

Части и конструктивные элементы спирального сверла. На фиг. 101 изображены спиральные сверла с коническим и цилиндрическим хвостовиком. Различаются следующие основные части сверла:

1) рабочей частью сверла называется часть сверла, снабженная канавками; она состоит из режущей и направляющей частей;

2) режущей частью называется часть сверла, имеющая режущие кромки;

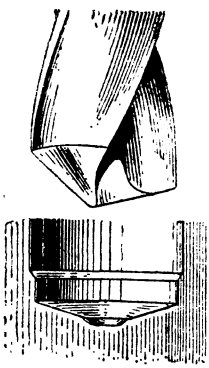
3) хвостовик предназначен для закрепления сверла и передачи крутящего момента от шпинделя;

4) лапка (у сверл с коническим хвостом); поводок (у сверл с цилиндрическим хвостом);

5) шейка соединяет рабочую часть и хвостовик.

Рассмотрим отдельные элементы, определяющие размеры и форму сверла.

К таким конструктивным элементам относятся D — диаметр сверла; 2φ — угол режущей части (угол при вершине); ω — угол наклона винтовой канавки; γ, α, δ — геометрические параметры режущей части сверла, т. е. передний и задний углы и угол резания; d — толщина сердцевины (или диаметр сердцевины); b — ширина пера (зуба) или ширина канавки; f — ленточка. Форма режущей кромки и профиль фрезы для канавки сверла; l_0 — длина рабочей части; L — общая длина сверла.



Фиг. 102. Несимметричная заточка.

Диаметр сверла. Диаметр сверла, как было уже указано, выбирается по стандарту в зависимости от назначения сверла. Он всегда будет меньше, чем диаметр просверленного отверстия, вследствие разбивки, т. е. увеличения диаметра отверстия. Величина разбивки зависит от биения шпинделя станка, на котором производится сверление, от свойств обрабатываемого металла, биения сверла в шпинделе станка и др. Особенно большое влияние оказывает неправильная заточка сверла (неодинаковые углы при вершине и неодинаковая длина режущих кромок).

На фиг. 102 показана неправильная, несимметричная заточка, которая приводит к значительному увеличению диаметра отверстия. Такая резкая несимметричность кромок, дающая неправильный диаметр отверстия, может быть легко устранена при заточке сверла, однако в некоторой мере несимметричность, которая не влияет на диаметр отверстия, всегда имеет место.

При обычных условиях эксплоатации разбивка имеет определенные, установленные практикой величины. В таблице назначения сверл по ГОСТ 885-41 приведены данные для выбора диаметра сверла. Допуски на диаметр спиральных сверл в зависимости от условий работы следовало бы давать различные, однако в действительности трудно предвидеть точное назначение сверла, и поэтому допуски на диаметр принимаются единые.

В табл. 26 приведены допуски на диаметр шлифованных и нешлифованных спиральных сверл.

Как видно из табл. 26, все допуски даны в сторону уменьшения, так как сверло всегда обеспечивает увеличение диаметра отверстия. Диаметр направляющей части спирального сверла с целью уменьшения

трения о стенки отверстия уменьшается по направлению к хвостовику, т. е. направляющая часть сверла имеет обратную конусность:

Диаметр сверла в *мм*	Обратная конусность на каждые 100 *мм* длины
От 1 до 6	0,03—0,07 *мм*
Свыше 6 до 18	0,04—0,08 „
„ 18	0,05—0,10 „

Таблица 26

Допуск на диаметр спиральных сверл

Диаметр сверла в *мм*	Шлифованные сверла			Нешлифованные сверла		
	Отклонения		Допуск	Отклонения		Допуск
	Верхнее	Нижнее		Верхнее	Нижнее	
От 0,25 до 0,5	—	—	—	0	—0,02	0,02
Свыше 0,5 до 0,75	0	—0,015	0,015	0	—0,025	0,025
„ 0,75 „ 1	0	—0,02	0,02	0	—0,03	0,03
„ 1 „ 3	0	—0,025	0,025	0	—0,04	0,04
„ 3 „ 6	0	—0,03	0,03	—	—	—
„ 6 „ 10	0	—0,036	0,036	—	—	—
„ 10 „ 18	0	—0,043	0,043	—	—	—
„ 18 „ 30	0	—0,052	0,052	—	—	—
„ 30 „ 50	0	—0,062	0,062	—	—	—
„ 50 „ 80	0	—0,074	0,074	—	—	—

Угол режущей части сверла (угол при вершине). Угол при вершине сверла 2φ (см. фиг. 101) имеет большое значение для правильной работы сверла. Изменение угла при вершине приводит к изменению основных режущих элементов сверла. От величины принятого угла при вершине зависят передний и задний углы сверла. Исследования показывают, что на выбор угла при вершине влияет свойство обрабатываемого материала. Для твердых и хрупких металлов угол при вершине целесообразно применять большей величины — 130—150°, для более мягких и вязких — меньшей величины — 80—90°. У сверл, предназначенных для сверления различных металлов (стандартных сверл), величину угла 2φ принимают 116—118°.

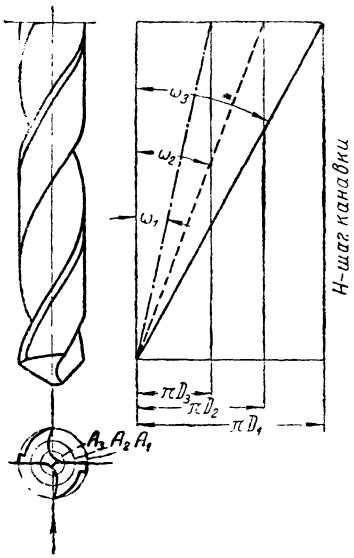
Помимо свойств обрабатываемого материала на выбор угла 2φ оказывают влияние и основные факторы резания при сверлении. Чем больше угол 2φ, тем прочнее сверло у перемычки.

Это обстоятельство заставляет делать этот угол большим при сверлении более твердых металлов. Однако чем больше угол при вершине, тем больше по величине при прочих равных условиях осевое усилие, а следовательно, и напряжения на продольный изгиб или сжатие сверла. Чем больше угол при вершине, тем больше вероятность поломки сверла при выходе, когда производится сверление сквозных отверстий. При меньшем угле 2φ вероятность такой поломки значительно меньше.

Произвольное изменение величины угла 2φ у сверла с определенным углом наклона винтовых канавок недопустимо, так как приводит к изменению переднего угла γ и изменению формы режущей кромки.

Угол ω наклона винтовых канавок. Винтовые канавки спирального сверла могут быть правые и левые. Правая канавка направлена по винтовой линии с подъемом слева направо (см. фиг. 101), левая — наоборот. Подавляющее большинство сверл имеет правые канавки и предназначено для правого вращения. Только для автоматов применяют сверла левого вращения.

Углом наклона винтовых канавок ω спирального сверла называется угол между развернутой винтовой линией и осью сверла (фиг. 103).



Фиг. 103. Изменение угла наклона винтовых канавок.

Если рассмотрим развертку винтовой линии, то увидим, что угол ω определяется по формуле $\operatorname{tg}\omega = \frac{\pi D}{H}$, где D — диаметр сверла, H — шаг винтовой канавки сверла.

Принято определять угол ω по наружному диаметру сверла. Однако нужно иметь в виду, что в любой точке режущей кромки, расположенной ближе к центру, угол наклона будет изменяться (фиг. 103).

Угол наклона винтовой канавки имеет большое значение для работы сверла, так как он определяет основной параметр режущего инструмента — его передний угол γ. С увеличением угла ω увеличивается передний угол, следовательно, процесс резания протекает в более легких условиях: улучшаются условия отвода стружки, наблюдается уменьшение осевого усилия (усилия подачи), а также уменьшение крутящего момента на сверле.

По данным некоторых исследователей, осевое усилие и крутящий момент резко падают при увеличении угла ω до определенной величины (до 30°), а при дальнейшем увеличении угла ω наблюдается уже незначительное уменьшение усилий[1]. Следовательно, с этой точки зрения выгоднее брать ω равным 30°. Однако увеличение угла ω, кроме перечисленных положительных сторон, имеет и отрицательные стороны. К отрицательным сторонам относится уменьшение жесткости сверла при увеличении угла ω и уменьшение угла заострения режущей кромки сверла, а это приводит к ослаблению режущей кромки и ухудшению условий отвода тепла. Эти явления будут тем заметнее, чем меньше диаметр сверла. Поэтому для мелких сверл при прочих равных условиях следует принимать меньшие значения угла ω, чем у крупных сверл.

В табл. 27 приведены рекомендуемые значения угла ω в зависимости от диаметра сверла.

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. I, ОНТИ, 1936.

Таблица 27

Угол наклона винтовой канавки

Диаметр сверл в *мм*												
	От	0,25	0.4	0.5	0.75	1,0	2.0	3,0	3,5	4,5	6.5	8.5	10
	До	0.35	0,45	0,7	0.95	1,9	2,9	3,4	4,4	6,4	8.4	9,9	80
Угол наклона винтовой канавки в град.		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	30

Спиральные сверла, предназначенные для определенных условий работы, следует проектировать с наиболее выгодным для данного металла углом наклона ω.

В табл. 28 приводятся рекомендуемые значения угла наклона ω и угла 2φ для сверл в зависимости от обрабатываемого материала.

Таблица 28

Геометрия сверла, рекомендуемая для различных обрабатываемых металлов [1] (по Э. И. Фельдштейну)

Обрабатываемый материал	Уклона наклона винтовой канавки ω°	Угол при вершине $2\varphi^\circ$
Машиноподелочная сталь σ_b до 70 *кг/мм²*	30	116—118
Легированные и машиноподелочные стали $\sigma_b =$ $= 70 \div 100$ *кг/мм²*	25	120
Легированные и машиноподелочные стали $\sigma_b =$ $= 10 \div 140$ *кг мм²*	20	125
Нержавеющая сталь	25	120
Чугун	25—30	116—120
Красная медь	34—45	125
Твердые бронза и латунь	15—.0	135
Вязкая латунь, медное литье	25—30	130
Чистый алюминий и вязкие легкие металлы (силумин)	35—45	130—140

Углы лезвия сверла (передний и задний углы). На фиг. 104 показаны углы режущего лезвия сверла. Эти углы лезвия сверла следует рассматривать в двух положениях: в нерабочем положении и в рабочем положении (с учетом кинематики сверления).

В нерабочем положении под углом γ следует понимать угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке A режущей кромки (фиг 104) и линией AB, перпендикулярной поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла в той же точке.

[1] Данные табл. 28 относятся к сверлам, начиная с диаметра 10 *мм* и выше; у более мелких сверл следует принимать иные углы; кроме того, данные таблицы предусматривают изготовление сверл из быстрорежущей, углеродистой или легированной стали, но не из твердого сплава.

Рассмотрим, от каких величин зависит угол γ у сверла в сечении NN (фиг. 104). Если взять точку A, расположенную на цилиндре диаметра D_A, то для этой точки угол наклона винтовой канавки определится по формуле

$$\operatorname{tg}\omega_A = \frac{\pi D_A}{H}.$$

Передний угол в сечении OO будет равен углу ω_A. Но нас интересует сечение NN. Передний угол γ_A в этом сечении может быть получен путем пересчета угла ω_A в плоскости OO на угол γ_A в плоскости NN. Для этого достаточно построить прямоугольный треугольник ANO. Проектируя сторону AN в сечение NN, получим

$$AN = \frac{NB}{\operatorname{tg}\gamma_A} \text{ или } NB = AN \cdot \operatorname{tg}\gamma_A.$$

Проектируя сторону AO в сечение OO, получим

$$AO = \frac{OB}{\operatorname{tg}\omega_A} \text{ или } OB = AO \cdot \operatorname{tg}\omega_A.$$

Но $NB = OB$, следовательно,

$$AN \cdot \operatorname{tg}\gamma_A = AO \cdot \operatorname{tg}\omega_A.$$

Заменив $\frac{AN}{AO}$ через $\sin\varphi$, получим

$$\operatorname{tg}\gamma_A = \frac{\operatorname{tg}\omega_A}{\sin\varphi}.$$

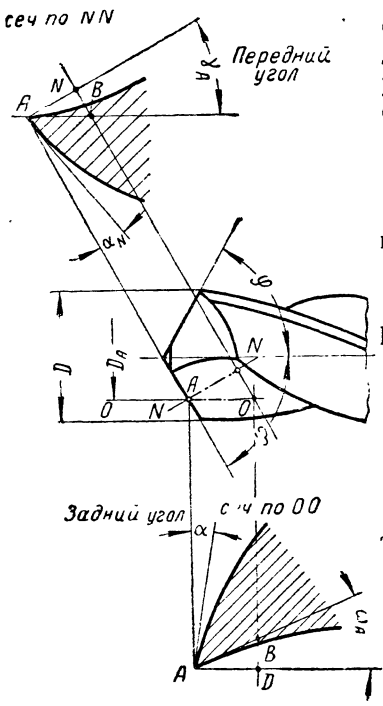
Но, с другой стороны, нам известно также, что

$$\operatorname{tg}\omega_A = \frac{\pi D_A}{H};$$

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg}\omega}.$$

Подставив в формулу $\operatorname{tg}\gamma_A$, получим

$$\operatorname{tg}\gamma_A = \frac{D_A \operatorname{tg}\omega}{D \sin\varphi}.$$



Фиг. 104. Углы лезвия сверла.

Таким образом, передний угол в любой точке режущей кромки сверла будет зависеть от угла наклона ω винтовых канавок, половины угла при вершине сверла φ и от диаметра, на котором расположена рассматриваемая точка. Чем ближе к центру расположена рассматриваемая точка режущей кромки, тем меньше угол γ.

Если на наружном диаметре передний угол для спиральных сверл принимается в пределах от 18 до 33°, то ближе к центру сверла он достигает величины, близкой к нулю.

Хуже обстоит дело с передним углом у поперечной кромки. Здесь угол γ будет отрицательным, т. е. в зоне поперечной кромки происходит при сверлении не резание, а сминание материала. Чем длиннее поперечная кромка, тем тяжелее работает сверло.

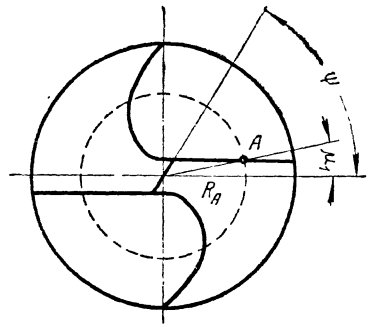
Установлено, что из всей величины осевого усилия до 50% приходится на поперечную кромку. Следовательно, для уменьшения осевого усилия следует по возможности уменьшать длину поперечной кромки. Это производится путем подточки перемычки.

Передний угол γ для сверл в чертежах обычно не указывается, так как он переменный и определяется, как приведено выше, углом наклона винтовых канавок и углом при вершине сверла.

Приведенная формула для определения угла γ — приближенная, так как в ней не учитывается ширина перемычки. Более точно можно определить передний угол, выведя зависимость угла γ от угла μ_1, образованного радиусом R_A, проведенным через данную точку A, с осью симметрии поперечного сечения сверла (фиг. 105).

Тогда формула примет вид[1]

$$\operatorname{tg}\gamma_A = \frac{D_A \operatorname{tg}\omega \cos\mu_1}{D\left(\sin\varphi - \frac{D_A}{D}\operatorname{tg}\omega\cos\varphi\sin\mu_1\right)}.$$



Фиг. 105. Влияние угла μ_1 на передний угол сверла.

Однако практически влиянием угла μ_1 обычно пренебрегают и ограничиваются первой более простой формулой.

Задний угол α у сверла представляет собой угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной к поверхности резания (см. фиг. 104). Плоскость измерения угла проводится через рассматриваемую точку режущей кромки касательно к цилиндрической поверхности, ось которой совпадает с осью сверла.

Если рассматривать угол α_N в плоскости, перпендикулярной режущей кромке сверла, зависимость между задним углом в плоскости, параллельной оси, и в плоскости, перпендикулярной режущей кромке, будет приближенно следующая:

$$\operatorname{tg}\alpha_N = \operatorname{tg}\alpha\sin\varphi,$$

где α_N — задний угол в плоскости, перпендикулярной кромке в рассматриваемой точке;

α — задний угол, измеренный в плоскости, проходящей через ту же точку, касательной к окружности в данной точке и параллельной оси сверла.

Мы рассматривали передний и задний углы у сверла в нерабочем положении. В процессе работы сверло, кроме вращательного движения, имеет также поступательное движение, и это приводит к тому, что траектория каждой точки режущей кромки будет являться винтовой линией.

На фиг. 106 линия, проведенная под углом к горизонтали, представляет собой развернутую винтовую линию траектории резания, т. е.

[1] См. И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

путь, по которому движется рассматриваемая точка режущей кромки в процессе резания. Угол μ наклона траектории резания можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\mu = \frac{s}{\pi D},$$

где s — подача в *мм/об*.

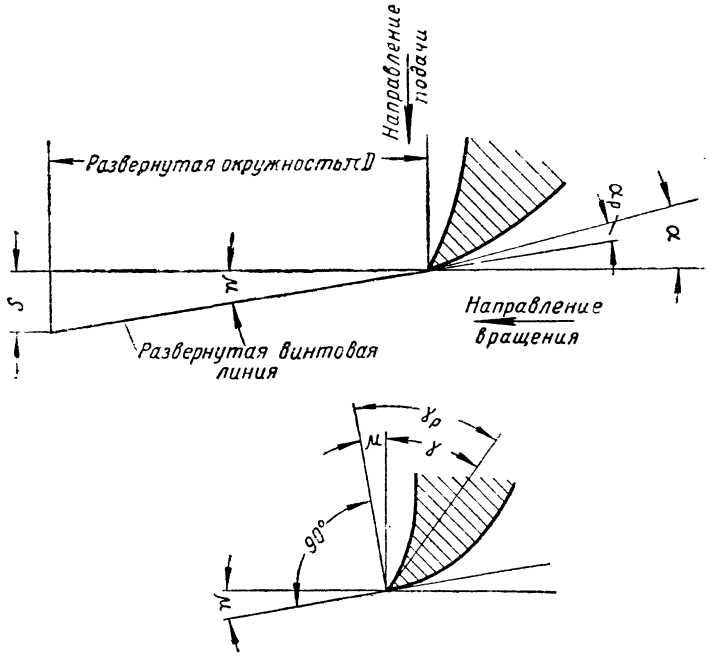
Из фиг. 106 следует, что угол γ_p в рабочем положении будет

$$\gamma_p = \gamma + \mu,$$

а задний угол в рабочем положении

$$\alpha_p = \alpha - \mu.$$

Практически при небольших подачах угол наклона траектории μ будет по величине незначителен. Однако этот угол необходимо учи-



Фиг. 106. Углы лезвия в процессе резания.

тывать, когда мы задаемся значениями углов γ и α, особенно при конструировании сверл небольших диаметров, так как чем меньше диаметр, на котором лежит рассматриваемая точка, тем большее значение при одной и той же подаче будет иметь угол μ.

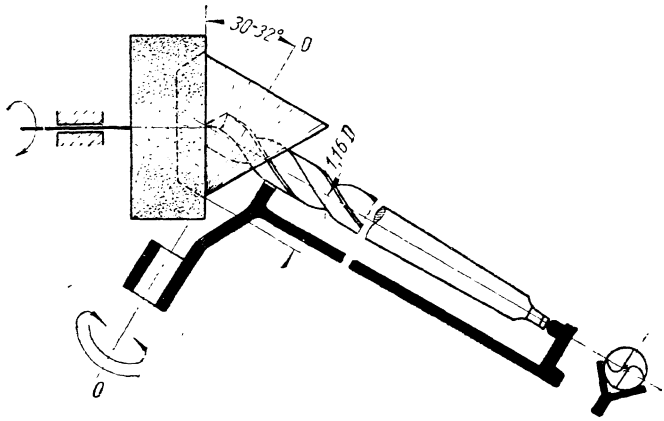
Возможно даже такое положение, когда задний угол в процессе резания α_p получится отрицательным, что вызовет на некоторых участках сильное трение сверла об обрабатываемую поверхность. Поэтому для создания благоприятных задних углов в любой точке режущей кромки необходимо произвести заточку таким образом, чтобы обеспечить увеличение заднего угла по мере приближения к оси сверла.

Если в точке, взятой на периферии (у наружного диаметра), $\alpha = 6 \div 8°$, то у оси сверла этот угол должен быть равен $\alpha = 25 \div 27°$ (для средних размеров сверл). Это обеспечивается заточкой задней (затылочной) поверхности режущей части сверла на специальных заточных станках.

В зависимости от формы задней поверхности, получаемой при заточке, все станки для заточки сверл можно разбить на две группы:

1) станки для конической заточки, когда поверхности сверла, образуемые при заточке, являются коническими;

2) станки для винтовой заточки, когда поверхности сверла, образуемые при заточке, являются винтовыми.



Фиг. 107. Схема конической заточки задней поверхности сверл.

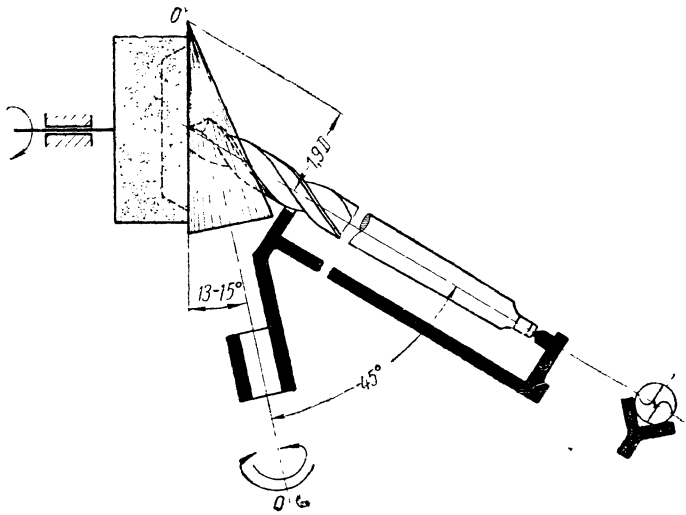
На фиг. 107 и 108 показаны два способа заточки сверл на станках, относящихся к первой группе.

Сверло закрепляется в специальном приспособлении на столе станка и вращается вместе с ним относительно оси *OO* воображаемого конуса. Очень важно при этом придать правильное положение сверлу относительно оси шлифовального круга и той оси *OO*, относительно которой производится качание сверл при заточке. Одновременно сверло подается вдоль своей оси к шлифовальному кругу. При затачивании затылочная поверхность сверла будет являться частью поверхности этого воображаемого конуса.

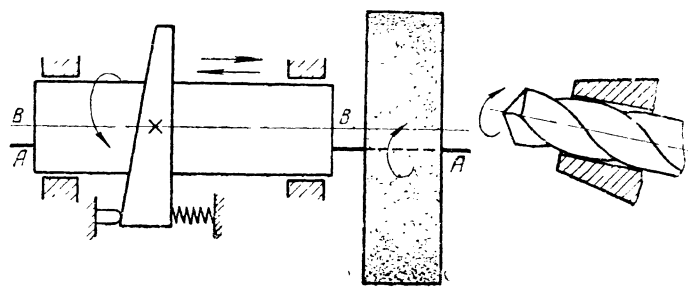
При сравнении способов заточки по фиг. 107 и 108 видно, что они различаются между собой только схемой расположения оси воображаемого конуса относительно сверла.

Приспособление для установки сверла (губкодержатель) конструируется таким образом, чтобы вершина конуса, по которому производится заточка, была расположена на определенном расстоянии от оси сверла [при первом способе (фиг. 107) это расстояние равно 1,16 *D*, а при втором способе (фиг. 108) — 1,9 *D*]. Кроме того, ось конуса

смещается с оси сверла на $^1/_{13} — ^1/_{10}$ диаметра сверла в плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа. Различное расположение оси воображаемого конуса относительно оси сверла дает различную картину изменения задних углов по всей длине режущей кромки сверла. Для сверла лучше, когда задний угол у наружного диаметра меньше, чем у центра.



Фиг. 108. Схема конической заточки задней поверхности сверл.



Фиг. 109. Схема винтовой заточки сверла.

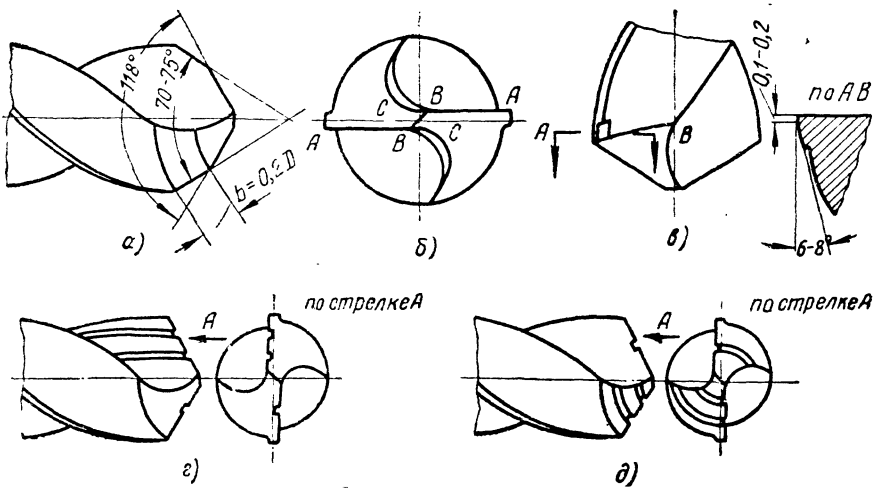
Поэтому наибольшее распространение получила заточка по второму способу, которая дает резкое увеличение заднего угла по направлению к центру сверла. Заточка по первому способу также дает увеличение заднего угла, но значительно меньше.

Имеет распространение также схема винтовой заточки (фиг. 109), станки для которой изготовляются заводом имени Ильича.

Сверло, зажатое в патроне, медленно вращается вокруг своей оси. Шлифовальный круг, кроме основного вращения вокруг оси *AA*, получает еще дополнительные движения: вращение вокруг оси *BB* (ось шпинделя

эксцентрична оси *ВВ* втулки, последняя получает независимое вращение) и возвратно-поступательные перемещения вдоль оси, которые осуществляются посредством кулачка. Дополнительное вращение шлифовального круга обеспечивает перемещение его рабочей поверхности по режущей кромке сверла. Таким образом, все относительные перемещения шлифовального круга и сверла так связаны между собой, что в результате получается заточка задних поверхностей сверла по винтовой поверхности.

Такой метод заточки позволяет получить более резкое увеличение заднего угла (на 25%) к центру сверла и имеет преимущества перед более распространенной заточкой по первому и второму способам,



Фиг. 110. Типы заточек спиральных сверл.

однако он не получил еще широкого распространения. Это объясняется тем, что сверла с винтовой заточкой целесообразны при сверлении мягких материалов; при сверлении твердых материалов слишком большой задний угол снижает прочность перемычки сверла.

Способы подточки спирального сверла. Перечисленные методы заточки не устраняют следующих недостатков режущей части спирального сверла;

а) уменьшение переднего угла в точках лезвия, расположенных ближе к центру сверла.

б) неблагоприятные условия резания у перемычки;

в) трение из-за отсутствия заднего угла у цилиндрической ленточки.

Поэтому имеется ряд способов заточки сверл, позволяющих улучшить его режущие свойства. К этим способам относятся следующие.

Двойная заточка сверл (фиг. 110, *а*), заключающаяся в образовании уменьшенного угла при вершине на наиболее нагруженных кромках сверла в местах перехода к цилиндрической части сверла. Благодаря такой заточке увеличивается ширина стружки, уменьшается

ее толщина, увеличивается передний угол в точках, прилегающих к наружному диаметру.

На основании исследований в ГОСТ 2322-43 установлена следующая наивыгоднейшая форма двойной заточки: угол $2\varphi = 70 \div 75°$, ширина лезвия двойной заточки $b = 0{,}2\,D$, где D — диаметр сверла.

Сравнительные испытания и практика заводов показывают, что введение двойной заточки для сверл, начиная с диаметра 12 *мм*, при обработке стали дает повышение стойкости до 2,5—3 раз, а при обработке чугуна — до 3—5 раз по сравнению с обычной заточкой.

Подточка перемычки (фиг. 110, *б*). Перемычка сверла, имеющая угол резания значительно больше 90°, работает в тяжелых условиях: она не режет, а заминает материал[1]. При этом значительно увеличиваются усилия резания, особенно осевое усилие.

В целях уменьшения усилий при сверлении и облегчения условий резания нужно уменьшить длину перемычки, однако это приведет к ослаблению прочности сверла. Поэтому следует производить подточку только у режущей части. Этим достигается укорачивание поперечной кромки и уменьшается угол резания в самом неблагоприятном месте сверла — около его оси. Прочность сверла не уменьшается, так как сердцевина на всем сверле остается прежней.

При подточке, показанной на фиг. 110, *б*, вытачиваются выемки на участках *BC*, являющихся продолжением режущих кромок *AB*. Длину перемычки при этом уменьшают незначительно и доводят до 0,1 D (для больших сверл). В результате такой подточки облегчается резание, повышается стойкость сверла. Подточка рекомендуется для сверления стали мягкой или средней твердости и в особенности для крупных сверл.

Подточка цилиндрических ленточек. Наиболее подверженными износу являются места перехода от главных режущих кромок к цилиндрическим ленточкам (уголки).

Из-за резкого перехода в этих местах и отсутствия заднего угла у ленточки повышается износ по диаметру, что приводит иногда к защемлению и поломке сверла. Можно избежать этого, если затачивать задний угол у ленточки на небольшой длине с оставлением небольшой фаски 0,1—0,2 *мм* (фиг. 110, *в*).

Рекомендуемый задний угол на ленточке 6—8°; длина подточки 1,5—5 *мм* в зависимости от диаметра сверла. Уголки сверла следует закруглить, что также способствует повышению стойкости. Наличие такой подточки приводит к увеличению стойкости сверл до 2—3 раз.

Образование стружкоразделительных канавок. При сверлении глубоких отверстий возможно скопление широкой стружки, отделяющейся от режущих кромок сверла. Рекомендуется в этих случаях вводить стружкоразделительные канавки, которые позволяют разбить широкую стружку на более узкие. Канавки могут быть образованы или вдоль передней поверхности сверла (фиг. 110, *г*), или по задней затылочной поверхности (фиг. 110, *д*). Канавки первого типа получаются путем фрезерования фрезой или прорезкой узким шлифовальным кругом.

---

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. 1, ОНТИ, 1936.

Канавки второго типа должны быть образованы узким шлифовальным кругом после заточки сверла по задней поверхности.

Введение стружкоразделительных канавок дает повышение стойкости сверл до 2 раз. Так как все приведенные типы подточек в определенных условиях приводят к улучшению работы спирального сверла, то применяются комбинации из всех типов подточек. По ГОСТ 2322-43 рекомендуются следующие типы подточек, приведенные на фиг. 111.

Сердцевина и поперечная кромка сверла. Размер (диаметр) сердцевины у спиральных сверл является важнейшим элементом. При недостаточном диаметре сердцевины сверло будет менее жестким, а следовательно, будет выдерживать меньшие крутящие моменты. С другой стороны, при уменьшении сердцевины значительно уменьшается осевое усилие и облегчается процесс сверления, так как уменьшается поперечная кромка.

Размер сердцевины для сверл из углеродистой и быстрорежущей стали, по данным инструментального завода „Фрезер", принимается в следующих пределах: у сверл диаметром от 6 до 10 *мм* в пределах (0,2—0,25) *D*, у сверл свыше 10 *мм* диаметр сердцевины принимается равным (0,13—0,16) *D*. Сверла с пластинками твердого сплава имеют другие соотношения — сердцевина у них делается относительно большой, так как такое сверло сильно ослабляется при врезании пластинки. Принимаются следующие значения диаметра сердцевины для сверл с пластинками твердого сплава: для сверл диаметром до 10 *мм* сердцевина равна 0,27 *D*; для сверл диаметром свыше 10 *мм* — (0,25—0,26) *D*.

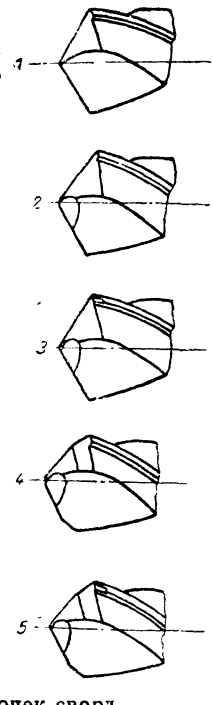
1 — нормальная (одинарная) без подточек обозначается буквой Н — для стали, стального литья, чугуна;

2 — одинарная с подточкой перемычки (НП) — для стального литья σ_b до 50 *кг/мм*^{2} с неснятой коркой;

3 — одинарная с подточкой перемычки и ленточки (НПЛ) — для стали и стального литья с σ_b до 50 *кг/мм*^{2} со снятой коркой;

4 — двойная с подточкой перемычки (ДП) — для стального литья с σ_b более 50 *кг/мм*^{2} с неснятой коркой и чугуна с неснятой коркой;

5 — двойная с подточкой перемычки и ленточки (ДПЛ) — для стали и стального литья с σ_b более 50 *кг/мм*^{2} со снятой коркой и чугуна со снятой коркой.



Фиг. 111. Форма подточек сверл.

У сверл, канавки которых обрабатываются на фрезерном станке, диаметр сердцевины по направлению к хвостовику увеличивается на 1,4—1,8 *мм* на 100 *мм* длины. Это имеет целью обеспечить большую прочность и жесткость сверла.

У фрезерованных сверл такое увеличение диаметра сердцевины получается благодаря постепенному подъему шпинделя канавочной фрезы по мере продвижения ее к хвостовику сверла.

У специальных фрезерных станков для фрезерования канавок сверл подъем фрезы обеспечивается конструкцией станков.

При замене фрезерования канавок прокаткой и последующей завивкой профиля увеличения сердцевины к хвостовику достигнуть трудно, и такие витые сверла делают с равномерной сердцевиной (несколько большей) по всей длине рабочей части сверла. Размер сердцевины витого сверла принимается в следующих пределах: для сверл диаметром от 6 до 10 *мм* — (0,25—0,27) *D*, от 10 до 15 *мм* — 0,22 *D*.

Уменьшение длины поперечной кромки у витых сверл достигается подточкой, которая в отличие от спиральных сверл с фрезерованными канавками делается обязательно (тогда как у фрезерованных сверл подточка делается только при сверлении стального литья и мягких материалов).

Угол наклона поперечной кромки. Следует отметить, что важным конструктивным элементом сверла является не только длина поперечной кромки, но также и угол наклона поперечной кромки ψ, образованный направлением перемычки и режущими кромками (см. фиг. 105). Этот угол зависит главным образом от заточки сверла и является элементом, характеризующим правильность заточки. Наилучшим значением угла ψ является 55°.

Ширина пера и ширина канавки сверла. Ширина пера выбирается из соображений прочности сверла, а ширина канавки — из условия достаточного пространства для помещения стружки и отвода ее от режущей кромки во время работы сверла. Обычно принимают ширину пера равной ширине канавки, т. е. при двух перьях равной $^1/_4$ окружности сверла. Однако для сверл с большим углом ω ширину канавки следует немного увеличивать. В чертежах сверл ширина пера дается перпендикулярно винтовой канавке, так как эту величину легче всего измерить.

По данным завода „Фрезер", ширина пера для сверл из быстрорежущей стали принимается: для сверл диаметром от 3 до 8 *мм* — 0,62 *D*; свыше 8 до 20 *мм* — 0,59 *D*; свыше 20 *мм* — 0,58 *D*.

Ширина канавки обычно не проставляется в чертежах и не измеряется, однако ее размеры конструктору приходится определять для построения профиля канавочной фрезы.

Ленточка сверла. Узкая полоска зуба, отшлифованная по диаметру, носит название ленточки или фаски сверла. Этот элемент имеет важнейшее значение для работы сверла, так как от размера ленточки зависит большее или меньшее трение сверла о стенки обрабатываемого отверстия. Цилиндрическая ленточка должна также обеспечить сверлу хорошее направление.

Размеры ленточек, принятые для сверл, приведены в табл. 29.

Для уменьшения трения цилиндрических ленточек о стенки отверстия делают на сверле обратную конусность, т. е. диаметр сверла уменьшается по направлению к хвостовику. При сверлении глубоких отверстий в твердом металле, а также при сверлении неточных отверстий рекомендуется величину обратной конусности увеличивать по сравнению с принятыми по ГОСТ величинами (см. стр. 161).

Таблица 29

Размеры ленточек для спиральных сверл

Диаметр сверла в *мм*	Ширина ленточки в *мм*	Высота ленточки в *мм*	Диаметр сверла в *мм*	Ширина ленточки в *мм*	Высота ленточки в *мм*
1	0,3	0,1	20	1,25	0,55
3	0,45	0,15	30	1,6	0,6
6	0,5	0,2	40	2,0	0,9
10	0,6	0,3	50	2,4	1,0
12	0,7	0,3	60	2,6	1,2
15	0,85	0,45			

Форма режущей кромки сверла. Линия, образованная пересечением передней и задней поверхности, называется режущей кромкой сверла. Эта кромка сверла может быть выполнена выпуклой, вогнутой и прямолинейной. Наиболее распространенной является прямолинейная форма режущей кромки.

До последнего времени считали, что выпуклая режущая кромка для сверла непригодна, однако исследования канд. техн. наук Родина под руководством д-ра техн. наук И. И. Семенченко показали, что при выпуклой кромке можно добиться постоянства переднего угла во всех точках режущей кромки сверла и тем самым улучшить условия резания.

Форма канавки. Одним из конструктивных элементов, характеризующих рабочую часть сверла, является форма канавки сверла. Собственно форма канавки сверла никогда в рабочих чертежах сверла не указывается; однако в чертеж сверла вводится другой элемент, заменяющий форму канавки, — профиль канавочной фрезы (для сверл с фрезерованными канавками) и профиль проката (для витых сверл). Профиль канавочной фрезы, определяющий форму канавки, зависит от:

1) формы режущей кромки;
2) диаметра сердцевины;
3) ширины канавки;
4) угла наклона винтовых канавок;
5) угла при вершине;
6) угла установки фрезы к оси сверла;
7) положения точки пересечения оси оправки фрезы с осью сверла;
8) диаметра фрезы.

Зная все эти элементы, можно определить профиль канавочной фрезы графическим или аналитическим путем.

Графическое построение профиля фрезы [1] отнимает много времени, точный аналитический расчет очень сложен. Поэтому в последнее время появились работы, дающие возможность определить все основные эле-

[1] Способ графического построения профиля фрезы см. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. I, ОНТИ, 1935.

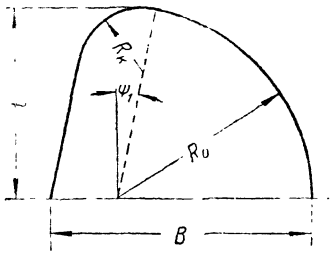
менты профиля канавочной фрезы (радиус R_0, радиус $R_к$ и ширину B) (фиг. 112) упрощенным аналитическим способом. Тип фрез, показанный на фиг. 112, дает наилучшие результаты и принят заводом „Фрезер" и многими инструментальными цехами и заводами Советского Союза.

Приближенная формула[1] для определения радиуса R_0 фрезы, изображенной на фиг. 112, имеет следующий вид:

$$R_0 = C_R \cdot C_ч \cdot C_ф \cdot D,$$

где D — диаметр сверла;

C_R — коэфициент, учитывающий влияние угла при вершине 2φ и угла наклона канавки ω. Коэфициент C_R определяется в зависимости от углов 2φ и ω следующим образом:



Фиг. 112. Профиль канавочной фрезы.

$$C_R = \frac{0{,}26 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega},$$

где 2φ и ω — в град.;

$C_ч$ — коэфициент, учитывающий изменение диаметра перемычки;

$$C_ч = \left(\frac{0{,}14D}{d}\right)^{0{,}044},$$

где d — диаметр перемычки (сердцевины) сверла.

Если отношение $\frac{d}{D} = 0{,}14$, то $C_ч = 1$ и не принимается во внимание.

$C_ф$ — коэфициент, учитывающий влияние диаметра канавочной фрезы;

$$C_ф = \left(\frac{13\sqrt{D}}{D_ф}\right)^{\frac{0{,}9}{\omega}},$$

где $D_ф$ — диаметр канавочной фрезы.

Если диаметр фрезы $D_ф = 13\sqrt{D}$, то $C_ф = 1$ и не принимается в расчет.

Можно $C_ч$ и $C_ф$ при расчете сверл считать равными единице, тогда определение радиуса R_0 упрощается.

Радиус $R_к$ закругления вершины фрезы можно определить по формуле

$$R_к = C_к \cdot D,$$

где D — диаметр сверла, а $C_к$ — коэфициент, определяемый по формуле

$$C_к = 0{,}015\omega^{0{,}75}.$$

[1] С. С. Можаев, Аналитическая теория спиральных сверл, Машгиз, 1948.

Нетрудно из чертежа профиля определить ширину фрезы B:

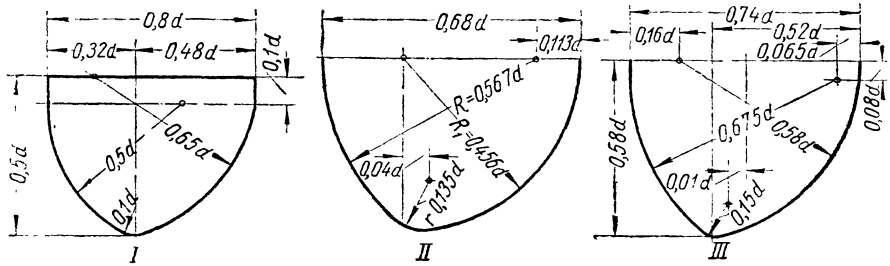
$$B = R_0 + \frac{R_к}{\cos \psi_1}.$$

Но так как угол ψ_1 обычно мал и равен 10°, можно считать

$$B \approx R_0 + R_к.$$

Таким образом, зная все основные элементы сверла, легко найти профиль канавочной фрезы.

Построенный и рассчитанный нами профиль фрезы должен быть применен только для одного диаметра сверла при определенных значениях угла наклона винтовой линии, угла при вершине, сердцевины



Фиг. 113. Различные типы профилей канавочных фрез.

и т. д. Следовательно, правильно было бы для каждого диаметра сверла и угла наклона иметь свою канавочную фрезу. Однако в этом случае потребовалось бы огромное количество фрез. Поэтому одной фрезой обрабатывается целый диапазон диаметров; получающиеся при этом неточности не имеют практического значения.

В литературе приводится целый ряд профилей фрез различных заводов. На фиг. 113 приведены наиболее часто встречающиеся профили.

Лучшим из профилей следует признать профиль завода „Фрезер" (см. фиг. 112). Этот профиль дает достаточную канавку для отвода стружки, благоприятную форму сечения сверла с точки зрения его термической обработки (плавное изменение сечения), а также простую форму зуба канавочной фрезы (два радиуса и прямая).

Общие конструктивные элементы спиральных сверл. Длина рабочей части сверла должна быть выбрана с учетом необходимой глубины сверления и запаса на переточки, так как переточка сверла производится по задней грани и длина рабочей части при этом укорачивается.

Длина рабочей части сверл приводится в соответствующих стандартах. Следует отметить, что у сверл, оснащенных пластинками твердого сплава, длина рабочей части должна быть выбрана меньше, чем у быстрорежущих сверл, так как запас на переточку ввиду небольшой длины пластинки будет значительно меньше.

Общая длина сверла принимается в зависимости от длины рабочей части и длины хвостовика. Как общая длина сверла, так и длина рабо-

чей части влияют на жесткость сверла, поэтому там, где нет необходимости применять длинные сверла (например, при центрировании), следует применять специальные укороченные сверла, которые меньше подвержены опасности поломки. В ГОСТ имеется ряд сверл с различной длиной хвостовика — длинные и короткие.

Форма хвостовика сверла зависит от метода крепления. Более мелкие сверла, диаметром до 10—12 *мм*, изготовляются с цилиндрическим хвостом и закрепляются в специальных патронах. Сверла более крупные изготовляются с коническим хвостом.

Основными преимуществами конического хвоста являются лучшее центрирование, чем при цилиндрическом хвосте, более жесткое и прочное крепление сверла, что особенно важно при больших усилиях и крутящих моментах. Конус сверла снабжается лапкой, которая не должна воспринимать крутящих моментов и служит для выбивания сверла из гнезда шпинделя.

ВИТЫЕ СВЕРЛА

К спиральным сверлам относятся также витые сверла (фиг. 114), основное отличие которых заключается в том, что винтовые канавки у них получены не фрезерованием, а путем завивания прокатанного стержня, имеющего поперечное сечение, по форме близкое к сечению фрезерованного сверла, перпендикулярно оси.

Благодаря такой технологии уменьшается расход инструментальной стали, что особенно важно при изготовлении сверл из быстрорежущей стали. Кроме экономии дорогостоящей стали при изготовлении витых сверл обработка канавок рабочей части производится с меньшей затратой времени. По конструкции существует несколько типов витых сверл.

Витые спиральные сверла без хвостовой части (фиг. 114, *а*), закрепление которых осуществляется в специальном патроне. Такое сверло может быть получено путем прокатки длинного прутка в валках, последний калибровочный ручей которых имеет фасонный профиль. Затем производится завивка прутка и разрезка по длине на отдельные сверла.

Сверла этой конструкции не получили распространения из-за трудности закрепления их в патроне или втулке.

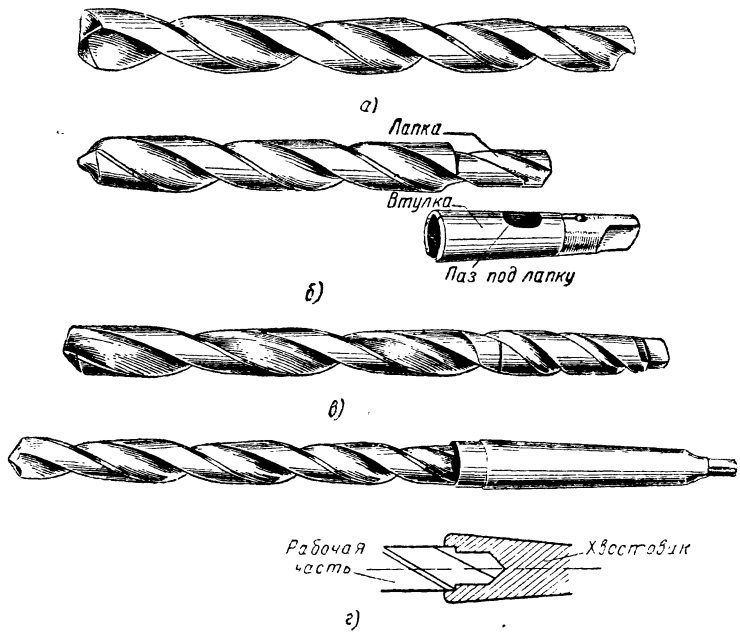
Витые спиральные сверла с укороченным цилиндрическим хвостом и с лапкой (фиг. 114, *б*), для установки и закрепления которых необходимы разрезные конические втулки. Эти сверла по сравнению с типом фиг. 114, *а* имеют более надежное крепление в шпинделе сверлильного станка, так как втулка охватывает не фаску, а цилиндрическую часть сверла, т. е. крепление происходит по большей поверхности и получается более надежным.

Кроме трения по цилиндрической части крутящий момент воспринимается также короткой лапкой, которая входит в паз, имеющийся во втулке. Сама втулка крепится в конусе шпинделя как нормальный конусный хвостовик и передает крутящий момент силами трения по конической поверхности.

Рабочая часть сверла получается путем завивки предварительно прокатанного профильного стержня, затем один конец обтачивается или шлифуется по диаметру для зажима в конической втулке.

Большим недостатком сверл этой конструкции является необходимость в разрезных конических втулках, изготовление которых довольно сложно и, кроме того, не всегда обеспечивается надежное крепление.

Витые сверла с разным шагом завивки в рабочей и хвостовой части. Более проста и надежна в эксплоатации конструкция витых сверл, показанная на фиг. 114, *в*.



Фиг. 114. Типы витых сверл.

Сверло в рабочей части имеет один шаг завивки, в хвостовой части — другой. Иногда производят завивку хвоста с обратным направлением спирали. После завивки хвостовая часть обрабатывается по конусу и заканчивается лапкой. Такое сверло закрепляется нормально в конусном гнезде шпинделя.

К недостаткам этой конструкции по сравнению с перечисленными выше типами относится повышенный расход инструментальной стали и сложная технология изготовления.

Витые сверла с запрессованным хвостовиком (фиг. 114, *г*). Эти сверла в последнее время выпущены заводом „Фрезер“ [1]. Рабочая часть сверла получается путем прокатки прутков круглого сечения из быстрорежущей стали в специальных валках.

[1] Конструкция инж. Р. Г. Багдатьева и Н. А. Егорова.

После прокатки профиля производится завивка прутка в горячем состоянии, затем разрезка на отдельные заготовки, которые проходят весь цикл обработки, включая закалку и отпуск, и запрессовываются в нагретый до 1100—1300° С хвостовик из конструкционной стали. Дальнейшая механическая обработка дает возможность получить сверло с витой рабочей частью и конусным хвостом. Таким образом, эта конструкция сохраняет основное преимущество витого сверла — уменьшение расхода инструментальной быстрорежущей стали — и избавляет от всех недостатков, связанных с закреплением сверла в шпинделе станка.

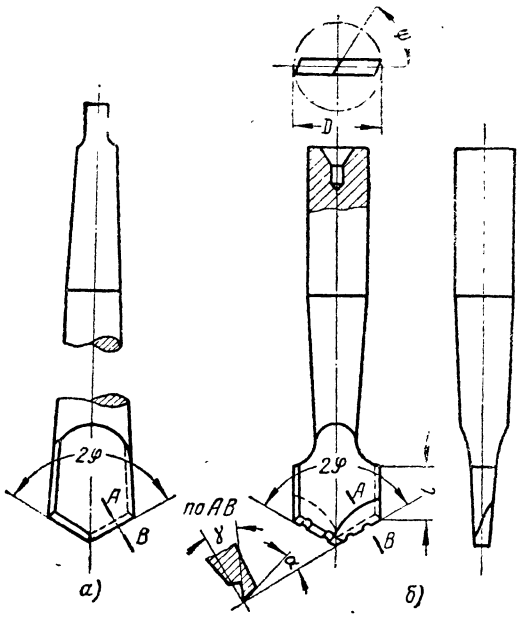
Основными особенностями конструкции, обусловленными технологией такого сверла, являются:

1) постоянная по всей длине сверла и более толстая, чем у фрезерованных сверл, сердцевина; поэтому они обязательно должны подтачиваться по перемычке;

2) на рабочей части делается цилиндрическая или конусная проточка меньшего диаметра на длине от (1,5—2) D сверла. Эти соотношения дают наиболее плотное и равномерное обжатие при запрессовке рабочей части в хвост сверла. В остальных конструктивных элементах нет существенной разницы между фрезерованным, спиральным сверлом и витым сверлом.

ПЕРОВЫЕ СВЕРЛА

Самым простым по конструкции и в то же время самым несовершенным сверлом является перовое сверло (фиг. 115); режущая часть перового сверла может быть получена ковкой или фрезерованием круглого или квадратного стержня.



Фиг. 115. Перовое сверло.

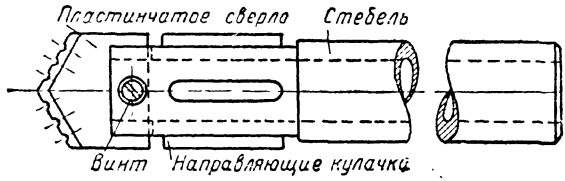
Перовые сверла применяются редко, в основном при обработке твердых материалов или для фасонной расточки. Они могут быть цельными, сварными и составными; в последнем случае рабочая часть выполняется в виде пластины и вставляется в паз державки. Как и спиральное сверло, перовое сверло имеет угол при вершине 2φ, который выбирается в тех же пределах, что и для спирального сверла.

Геометрия перового сверла невыгодна, так как угол резания больше 90°. Для получения хороших условий работы необходимо перед-

нюю грань сверла подтачивать. Однако при большом переднем угле γ получается выемка, ослабляющая сверло, поэтому угол γ должен быть не более 10°. Задний угол α на перовом сверле получается путем заточки на универсально-заточных станках или вручную и принимается в пределах 10—20°, большие значения угла α принимаются для вязких и мягких материалов и меньшие значения для хрупких и твердых материалов.

Угол ψ поперечной кромки также делают 55°. Калибрующая часть сверла для уменьшения трения затачивается с задним конусом в пределах 0,05 - 0,1 *мм* на длину рабочей части сверла l (фиг. 115, *б*) или с задним конусом, имеющим угол в пределах 2 — 4° (фиг. 115, *а*).

Режущие кромки для обеспечения хорошей работы часто снабжаются стружкоразделительными канавками, расположенными на кромках таким



Фиг. 116. Составное перовое сверло с пластинкой.

образом, чтобы при вращении участки кромки перекрывали друг друга. Ширина этих канавок выбирается (в зависимости от размера сверла) в пределах 2—4 *мм*.

Довольно широкое распространение имеют составные перовые сверла с пластинкой, вставленной в державку (фиг. 116). Такие пластинки, так называемые перки, применяются в тех случаях, когда требуется расточка или сверление фасонных или ступенчатых отверстий большого диаметра.

ЦЕНТРОВОЧНЫЕ СВЕРЛА

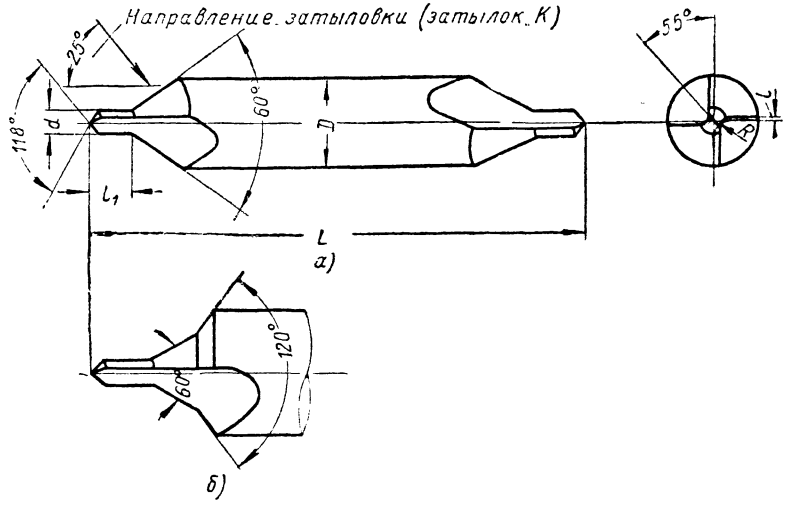
Для сверления центровых отверстий в деталях применяются специальные укороченные центровочные сверла. Они бывают трех различных типов.

1. Простые, которые по конструкции не отличаются от обычных спиральных сверл; они только имеют уменьшенную общую длину рабочей части. Эти сверла изготовляются по ОСТ 3727 (см. фиг 100).

2. Комбинированные (фиг. 117, *а*) изготовляются двухсторонними по ОСТ 3732. Они снабжаются прямыми или косыми канавками с углом наклона до 8°. Такие сверла сверлят небольшие отверстия диаметра d, затем по мере проникновения в материал вступают в работу кромки, расположенные под углом 60°, и обрабатывается коническая часть центрового отверстия. Угол режущей части принимается 116—118°. Угол поперечной кромки 55°. Для уменьшения трения делается обратная конусность на длине l_1 в пределах 0,05 – 0,1 *мм*.

Толщина сердцевины принимается равной (0,15—0,17) d и увеличивается на участке l_1 по направлению к хвостовику.

3. Комбинированные центровочные сверла с предохранительным конусом (ОСТ 3733) (фиг. 117, *б*) отличаются тем, что конусная часть сверла помимо угла 60° имеет еще дополнительный конус с углом 120°.



Фиг. 117. Комбинированное центровочное сверло.

Это делается для предохранения центрового отверстия от случайных повреждений. Все остальные элементы сверла такие же, как у комбинированного.

СВЕРЛА, ОСНАЩЕННЫЕ ПЛАСТИНКАМИ ТВЕРДОГО СПЛАВА

В последнее время в связи с развитием твердосплавного инструмента появились сверла с впаянными пластинками твердого сплава. Они применяются для сверления хрупких и твердых материалов, таких, как чугун, закаленная сталь, пластмассы, эбонит, бакелит, стекло, мрамор и др., и особенно в тех случаях, когда сверление производится на высоких скоростях с небольшими по величине подачами. Имеются также цельные сверла, изготовленные из твердого сплава (диаметр до 8 *мм*).

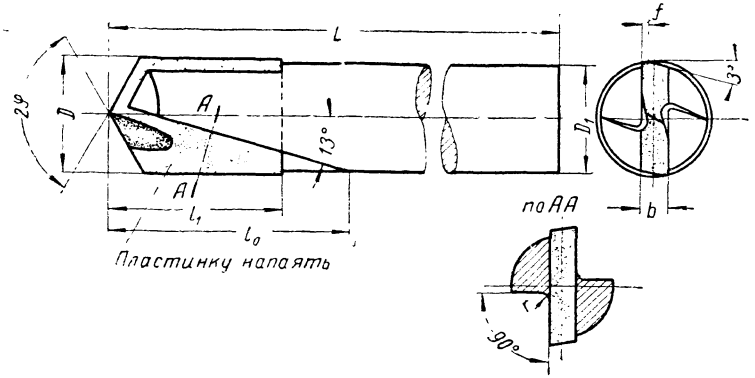
Существует несколько типов сверл, оснащенных твердыми сплавами.

Сверла с пластинками твердого сплава с косыми канавками (фиг. 118). Эти сверла просты по конструкции: в цилиндрической державке из стали 9ХС прорезается паз, в который впаяна пластинка из сплава ВК8. По своим конструктивным элементам сверло близко к перовому сверлу.

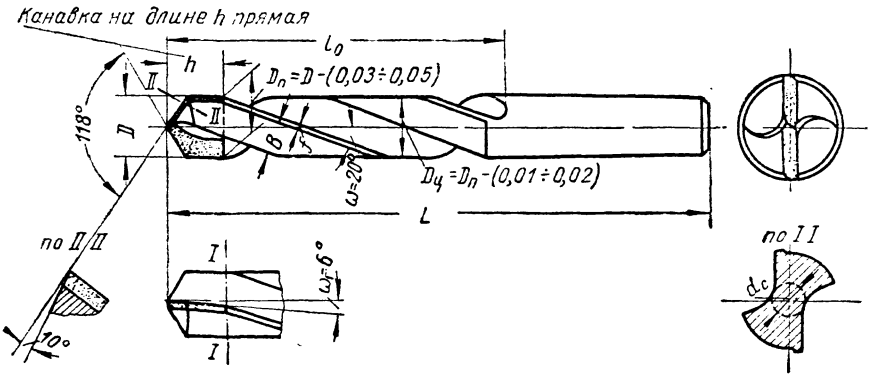
Сверла имеют небольшую длину канавок для выхода стружки, поэтому могут применяться только для сверления неглубоких отверстий. Угол $2\varphi = 135°$; для облегчения сверления перемычка сверла подвергается подточке. Для устранения трения о стенки просверливаемого отверстия диаметр державки берется меньше диаметра сверла. На ци-

линдрической калибрующей части сверла затачивается задний угол 3—5° с оставлением фаски шириной от 0,15 до 0,30 *мм*, в зависимости от диаметра сверла. По наружному диаметру также для уменьшения трения делается обратный конус 0,04—0,05 на длине пластинки.

Основным требованием, предъявляемым к сверлу, является жесткость крепления пластинки твердого сплава. Чем меньше длина пластинки l_1,



Фиг. 118. Сверло с пластинкой твердого сплава с косыми канавками.



Фиг. 119. Сверло с винтовыми канавками и цилиндрическим хвостом.

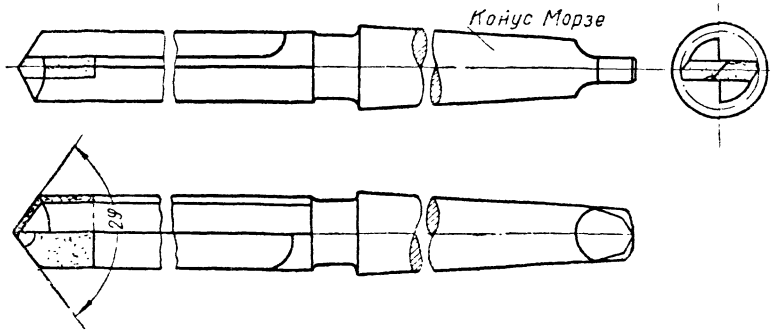
тем более жестким будет сверло, но, с другой стороны, уменьшение длины l_1 снижает запас на переточки сверла. Учитывая одно и другое требование, длину l_1 принимают до $1{,}5\,D$.

Сверла с винтовыми канавками и цилиндрическим хвостом. Эти сверла предназначаются для сверления отверстий как в хрупких, так и вязких металлах при высоких режимах работы, а также в неметаллических материалах. Сверла могут быть как с впаянной пластинкой твердого сплава, так и цельные, изготовленные целиком из твердого сплава. На фиг. 119 показано цилиндрическое сверло с основными размерами.

Сверло имеет такие же конструктивные элементы, как и нормальное спиральное сверло. Отличие заключается в следующем.

1. Винтовые канавки с небольшим углом наклона $\omega = 15 \div 20°$ имеют различный по длине шаг. Вначале у режущей части угол наклона ω_1 равен 5—6°, а часто даже равен 0 (т. е. прямая канавка).

2. Длина сверла и длина винтовых канавок меньше, чем у нормального сверла. Длина канавки принимается от 4,5 до 5,5 диаметра. Общая длина сверла также соответственно меньше. Это уменьшение объясняется тем, что запас на переточки у сверл с твердым сплавом ограничивается длиной пластинки и значительно меньше запаса на переточки у сверл из инструментальной и быстрорежущей стали.



Фиг. 120. Сверла с коническим хвостом, оснащенные твердым сплавом, с прямыми канавками.

3. Размер сердцевины делается относительно большим, чем у нормального сверла, с целью увеличения жесткости корпуса. Сердцевина принимается от 0,27 до 0,3 диаметра сверла. Ввиду ограниченного числа переточек обратная конусность должна быть больше, чем у нормального сверла, и равна 0,6—0,8 на 100 *мм* длины. Для возможности работы по кондуктору конусность делается только на длине пластинки, а корпус сверла шлифуется по цилиндру.

Форма и размер пластин твердого сплава принимаются по ГОСТ 2209-49.

Сверла с пластинками твердого сплава с коническим хвостом. Эти сверла изготовляются диаметром от 10 до 30 *мм* и предназначаются для работы по стали, чугуну, неметаллическим материалам. В зависимости от назначения и условий работы сверла разделяются на три типа:

1) сверла с прямыми канавками;

2) сверла с пологими винтовыми канавками;

3) сверла с крутыми винтовыми канавками.

На фиг. 120 изображено сверло с прямыми канавками (по данным завода „Фрезер") Такое сверло предназначается для сверления в чугуне и хрупких материалах отверстий глубиной до 2—3 диаметров.

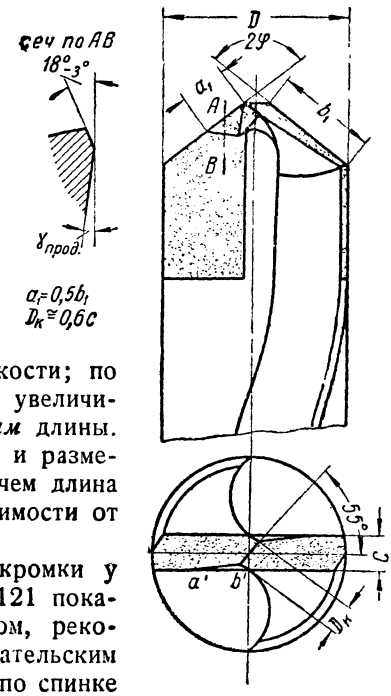
Вследствие прямых канавок выход стружки из отверстия затруднителен. Поэтому применение их для сверления глубоких отверстий нерац онально. Однако, с другой стороны, прямая канавка значительно проще в изготовлении.

Длина рабочей части сверла принимается в пределах от 4 до 5,5 диаметра. Для обеспечения максимальной жесткости крепления сверла в шпинделе станка применяют усиленный конус хвостовика.

Конструктивные элементы рабочей части сверла принимаются следующие.

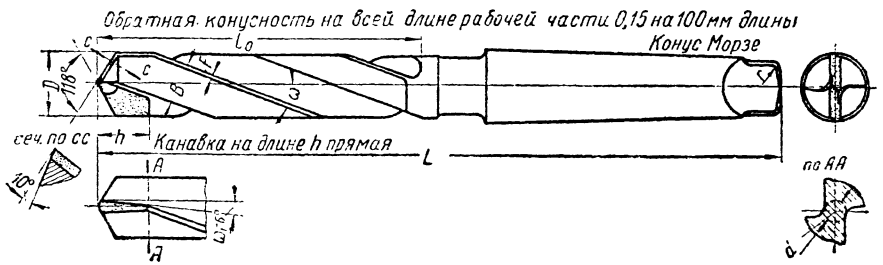
Диаметр сердцевины принимается повышенный — от 0,25 до 0,27 диаметра сверла с целью увеличения жесткости; по направлению к хвосту этот диаметр увеличивается от 1,4 до 1,8 *мм* на 100 *мм* длины. Пластинки твердого сплава по форме и размерам принимают по ГОСТ 2209-49, причем длина и толщина пластинки берутся в зависимости от диаметра сверла.

С целью уменьшения поперечной кромки у сверл производится подточка. На фиг. 121 показана подточка сверл с твердым сплавом, рекомендуемая Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом. Диаметр по спинке и ширина фасок принимаются по величине, как и для быстрорежущих сверл. Профиль канавок у сверл с прямой канавкой принят простейший, а фрезерование их производится угловой фрезой.



Фиг. 121. Элементы подточки сверла с твердым сплавом.

Сверла с винтовыми канавками (фиг. 122) благодаря углу наклона винтовых канавок лучше выводят стружку из отверстия, особенно

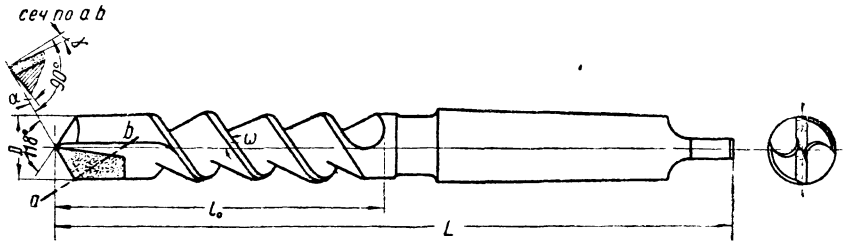


Фиг. 122. Сверло с винтовыми канавками.

при сверлении вязких материалов; однако изготовление их более сложно. Канавку сверла приходится делать по двум винтовым линиям. У переднего конца, как и у спиральных цилиндрических сверл,

рекомендуется делать на длине 1,5—2,0 диаметра сверла прямую канавку, чтобы не ослаблять корпус сверла, а дальше к хвосту — винтовую канавку с углом наклона от 15 до 20°. Режущие элементы принимают, как и у сверл с прямой канавкой.

Сверла с крутыми винтовыми канавками рекомендуются в тех случаях, когда отверстие достаточно глубокое и сверление производится в хрупких металлах, дающих стружку скалывания. У таких сверл



Фиг. 123. Сверло с коническим хвостовиком с крутой спиральной канавкой.

(фиг. 123) пластинки твердого сплава имеют небольшой передний угол 4—7°, но корпус имеет большой угол наклона $\omega = 55 \div 60°$ и служит для удаления стружки из отверстия.

СВЕРЛА ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Часто встречаются случаи, когда глубина отверстий превышает 5 диаметров; такие отверстия принято называть глубокими. Вследствие большой глубины отверстия условия работы сверла резко изменяются: ухудшаются отвод стружки и теплоты, уменьшается жесткость сверл и т. д. Поэтому конструкция нормального спирального или перового сверла становится непригодной для глубокого сверления. Различают два способа сверления глубоких отверстий.

1. Сверление сплошное, при котором весь материал, отделяемый от заготовки, превращается в стружку. Обычно глубокие отверстия диаметром до 70—80 *мм* сверлятся по этому методу.

2. Сверление кольцевое, при котором высверливается кольцевая полость, а в центральной части отверстия остается стержень, который затем извлекается из отверстия. По этому более производительному методу сверлятся отверстия диаметром больше 70 *мм*, так как для меньших отверстий затруднительно изготовить сверло — оно получается очень непрочным.

Обычно к глубокому отверстию предъявляются высокие требования в отношении точности отверстия, а также чистоты обработки. Примером глубокого отверстия служит канал ствола пушки, ружья или полый шпиндель токарного станка. Поэтому, как правило, во избежание увода сверла при сверлении вращается заготовка, а инструмент только подается, реже применяется сверление с одновременным вращательным движением инструмента и заготовки. Совсем редко применяется сверление неподвижной

заготовки, так как этот случай — самый невыгодный в отношении увода сверла в сторону и получения отверстия с прямолинейной осью.

Все особенности глубокого сверления приходится учитывать при конструировании инструмента. Нужно обеспечить специальное охлаждение, принудительный отвод стружки, всемерно повышать жесткость сверла.

Сверла для глубокого сверления можно разделить на две основные группы (по И. С. Веремейчуку) [1]:

1) многокромочные сверла с перемычкой, т. е. сверла, имеющие две главные режущие кромки;

2) однокромочные сверла или сверла одностороннего резания.

К многокромочным сверлам относятся:

1) спиральные удлиненные сверла без подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам и сверла с каналами для подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам;

2) различные составные специальные сверла как с наружным отводом стружки, так и с внутренним каналом для стружки;

3) пластинчатые сверла или перки (они называются часто шпиндельными).

К сверлам одностороннего резания относятся:

1) ружейные сверла с наружным или внутренним подводом охлаждения и

2) пушечные сверла с наружным или внутренним подводом охлаждающей жидкости.

Многокромочные сверла. На фиг. 124 изображены некоторые часто встречающиеся конструкции многокромочных сверл.

Спиральные сверла с каналами для подвода охлаждающей жидкости к кромкам (фиг. 124, *а*) работают хорошо, но изготовление их сложно. Вначале фрезеруют прямые канавки, затем необходимо сверлить очень глубокие отверстия для охлаждения. После этого производится завивка сверла, тогда каналы для охлаждения располагаются по винтовой поверхности.

Спиральные сверла с впаянными трубками для подвода охлаждающей жидкости (фиг. 124, *б*) проще в изготовлении, так как в них не требуется сверлить длинные каналы для охлаждения. На спинке сверла фрезеруется винтовая полукруглая канавка, в которую вкладывается медная или латунная трубка для охлаждающей жидкости и затем запаивается. Несмотря на каналы для охлаждения и высокое давление поступающей жидкости, сверла время от времени должны извлекаться из отверстия, так как в канавках скапливается стружка.

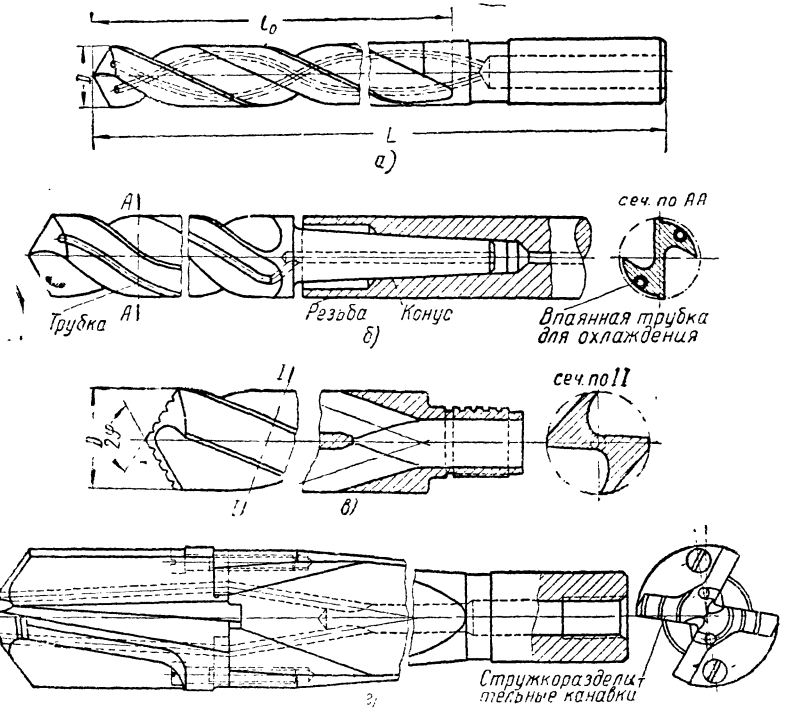
На фиг. 124, *в* показано спиральное двухкромочное составное сверло с четырьмя направляющими ленточками (вместо двух), образующими каналы для охлаждающей жидкости. Отвод стружки осуществляется через внутренние отверстия и стебель, представляющий собой трубку. Охлаждающая жидкость под давлением 10—20 *ат* подается в пространство между наружным диаметром стебля и стенками отверстия.

---

[1] И. С. Веремейчук, Сплошное сверление глубоких отверстий, Оборонгиз, 1940.

Сверление производится на специальном станке, имеющем устройство для подвода жидкости.

Спиральное короткое сверло с наружным отводом стружки (фиг. 124, *г*) также имеет две главные режущие кромки. При сверлении жидкость подводится по каналу в стебле сверла и распределяется при помощи отдельных мелких отверстий по режущим кромкам сверла. Для спо-



Фиг. 124. Различные конструкции спиральных многокромочных сверл для глубокого сверления:

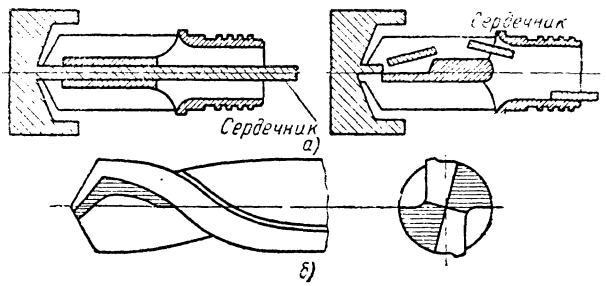
а — с каналами для подвода охлаждающей жидкости к кромкам; *б* — с впаянными трубками для подвода охлаждающей жидкости; *в* — с внутренним отводом стружки; *г* — с наружным отводом стружки с четырьмя направляющими ленточками.

койной работы сверла необходимо обеспечить форму стружки в виде мелких завитых спиралей (это касается всех сверл для глубокого сверления). Для этой цели на кромках сверла делают стружкоразделительные канавки. Это сверло не дает абсолютно правильного и точного отверстия, особенно если заточка произведена неправильно и длина режущих кромок различна.

Для получения лучших результатов в отношении прямолинейности оси отверстия необходимо устранить совсем или ослабить вредное влияние перемычки на увод сверла в сторону. Достигается это путем применения сверла с отверстием для образования сердечника (фиг. 125, *а*).

Такое сверло обращает в стружку не весь металл, а оставляет тонкий стержень (сердечник), бла одаря чему улучшается направление сверла. Сердечник должен время от времени отламываться. Для этого сверло снабжается несквозным отверстием (показано на фиг. 125, *а* справа), и куски сердечника выбиваются вместе со стружкой через внутренний канал сверла. Улучшить работу сверла можно также такой заточкой поперечной кромки, при которой длина последней будет приближаться к нулю (фиг. 125, *б*).

Из всех конструкций перовых сверл приведем одну — с наружным отводом стружки и наружным подводом охлаждающей жидкости. Та-



Фиг. 125. Многокромочные сверла для глубокого сверления:

а—с внутренним отводом стружки с отламывающимся сердечником; *б* — с двумя сходящимися кромками без перемычки.

кое сверло показано на фиг. 116. Оно представляет собой пластинку, которая имеет две режущие кромки, снабженные стружкоразделительными канавками, и перемычку.

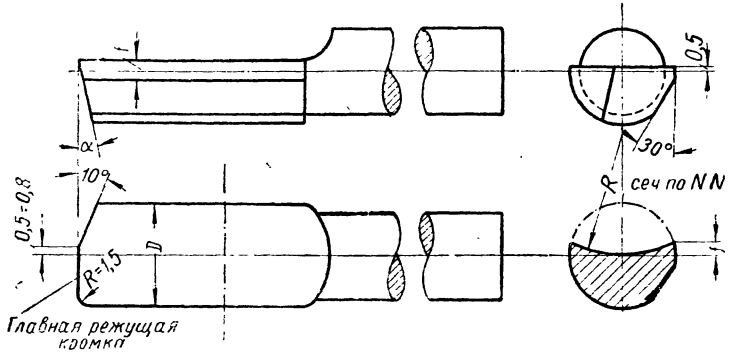
Основными преимуществами многокромочных сверл является высокая производительность по сравнению с однокромочными. Вместе с тем все конструкции многокромочных сверл в той или иной степени имеют общий недостаток — наличие поперечной кромки (перемычки). Даже идеально заточенное многокромочное сверло с перемычкой не гарантирует от увода сверла с оси детали. Многокромочные сверла не гарантируют также чистоты поверхности отверстия, так как вследствие наличия перемычки раб тают с дрожанием.

Поэтому можно рекомендовать многокромочные сверла для сравнительно неточных отверстий.

Сверла одностороннего резания. Указанные выше недостатки многокромочных сверл устраняются при использовании сверл одностороннего резания.

На фиг. 126 показана простейшая конструкция однокромочного так называемого пушечного сверла (или лопаточного). Оно представляет собой стержень, передний конец которого срезан до центра и заточен под соответствующими углами. Во избежание заедания сверла в отверстии передняя поверхность расположена выше центра на 0,2—0,5 *мм* в зависимости от диаметра сверла.

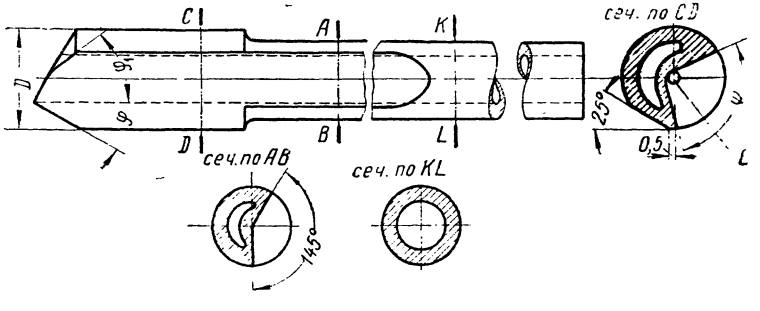
Сверло имеет главную режущую кромку, направленную перпендикулярно оси отверстия и на 0,5—0,8 *мм* переходящую через центр. Вспомогательная режущая кромка может быть срезана под углом 10°. Сверло работает с направлением по предварительно надсверленному отверстию. Для направления по отверстию сверло имеет цилиндрическую поверхность, которая опирается о стенки просверленного отверстия.



Фиг. 126. Однокромочное пушечное сверло.

Геометрия сверла невыгодная — угол резания 90°, задний угол 8—10°. Для уменьшения трения направляющей о стенки отверстия срезана лыска под углом 30°, и направляющая имеет задний конус в пределах 0,03—0,05 *мм* на 100 *мм* длины.

Для получения точных отверстий с прямолинейной осью применяются так называемые ружейные сверла (фиг. 127). Они представляют



Фиг. 127. Ружейное сверло.

собой инструмент одностороннего резания. Такое сверло[1] состоит из двух основных частей: режущей части, изготовляемой из быстрорежущей стали или в отдельных случаях из твердого сплава, и зажимной части или стебля сверла, изготовляемого из углеродистой стали. Стебель представляет собой длинную трубку, которой придают форму,

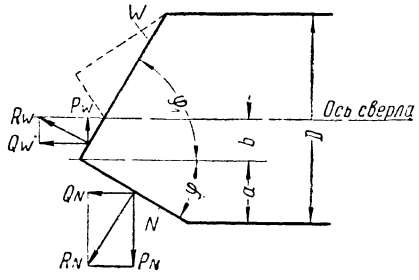
[1] И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

показанную в сечении по AB. По внутреннему отверстию в трубке подается к режущей части сверла под высоким давлением охлаждающая жидкость, которая выполняет двоякую роль — она отводит тепло от режущей части сверла и благодаря высокому давлению выбивает образующуюся стружку из отверстия по канавке E.

Поэтому сечение канавки E, характеризующееся углом ψ, — очень важный элемент.

Сверло во время работы испытывает одностороннее кручение, сжатие и продольный изгиб; необходимо ввиду этого обеспечить достаточную жесткость державки, следовательно, канал должен быть наименьшим; с другой стороны, для обеспечения свободного выхода стружки из канавки сверла требуется дать максимальное сечение канавке. Практически установлен и рекомендуется угол $\psi = 100 \div 120°$.

Для более удобного закрепления сверла в патроне стебель его снабжается цилиндрическим хвостом. Сверло имеет одну режущую кромку угловой формы. Если рассмотреть силы, действующие на сверло во время резания (фиг. 128), то увидим, что на одну часть сверла перпендикулярно кромке W действует сила R_W, которую можно разложить на два направления — вдоль оси сверла и перпендикулярно оси.



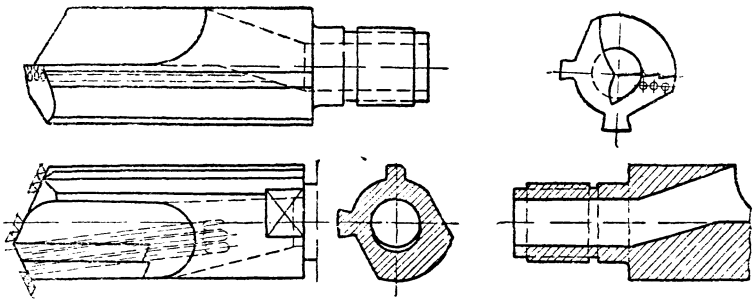
Фиг. 128. Силы, действующие на однокромочное ружейное сверло.

Составляющая P_W стремится отогнуть сверло в сторону от оси. Но если рассмотрим силы, действующие на другую часть угловой кромки N, то видим, что силу R_N можно разложить на два направления. Условием равновесия будет равенство сил P_W и P_N. Поскольку сила, действующая на любую часть режущей кромки, зависит от длины кромки и подачи (глубины резания и подачи), длины кромок при равных углах φ и φ_1 будут равны только тогда, когда расстояние $a = b$. Если b будет больше a, то сверло будет уводить в сторону, если $a > b$ (как показано на фиг. 128), сверло будет опираться направляющей частью о стенки отверстия, и таким образом диаметр отверстия и прямолинейность оси сохраняются.

Обычно принимают $a = b$ или $a = 0{,}25\,D$. Сверло будет хорошо работать при $a > b$ и угле $\varphi < \varphi_1$; направляющая часть сверла должна соприкасаться со стенками отверстия не во всех точках. Для уменьшения поверхности соприкосновения и лучшего доступа охлаждающей жидкости к кромкам направляющая часть снабжается ленточками. У калибрующей части оставляется ленточка шириной 0,5 *мм*. С целью уменьшения трения делается обратная конусность в пределах 0,1 - 0,3 *мм* на 100 *мм* длины. Для уравновешивания сил против ленточки должна быть опорная поверхность на направляющей части. Режущую кромку сверла у центральной части следует располагать ниже центра — это ведет к получению тонкого сердечника (до 0,03 D) во время работы сверла.

Если режущую кромку располагать выше центра, сверло будет плохо работать, может погнуться и сломаться. Геометрия режущей части сверла рекомендуется следующая.

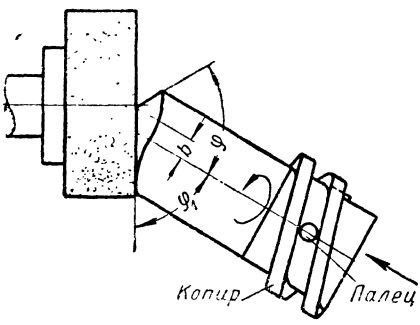
Передний угол 5—8°. Задний угол по кромке $N = 8 \div 10°$, по кромке W — значительно больше (до 20°). Для обеспечения стружкообразования и получения мелкой стружки передние поверхности часто,



Фиг. 128а. Однокромочное сверло с внутренним отводом стружки.

особенно у сверл для более крупных диаметров, снабжаются стружкоразделительными ступеньками, которые обеспечивают получение стружки в виде узких гофрированных лент

Ружейные сверла можно оснащать твердыми сплавами. При больших диаметрах впаивают отдельные пластинки из твердого сплава — одну на переднюю грань и две для направляющей части сверла. У более мелких сверл делается целиком из твердого сплава наконечник сверла, который припаивается к трубчатой державке из углеродистой стали; для передачи крутящего момента на державке в месте припайки делается замок.



Фиг. 129. Схема заточки ружейного сверла.

Хорошие результаты дают сверла одностороннего резания с внутренним отводом стружки (фиг. 128а).

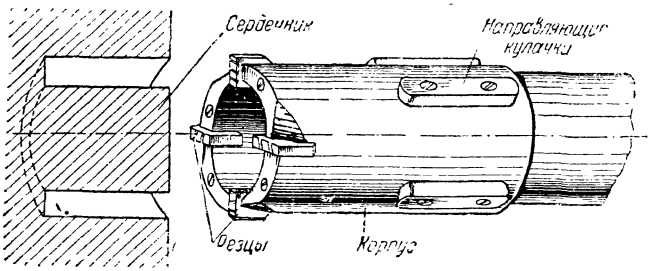
У такого сверла стружка отводится через внутреннее отверстие стебля, а охлаждающая жидкость поступает в зазор между стеблем и стенками просверливаемого отверстия.

Для получения стружки в виде мелких спиралек, которые легко удаляются струей жидкости, имеются стружкоразделительные ступеньки.

Заточка сверл для глубокого сверления ведется на специальном приспособлении (фиг. 129). Для получения винтовой поверхности при заточке кромки применяется винтовой копир. На фиг. 129 копир упи-

рается в палец; при вращении сверло с помощью копира перемещается вдоль оси. При применении копира изменяется и задний угол. Он увеличивается по направлению к вершине сверла.

Сверла для кольцевого сверления. При сверлении отверстий большого диаметра вырезается кольцевая полость, а в середине остается сердечник, который затем может быть удален полностью или по частям. Сверло для кольцевого сверления схематично показано на фиг. 130. Сверло состоит из корпуса с закрепленными в нем резцами, причем режущие кромки резцов выступают со стороны торца и наружного диаметра корпуса и со стороны внутреннего диаметра; при вращении они вырезают кольцевую полость. Для направления сверла в отверстии корпус сверла имеет направ-



Фиг. 130. Сверло для кольцевого сверления.

вляющие кулачки, которые часто изготовляются из дерева. Отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости осуществляют по зазорам между корпусом и внутренними стенками отверстия, а также между корпусом и наружным диаметром сердечника.

Для обеспечения хорошего отвода как тепла, так и стружки зазоры по наружному диаметру используются для подвода охлаждения, а зазор между внутренним диаметром и сердечником — для отвода стружки. Обязательным условием хорошей работы сверла является измельчение стружки Поэтому резцы сверла снабжаются несколькими стружкоразделительными канавками, расположенными в шахматном порядке.

При конструировании сверла необходимо обеспечить такую геометрию сверла, которая дает нужную форму стружки. Лучшей формой стружки будет стружка, завитая мелкими спиралями, которая легко удаляется из отверстия струей охлаждающей жидкости.

ПРИМЕР РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА (фиг. 131)

Исходные данные: диаметр отверстия 23,5 *мм*; глубина сверления 55 *мм*. Обрабатываемый материал — сталь конструкционная углеродистая $H_B = 150$; $\sigma_b = 45$ *кг/мм*^{2}. Станок сверлильный. Режимы работы: подача $s = 0{,}5$ *мм об*; скорость резания $v = 40$ *м/мин*. Материал сверла — быстрорежущая сталь марки ЭИ262.

1. Определим усилия, действующие на сверло. Крутящий момент

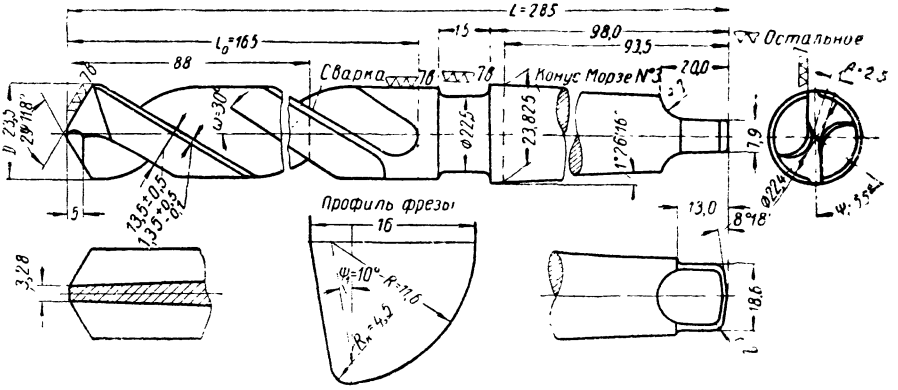
$$M_{кр} = C_м \cdot D^{x_1} \cdot s^{y_1}.$$

По таблице [1] находим значения: $C_м = 24$; $x_1 = 2$; $y_1 = 0{,}8$. Подставив в формулу, получим

$$M_{кр} = 24 \cdot 23{,}5^2 \cdot 0{,}5^{0{,}8} = 7605 \text{ кгмм}.$$

Осевое усилие

$$P_x = C_p \cdot D^x \cdot s^y.$$



Материал режущей части — сталь ЭИ262, хвостовой части — сталь 45.
Термическая обработка: режущей части $H_{R_C} = 62 \div 65$, *лапки* $H_{R_C} = 30 \div 40$.
Клеймить: материал, марку завода, диаметр сверла.
Задний угол: на периферии 6—7°.
Технические условия по ГОСТ 2034-43.

Фиг. 131. Чертеж сверла.

Находим по таблице значения: $C_p = 57$; $x = 1{,}0$; $y = 0{,}7$. Подставив в формулу, получим

$$P_x = 57 \cdot 23{,}5 \cdot 0{,}5^{0{,}7} = 824{,}5 \text{ кг}.$$

2. Определяем необходимый размер конуса (по условию сверло должно иметь конусный хвост). Для этого находим момент трения по формуле

$$M_{тр} = \frac{\mu_1 \cdot P(d_1 + d_2)}{4 \sin \theta}(1 - 0{,}04\Delta\theta); \quad \Delta\theta = 5'.$$

Приравниваем его к максимальному крутящему моменту. Максимальный крутящий момент при работе затупившимся сверлом увеличивается до 3 раз по сравнению с принятым для нормальной работы сверла. Таким образом, момент трения должен быть равен $3M_{кр}$. Следовательно,

$$3M_{кр} = M_{тр} = \frac{\mu_1 \cdot P(d_1 + d_2)}{4 \sin \theta}(1 - 0{,}2); \text{ но } \frac{d_1 + d_2}{2} = d_{ср}.$$

[1] См. Справочник по режимам резания, Бюро технических нормативов, Оборонгиз, 1941.

Находим теперь из этой формулы средний диаметр конуса

$$d_{ср} = \frac{6M_{кр}\sin\theta}{\mu_1 \cdot P(1-0{,}2)} = \frac{6 \cdot 7605 \cdot \sin 1°30'}{0{,}096 \cdot 824{,}5 \cdot 0{,}8} = 18{,}88 \text{ мм}.$$

По таблице ГОСТ 2847-45 средний диаметр конуса № 2 будет равен 16,84 *мм*, средний диаметр конуса № 3 будет равен 22 *мм*. Следовательно, придется принять конус № 3, т. е. взять сверло с усиленным конусом.

3. Определяем длину сверла. Общая длина сверла может быть принята по стандарту на сверла с усиленным коническим хвостом. Принимаем длину рабочей части $l_0 = 165$, общую длину $L = 285$ *мм*. Все элементы конуса принимаем по стандарту ГОСТ 2847-45.

Определив основные габаритные размеры сверла, переходим к определению всех элементов режущей части сверла.

4. Угол при вершине 2φ принимаем для стали 118°.

5. Угол наклона винтовых канавок ω принимаем по табл. 27 на стр. 163 равным 30°.

6. Шаг винтовых канавок подсчитываем по формуле

$$H = \frac{\pi \cdot D}{\operatorname{tg}\omega} = \frac{3{,}14 \cdot 23{,}5}{\operatorname{tg} 30°} = 127{,}8 \text{ мм}.$$

7. Диаметр сердцевины принимаем у переднего конца сверла $0{,}14D = 0{,}14 \cdot 23{,}5 = 3{,}28$ *мм*. Для обеспечения жесткости сверла сердцевина должна увеличиваться по направлению к хвосту. Увеличение сердцевины принимается по стандарту в пределах 1,4—1,8 *мм* на 100 *мм* длины рабочей части.

8. Диаметр D_1 сверла по спинке за ленточкой принимаем равным $D_1 = D - 2 \cdot 0{,}55 = 23{,}5 - 1{,}1 = 22{,}4$ *мм*.

9. Ширину фаски (ленточки) принимаем равной 1,35 *мм*.

10. Определяем ширину пера сверла по формуле

$$B = 0{,}58D = 0{,}58 \cdot 23{,}5 \approx 13{,}5 \text{ мм}.$$

11. На рабочем чертеже спирального сверла должен быть обязательно указан профиль канавочной фрезы, которой будут фрезеровать канавки. Для диаметра сверла $D = 23{,}5$ *мм* определим элементы профиля канавочной фрезы по формулам на стр. 174 и 175.

Больший радиус профиля будет

$$R_0 = C_R \cdot C_ц \cdot C_ф \cdot D = 11{,}62 \text{ мм},$$

так как

$$C_R = \frac{0{,}026 \cdot 2\varphi \sqrt[3]{2\varphi}}{\omega} = \frac{0{,}026 \cdot 118 \sqrt[3]{118}}{30} = 0{,}493;\ C_ц = 1;\ C_ф = 1.$$

Меньший радиус профиля будет

$$R_к = C_к \cdot D = 4{,}51 \text{ мм};$$
$$C_к = 0{,}015\omega^{0{,}75} = 0{,}015 \cdot 30^{0{,}75} = 0{,}191.$$

Ширина профиля будет равна при $\psi_1 = 10°$

$$B \approx R_0 + R_к = 11{,}62 + 4{,}51 = 16{,}13 \approx 16 \text{ мм}.$$

По этим размерам построим профиль канавочной фрезы (см. фиг. 131).

12. Поскольку обрабатываемый материал — мягкая сталь, целесообразно сделать подточку перемычки сверла. Принимаем по ГОСТ 2322-43 заточку по форме НП (см. фиг. 111) и даем элементы этой заточки для сверла диаметром 23,5 *мм*; длина подточенной поперечной кромки $A = 2{,}5$ *мм*, длина подточки l будет равна 5 *мм*.

13. Сверло должно быть изготовлено сварным. Рабочая часть — из стали ЭИ262, хвостовая часть — из стали марки 45. Определяем расстояние до сварного шва по данным завода „Фрезер“ [1]. На нашем сверле сварной шов расположен на расстоянии $l_3 = 88$ *мм* от конца режущей части. В рабочем чертеже кроме полученных размеров должны быть проставлены также основные технические условия, к которым относятся допуски на наружный диаметр сверла и на длины сверла. Принимаем допуски по ГОСТ 885-41 и по ГОСТ 2034-43. Сверло подвергается термической обработке и должно иметь соответствующую твердость. Для стали марки ЭИ262 твердость принимаем равной $H_{R_C} = 62 \div 65$. Лапка сверла, которая служит для выбивания сверла из гнезда шпинделя сверлильного станка, должна также иметь повышенную твердость. Принимаем твердость лапки $H_{R_C} = 30 \div 40$. Остальные технические условия на сверло должны соответствовать техническим условиям ГОСТ 2034-43.

На рабочем чертеже сверла должны быть показаны все знаки обработки. Для простановки знаков обработки воспользуемся табл. 3

[1] См. „Альбом нормалей режущего инструмента“, раздел III, Машгиз, 1946

ГЛАВА VII

ЗЕНКЕРЫ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Зенкеры представляют собой инструмент для обработки отверстий или торцевых поверхностей. Они предназначаются:

1) для зенкерования цилиндрических отверстий, полученных после сверления, отливки или штамповки;

2) для обработки цилиндрических углублений под головки винтов и т. д.;

3) для обработки конических поверхностей;

4) для обработки торцевых поверхностей.

По типу крепления зенкеры разделяются на хвостовые и насадные.

Зенкеры изготовляются цельными, сварными, сборными и с припаянными пластинками твердого сплава. Зенкеры в машиностроении получили широкое распространение, особенно при серийном и массовом производстве.

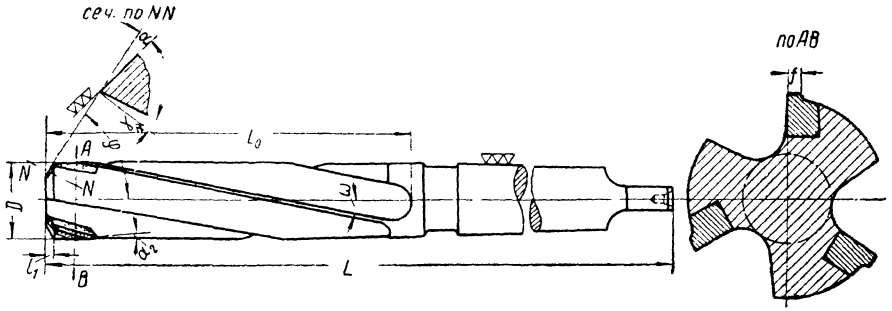
КОНСТРУКЦИЯ ЗЕНКЕРОВ

Назначение зенкера — обычно увеличить отверстие, полученное сверлением, штамповкой или отливкой. Зенкер часто используется как промежуточный инструмент между сверлом и разверткой. Зенкер дает более точное отверстие, чем сверло. После зенкера получается отверстие 4-го и 5-го класса точности. Точные отверстия (2-го и 3 го класса) необходимо развертывать. Зенкер снимает большой припуск, а развертка зачищает и калибрует отверстие. Для подготовки отверстия под развертывание в настоящее время широко применяют зенкеры различных конструкций. Зенкер для увеличения диаметра отверстия показан на фиг. 132.

По характеру своей работы зенкер походит на сверло, но он отличается от сверла оформлением режущих кромок. В зенкере обычно делается 3, 4 и более режущих кромки, но имеются конструкции зенкеров и с двумя режущими кромками. Благодаря увеличенному количеству режущих перьев зенкер имеет лучшее направление и дает более чистые отверстия, чем сверла. Резание осуществляется кромками, расположенными наклонно или перпендикулярно к оси (у торцевых зенкеров).

В отличие от сверла зенкер не имеет также поперечной кромки, поэтому условия резания на всем протяжении режущих кромок зенкера более равномерные и благоприятные, чем у сверла.

Конструктивные элементы зенкера (фиг. 132): D — диаметр; L — общая длина; l_0 — длина рабочей части; z — число перьев; l_1 — длина режущей части; 2φ — угол режущей части; ω — угол наклона канавок; α — задний угол на режущей части; γ — передний угол на режущей части; λ — угол наклона режущей кромки; f — ленточка на калибрующей части; α_2 — угол заднего конуса.



Фиг. 132. Зенкер для увеличения диаметра отверстий.

Выбор основных конструктивных элементов. Диаметр выбирается из условий использования зенкера. Если зенкер предназначен для предварительной обработки отверстия после сверла под развертывание, диаметр его выбирается меньше номинального диаметра отверстия на величину припуска под развертывание.

Если зенкер предназначен для окончательной обработки отверстий, диаметр его принимается с учетом допуска отверстия, величины разбивки и запаса на износ. По стандарту ГОСТ В-1677-42 „Технические условия" зенкер, предназначенный для предварительного зенкерования отверстий под развертку, обозначается зенкер № 1. Зенкер, предназначенный для окончательной обработки отверстий, — зенкер № 2 В табл. 30 приведены отклонения диаметра зенкера.

Таблица 30

Отклонения диаметра зенкера

Номинальные диаметры в *мм*	Зенкер № 1		Зенкер № 2	
	Отклонения в *мк*			
	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее
До 18	—150	—200	+ 60	+20
Свыше 18 до 30	—200	—250	+ 70	+20
„ 30 „ 50 . . .	—240	— 300	+ 90	+30
„ 50	—290	—365	+105	+30

Данные табл. 30 позволяют по заданному номинальному диаметру определить исполнительный размер зенкера.

После определения необходимого диаметра зенкера определяют глубину резания t. Глубина резания t задается припуском по зенкерованию (фиг. 133) и равняется половине разности диаметров отверстия до и после обработки:

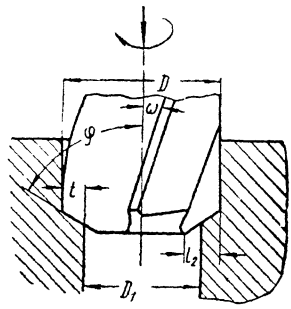
$$t = \frac{D - D_1}{2}.$$

Зенкер должен иметь достаточную длину режущей кромки и размер l_2 должен быть больше глубины резания t в 1,5—2 раза.

Канавки. Число канавок зенкера может выбираться различное. Обычно зенкер имеет 3—4 канавки. При выборе числа канавок следует обеспечить:

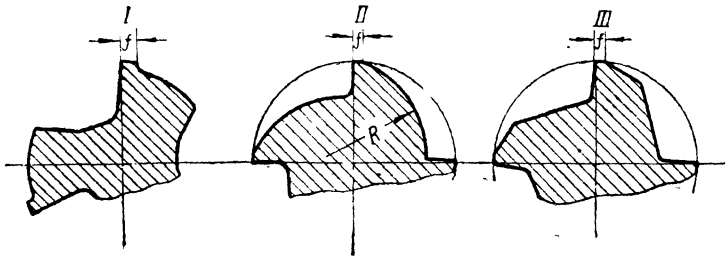
1) достаточное пространство для отвода стружки; с этой точки зрения выгоднее брать меньшее число канавок; например, у зенкеров, предназначенных для снятия больших припусков, делают две канавки;

2) достаточную чистоту и точность отверстия. С этой точки зрения выгоднее принимать большее число канавок. Чем больше канавок, тем лучше направление зенкера. Зенкер с большим количеством канавок приближается по своим качествам к развертке. Профиль канавок зенкера делается различный. На фиг. 134 показаны наиболее распространенные профили канавок.



Фиг. 133. Схема зенкерования.

Тип I — профиль канавки выполняется аналогично профилю канавки сверла, режущая кромка прямолинейная. Перо зенкера имеет ленточку размером f. Такой профиль канавки делается у спиральных трех- и четырехзубых хвостовых зенкеров.



Фиг. 134. Профили канавок зенкеров.

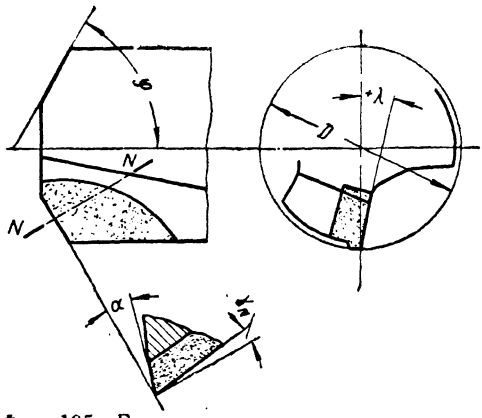
Тип II — криволинейный профиль канавки применяется для четырехзубых насадных зенкеров. Такой профиль канавки обеспечивает хороший отвод стружки, но для фрезерования канавок требуются специальные фасонные фрезы.

Тип III — профиль канавки ограничен по затылку прямыми линиями. Этот тип профиля получил распространение для насадных зенкеров, особенно для зенкеров, оснащенных пластинками твердого сплава. При

фрезеровании канавки можно применять или специальные фасонные фрезы, или обычные угловые фрезы.

Длина рабочей части и общая длина зенкера принимаются с учетом условий работы. Для глубоких отверстий часто применяются зенкеры насадные или с укороченным хвостом, но насаженные на длинную оправку. В дальнейшем, при описании отдельных типичных конструкций зенкеров, будут указаны размеры длин.

Геометрические параметры режущих частей зенкера. Угол режущей части (заборной части) 2φ (фиг. 135) является важным элементом зенкера. Если нет особых условий, вызванных технологическими причинами, то рекомендуется угол φ принимать в следующих пределах (по И. И. Семенченко)[1]:



Фиг. 135. Геометрические параметры зенкера.

1. Для обработки стали $\varphi = 60°$.

2. Для обработки чугуна $\varphi = 45°$ или $60°$.

3. Для работы в подрезку $\varphi = 90°$.

4. Для зенкеров с твердыми сплавами $\varphi = 60°$.

5. Для двухзубых зенкеров $\varphi = 75°$.

Угол φ оказывает влияние на форму стружки и на отвод ее из канавок. В отдельных случаях могут быть изменены условия резания с целью улучшения отвода стружки, тогда угол φ может быть принят на основании экспериментальных данных.

Угол ω наклона винтовых канавок. Если (подобно спиральному сверлу) зенкер снабжен винтовыми канавками, необходимо определить угол наклона винтовых канавок ω. Угол ω выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала и диаметра зенкера. Чем тверже материал, тем меньше должен быть угол ω, так как режущая кромка при этих условиях усиливается. Чем меньше диаметр зенкера, тем меньше должен быть угол ω. И наоборот, чем меньше твердость материала и больше диаметр зенкера, тем больший угол ω можно принимать. Обычно угол ω колеблется в пределах от 10 до 25°. Поскольку угол ω является важным элементом конструкции, в дальнейшем при разборе отдельных конструкций будут указываться рекомендуемые углы.

Передний угол γ и задний угол α (фиг. 135). Все точки режущих кромок зенкера при углублении его в материал описывают траекторию — винтовую линию с шагом, равным подаче на один обо-

[1] И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

рот зенкера. Поэтому поверхность резания представляет собой винтовую поверхность, и истинное значение передних и задних углов должно быть определено в плоскости, нормальной к поверхности резания. Но поскольку подача не оказывает серьезного влияния и поскольку угол μ наклона траектории относительного движения мал, передний и задний углы зенкера определяются в нерабочем положении — в сечении, перпендикулярном проекции режущей кромки на основную плоскость (определение соответствует определению переднего и заднего угла резца в нормальном сечении).

Основной плоскостью для зенкера считается плоскость, проходящая через ось зенкера и рассматриваемую точку на режущей кромке. Передний угол γ_N задается в нормальном сечении $N-N$. Величина его оказывает большое влияние на процесс резания.

Ниже приведены рекомендуемые значения переднего угла γ_N режущих кромок зенкера (по И. И. Семенченко):

Обрабатываемый материал	γ_N
Алюминий, латунь	25—30
Мягкая сталь	15—20
Сталь средней твердости, стальное литье	8—12
Чугун средней твердости	6—8
Твердая сталь, твердый чугун	5—0

В отдельных случаях в целях упрочнения режущих кромок приходится уменьшать значение угла γ_N.

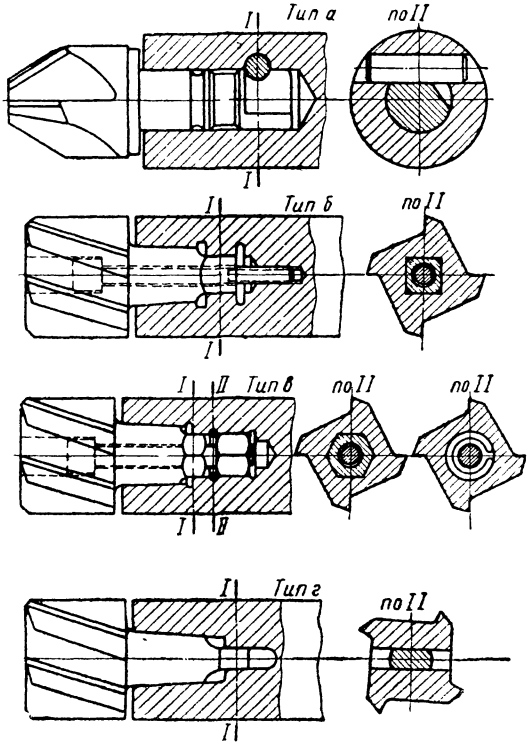
Задний угол α у зенкеров принимается в пределах 8—10° на режущей части и 5—6° на калибрующей части. С целью усиления кромки и повышения ее устойчивости рекомендуется придавать передней грани (поверхности) зенкера некоторый наклон под углом λ. На фиг. 135 справа показана проекция торца зенкера. Режущая кромка по отношению к основной плоскости, проходящей через центр, наклонена под углом λ. На фиг. 135 показан положительный наклон $+\lambda$. Если наклон режущей кромки будет по отношению к основной плоскости в обратную сторону, угол λ будет со знаком минус. Опыты показывают лучшую стойкость зенкеров с положительным углом λ. Особенно важно придать положительный угол λ режущей кромке твердосплавного зенкера. Для твердосплавных зенкеров можно рекомендовать угол λ равным 12—15°.

Ленточка, обратный конус зенкера. С целью улучшения направления при работе каждое перо зенкера снабжается узкими цилиндрическими ленточками. Иногда (например, двузубые зенкеры) эти ленточки отсутствуют. Ширина ленточек принимается для обычных зенкеров в пределах 0,8—2,0 *мм*. Цилиндрические ленточки направляют зенкер, но наличие их создает добавочное трение, ускоряя износ и притупление зенкера.

Поэтому ленточки шлифуются не по цилиндру, а с небольшой конусностью. Обратная конусность зенкеров в зависимости от условий работы может изменяться в некоторых пределах. Рекомендуется принимать уменьшение диаметра к хвосту от 0,05 до 0,15 на 100 *мм* длины.

Соединительная часть зенкера. Зенкеры применяются в основном в серийном и массовом производстве. Поэтому особые требования предъявляются к зенкеру в отношении закрепления его на станке. Закрепление зенкера должно обеспечивать хорошее центрирование, прочность, жесткость и быструю смену инструмента.

В практике кроме стандартной конструкции крепления (для хвостовых зенкеров — конус с лапкой, для насадных — коническая оправка с конусностью 1 : 30 и с торцевой шпонкой) применяют ряд более удобных креплений.



Фиг. 136. Типы крепления зенкеров.

На фиг. 136 показаны типы креплений зенкеров, получившие наибольшее распространение.

Тип „а“ — крепление зенкера с помощью быстросменного штифтового замка по ГОСТ 3009-45. Цилиндрический хвостовик входит в соответствующую выточку в оправке. На хвостовике снята лыска и имеется углубление для штифта. В оправке просверлено отверстие, в которое запрессован штифт. Вставить хвост в гнездо можно только в определенном положении, когда лыска совпадает со штифтом в оправке. Затем, повернув зенкер вправо, заставляют штифт войти в углубление в хвостовике, и зенкер закреплен.

Типы „б“, „в“, „г“ — крепление зенкера с укороченным коническим хвостовиком. Зенкер имеет укороченный конический хвост, оканчивающийся или квадратом (тип „б“), или шестигранником (тип „в“), или лапкой (тип „г“). Гнездо в оправке, конусное вначале, в глубине снабжено соответственно квадратом, или шестигранником, или пазом для лапки. Для более надежного крепления часто зенкер привертывается винтом (типы „б“ и „в“) к оправке. Крепление с укороченным коническим хвостом очень надежное, но в тех случаях, когда требуется быстрая смена инструмента, лучше применять штифтовые замковые крепления.

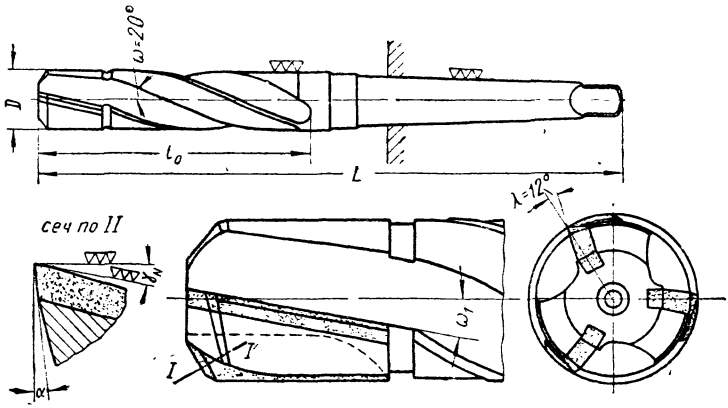
Существует еще целый ряд и других типов крепления, применяемых на практике.

Материал. На конструктивные элементы зенкера оказывает влияние выбор материала зенкера. В настоящее время получили широкое распространение зенкеры, оснащенные твердыми сплавами. Применение углеродистой или легированной инструментальной стали резко сократилось. Зенкеры из быстрорежущей стали применяются только сварной или сборной конструкции.

Разберем конструктивные особенности отдельных типов зенкеров.

ЗЕНКЕРЫ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАМЕТРА ОТВЕРСТИЙ

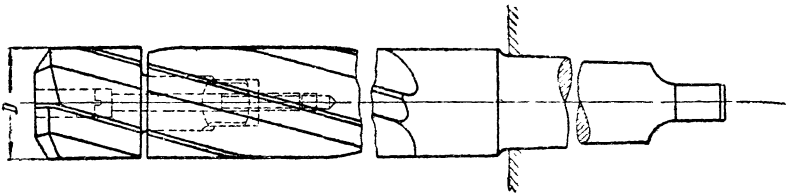
На фиг. 137 показан хвостовой зенкер со спиральными канавками. Размеры зенкеров — по ГОСТ В-1676-42. Зенкер предназначен для увеличения отверстий. В зависимости от диаметра зенкер снабжается



Фиг. 137. Хвостовой зенкер с твердым сплавом.

тремя или четырьмя канавками. Чаще всего форма канавок и зуба делается по типу I (см. фиг. 134). Зенкеры из углеродистой или легированной стали изготовляются цельными, зенкеры из быстрорежущей стали должны изготовляться сварными. В настоящее время находят распространение зенкеры этого типа с пластинками твердого сплава. Зенкеры спиральные, оснащенные твердым сплавом, предназначены для работы по чугуну и стали и могут быть использованы при значительных глубинах резания. Нормалью ВНИИ МСС предусмотрены номинальные диаметры зенкеров от 12 до 35 *мм*. Трехзубые зенкеры обеспечивают большую прочность и жесткость зенкера, достаточное сечение винтовой канавки и более простое изготовление по сравнению с четырехзубыми зенкерами. Канавка на длине пластинки твердого сплава сделана косой под углом ω_1. Косая канавка обеспечивает большую прочность зенкера после врезания пластинки твердого сплава. Но, с другой стороны, только винтовая канавка обеспечивает отвод образующейся в процессе резания стружки. Поэтому косая канавка с углом наклона $\omega_1 = 10°$ плавно переходит в винтовую с углом наклона $\omega = 20°$.

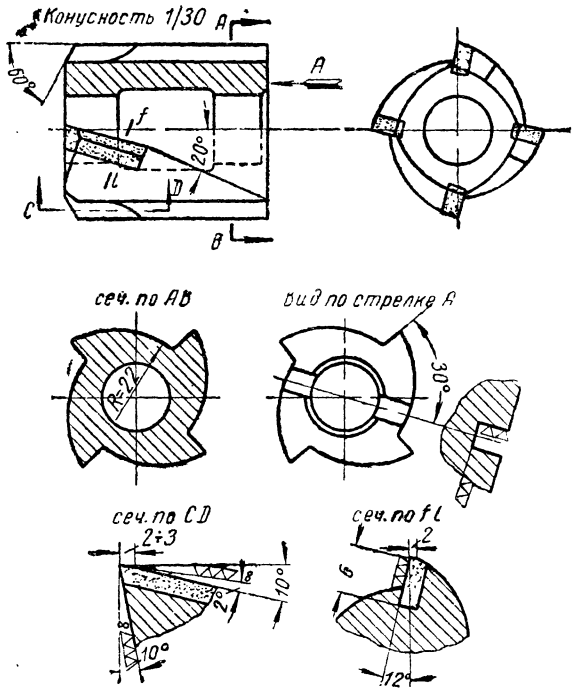
Эту конструкцию зенкера можно считать вполне оправдавшей себя на практике. Рекомендуется для обработки чугуна применять сплав ВК8, для обработки стали — Т15К6 и Т5К10. Корпус зенкера следует изго-



Фиг. 138. Составной зенкер с укороченным хвостовиком.

товлять из стали, которая дает возможность закалить корпус после напайки пластин. Поэтому в практике инструментальных заводов применяется для корпусов сталь 9ХС. Хорошие результаты получаются также при использовании стали 40Х.

На фиг. 138 показан зенкер с укороченным хвостовиком. Такие зенкеры, оснащенные пластинками твердого сплава, предназначаются для зенкерования глубоких стальных и чугунных отверстий при больших глубинах резания. Диаметры зенкеров — от 30 до 80 *мм*.



Фиг. 139. Насадной зенкер с пластинками твердого сплава.

Эта конструкция зенкеров обладает существенными преимуществами по сравнению с цельными спиральными зенкерами: при износе пластинок твердого сплава заменяется только короткий зенкер, державка же используется для дальнейшей работы.

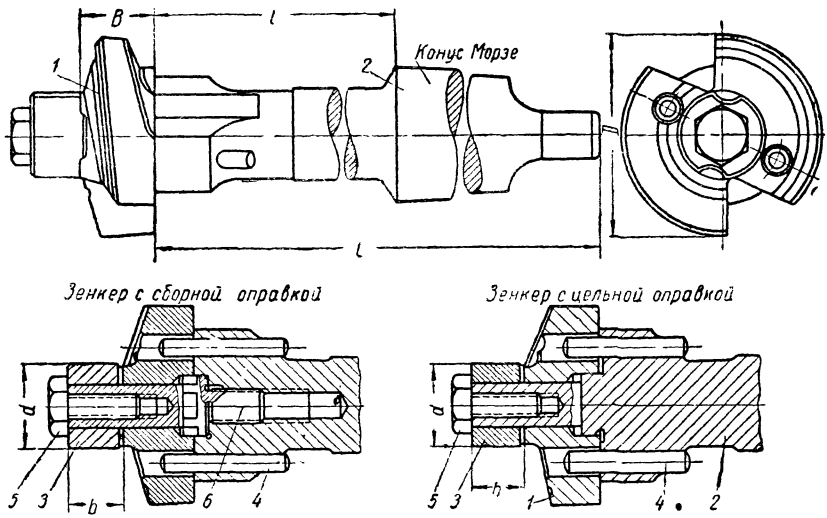
Крепление зенкера в державке осуществляется различными путями. Наибольшее распространение получила схема крепления, показанная на фиг. 136 (типы „б", „в"). Зенкер имеет короткий конусный хвостовик, оканчивающийся квадратом или шестигранником. Хвостовик входит в соответствующие отверстия в державке и закрепляется в ней винтом. Крутящий момент от державки к зенкеру передается конусом, а также

шестигранником или квадратом. Зенкер с укороченным хвостовиком обычно имеет винтовые канавки, которые продолжаются также на державке. Угол наклона канавок ω в описываемой конструкции чаще всего 10—15°.

Насадные четырехзубые зенкеры предусмотрены ОСТ НКТП 3677. Они изготовляются цельными из легированной стали. В настоящее время получили также широкое распространение насадные зенкеры с пластинками твердого сплава (фиг. 139). Угол наклона канавок на длине пластинки обычно равен 10—12°, а дальше канавки идут под углом 15—20°.

Для снятия больших припусков применяются двузубые сборные зенкеры (фиг. 140).

Двузубые зенкеры могут применяться при рассверливании отверстий в различных материалах (сталь, чугун, бронза, медь и т. д.). Приме-



Фиг. 140. Двузубый сборный зенкер.

няются эти зенкеры также и для предварительно просверленных отверстий в коротких деталях, литье, листах; для получения фасонных отверстий (в этом случае необходимы специальные зенкеры); для рассверливания глубоких отверстий (в этом случае зенкеры снабжаются соответствующими длинными оправками).

Зенкер состоит из следующих деталей (фиг. 140):

1) собственно двузубого зенкера *1*, снабженного отверстием для установки на оправку и двумя отверстиями для ведущих штифтов;

2) оправки *2* с конусом Морзе для установки в шпиндель станка, имеющей на переднем конце цилиндрический выступ для центрирования и закрепления зенкера; передняя часть оправки кроме направляющей для зенкера имеет также два отверстия для ведущих штифтов;

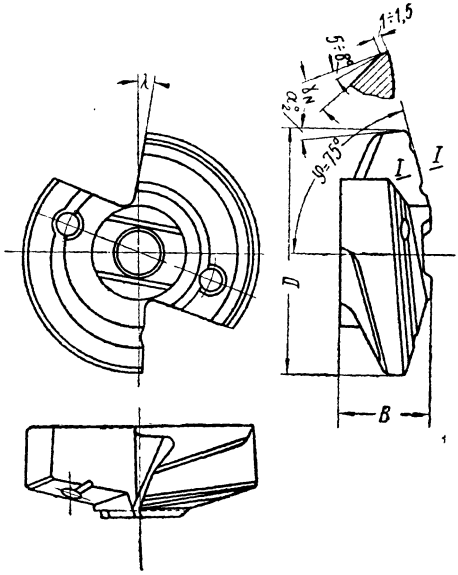
3) направляющей цапфы *3*, которая служит для направления зенкера по предварительно просверленному отверстию;

4) двух ведущих штифтов *4* с конической частью, запрессованных в отверстия на переднем торце оправки и воспринимающих крутящий момент;

5) болта *5* для закрепления зенкера на оправке.

В зенкерах со сборной оправкой имеется стержень *6*, который ввертывается в отверстие оправки и служит для центрирования зенкера на оправке.

Двузубый зенкер снабжен двумя затылованными зубьями, имеющими торцевые режущие кромки. Выточка на опорном торце служит для центрирования зенкера на оправке. Отверстия на опорном торце предназначены для ведущих штифтов.



Фиг. 141. Геометрия режущей части двузубого зенкера.

Для обеспечения дробления и легкого отвода стружки режущие кромки зенкера снабжены стружкоразделительными канавками. Затылованный зуб зенкера дает возможность обеспечить большое количество переточек. Переточки производятся только по передней грани, что позволяет сохранить форму режущей кромки при переточках. Наличие только двух зубьев у зенкера позволяет получить достаточное пространство для помещения и отвода стружки. Это важно при рассверливании деталей с большими припусками.

Геометрия режущей части двузубого зенкера при обработке стали средней твердости $\sigma_b = 50 \div 60$ *кг/мм*^{2} показана на фиг. 141. Передний угол γ_N в сечении, перпендикулярном режущей кромке, равен 25°. Задний угол обеспечивается затылованием торцевого зуба и равен 6—8°. Угол наклона режущей кромки $\lambda = 10°$. Угол $\varphi = 75°$.

Для завивания стружек в мелкие кольца рекомендуется по передней грани зенкера затачивать фаску шириной 1—1,5 *мм* с передним углом 5—8°.

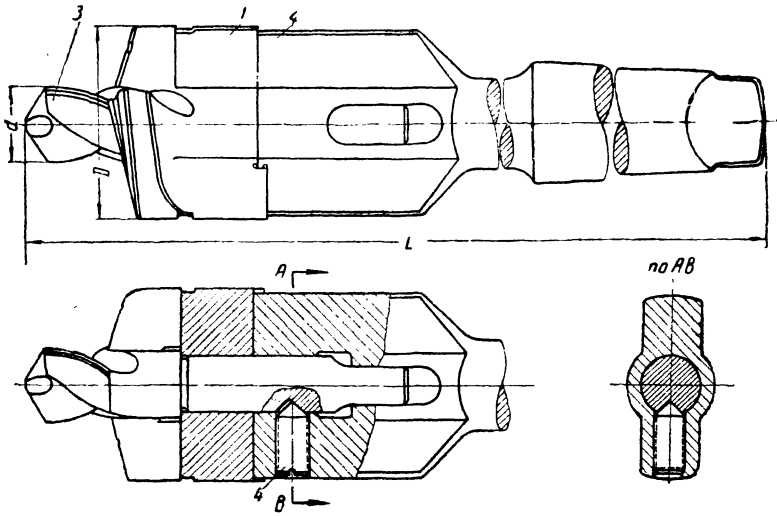
Для того чтобы режущие кромки, расположенные на диаметре зенкера, соприкасались со стенками отверстия с меньшим трением, наружная поверхность зенкера шлифуется по конусу с углом α_2 до 2°30′.

Двузубые зенкеры иногда применяют в сочетании со сверлом. На фиг. 142 показана такая конструкция. Внутрь зенкера вставлено сверло. Такой комбинированный зенкер одновременно сверлит и рассверливает отверстие в сплошном материале.

Как видно из фиг. 142, комбинированное сверло-зенкер состоит из следующих деталей:

1) зенкера двузубого удлиненного *1*, который насаживается на сверло и своим замком входит в замок оправки;

2) оправки *2*, имеющей на переднем конце отверстие, в которое вставляется хвост сверла, и пазы, в которые входят выступы замка зенкера. Оправка изготовлена с конусом Морзе для установки и закрепления в шпинделе станка;



Фиг. 142. Комбинированный зенкер-сверло.

3) спирального короткого сверла *3* с цилиндрическим хвостом, на котором профрезерована лапка и имеется углубление для стопорного винта;

4) стопорного винта *4*, который ввинчивается в оправку и предохраняет хвостовик сверла от осевого смещения при выводе сверла из отверстия во время сверления.

Геометрия сверла и зенкера рассчитана на обработку стали и чугуна. Спиральное сверло имеет нормальную принятую для сверл геометрию. Угол режущей части сверла 118°. Угол наклона винтовых канавок $\omega = 30^{\circ}$. Задний угол колеблется от 6° на периферии до 25° у сердцевины сверла.

Зенкер двузубый с затылованными режущими зубьями имеет передний угол 25°; задний угол обеспечивается затылованием и колеблется от 6 до 8°. Угол $\varphi = 75^{\circ}$. Угол $\alpha_2 = 2^{\circ}30'$. Зенкер снабжен стружкоразделительными канавками.

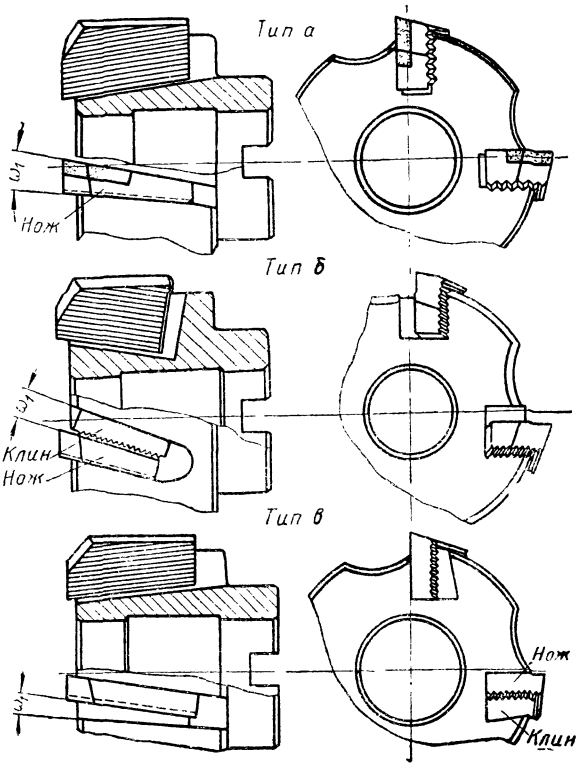
При сверлении комбинированное сверло-зенкер обеспечивает отверстие 5-го класса точности. В последнее время имеются попытки изготовлять зенкеры и сверла из разных материалов. Например, зенкер,

имеющий больший диаметр, а следовательно, и большую скорость резания, чем сверло, оснастить пластинками твердого сплава, а сверло, поскольку оно имеет меньшую окружную скорость, изготовить из быстрорежущей стали. В этом случае сверло и зенкер будут почти равностойки.

СБОРНЫЕ ЗЕНКЕРЫ

Все конструкции сборных зенкеров для отверстий позволяют производить регулирование диаметра зенкера после износа.

На фиг. 143 показано несколько наиболее распространенных конструкций сборных зенкеров со вставными ножами.



Фиг. 143. Типы крепления ножей сборных зенкеров.

В конструкции зенкера (тип а) корпус снабжен клиновидными пазами, в которые забиваются клиновидные рифленые ножи. Рифления позволяют после износа зенкера переставлять ножи и тем самым увеличивать диаметр зенкера. Эта конструкция пригодна для зенкеров с ножами из быстрорежущей стали и с ножами, оснащенными твердыми сплавами. В последнем случае к ножам из стали У7 — У8 припаиваются пластинки твердого сплава. Эта конструкция вполне надежна в отношении прочности крепления ножей. Большим ее недостатком является невозможность увеличения вылета ножей. Стачивание ножей происходит по режущей кромке, и после нескольких заточек вылет ножа резко уменьшается. В конструкции зенкера (тип б) этот недостаток устранен. Нож и паз корпуса снабжены продольными рифлениями, направленными вдоль оси. Для закрепления ножа в пазу корпуса предусмотрен клин, имеющий на стороне, прилегающей к ножу, поперечно направленные рифления, которые входят в соответствующие рифления ножа. Нож и клин прикладываются друг к другу сторонами, имеющими поперечные рифления, и в сложенном виде забиваются в корпус.

По мере стачивания ножи могут быть выдвинуты по отношению к торцу; клинья при этом переставляют на следующие поперечные рифления. Регулирование по диаметру производится перестановкой по осевым продольным рифлениям.

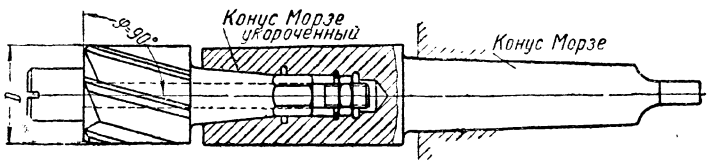
Эта конструкция сложнее предыдущей и пригодна только для быстрорежущих ножей и поэтому применяется реже, чем конструкция по типу а.

Конструкция зенкера (тип в) приведена в ГОСТ 2253-43 как рекомендуемая. Плоские ножи и клинья снабжены с одной стороны продольными рифлениями. Этими рифлеными сторонами они соприкасаются друг с другом и вставляются в паз. Пазы в корпусе клиновидные, сделаны расширяющимися по направлению к дну. Это обеспечивает двойную регулировку ножей. Недостатком данной конструкции является сложность изготовления, а также ненадежное крепление ножей, особенно при малых диаметрах зенкера. Из всех перечисленных конструкций крепления ножей наибольшее распространение получил тип а.

Сборными делают не только насадные, но и хвостовые зенкеры. Углы резания сборных зенкеров принимаются в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала и конструктивных особенностей зенкера.

ЗЕНКЕРЫ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВЫЕМОК (ГОЛОВОЧНЫЕ)

Кроме зенкеров для увеличения диаметра отверстий широкое распространение имеют зенкеры для цилиндрических выемок под головки винтов и т. д. Иногда такие зенкеры называют головочными. На фиг. 144 показан



Фиг. 144. Головочный зенкер для обработки углубления под головку винта.

головочный зенкер с направляющей цапфой. Цапфа служит для направления зенкера по предварительно просверленному отверстию. Режущая часть зенкера снабжена спиральными зубьями (обычно 3 или 4); угол φ принимается равным 90° для зенкерования углубления под винт с цилиндрической головкой.

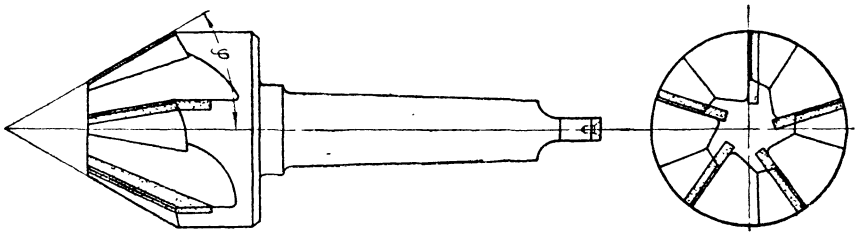
Если зенкер предназначен для зенкерования углубления под винт с конусной головкой, он имеет соответствующий угол режущей части. С целью облегчения заточки у зубьев, расположенных на торце зенкера, направляющая цапфа делается сменной, отвертывается и вынимается перед заточкой зенкера.

Существует очень много различных конструкций головочных зенкеров. В большинстве случаев конструктор стремится сократить время на установку и снятие зенкера и делает быстросменный зажим для зенкера.

Режущие элементы головочного зенкера оформляются так же, как и у зенкеров для увеличения диаметра отверстий.

ЗЕНКЕРЫ ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ЗЕНКОВКИ)

Конические поверхности (например, центровые отверстия) обрабатывают специальными зенкерами, (зенковками), режущие кромки которых имеют определенный угол φ, обусловленный формой углубления. На фиг. 145 показан зенкер для конических поверхностей. В зависимости от диаметра зенкеры изготовляются с цилиндрическим или коническим хвостовиком. Они изготовляются из различных марок стали или оснащаются твердыми сплавами также различных марок. Для обработки сталей реко-

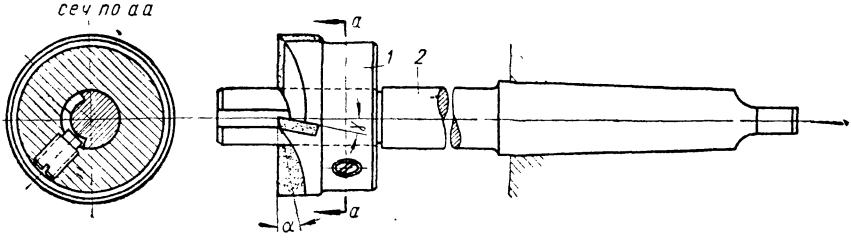


Фиг. 145. Зенковка.

мендуются титановольфрамовые сплавы, для обработки чугуна, бронзы и прочих материалов — вольфрамокарбидные твердые сплавы. Наибольшее распространение получили конические зенкеры с углом конуса при вершине 2φ, равным 30°, 60°, 90° и 120°.

ЗЕНКЕРЫ ДЛЯ ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В машиностроении получили распространение для обработки торцевых поверхностей бобышек, различных приливов и т. д. так называевые торцевые зенкеры. В литературе встречается также .название „цековка". Оно относится к торцевым зенкерам.



Фиг. 146. Торцевой зенкер.

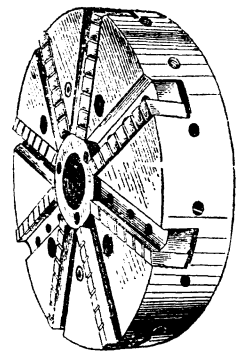
У этих зенкеров зубья расположены только на торце. На фиг. 146 изображен торцевой зенкер *1* небольшого размера, который надевается на оправку *2* и служит для подрезки торца ступицы или прилива. Зенкер оснащен пластинками твердого сплава. Зубья зенкера расположены

только на торцевой поверхности. Режущие углы выбираются следующие: задний угол α — от 4 до 6°, передний угол γ — от 8 до 10°. Число зубьев зенкера может быть принято от 4 до 8.

На фиг. 147 показан торцевой зенкер очень больших размеров. Диаметр такого зенкера достигает в отдельных случаях до 500 *мм*. Такие зенкеры применяются на металлургических заводах для обработки торцов балок или рельсов.

В корпусе зенкера, изготовленном из конструкционной стали 40Х или 45, профрезерованы 8 пазов, в которые вставлены сменные ножи из быстрорежущей стали. Они закрепляются клиновыми планками и винтами. Опорные стороны ножей имеют рифления. Вследствие наличия рифлений можно изменять вылет ножей по торцу. Режущие кромки ножей снабжены стружкоразделительными канавками.

В последнее время в связи с распространением агрегатных станков получили распространение различные комбинированные зенкеры. Такие зенкеры позволяют производить обработку ступенчатых отверстий и различных фасонных поверхностей.

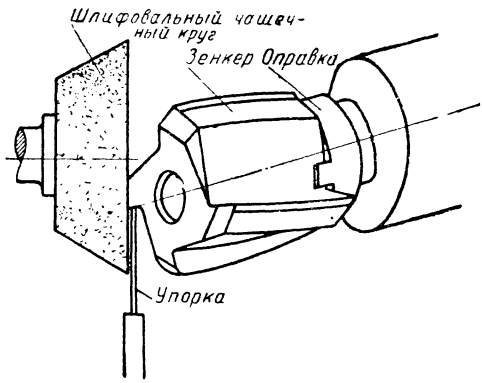


Фиг. 147. Торцевой зенкер (цековка диаметром 500 *мм*.

ЗАТОЧКА ЗЕНКЕРОВ

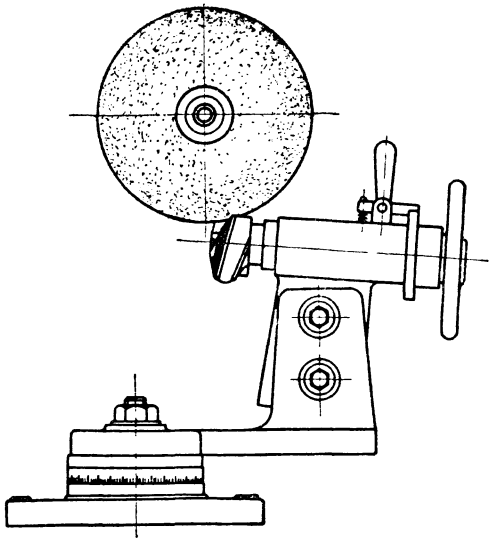
Заточка режущей части зенкеров производится в зависимости от конструкции зуба — по задней или по передней грани.

Зенкеры в основном снабжаются зубьями, затачиваемыми по задней грани (фиг. 148). Но имеются зенкеры, которые снабжены затылованными зубьями (двузубые), затачиваемыми по передней грани.

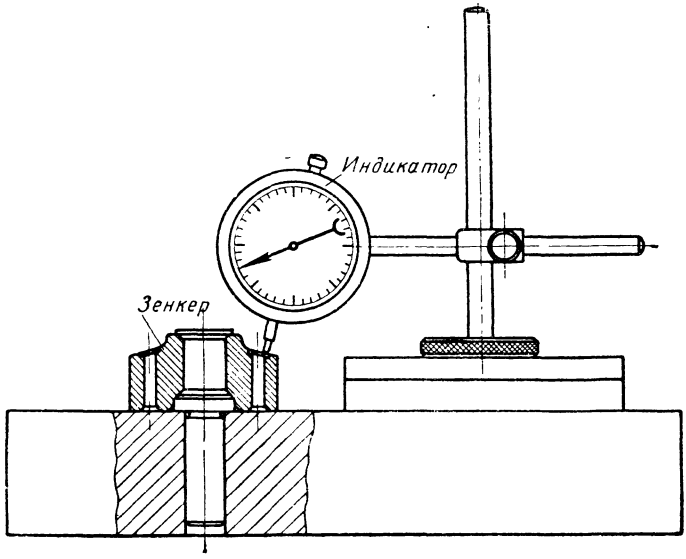


Фиг. 148. Схема заточки насадного зенкера по задней грани.

Для затачивания применяются универсально-заточные станки. Зенкер устанавливается в приспособлении, допускающем поворот его на определенный угол. На фиг. 148 показана установка обычного насадного зенкера на заточном станке для затачивания по задней грани зуба. Зенкер насаживается на оправку, установленную в приспособлении, и подводится к кругу. Для фиксирования зуба зенкера в определенном положении на столе станка устанавливается передвижная упорка, которая упирается в переднюю грань зуба зенкера. Затачивание производится чашечным кругом, причем режущая кромка затачивается доостра.



Фиг. 149. Заточка двузубого зенкера.



Фиг. 150. Проверка биения режущих кромок двузубого зенкера индикатором.

Задний угол выдерживается установкой упорки в определенном положении.

Такой зенкер, затачиваемый в основном по задней грани, приходится иногда точить и по передней грани (например, первоначальная заточка зенкера при его изготовлении). Заточка по передней грани должна предшествовать заточке по задней грани. При заточке по передней грани можно зенкер устанавливать на оправке в центрах. Хвостовой зенкер устанавливается также в центрах.

Несколько иначе затачиваются зенкеры с затылованным зубом, например, двузубый зенкер (см. фиг. 140). Такой зенкер необходимо перед заточкой снять с его оправки и поставить на специальную оправку для заточки. Перед заточкой рекомендуется вершины зубьев прошлифовать, т. е. коснуться шлифовальным кругом обеих вершин зубьев. Затем на заточном станке в поворотном приспособлении, установленном под определенным углом, производится заточка только передней грани зенкера (фиг. 149). Для заточки применяется тарельчатый или чашечный шлифовальный круг.

Заточка зенкеров из быстрорежущей или инструментальной стали производится алундовыми кругами. Для заточки зенкеров, оснащенных пластинками твердого сплава, следует применять круги из зеленого или черного карбида кремния (карборундовые круги).

После заточки необходимо проверять биение режущих кромок зенкера относительно оси. На фиг. 150 показана схема контроля двузубого зенкера. Зенкер насаживается на цилиндрический палец. При повороте зенкера стрелка индикатора показывает величину биения.

ГЛАВА VIII

РАЗВЕРТКИ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Разверткой называют режущий инструмент, предназначенный для предварительной и окончательной обработки отверстий.

Основное отличие развертки от сверла и зенкера состоит в том, что развертка снимает очень небольшой слой металла (припуски под развертку принимаются в пределах нескольких десятых миллиметра) и дает точное и чистое отверстие. Как правило, развертка имеет большее число зубьев, чем зенкер (существуют исключения из этого правила — однозубые и двузубые развертки).

Развертки разделяются на чистовые и черновые. Последние подготовляют отверстие под окончательную (чистовую) развертку. Но как чистовые, так и черновые развертки снимают небольшой припуск. В зависимости от условий эксплоатации, конструкции, режимов резания и т. д. можно получить разверткой отверстие в пределах от 1-го до 5-го класса точности. Чистота обработанной поверхности после развертывания может быть получена в пределах 6 – 9-го класса.

Классификация разверток. Развертки разделяются:

1. По способу применения: на ручные, работа которыми производится вручную, и машинные, употребляемые на различных станках.
2. По конструкции крепления на: а) хвостовые; б) насадные.
3. По конструкции самой развертки на: а) цельные (также сварные); б) сборные — со вставными ножами.
4. По принципу регулирования размера на: а) постоянные, размер которых не может быть отрегулирован; б) регулируемые различных конструкций: разжимные, раздвижные со вставными регулируемыми ножами, с привернутыми сменными ножами.

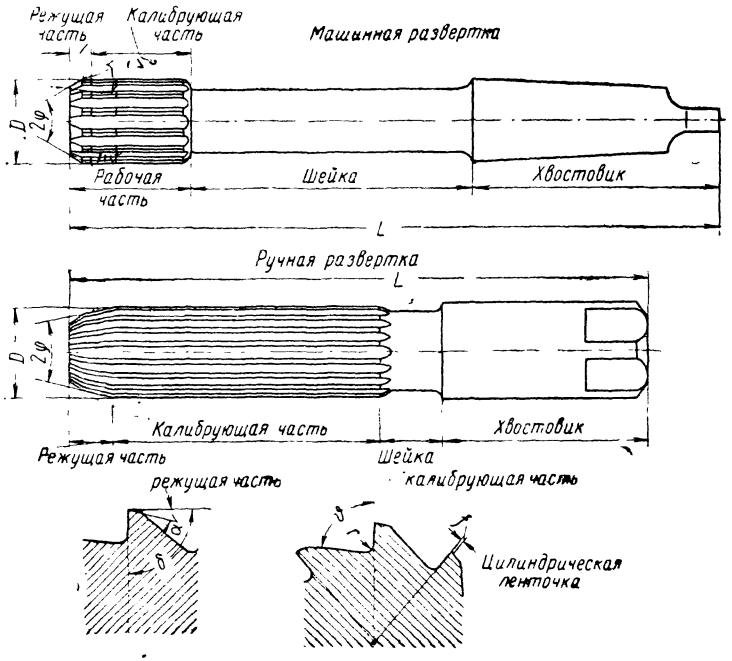
По форме обрабатываемого отверстия принято подразделять развертки на цилиндрические и конические. Все перечисленные типы имеют различное конструктивное выполнение. В ОСТ НКТП 2937 приводятся основные типы разверток. Все типы разверток имеют общие части и конструктивные элементы.

КОНСТРУКЦИЯ РАЗВЕРТОК

Части и конструктивные элементы разверток. На фиг. 151 изображены ручная и машинная развертки. Они имеют следующие основные части: 1) рабочая часть; 2) режущая часть; 3) калибрующая часть; 4) шейка; 5) хвостовик.

Конструктивные элементы развертки: D — диаметр развертки; z — число зубьев; 2φ — угол режущей части; междузубые канавки, их форма и неравномерная разбивка; профиль зубьев; α и γ — задний и передний углы на режущей части; задний конус; элементы крепления развертки (хвостовая часть, квадрат и т. д.); L — общая длина развертки.

Диаметр развертки. Диаметр развертки — важнейший конструктивный элемент, так как, в конечном итоге, назначение раз-



Фиг. 151. Части и конструктивные элементы развертки.

вертки — дать отверстие определенных размеров. При назначении диаметра развертки необходимо учитывать[1]:

1) разбивку, так как отверстие, получаемое после развертки, почти всегда несколько больше самой развертки;

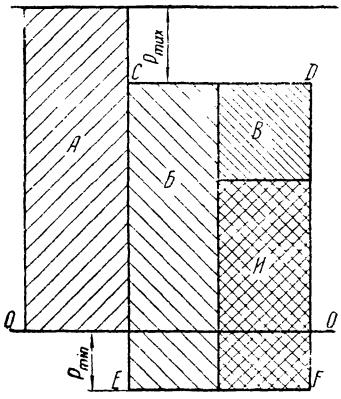
2) запас на износ — развертка изнашивается по диаметру от трения о стенки обрабатываемого отверстия;

3) допуски на изготовление самой развертки.

На фиг. 152 показано схематическое расположение полей допусков на диаметр развертки в зависимости от допуска обрабатываемого отверстия. Буквой A обозначен допуск на отверстие. Линия CD — верхнее отклонение диаметра развертки — она лежит ниже верхнего отклонения диаметра отверстия на величину максимальной разбивки P_{max}. Максимальная величина разбивки зависит от условий работы, диаметра

[1] И. И. Семенченко, **Энциклопедический справочник „Машиностроение"**, т. 7, Машгиз, 1948.

развертки, класса точности развертываемого отверстия. Линия $E-F$ обозначает собой нижнее отклонение диаметра развертки, а P_{min} — минимальную величину разбивки. Таким образом, между верхним CD и нижним EF отклонениями лежит поле допуска на развертку.



Фиг. 152. Расположение допусков на диаметр развертки.

В целях обеспечения продолжительной службы развертки это поле допуска, обозначенное на фиг. 152 буквой *Б*, разбивается на допуск на изготовление, обозначенный буквой *В*, и запас на износ, обозначенный буквой *И*.

Все поля допусков можно принимать по табл. 31.

Поскольку размер развертки является основным конструктивным элементом, обеспечивающим обработку правильного отверстия, режущие кромки, расположенные на диаметре калибрующей части, должны быть острыми и не должны иметь зазубрин, замятин и прочих дефектов, которые могут быть получены при транспортировке развертки. В этих целях предусматривается часто окончательная доводка у потребителей. Диаметр развертки, изготовляемой на инструментальном заводе, доводке не подвергается и делается с припуском под доводку в пределах 0,005—0,02 *мм*. В ОСТ 2811-40 „Технические условия на развертки" приводятся размеры разверток с припуском под доводку.

Таблица 31

Величины допусков на диаметр развертки (по И. И. Семенченко)

Составляющие допуска	Класс точности отверстия	Номинальный диаметр развертки в *мм*							
		1—3	3—6	6—10	10—18	18—30	30—50	50—80	80—120
		Величина допусков в *мк*							
Максимальная величина разбивки P_{max}	1-й	5	7	9	10	12	14	16	18
	2-й	7	9	11	12	14	16	18	20
Допуски на неточности изготовления B	1-й	5	8	10	10	10	15	15	20
	2-й	10	12	15	15	15	20	20	25
Минимальная величина разбивки P_{min}	Принимается для всех диаметров равной 5 *мк*								

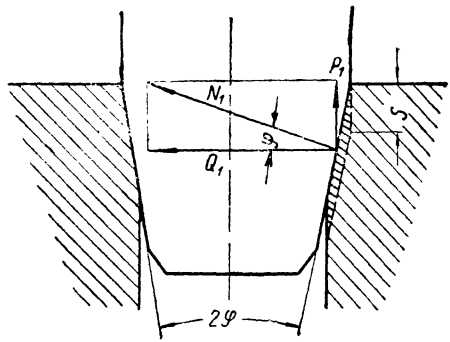
Число зубьев. Развертка предназначена для снятия небольших припусков, поэтому из условий нагрузки на зуб можно было бы выбирать небольшое число зубьев, однако необходимость получения чистой поверхности и точной геометрической формы отверстия заставляет делать значительное число зубьев с небольшим окружным шагом. Междузубые канавки для стружки делаются небольшими, так как стружки образуется немного. Число зубьев развертки рекомендуется брать четным с тем, чтобы обеспечить легкий промер диаметра микрометром. В табл. 32 приведены ориентировочные данные числа зубьев разверток.

Таблица 32

Число зубьев разверток

Тип разверток	Диаметр развертки в *мм*				
	3—10	11—19	20—30	32—45	46—50
Ручные с прямыми канавками . . .	6	8	10	12	14
Машинные с прямыми канавками .	6	8	10	12	—
Машинные насадные	—	—	10	10	14
Сборные хвостовые	—	—	6	8	10
» насадные	—	—	—	8	8
Котельные	—	4	4	4	—
Ручные разжимные	6	8	8	10	12

Из приведенной таблицы видно, что число зубьев цельных разверток всегда несколько больше, чем у сборных разверток. Для окончательного выбора числа зубьев развертки необходимо прочертить получающийся профиль зуба и канавки. Данные табл. 32 относятся только к разверткам с прямыми зубьями. В развертках с винтовыми зубьями число зубьев выбирается меньшим. В зависимости от свойств обрабатываемого материала и вида отделяющейся стружки можно выбирать различное число зубьев Проф. С. С. Четвериков рекомендует у разверток, предназначенных для обработки вязких металлов, число зубьев определять по формуле $z = 1{,}5\sqrt{D+2}$; для хрупких металлов $z = 1{,}5\sqrt{D+4}$.



Фиг. 153. Усилия при развертывании.

Угол режущей части 2φ. Угол режущей части развертки в зависимости от ее назначения выбирается различным. Дело в том, что распределение усилий на развертке зависит от угла режущей части. Чем меньше угол 2φ, тем меньше получается осевое усилие. Это понятно из фиг. 153. Осевое усилие, приведенное к одной режу-

щей кромке, $P_1 = N_1 \sin \varphi$. Из формулы ясно, что с уменьшением угла 2φ уменьшается осевое усилие и облегчается проникновение развертки в обрабатываемое отверстие. Но, с другой стороны, чем меньше угол 2φ, тем тоньше становится стружка и при обработке вязких металлов она хуже отделяется. Поэтому для ручных разверток угол 2φ следует брать меньшим с целью уменьшения осевого усилия, а следовательно, облегчения работы. В машинных развертках большое осевое усилие не вызывает никаких затруднений, поэтому при назначении угла 2φ в машинных развертках исходят из условий обеспечения наилучших условий резания и получения чистого отверстия. Рекомендуемые значения угла 2φ приведены в табл. 33.

Таблица 33

Таблица значений углов 2φ в град.

Тип развертки	Для хрупких металлов	Для вязких металлов
Ручные	Для всех металлов 1—3	
Машинные цельные и сборные	10	30—90
Котельные развертки	Для всех металлов 4—6	

По исследованиям канд. техн. наук Арбузова, угол $2\varphi = 90°$ для машинных разверток дает хорошие результаты и может быть рекомендован как для хрупких, так и для вязких металлов.

Передний и задний углы развертки. По своему назначению развертка является чистовым инструментом и снимает небольшие стружки. Поэтому передний угол у зуба развертки берется близким к 0°, т. е. угол резания приближается к 90° (см. фиг. 151). В этом случае обеспечивается процесс, напоминающий скобление, и в результате получается чистая поверхность.

Для черновых разверток по вязким металлам следует принимать угол $\gamma = 5 \div 10°$. Например, для котельных разверток по стали рекомендуется передний угол принимать равным 10°.

Для обеспечения скоблящего действия развертки можно принимать даже отрицательный передний угол развертки. Завод „Фрезер" в сборных развертках, оснащенных твердыми сплавами, принимает отрицательный передний угол в пределах $-3° \div -5°$. Развертки с отрицательным передним углом дают чистую гладкую поверхность. Однако применение таких разверток при обработке мягких металлов может вызвать налипание стружки. Если получается налипание стружки, следует заточить развертку с положительным передним углом.

Задний угол также принимается небольшой в целях сохранения прочности режущей кромки. Если принять задний угол значительный, прочность кромки снижается, и возможны выкрашивания, ведущие к ухудшению чистоты поверхности отверстия.

На режущей части зуб развертки затачивается доостра с определенным задним и передним углом (см. фиг. 151). На калибрующей части развертки оставляется цилиндрическая ленточка f.

Рекомендуемые величины заднего угла α и ширины ленточки f (по данным завода „Фрезер") приведены в табл. 34.

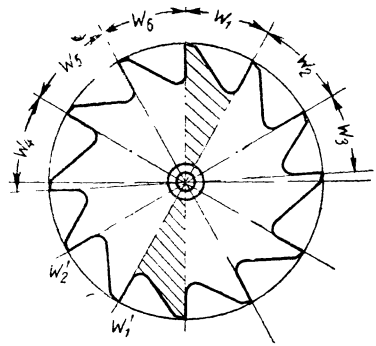
Таблица 34

Задний угол и ширина ленточки в зависимости от диаметра развертки

Диаметр развертки в *мм*	3—10	10—18	18—30	30—50	50—80
Задний угол $\alpha°$	8—12	6—10	6—10	6—10	6—8
Ширина ленточки f в *мм*	0,08—0,2	0,1—0,25	0,15—0,3	0,2—0,4	0,25—0,5

Для чистовых ручных разверток значение заднего угла принимается наименьшее и доходит до 3—5°.

Ширина ленточки по цилиндру.— очень важный элемент развертки. Если ленточка широкая, развертка работает тяжело, трение увеличивается, поэтому стараются выдерживать небольшую ширину ленточки. Но, с другой стороны, отсутствие ленточки ухудшает направление развертки, поэтому, особенно у ручных разверток, ленточка обязательна. Ленточка должна быть чисто обработана (доведена). Ленточка выглаживает обрабатываемую поверхность и облегчает процесс изготовления и измерения развертки.



Фиг. 154. Неравномерная разбивка зубьев.

Неравномерное распределение зубьев по окружности. У разверток для получения чистого отверстия применяют неравномерное распределение зубьев по окружности. Объясняется это следующим образом. В процессе резания всегда имеет место колебание нагрузки на зуб, вызванное неравномерной плотностью обрабатываемого металла, различными включениями в металл. Если развертка имеет совершенно одинаковые окружные шаги, между зубьями могут возникнуть периодически повторяющиеся увеличения нагрузки, и развертка даст неправильное отверстие с граненой поверхностью. Для того чтобы избежать этого явления, делают неравномерный окружный шаг зубьев. Например, если развертка имеет 6 зубьев, то вместо равномерного окружного шага $W = \frac{360°}{6} = 60°$ делают неравномерную разбивку согласно табл. 35.

При простановке неравномерного шага лучше всего принимать порядок, изображенный на фиг. 154, при котором каждая пара двух

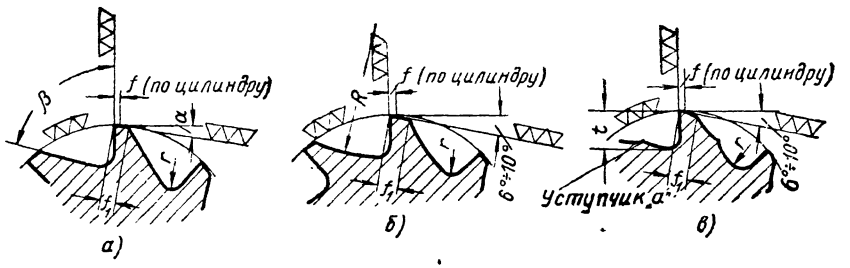
противолежащих зубьев лежит своими режущими кромками на одном диаметре и углы W_1 и W'_1, W_2 и W'_2 и т. д. попарно равны.

Таблица 35

Неравномерная разбивка зубьев развертки

Число зубьев	Углы W, соответствующие отдельным зубьям развертки					
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
4	87°55′	92°05′	—	—	—	—
6	58°02′	59°53′	62°5′	—	—	—
8	42°	44°	46°	48°	—	—
10	33°	34°30′	36°	37°30′	39°	—
12	27°30′	28°30′	29°30′	30°30′	31°30′	32°30′

Можно, конечно, применять и другие схемы неравномерной разбивки зубьев, но описанная схема удобнее, так как все зубья лежат



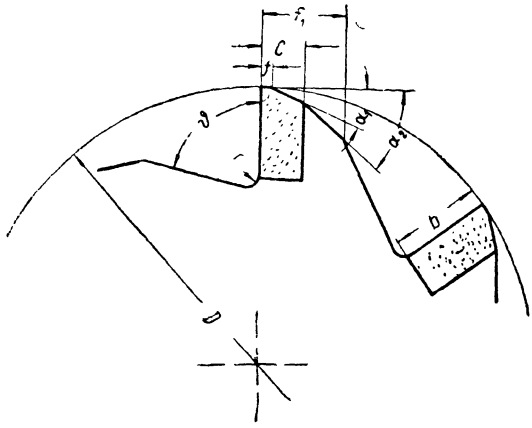
Фиг. 155. Профиль зуба ручных и машинных разверток.

друг против друга на определенных диаметрах и этим облегчается контроль развертки по диаметру. Если развертка имеет винтовые или косые зубья, неравномерность зубьев также имеет значение, и такие развертки для особо точных и чистых отверстий делают с неравномерным распределением зубьев по окружности.

Машинные развертки можно делать с равномерным распределением зубьев; ручные следует делать с неравномерным распределением.

Обратный (задний) конус. Для уменьшения трения о стенки обработанного отверстия калибрующую часть развертки делают не полностью цилиндрической, а с обратным конусом по направлению к хвостовику. Уменьшение диаметра калибрующей части по направлению к хвостовику принимается различным для машинных и ручных разверток; у ручных разверток задний конус делается меньшим, у машинных — большим. Это вызвано тем, что ручная развертка работает с небольшой скоростью резания и сравнительно мало разбивает отверстие, направляясь строго по обработанному отверстию. При работе машинных разверток разбивание отверстия калибрующей частью, прилегающей к шейке развертки, значительно больше, поэтому задний конус принимается у них больше.

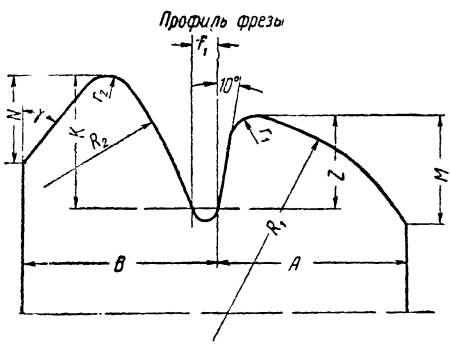
Для ручных разверток (по И. И. Семенченко) рекомендуется уменьшение диаметра к хвостовику на 0,008—0,005 *мм*, для машинных разверток с жестким креплением — от 0,04 до 0,06 *мм* и для машинных разверток с качающимися патронами — от 0,06 до 0,08 *мм*.



Фиг. 156. Элементы профиля зуба развертки с пластинками твердого сплава.

Форма междузубой канавки и профиль зуба. Междузубые канавки у разверток могут быть как прямыми, так и винтовыми. Развертки с винтовыми (спиральными) канавками дают хорошие результаты, но сложны в изготовлении. Хорошо выполненные развертки с прямыми канавками также дают неплохие результаты по чистоте обработанной поверхности и значительно проще в изготовлении. Поэтому в настоящее время в основном применяются развертки с прямыми канавками.

Профиль канавок может быть выполнен угловой фрезой (фиг. 155, *а*), фрезой, ограниченной радиусом (фиг. 155, *б*), и комбинированной фрезой (фиг. 155, *в*). Эти профили канавок можно применять для разверток, рабочая часть которых профрезерована в целой заготовке.



Фиг. 157. Профиль фасонных фрез для фрезерования зуба разверток без подъема стола.

Профиль канавок для разверток с твердыми сплавами показан в табл. 36 и на фиг. 156.

При определении профиля канавки для этих разверток приходится учитывать толщину пластинки твердого сплава и необходимость создания достаточно жесткой опорной поверхности под пластинку. Так как развертки имеют неравномерную разбивку зубьев по окружности, то при фрезеровании канавок, естественно, получается разная глубина их, если, конечно, выдержана одна ширина фаски f_1. Для получения одинаковой ширины фаски необходимо канавочную фрезу на станке поднимать или опускать в зависимости от центрального угла между зубьями.

Это обстоятельство затрудняет изготовление разверток.

При массовом изготовлении разверток предусматривают фрезерование канавок специальными комбинированными фрезами с профилем, изображенным на фиг. 157. Такая фреза имеет как бы двойной профиль и одновременно обрабатывает двумя своими выступами обе стороны зуба. Фаска f_1 получается всегда постоянной, так как фреза своим профилем охватывает зуб развертки с обеих сторон. Если перейти затем к фрезерованию другой впадины с большим или меньшим центральным углом, то глубина канавки все равно останется постоянной, но на спинке зуба из-за несовпадения двух положений фрезы появится небольшой уступчик a (см. фиг. 155, *в*), не имеющий, однако, значения для работы развертки.

Таблица 36

Таблица размеров профиля канавок у разверток с твердыми сплавами (ВНИИ МСС)

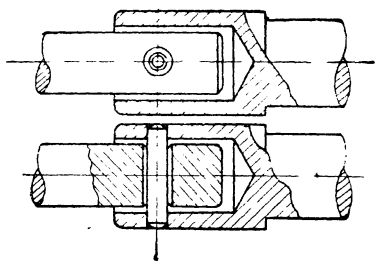
D	z	f_1	C	b	$\vartheta°$	f	$\alpha_1°$	$\alpha_2°$	r
10	4	3,0	1,5	3,0	9,0	0,15—0,25	20	30	1,0
11	6	2,4	1,5	3,0	7,5	0,15—0,25	20	30	1,0
12	6	2,4	1,5	3,0	7,5	0,15—0,25	5	25	1,5
13	6	2,0	1,5	3,0	7,5	0,15—0,25	5	25	1,5
14	6	2,0	1,5	3,0	7,5	0,15—0,25	5	25	1,5
15	6	2,8	1,5	3,0	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
16	6	3,7	1,8	3,5	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
17	6	3,4	1,8	3,5	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
18	6	3,6	1,8	3,5	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
19	6	3,6	1,8	3,5	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
20	6	4,0	2,0	4,0	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
21	6	4,4	2,0	4,0	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
22	6	4,5	2,0	4,0	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
23	6	4,6	2,0	4,0	7,5	0,15—0,25	15	20	1,5
24	8	4,4	2,0	4,0	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
25	8	4,5	2,0	4,0	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
26	8	4,6	2,0	4,0	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
27	8	4,6	2,5	4,5	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
28	8	4,6	2,5	4,5	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
30	8	4,4	2,5	4,5	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5
32	8	5,0	2,5	4,5	6,5	0,15—0,25	15	20	1,5

Длина рабочей части развертки и общая длина. В большинстве случаев длина рабочей части и общая длина разверток принимаются по соответствующим стандартам, причем общая длина развертки зависит исключительно от глубины развертываемых отверстий и метода крепления развертки (конус, квадрат и т. д.). Если развертка должна иметь направляющую часть, приходится в общую длину развертки включать кроме необходимой глубины развертывания еще и длину направляющей части. Длину рабочей части развертки рекомендуется делать в пределах 0,8 до 3 диаметров развертки. Чем короче рабочая часть развертки, тем легче развертка режет, но зато резко ухудшается направление развертки в отверстии, а часто и чистота отверстий. В случае хорошего направления развертки в отверстии (наличие направляющей части) можно сокращать длину рабочей части развертки.

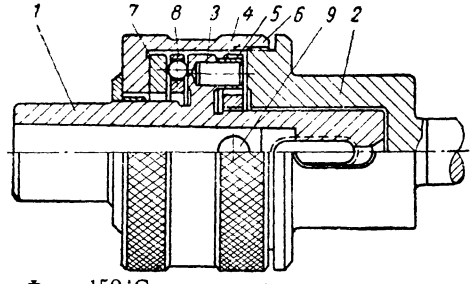
Существуют даже дисковые развертки, которые представляют собой диски с зубьями шириной, равной 0,1—0,2 диаметра развертки, насаживаемые на оправку с направляющей частью.

Для разверток, изготовленных по существующим стандартам, длина рабочей части дается в стандартах.

Элементы крепления развертки. Развертка, как и всякий режущий инструмент, снабжается соединительной частью. Насадные развертки чаще всего имеют конусное отверстие с конусностью 1 : 30 и дополнительно торцевую шпоночную канавку. Хвостовые машинные развертки имеют обычно конусный хвостовик с лапкой, который вставляется в соответствующее гнездо шпинделя или специального патрона, или могут иметь цилиндрический хвостовик. Ручные развертки снабжаются на конце хвостовика квадратом для работы воротком.



Фиг. 158. Схема качающегося патрона.



Фиг. 159. Схема плавающего патрона.

Для точной работы развертки очень важно ее правильное закрепление в шпинделе станка[1], которое должно обеспечить наилучшее совпадение оси обрабатываемого отверстия (или кондукторной втулки) и развертки. Жесткое крепление развертки, распространенное на практике, является наименее подходящим, так как приводит к перенесению на развертку всех погрешностей вращения шпинделя станка: его биения, разработки конусного гнезда и т. д. Желательно, чтобы во время работы развертка имела возможность установиться точно по оси кондукторной втулки или по оси предварительно обработанного отверстия. Это требование удовлетворяется при использовании самоустанавливающихся патронов для крепления разверток.

Простейшая схема качающегося патрона с шарнирным соединением при помощи штифта показана на фиг. 158. Благодаря шарнирному соединению качающийся патрон позволяет компенсировать несовпадение оси вращения развертки и оси изделия.

Патроны качающегося типа недостаточно совершенны, так как в различных их положениях развертка по-разному располагается относительно оси отверстия, что приводит к разным размерам последнего.

Кроме качающихся патронов применяются плавающие патроны. Плавающие патроны не имеют недостатков, связанных с перекосом оси

[1] Э. И. Фельдштейн, Развертки. Рациональная эксплоатация режущего инструмента, Машгиз, 1947.

развертки, так как развертка не может качаться, а перемещается перпендикулярно своей оси во всех направлениях.

На фиг. 159 показан плавающий патрон. Корпус *1*, в коническое отверстие которого вставляется развертка, сидит с зазором в расточке хвостовика *2*. В два отверстия во фланце корпуса запрессованы штифты *3*, на которых сидят втулки *4*. Такие же штифты запрессованы в два диаметрально расположенные отверстия на торце хвостовика.

Между корпусом и хвостовиком помещается поводок *5*, представляющий собой кольцо с четырьмя прорезями под втулки *4*. В четырех отверстиях поводка находятся шарики *9*. Крутящий момент передается от хвостовика через поводок корпусу патрона. Корпус, хвостовик и поводок соединяются посредством специальной гайки *6*, которая своей внутренней торцевой поверхностью через упорное кольцо *7* и шариковую обойму *8* сжимает их. Развертка в таком патроне может перемещаться только в направлении, перпендикулярном оси, благодаря чему ось отверстия получается правильной (параллельной оси развертки).

Для получения точных размеров отверстия и правильного расположения его оси необходимо, чтобы развертка получила принудительное направление во время работы. Обычно развертка направляется калибрующей частью зубьев, но когда к направлению и прямолинейности оси отверстия предъявляются особые требования, делают специальную направляющую часть, которая может быть как впереди, так и позади рабочей части развертки. В первом случае диаметр направляющей меньше диаметра рабочей части, во втором случае диаметр направляющей должен быть больше диаметра рабочей части развертки. Развертки, направление которых осуществляется специальными гладкими направляющими, работают лучше и стойкость их выше, так как зубья истираются очень быстро, если направлять их по кондукторным втулкам. Длинные специальные развертки, которые служат для развертывания нескольких отверстий с общей осью (например, корпус коробки скоростей), обязательно должны иметь направляющую часть. Для свободного вращения и перемещения направляющей части в кондукторных втулках следует делать смазочные канавки на направляющей части, иначе возможно заедание и даже поломка развертки.

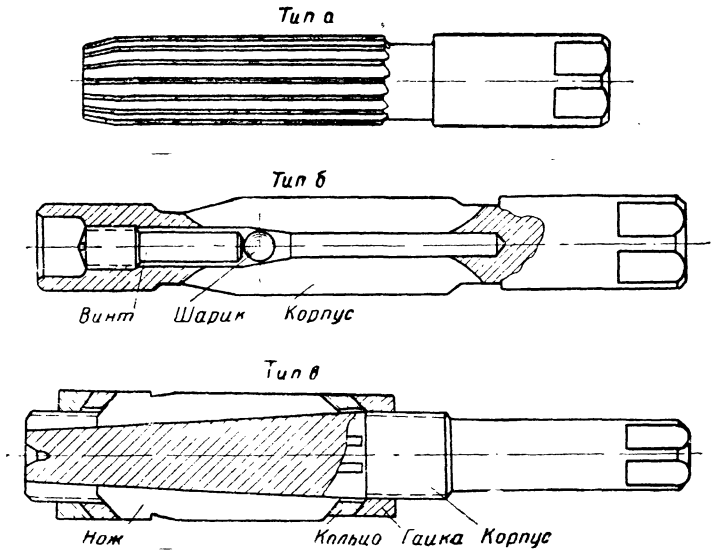
ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ТИПОВ РАЗВЕРТОК

Выше были разобраны конструктивные элементы, общие для всех разверток, но разнообразные типы разверток имеют некоторые специфические особенности конструкции. Перейдем к разбору конструкции основных типов разверток.

Ручные цилиндрические развертки. На фиг. 160 показаны некоторые типы ручных разверток. Простейший тип и наиболее распространенный — цельные цилиндрические развертки с прямыми канавками (тип *а*). Такие развертки изготовляются из углеродистой стали У12А или из хромистой стали 9ХС. В ОСТ 2512-39 приводятся основные размеры цельных ручных разверток. Недостаток таких разверток — невозможность регулирования размера после износа развертки.

На фиг. 160 показаны два типа ручных регулируемых разверток: тип *б* — разжимная развертка с шариком и тип *в* — регулируемая раздвижная.

В корпусе разжимной развертки (тип *б*), изготовленной из стали 9ХС, в центре просверлено отверстие, на одном конце которого нарезана резьба; в глубине отверстие имеет конусную часть. В отверстие развертки вставлен шарик и ввернут регулировочный винт. Если начать ввертывать винт, то он будет нажимать на шарик, который в свою



Фиг. 160. Типы ручных разверток:

а — цельная; *б* — разжимная; *в* — регулируемая раздвижная.

очередь благодаря конусному отверстию будет стремиться разжать стенки отверстия. В средней части корпус развертки снабжен прорезями. По мере вдавливания шарика в отверстие корпус развертки разжимается и увеличивается в диаметре, причем увеличение диаметра происходит только в центральной части развертки.

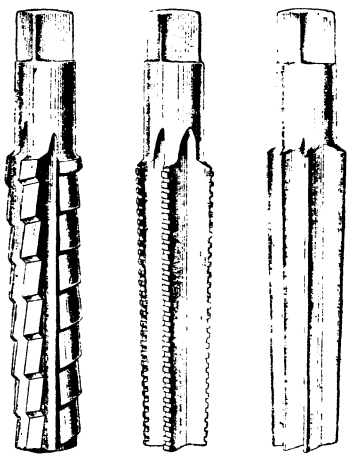
Конструктивные элементы такой развертки рассчитываются аналогично цельным ручным разверткам. Основные размеры разверток установлены ГОСТ 3509-47. Пределы регулирования таких разверток по диаметру небольшие:

| | | |

из инструментальной стали У12А или 9ХС. На торцах ножей имеются скосы под углом.

Для регулирования диаметра развертки достаточно передвинуть ножи вдоль пазов. Если ножи передвинуть ближе к переднему концу, диаметр уменьшится, ближе к хвостовой части — диаметр увеличится. Для перемещения ножей имеются регулировочные гайки с кольцами, которые навинчены на резьбу корпуса и упираются в торцы ножей. Скосы под углом 45° создают при завинчивании гаек усилие, подтягивающее ножи к донышкам пазов.

Регулируемые раздвижные развертки имеют значительные пределы регулирования диаметра от 0,5 до 3 *мм*. Эти развертки очень удобны для ремонтных работ, при которых приходится развертывать отверстия ненормальных (дробных) размеров диаметров.



Фиг. 161. Конические развертки.

Регулируемые ручные развертки изготовляются для отверстий, начиная с 10 до 38 *мм*. Более мелкие развертки очень трудно изготовлять, а более крупные развертки редко используются в качестве ручных.

Развертки для конических отверстий. Для развертывания конических отверстий часто применяют конусные развертки. Чем больше угол конусности, тем труднее развернуть коническое отверстие одной разверткой, и приходится делать несколько разверток. Развертки для конического отверстия работают в более тяжелых условиях, чем цилиндрическая развертка. Если при развертывании цилиндрического отверстия срезание материала сосредоточивается на приемной части, то коническая развертка режет всем своим лезвием и, по сути дела, не имеет калибрующей части, так как режущие кромки по всей длине вступают в работу. Наиболее распространенные конусные развертки для инструментальных конусов показаны на фиг. 161.

В комплект обычно входят три развертки: обдирочная, промежуточная и чистовая. Обдирочная развертка (фиг. 161, *а*) предназначается для снятия значительного припуска; в целях облегчения работы режущая кромка ее делается ступенчатой. На конической образующей поверхности развертки нарезается затылованный винтовой зуб. С целью улучшения условий резания у обдирочных разверток делается передний угол.

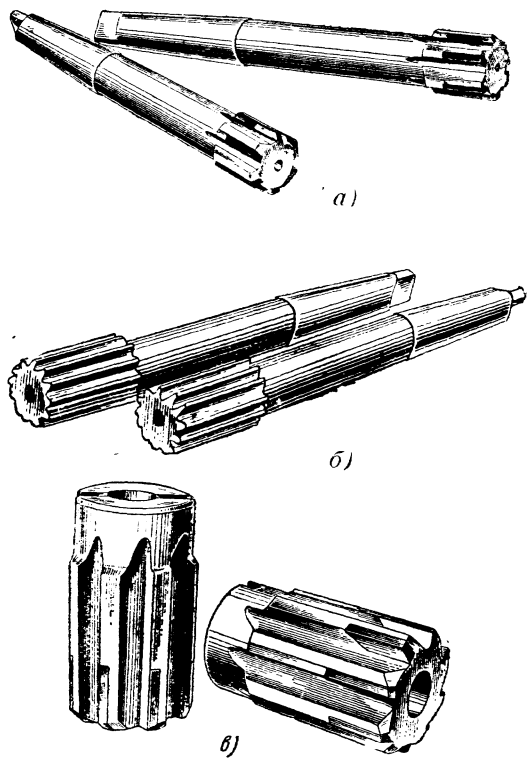
Промежуточная развертка (фиг. 161, *б*) имеет стружкоразделительные канавки, нарезанные в виде резьбы; в зависимости от диаметра шаг этой резьбы различный.

Чистовая развертка (фиг. 161, *в*) имеет прямые зубья по всей длине режущей части. Ленточка на вершинах зубьев делается минимальной

(0,05 *мм*), так как развертка режет всей своей калибрующей частью и при большой ленточке работать не будет.

Машинные цилиндрические развертки. На фиг. 162 изображены машинные цилиндрические развертки. В отличие от ручных разверток машинные развертки обычно имеют более короткую рабочую часть и часто меньшее число зубьев.

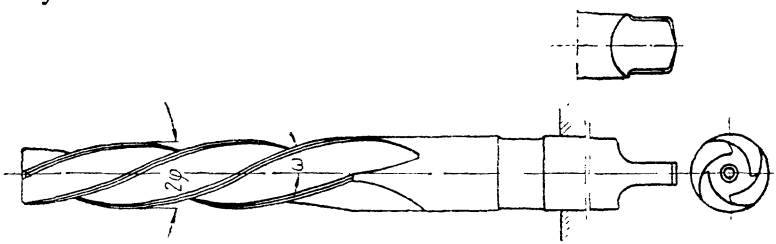
Машинные развертки стандартизованы. Форма и размеры цилиндрических разверток с цилиндрическим хвостом приводятся в ГОСТ В-1673-42. Развертки с коническим хвостом должны выполняться по ГОСТ В-1672-42. К постоянным цельным разверткам могут быть отнесены также машинные развертки с твердыми сплавами. Корпус такой развертки может быть выполнен с коническим хвостом или с цилиндрической зажимной частью. На фиг. 162, *а* показаны машинные развертки с коническим хвостом, оснащенные твердыми сплавами, а на фиг. 162, *б* — сварные из быстрорежущей стали. Начиная с 25—30 *мм*, развертки могут изготовляться не хвостовыми, а насадными. Насадные развертки (фиг. 162, *в*) изготовляются из легированнной инструментальной стали 9ХС или в отдельных случаях из быстрорежущей стали; в последнее время насадные развертки начинают изготовлять большей частью с пластинками твердых сплавов. Изображенные на фиг. 162, *в* насадные развертки в передней части оснащены пластинками твердого сплава. Для обработки чугуна рекомендуется твердый сплав марки ВК6 или ВК8 для обработки стали рекомендуется применять твердые сплавы марки Т15К6.



Фиг. 162. Машинные развертки:
а — с твердым сплавом и коническим хвостом; *б* — сварные из быстрорежущей стали с коническим хвостом; *в* — насадные с твердым сплавом.

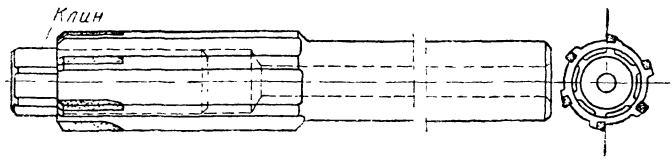
На фиг. 163 показана машинная развертка для котельных работ. Эти развертки предназначены для развертывания отверстия под заклепки в металлических листах, наложенных друг на друга. Котельные развертки снабжаются обычно винтовыми канавками с углом наклона ω около 25°. Заборная часть развертки составляет от $^1/_3$ до $^1/_2$ длины рабочей части.

Угол 2φ принимается от 3 до 5°30′. Направление канавок обратно направлению вращения, поэтому при работе разверткой требуется к пневматической сверлилке или электродрели прилагать значительное осевое усилие.



Фиг. 163. Котельная развертка.

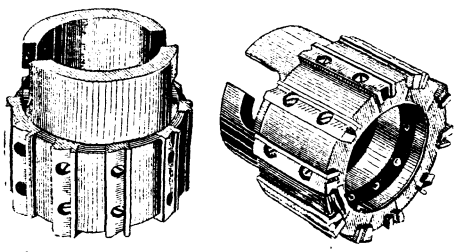
Все перечисленные типы машинных разверток обладают одним общим недостатком: они не могут регулироваться по диаметру по мере износа. Для обеспечения возможности регулирования в настоящее время получают все более и более широкое распространение раздвижные ма-



Фиг. 164. Разжимная развертка с твердым сплавом.

шинные развертки различных конструкций. Их можно подразделить на следующие группы.

1. Разжимные машинные развертки, в которых изменение диаметра производится путем ввинчивания винта с шариком аналогично описанной конструкции ручных разжимных разверток или путем расклинивания развертки. Подобная развертка показана на фиг. 164.

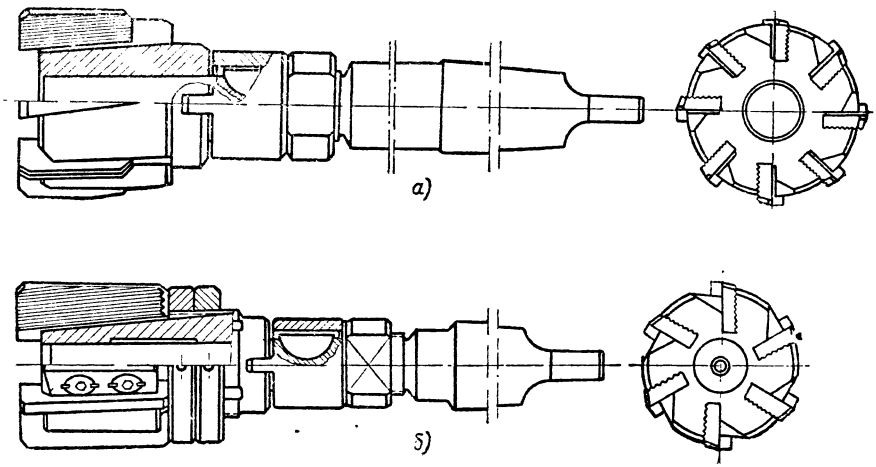


Фиг. 165. Машинные развертки с привинченными ножами.

2. Машинные развертки с привинченными ножами. На фиг. 165 показана насадная машинная развертка с привинченными ножами. В корпусе развертки профрезерованы продольные пазы, в которые вставляются ножи и привертываются к корпусу винтами. Изображенная на фиг. 165 машинная развертка предназначена для обработки отверстия с уступом. Поэтому на торцевой части развертки, как и на цилиндрической ее части, имеются также режущие зубья. Регулирование разверток с привинченными ножами производится за счет тонких прокладок, которые

вставляются в пазы между ножом и корпусом, и затем ножи разверток привертываются к корпусу, после чего развертка обязательно шлифуется по диаметру. Развертки с привинченными ножами имеют основное преимущество в том, что такая развертка может быть изготовлена со сравнительно тонкими стенками и бо́льшим числом зубьев.

3. Машинные регулируемые развертки применяются самых разнообразных конструкций. В ГОСТ 883-46 и 884-46 имеются две конструкции регулируемых машинных разверток. Изображенная на фиг. 166, *а* развертка имеет обычные клиновидные рифленые ножи. Увеличение диаметра раз-



Фиг. 166. Машинные регулируемые развертки:

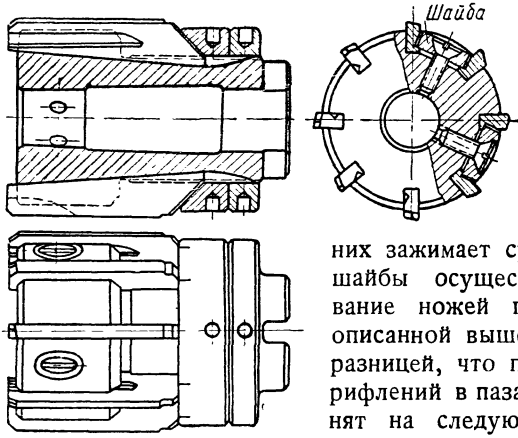
а — с клиновидными рифленными ножами; *б* — с рифленными регулируемыми ножами и эксцентриками.

вертки после износа достигается перестановкой ножей на одно рифление в радиальном направлении. Рекомендует я в таких развертках делать различное расстояние рифлений до дна паза. Переставляя ножи из одного паза в другой, можно увеличить диаметр развертки, так как расстояние от первого рифления до дна паза постепенно увеличивается. В практике чаще делают постоянное расстояние от первого рифления до дна паза, поэтому регулирование развертки производится сразу на целое рифление. После перестановки ножей обязательно нужно прошлифовать развертку по диаметру. Развертка описанной конструкции проста в изготовлении и надежна в работе. Однако неудобство ее регулирования заставляет применять другие более совершенные конструкции.

Развертка, показанная на фиг. 166, *б*, имеет пазы с рифленой задней стороной, в которые вставляются плоские ножи, снабженные также рифлением с одной стороны; ножи упираются своими торцами в регулировочные кольца. Благодаря тому что рифления наклонены к оси развертки под углом 5°, можно увеличить диаметр развертки, передвигая нож вдоль оси корпуса. Это достигается вращением регу-

лировочных гаек. Закрепление ножей в пазах корпуса осуществляется специальными эксцентричными зажимными кулачками. Поворачивая такой кулачок ключом, мы зажимаем нож за счет того, что боковая поверхность кулачка отшлифована по архимедовой спирали.

Эта конструкция разверток может применяться для хвостовых и насадных машинных разверток. При хорошем исполнении конструкция вполне надежна, однако трудности изготовления заставляют отказываться от применения таких разверток. Машинная насадная развертка, изображенная на фиг. 167, более проста по конструкции. В корпусе развертки профрезерованы наклонные пазы с гладкими параллельными стенками. В них вставляются плоские ножи, которые могут быть изготовлены из быстрорежущей стали или из инструментальной стали 9ХС, с припаянными пластинками твердого сплава. Ножи зажимаются в пазах шайбами, причем каждая из них зажимает сразу два ножа. Зажим самой шайбы осуществляется винтом. Регулирование ножей происходит так же, как и в описанной выше конструкции, с той только разницей, что поскольку развертка не имеет рифлений в пазах, нож не может быть поднят на следующее рифление. Регулировочные кольца также передвигаются по резьбе. Для удобства регулирования такие развертки часто снабжают делениями. При повороте на определенное деление диаметр развертки увеличивается на определенную величину. Для обработки точных отверстий ножи развертки после регулирования должны быть обязательно прошлифованы по диаметру и заточены.



Фиг. 167. Сборная насадная развертка с креплением ножей втулками и винтами.

В последнее время ВНИИ МСС и ряд других организаций производят опыты по изготовлению регулируемых машинных разверток с механическим креплением ножей из твердого сплава.

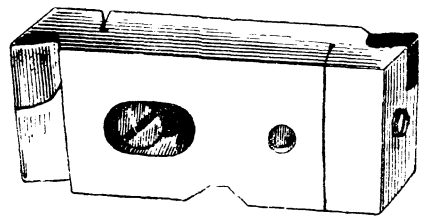
Если машинная раздвижная развертка предназначена для развертывания сквозного отверстия, то ее режущая часть обычно затачивается под углом 45°, а цилиндрическая часть имеет сравнительно небольшую длину. Обратная конусность машинной развертки должна быть большей, чем у ручных разверток, так как неточности на станках могут привести к значительной разбивке отверстий.

Ниже приводится рекомендуемая длина рабочей части машинных разверток:

Диаметр развертки в *мм*	3—6	7—11	12—17	18—34	35—50
Длина рабочей части в *мм*	12—18	18—22	25	28—30	35—40

Машинные развертки с раздвижными ножами обычно имеют ножи, расположенные под углом $\omega = 3^\circ$ к оси. Но имеются машинные развертки, зубья которых расположены параллельно оси, а также развертки с зубьями, расположенными попеременно под разными углами. Последние развертки, имеющие раскосые зубья, могут изготовляться с равномерным шагом и дают хорошие результаты по чистоте обработанного отверстия.

Кроме описанных разверток имеется много конструкций различных специальных разверток, снабженных направляющей частью.

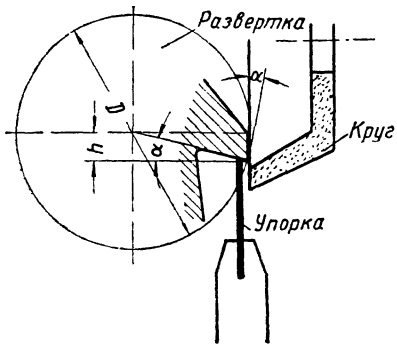


Фиг. 168. Плавающая регулируемая развертка с пластинками твердого сплава.

Число зубьев машинной развертки в зависимости от условий работы может быть принято различным. Например, в показанной на фиг. 168 развертке имеется всего 2 зуба. Работа такой плавающей развертки требует хорошей установки на специальном расточном станке. Плавающие развертки могут быть выполнены в виде регулирующихся по диаметру пластин, вставляемых в борштангу. На фиг. 168 показана плавающая развертка с твердым сплавом. Развертка должна быть вставлена в расточную оправку — борштангу.

ЗАТОЧКА РАЗВЕРТОК

Развертка является чистовым инструментом, поэтому к заточке ее предъявляются особые требования. Режущие кромки развертки должны быть очень чисто обработаны. Чистота поверхности режущих кромок развертки должна быть не ниже 8—9-го класса чистоты. У развертки должен быть заточен задний угол и должна быть заточена передняя грань зуба. Вначале затачивается передняя грань зуба. Заточка производится на универсально-заточном станке.



Фиг. 169. Схема затачивания развертки по задней грани.

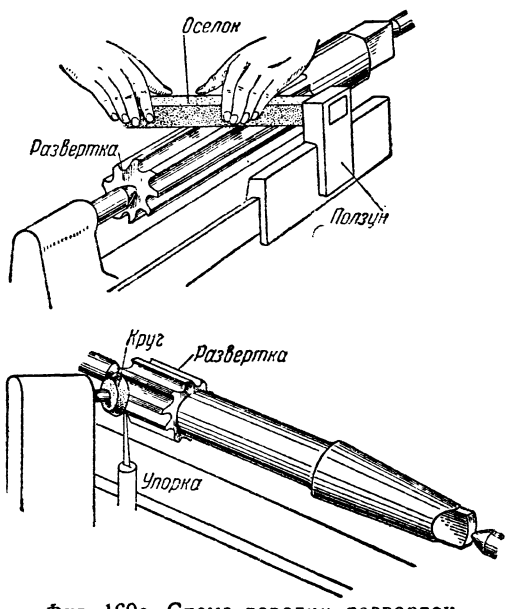
С целью получения чистой поверхности следует применять мелкозернистые шлифовальные круги. Заточка по передней грани должна предшествовать шлифованию развертки. Заточенная по передней грани развертка шлифуется по наружному диаметру на круглошлифовальном станке. Станки для шлифования разверток должны быть в хорошем состоянии: при шлифовании не должно быть овальности, конусности, дробления. Отшлифованная по наружному диаметру развертка затачи-

вается по задней грани (затылку). На фиг. 169 изображена схема установки развертки при заточке ее по задней грани. Хвостовая развертка устанавливается непосредственно в центрах станка, а насадная насаживается на оправку, устанавливаемую также в центрах станка. Передней поверхностью зуба развертка опирается на упорку. Высота упорки должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы на развертке получить задний угол α.

Из фиг. 169 видно, что упорка должна быть снесена относительно центра развертки на величину h, которая находится по известной формуле

$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha.$$

Для заточки по задней грани необходимо правильно выбрать шлифовальный круг. Заточку следует производить чашечным кругом. Если развертка изготовлена из быстрорежущей или инструментальной стали, для заточки применяется круг зернистостью 80, твердостью СМ1—СМ2 Если развертка оснащена пластинками твердого сплава, для заточки следует брать круг из зеленого или черного карбида кремния зернистостью 46—60, твердостью М3 — СМ1. После заточки развертка подвергается доводке. Доводка может производиться или при помощи специальных мелкозернистых кругов из зеленого карбида кремния,или доводочными чугунными дисками с абразивной пастой; можно для доводки применять приспособление (фиг. 169а) и производить доводку при помощи оселка.



Фиг. 169а. Схема доводки разверток.

Развертка устанавливается в центрах этого приспособления, оселок устанавливается на специальном ползуне и вручную передвигается вдоль оси развертки. Оселок должен быть установлен по отношению к зубу развертки под заданным задним углом. Для этой цели оселок может быть перемещен вместе с ползуном вертикально. Лучше доводку разверток производить на специальном точном доводочном станке чашечным кругом, как показано на фиг. 169а внизу. Станок по своей схеме такой же, как и заточный станок. Развертка устанавливается в центрах, опирается передней поверхностью на упорку; доводочный круг устана-

вливается на шпинделе станка. С целью получения лучшей чистоты доводки ось круга по отношению к оси развертки рекомендуется устанавливать под углом 3°. Зернистость и твердость доводочного круга для доводки разверток из быстрорежущей и легированной стали выбирается обычно в следующих пределах: зернистость 120—200, твердость С—СМ1. Для доводки ручных разверток можно применять также механическую обработку оселками на специальном станке (метод сверхдоводки или суперфиниш). Для доводки разверток с твердыми сплавами, по данным ВНИИ МСС, можно применять доводочный диск с пастой из карбида бора зернистостью 170—230, а для особо тонкой доводки — зернистостью до 325.

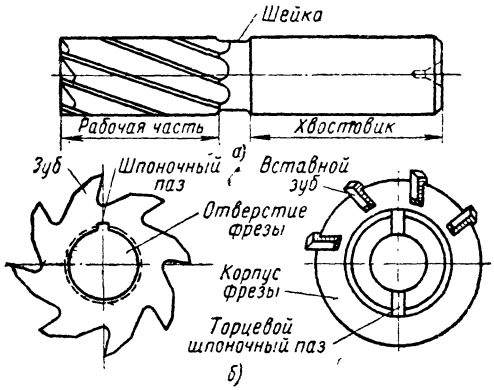
ГЛАВА IX

ФРЕЗЫ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Фреза представляет собой тело вращения, на образующей поверхности которого или на торце имеются зубья. При вращении зубья последовательно один за другим вступают в работу и снимают стружку.

Каждый зуб фрезы можно рассматривать как отдельный резец, вращающийся относительно оси. Фреза имеет несколько зубьев, благодаря этому процесс фрезерования значительно производительнее обработки поверхности на строгальных станках.



Фиг. 170. Части фрезы:
а — концевая (хвостовая) фреза; *б* — насадная фреза;

Части фрезы. На фиг. 170,*а* показаны основные части фрезы.

Рабочая часть — часть фрезы, снабженная зубьями с режущими кромками.

Хвостовик — часть фрезы, предназначенная для крепления (у концевых фрез).

Шейка — промежуточная часть между рабочей частью и хвостовиком.

Зуб — выступающая часть, снабженная режущими кромками; зуб, изготовленный отдельно, носит название вставного.

Отверстие у насадных фрез (фиг. 170, *б*) служит для крепления на оправке.

Шпоночный паз служит для передачи крутящего момента. Корпус фрезы — часть, в которой закрепляются зубья.

Типы фрез. Фрезы применяются во всех отраслях металлообрабатывающей промышленности для обработки различных поверхностей. Принято подразделять фрезы на основные группы.

По конструкции зубьев:

1) фрезы с остроконечными (острозаточенными) зубьями;

2) фрезы с затылованными зубьями.

По виду поверхности, на которой нанесены зубья:

1) фрезы цилиндрические с зубьями на цилиндрической поверхности;

2) фрезы торцевые с зубьями на торцевой поверхности;

3) фрезы дисковые трехсторонние и двухсторонние с зубьями на трех или двух сторонах;

4) фрезы угловые с зубьями на конической поверхности;

5) фрезы фасонные с зубьями на фасонной поверхности тела вращения.

По способу закрепления фрезы на шпинделе фрезерного станка:

1) фрезы концевые с коническим или цилиндрическим хвостовиком;

2) фрезы насадные, имеющие отверстия для установки и закрепления на оправке.

По конструкции:

1) фрезы цельные, изготовленные из одного куска металла;

2) фрезы составные, состоящие из отдельных частей;

3) фрезы комплектные, работающие комплектом из нескольких штук;

4) фрезы сборные со вставными зубьями.

По форме зуба:

1) фрезы с прямыми идущими вдоль оси зубьями;

2) фрезы с винтовыми зубьями;

3) фрезы с разнонаправленными (раскосыми) зубьями.

По форме обрабатываемой поверхности:

1) фрезы для обработки плоскостей (они могут быть как торцевые, так и цилиндрические);

2) фрезы для обработки пазов и шлицев — пазовые или шлицевые фрезы (они могут быть дисковыми или концевыми);

3) фрезы для обработки фасонных поверхностей (они могут быть цилиндрическими, дисковыми, концевыми; к этим фрезам относятся также резьбовые и зуборезные фрезы);

4) фрезы для обработки тел вращения;

5) фрезы для разрезки металлов (пилы).

По направлению винтовых канавок:

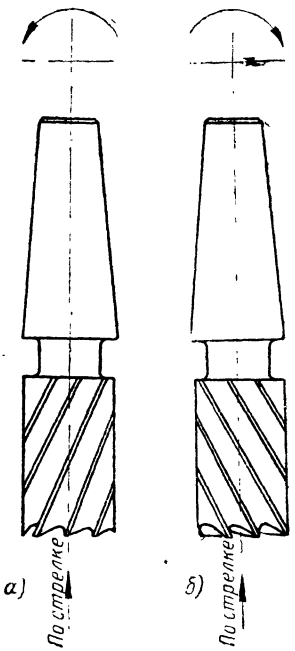
1) фрезы с правыми винтовыми канавками;

2) фрезы с левыми винтовыми канавками.

По направлению вращения:

1) фрезы праворежущие (фиг. 171, *а*);

2) фрезы леворежущие (фиг. 171, *б*).

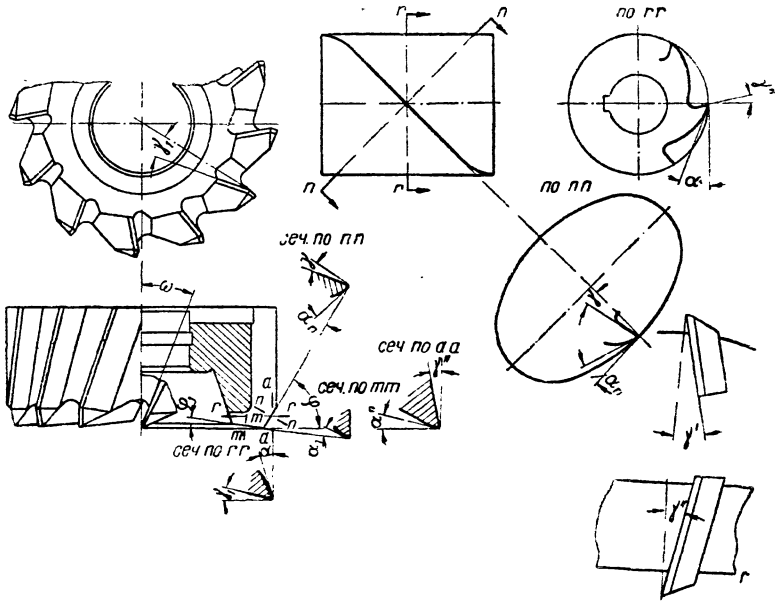


Фиг. 171. Праворежущая (*а*) и леворежущая (*б*) фреза.

Праворежущими называют такие фрезы, которые (если смотреть на торец фрезы спереди станка) вращаются против часовой стрелки. Леворежущими — такие, которые при тех же условиях вращаются по часовой стрелке.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ФРЕЗЫ

На фиг. 172 показаны геометрические параметры режущей части фрезы, определяемые по ГОСТ 3235-46: α — главный задний угол; α_n — задний угол нормальный; α_1 — задний угол торцевой; α'' — задний угол продольный; γ — главный передний угол; γ_1 — передний угол поперечный; γ'' — передний угол продольный; φ — главный угол в плане



Фиг. 172. Геометрические параметры режущей части фрез.

угловой кромки; φ_0 — главный угол в плане переходной кромки; φ_1 — вспомогательный угол в плане; λ — угол наклона режущей кромки; ω — угол наклона винтовой канавки.

Задний угол. Задний угол зависит от режима резания и определяется характером износа режущей кромки зуба фрезы. Чем больше задний угол, тем меньше трение и тем меньше износ, но зуб становится хрупким.

В ГОСТ 2321-43 даны рекомендуемые значения задних углов для различных условий работы. Проф. М. Н. Ларин рекомендует пользоваться для определения заднего угла следующей формулой:

$$\sin \alpha_n = \frac{c}{a_{0,3}^{max}},$$

где α_n — задний угол;

c — постоянный коэфициент, который принимается при обработке чугуна равным 0,1, стали — 0,13;

a_{max} — максимальная толщина стружки, соответствующая подаче на зуб s_z или

$$\sin\alpha_n = \frac{c}{s_z^{0,3}}.$$

Задний угол α на главной режущей кромке может быть пересчитан на нормальное сечение по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha_n = \operatorname{tg}\alpha \sin\varphi,$$

где φ — главный угол в плане.

Передний угол γ следует принимать в зависимости от усадки стружки, типа фрезы и свойств обрабатываемого материала. Зная коэфициент усадки стружки, можно определить угол γ (по данным ГОСТ 2321-43 для фрез из быстрорежущей стали):

при коэфициенте усадки до 0,45 . . . . . $\gamma = 20°$
» » » свыше 0,45 до 0,55 . . . . . $\gamma = 15°$
» » » » 0,55 . . . . . $\gamma = 10°$

Угол наклона ω является важным углом торцевой фрезы. С изменением этого угла изменяется передний угол в нормальном сечении. Угол ω обеспечивает равномерность фрезерования и особенно плавность, так как уменьшается мгновенная ширина стружки.

Одним из важнейших углов торцевой фрезы является угол в плане главной режущей кромки φ, определяющей собой форму и сечение стружки.

Для определения зависимости между углами: γ в нормальном сечении, углом наклона ω и углом γ_1 существует формула

$$\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\omega\cos\varphi + \operatorname{tg}\gamma_1 \sin\varphi.$$

По этой формуле, зная ω, φ и γ_1, можно определить γ в нормальном сечении.

При конструировании фрез величины углов следует принимать по ГОСТ 2321-43.

Разделим все фрезы на две основные группы — фрезы с остроконечными и с затылованными зубьями—и рассмотрим их конструктивные особенности.

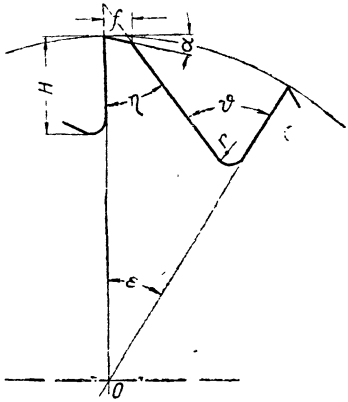
ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Фрезы с остроконечными зубьями позволяют производить заточку в основном по задней грани. Преимущества остроконечных зубьев следующие:

1) высокая стойкость;
2) простота изготовления (кроме фасонных фрез);
3) чистота обработанной поверхности.

Остроконечная форма зуба получила широкое применение главным образом для фрез общего назначения. В области фасонных фрез такая форма зуба также получает применение, несмотря на некоторую слож-

ность заточки. По данным сравнительных исследований, стойкость фрез с остроконечным зубом в 1,5—3 раза выше стойкости фрез с затылованным зубом. Поэтому целесообразно там, где только возможно, применять остроконечные фрезы, даже если это вызывает необходимость изготовления специальных приспособлений для заточки. Например, при фрезеровании канавок сверл передовые заводы применяют остроконечные фрезы. Практика показала, что применение фасонных фрез с остроконечными зубьями для этой цели значительно повышает производительность, а в сочетании с фрезерованием по подаче дает чистую поверхность обрабатываемой детали.



Фиг. 173. Остроконечный зуб фрезы ($\gamma = 0°$).

Типы остроконечных зубьев. На практике применяются три типа остроконечных зубьев.

Первый тип — трапецоидальная форма зуба[1] (фиг. 173). Канавка и зуб ограничены центральным углом: зуб — углом η, канавка — углом ϑ. Эта форма проста в изготовлении, но зуб несколько ослаблен. Заточка производится только по задней грани. В результате заточки уменьшаются высота зуба H и объем канавки для помещения стружки. Для того чтобы уменьшение высоты зуба не сказалось резко на уменьшении объема канавки, приходится делать угол η острым. Но уменьшение угла η влечет за собой снижение прочности зуба в начальный период использования фрезы. После переточки зуб становится прочнее за счет уменьшения высоты H. Долговечность таких фрез невелика, так как они допускают небольшое количество переточек (6—8). У фрез, предназначенных для легких работ, эта форма зуба распространена широко. Междузубая впадина обязательно должна быть закруглена во избежание появления трещин при термической обработке. При конструировании фрез на рабочем чертеже должны быть указаны все элементы профиля зуба: 1) угол зуба η; 2) центральный угол ε; 3) угол впадины (или канавки) ϑ; 4) высота зуба H; 5) радиус закругления впадины r; 6) ширина фаски f; 7) углы лезвия α и γ.

Определим эти элементы.

На фиг. 173 изображен остроконечный зуб фрезы первого типа с передним углом $\gamma = 0$.

Угол η практически принимают от 45 до 50°.

Угол зуба η и впадины ϑ связаны между собой.

Из фиг. 173 ясно, что $\vartheta = \eta + \varepsilon$. Угол ε можно определить по формуле $\varepsilon = \frac{360°}{z}$.

Зная углы ε и η, можно определить необходимый угол ϑ.

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.

В целях сокращения количества применяемых канавочных фрез практически установлены следующие значения угла ϑ: 45°, 50°, 55°, 60° и т. д. через 5° до 110°.

Формула для определения ϑ справедлива не только при условии $\gamma = 0$, но и при других значениях угла γ, отличных от нуля.

У фрез с винтовыми зубьями ориентировочный расчет угла ϑ можно также производить по этим формулам, однако, следует помнить, что число зубьев z, по которым подсчитывается угол ε, не будет соответствовать действительному числу зубьев фрезы. В этом случае учитывается число зубьев z_i, называемое часто идеальным числом зубьев. Его можно определить по формуле

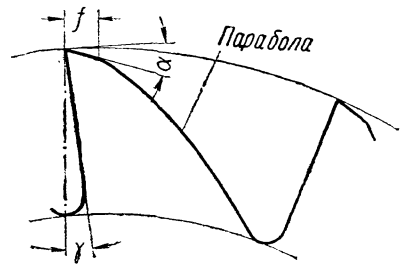
$$z_i = \frac{z}{\cos^3 \omega},$$

где z_i — идеальное число зубьев, т. е. то число зубьев, которое имела бы фреза, если бы радиус ее был равен радиусу кривизны эллипса, полученному от пересечения фрезы плоскостью, наклоненной под углом наклона винтовых канавок; ω — угол наклона винтовых канавок; z — число зубьев фрезы. Определив z_i, можно определить ε в нормальном сечении по формуле

$$\varepsilon = \frac{360^\circ}{z_i}.$$

После определения углов γ_1 и ϑ можно найти высоту зуба H по формуле

$$H = \frac{D}{2}[(1 - \cos\varepsilon) + \sin\varepsilon \operatorname{ctg}\vartheta].$$



Фиг. 174. Остроконечный параболический зуб (второй тип).

Фактическая величина H будет несколько меньше полученной по формуле, так как в этой формуле радиус r и фаска f не учитываются.

Радиус зуба r принимается, в зависимости от размеров зуба, от 0,5 до 2 *мм*. Фаска f принимается, в зависимости от размера зуба, от 1 до 2 *мм*. Задний угол затачивается только по фаске, но часто (для облегчения заточки) зуб затачивается не доостра, у кромки оставляется ленточка шириной от 0,05 до 0,1 *мм*. Чем меньше эта ленточка, тем меньше будет трение, поэтому там, где это возможно, лучше затачивать зубья наостро.

Второй тип остроконечного зуба показан на фиг. 174. Особенностью зуба является параболическая форма его задней поверхности. Эта форма определяется из условия равнопрочности всех сечений зуба на изгиб.

Если передний угол γ не равен нулю, то форма зуба несколько отходит от параболы, однако близка к ней.

Параболическая форма является самой рациональной формой зуба, однако она сложна при изготовлении, так как для каждого отдельного профиля зуба требуется сложная фасонная канавочная фреза. По-

этому на практике чаще всего применяется при тяжелых работах третий тип остроконечного зуба (фиг. 175). Задняя затылочная часть этого зуба образована двумя поверхностями: вначале фрезеруется впадина фрезой с углом ϑ, затем снимается дополнительный затылок под углом ϑ_1. При изготовлении зубьев этой формы инструмент (рабочие фрезы) получается более простой и дешевый по сравнению с параболической формой задней поверхности, однако при фрезеровании приходится делать два прохода. Зуб третьего типа строится таким образом, чтобы получить приближенно форму, близкую к параболической. Для определения угла ϑ_1 используется общая формула (см. стр. 236), затем строятся второй угол ϑ, обычно равный 60—65°, и радиус закругления r. При конструировании следует вычерчивать зуб. Такая графическая проверка расчетных данных совершенно необходима.

Разберем отдельные типы фрез с остроконечными зубьями.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Цилиндрическими фрезами принято называть фрезы, у которых образующая зуба лежит на цилиндрической поверхности. Такие фрезы применяются для фрезерования плоскостей.

Цилиндрические фрезы с прямыми зубьями в настоящее время почти не применяются из-за неравномерности работы, так как зубья по всей длине фрезы сразу вступают в работу, вызывая тем самым резкое возрастание усилия резания. Колебание усилий служит причиной дрожания. Поэтому фрезы с прямыми зубьями небольшой длины применяются только как дисковые пазовые.

Винтовые зубья позволяют получить более выгодные условия резания. Усилие при входе зуба возрастает постепенно, поэтому фреза работает плавно, без дрожания и ударов и дает более чистую поверхность. Эти фрезы получили широкое распространение. Когда угол наклона винтовой канавки ω принимается бо́льшим, фрезы при работе дают большие осевые усилия. Для поглощения усилия работают сдвоенными фрезами, имеющими правое и левое направления винтовых канавок.

В целях экономии быстрорежущей стали фрезы диаметром выше 75 *мм* изготовляются сборной конструкции со вставными ножами. Цилиндрические фрезы изготовляются в основном насадными с отверстиями для крепления на оправке. Хвостовые цилиндрические фрезы с винтовыми канавками применяются в отдельных случаях, например, для фрезерования сквозных пазов.

Основные конструктивные элементы цилиндрических фрез. Диаметр фрезы D — очень важный конструктивный элемент. От диаметра зависят отвод тепла, толщина стружки, число зубьев, форма зубьев и диаметр отверстия.

При определении диаметра цилиндрической фрезы следует учитывать, что большой диаметр фрезы дает некоторые преимущества:

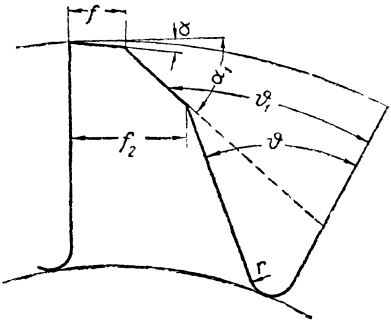
а) можно применить оправку большого диаметра, которая позволит увеличить нагрузку на фрезу и будет более жесткой;

б) можно лучше разместить зубья фрезы, а также увеличить число их, благодаря этому при одинаковой подаче на каждый зуб производительность (минутная подача) возрастает;

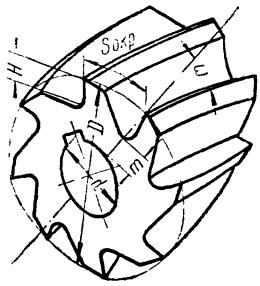
в) улучшается отвод тепла, выделяющегося при резании, так как увеличивается дуга контакта при соприкосновении с обрабатываемой деталью; кроме того, более крупная фреза лучше отводит тепло.

Но, с другой стороны, при увеличении диаметра появляются следующие недостатки:

а) увеличение диаметра приводит к расходованию большого количества инструментальной стали, так как расход металла увеличивается



Фиг. 175. Остроконечный зуб фрезы (третий тип).



Фиг. 175а. Конструктивные элементы цилиндрической фрезы.

пропорционально квадрату диаметра; в особенности это имеет значение для цельных фрез;

б) увеличивается крутящий момент и, следовательно, расход энергии на фрезерование;

в) увеличивается время на врезание фрезы.

Эти недостатки заставляют часто, несмотря на преимущество большого диаметра, выбирать для фрез наименьший возможный диаметр.

Если обозначить диаметр отверстия под оправку d, толщину тела фрезы m и высоту зуба H (фиг. 175а), то диаметр фрезы можно определять по формуле

$$D = d + 2m + 2H.$$

Диаметр оправки d можно рассчитать, исходя из усилий, действующих на фрезу. Оправка будет испытывать сложное сопротивление изгиба и кручения. Диаметр ее может быть определен по формуле расчета прочности вала при одновременном действии изгиба и кручения

$$M_c = 0{,}35M_b + 0{,}65\sqrt{M_b^2 + (\eta \cdot M_d)^2},$$

где M_b — изгибающий момент сил, действующих на оправку;

M_d — крутящий момент, действуюший на оправку;

η принимается равным 1.

Для определения изгибающего момента M_b и крутящего момента M_d необходимо построить эпюру сил, действующих на оправку, при этом

можно считать, что оправка одним концом неподвижно защемлена в шпинделе станка, а другим концом лежит на свободной опоре. Силы, действующие на фрезу, можно определить по формулам, приводимым в курсе учения о резании.

Правила построения эпюр излагаются в курсах сопротивления материалов.

Однако на практике расчет диаметра оправки производится редко. Чаще всего при конструировании фрез для определения диаметра оправки используют данные, полученные практическим путем (табл. 37).

Таблица 37

Диаметр оправки в зависимости от диаметра фрезы

Диаметр цельных фрез в *мм*	Диаметр сборных фрез в *мм*	Диаметр оправки в *мм*	Диаметр цельных фрез в *мм*	Диаметр сборных фрез в *мм*	Диаметр оправки в *мм*
40	—	16	90—110	110	40
50	60	22	130	130	50
60	75	27	150	150	60
75	90	32			

Из табл. 37 следует, что диаметр цилиндрической фрезы приблизительно в 2,5—3 раза больше диаметра оправки.

Когда несколько фрез устанавливается на одну длинную оправку (комплектом), рекомендуется максимально увеличивать диаметр оправки с тем, чтобы сохранить ее жесткость.

Окружной шаг зубьев. Под окружным шагом мы понимаем расстояние между вершинами соседних зубьев, измеренное по дуге окружности наружного диаметра фрезы (см. фиг. 175а). Если обозначить шаг зубьев $S_{окр}$, получим

$$S_{окр} = \frac{\pi \cdot D}{z},$$

где D — диаметр фрезы;

z — число зубьев фрезы.

В зависимости от назначения фрезы разделяются на крупнозубые, т. е. фрезы с большим шагом и небольшим числом зубьев, и мелкозубые, т. е. фрезы с малым шагом и большим числом зубьев.

Фрезы с крупным шагом обладают следующими преимуществами:

а) зуб получается более прочным;

б) крупный зуб лучше отводит теплоту от режущей кромки;

в) крупный зуб допускает бóльшее число переточек;

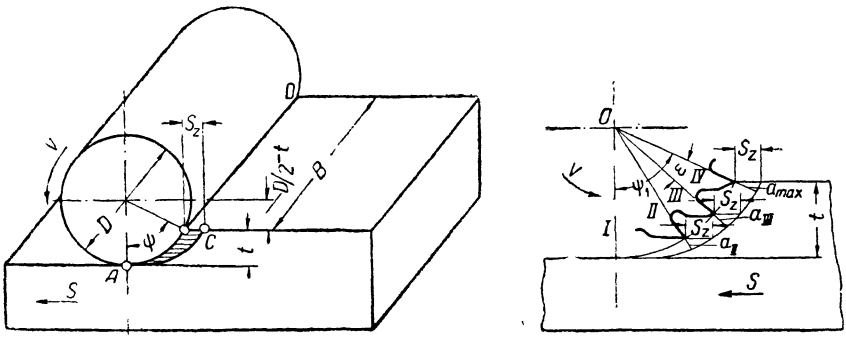
г) впадины между зубьями имеют бóльший объем для помещения стружки;

д) при фрезеровании фрезой с крупным зубом (при прочих равных условиях) увеличивается толщина стружки, что ведет к снижению удельного давления, а следовательно, к уменьшению усилий, действу-

ющих на фрезу. Но, с другой стороны, к недостаткам фрез с крупным прямым зубом следует отнести менее плавную работу.

Эти соображения заставляют применять в основном крупный зуб, а мелкий зуб — только при чистовых работах. При конструировании окружной шаг лучше всего определять вычерчиванием.

У фрез со вставными зубьями следует проверить $S_{окр}$ из условий осуществления возможности крепления зубьев в корпусе фрезы. Поэтому при определении шага зубьев сборных фрез обязательно прочертить зуб в натуральную величину и обеспечить достаточные геометрические размеры зуба.



Фиг. 176. Элементы фрезерования цилиндрической фрезы.

Число зубьев, находящихся в контакте с изделием при работе фрезы с прямым зубом, определяется следующим образом.

Если известны глубина фрезерования t и диаметр фрезы D, то можно определить угол контакта ψ (фиг. 176) по формуле

$$\cos\psi = \frac{D-2t}{D}$$

или, сократив, получим

$$\cos\psi = 1 - \frac{2t}{D}.$$

Определим центральный угол ε между двумя соседними зубьями:

$$\varepsilon = \frac{360^\circ}{z}.$$

Зная угол контакта ψ и центральный угол между зубьями ε, можно определить число одновременно работающих зубьев (чаще называют эту величину коэфициентом одновременности) $\frac{\psi}{\varepsilon} = \xi$.

Подставив в это выражение значение центрального угла $\varepsilon = \frac{360^\circ}{z}$ и решив относительно z, получим

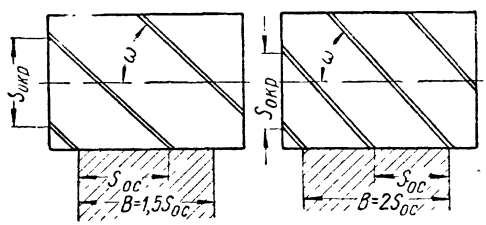
$$z = \frac{360 \cdot \xi}{\psi}.$$

Для спокойной работы фрезы число одновременно работающих зубьев должно быть не меньше двух, т. е. $\xi \geqslant 2$.

Если подставить ранее найденные значения ψ и ξ, получим формулу для определения числа зубьев:

$$z \geqslant \frac{360^\circ \cdot 2}{\arccos\left(1 - \frac{2t}{D}\right)}.$$

Все эти рассуждения относятся к фрезам с прямыми зубьями. Для фрез с винтовыми зубьями соотношения будут несколько иные. Неравномерность фрезерования в этом случае зависит не только от числа зубьев фрезы z, диаметра D, глубины резания t, но и еще от двух факторов, а именно: от угла наклона винтовых канавок ω и от ширины фрезерования B. В самом деле, если рассмотрим фрезерование фрезой с винтовыми зубьями, то увидим, что в работе могут находиться меньше двух зубьев, но плавность все равно будет достаточна. На фиг. 177 показаны схемы резания фрезой с винтовыми зубьями. Для создания условий равномерного фрезерования необходимо, чтобы усилие резания оставалось постоянным по величине в течение всего процесса фрезерования. Этому условию удовлетворяет цилиндрическая фреза с винтовыми зубьями только в том случае, если ширина фрезерования B будет равна или кратна осевому шагу S_{oc}, т. е. $B = CS_{oc}$, где C равно целому числу (см. фиг. 177 справа).



Фиг. 177. Схема резания фрезой с винтовыми зубьями.

В формуле $B = CS_{oc}$ выразим S_{oc} через $S_{окр}$ и угол ω, тогда $S_{oc} = S_{окр} \operatorname{ctg} \omega = \frac{\pi D}{z} \operatorname{ctg} \omega$. Подставив это значение в формулу, получим

$$C = \frac{B \cdot z}{\pi \cdot D \operatorname{ctg} \omega}.$$

Мы видим, что для получения равномерной работы необходимо так подобрать величины B, D, ω и z, чтобы C было целым числом.

Отсюда

$$z = \frac{C \cdot \pi \ D \operatorname{ctg} \omega}{B}.$$

Из этой формулы, зная B, D, угол ω и задавшись определенным коэфициентом кратности C, найдем число зубьев z (для фрезы с винтовыми зубьями).

В практике все эти данные не всегда известны конструктору, поэтому существует ряд эмпирических формул, позволяющих определить число зубьев. Такие формулы имеют вид $z = m\sqrt{D}$, где D — диаметр фрезы, m — коэфициент, зависящий от условий работы и требуемой конструкции фрезы.

Значения коэфициентов m приведены ниже.

Назначение фрезы и ее тип	m
Фрезы с крупным зубом цельные с углом ω до 30°	1,05
„ „ мелкими зубьями цельные с углом $\omega = 15 \div 20°$ . . .	2
„ „ крупным зубом сборные с углом $\omega = 20°$	0,9
„ „ „ „ „ „ „ $\omega = 45°$	0,8
„ „ „ „ с углом $\omega = 55 \div 60°$	0,5

По данным проф. М. Н. Ларина число зубьев определяется в зависимости от принятых режимов резания по следующей формуле:

$$z = \frac{0{,}2\,D}{t_{max}^{0,5} \cdot s_{z\,max}^{0,5}},$$

где D — диаметр фрезы в *мм*;

t_{max} — максимальная глубина фрезерования;

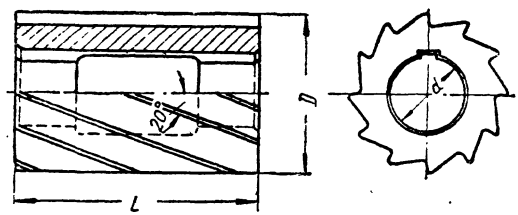
$s_{z\,max}$ — максимальная намеченная подача в *мм/зуб*.

Эта формула достаточно точна для цилиндрических концевых, дисковых и шлицевых фрез.

Разберем конструирование отдельных типов цилиндрических фрез.

Обзор применяемых конструкций цилиндрических фрез

Цилиндрические фрезы с мелким зубом (фиг. 178) применяются для различных чистовых и получистовых работ. Они не пригодны для обдирочных работ, так как имеют небольшой шаг зубьев и, следовательно, небольшой объем канавки для помещения стружки. Габаритные размеры и основные элементы конструкции фрез приведены в ГОСТ 3752-47.



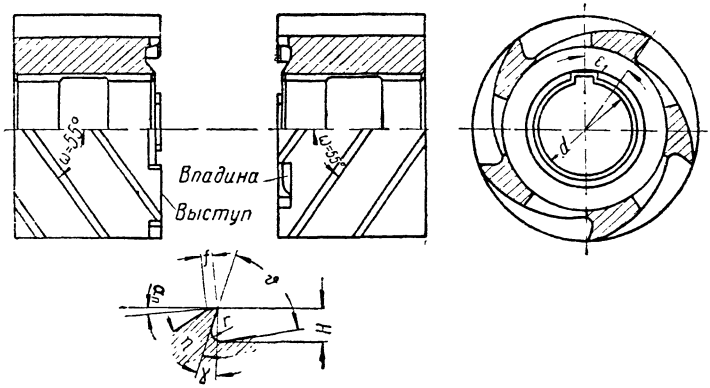
Фиг. 178. Цилиндрическая фреза с мелким зубом.

Диаметр фрез принимается от 40 до 90 *мм*. Для всех размеров фрез установлено правое направление канавок (в отдельных случаях допускается левое); рекомендуется угол наклона винтовых канавок $\omega = 20°$. Благодаря тому, что угол ω взят 20°, фрезы дают небольшое осевое усилие и поэтому могут устанавливаться по одной штуке на оправку. Элементы профиля зуба принимаются различными в зависимости от назначения. Для общих работ по стали и чугуну в машиностроении рекомендуются следующие углы в нормальном сечении: передний угол 15°, задний угол 16°.

Цилиндрические фрезы снабжаются отверстием со шпоночным пазом для надевания на цилиндрическую оправку. Отверстие выполняется по ГОСТ 4020-48.

Цилиндрические фрезы с крупным зубом имеют меньшее число зубьев и угол $\omega = 30 \div 45°$. Диаметр, длина фрез и диаметр отверстий такие же, как у фрез с мелким зубом.

Угол зуба η принимается 50° в сечении, нормальном к винтовой линии. Угол рабочей фрезы $\vartheta = 60 \div 55°$ принимается в зависимости от диаметра заготовки (для меньших диаметров выбирается больший угол). Высота зуба $H = (0{,}3 \div 0{,}4)\, S_{окр}$. Радиус впадины r — в пределах 2 — 3 *мм*. Геометрические параметры следующие: при обработке мягкой стали и стали средней твердости передний угол $\gamma = 15 \div 16°$, задний угол α принимается до 10—14°. Поскольку угол ω принимают у фрез бо́льшим (30—45°) при эксплоатации фрез, необходимо обеспечить восприятие осевого усилия, которое достигает значительной величины. Влияние осевого усилия можно исключить применением сдвоенных фрез.



Фиг. 179. **Сдвоенные цилиндрические фрезы.**

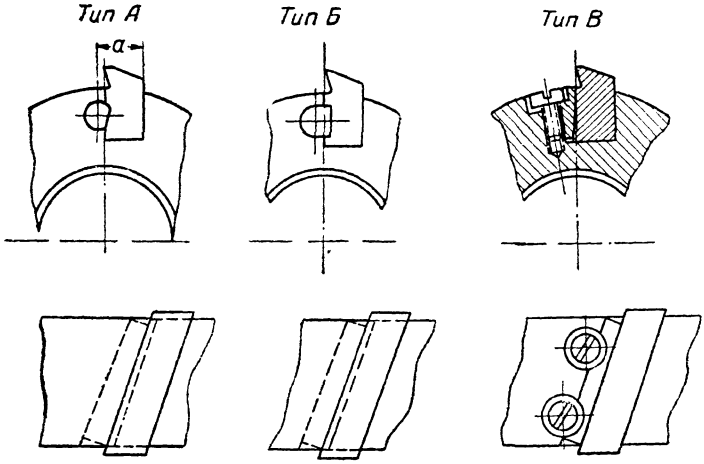
Сдвоенные (составные) фрезы. На фиг. 179 изображены две фрезы, которые могут работать только в комплекте. Они снабжены правыми и левыми винтовыми канавками. Несмотря на большой угол наклона (ω до 55°), осевые усилия правой и левой фрезы во время работы уравновешиваются, так как они направлены в разные стороны.

В комплект входят две фрезы — правая и левая; в месте стыка фрез предусматривается перекрытие режущих кромок одной фрезы режущими кромками другой. Для этой цели на торце каждой фрезы делаются выступы и впадины. Выступы одной фрезы входят во впадины другой фрезы (см. фиг. 179), и таким образом осуществляется перекрытие. Для того чтобы выступы приходились против соответствующих впадин, необходимо строго выдерживать угол ε_1, под которым должна располагаться шпоночная канавка по отношению к зубьям. Число зубьев выбирается для таких фрез небольшим (4—6). Профиль криволинейного зуба соответствует второй форме (см. фиг. 174); высота зуба $H = (0{,}15 \div 0{,}5) S_{окр}$. Угол зуба $\eta = 50 \div 52°$ (в нормальном сечении). Угол рабочей фрезы ϑ принимается от 75 до 60° в зависимости от диаметра фрезы.

Передний угол γ выбирается в зависимости от обрабатываемого материала. При обработке сталей средней твердости он принимается (в нормальном сечении) в пределах 12—14°. Задний угол α_n прини-

мается равным 8°. В канавке делается радиус $r = 3{,}5 \div 4$ *мм*, который гарантирует отсутствие трещин при закалке. В настоящее время цельные цилиндрические фрезы с крупным зубом и сдвоенные фрезы почти не выпускаются, так как получили широкое распространение сборные, более экономичные конструкции фрез.

Сборные цилиндрические фрезы. Для всех перечисленных цилиндрических фрез характерно то, что они насадные и изготовлены цельными из одного куска быстрорежущей стали. В целях снижения расхода



Фиг. 180. Типы крепления ножей у сборных цилиндрических фрез.

дорогостоящей и дефицитной быстрорежущей стали цилиндрические фрезы, начиная с диаметра 75 *мм* и выше, необходимо изготовлять сборной конструкции. Сборные фрезы обеспечивают также повышенный срок службы корпуса фрез, так как корпус фрезы после износа и замены одного комплекта ножей может быть использован несколько раз с другими комплектами.

Термическая обработка сборных фрез также облегчается, так как термическая обработка ножей, имеющих небольшое сечение, значительно проще, чем обработка цельной массивной фрезы.

Общим недостатком для всех сборных конструкций является повышенная трудоемкость изготовления по сравнению с цельными и, кроме того, меньшая жесткость.

Крепление ножей в корпусе фрезы может быть осуществлено различными способами. Рассмотрим несколько конструкций.

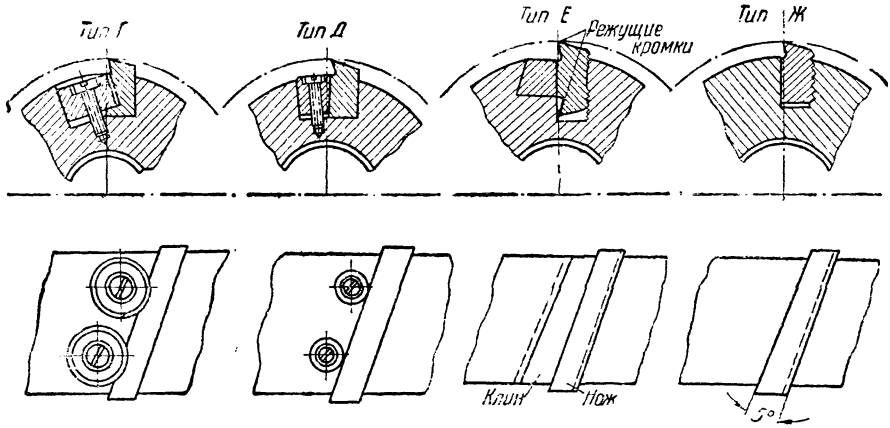
Крепление ножа с помощью цилиндрического штифта с лыской, срезанной под углом (фиг. 180, тип *А*). Нож плоский, с гладкими сторонами, и основанием вставляется в паз, профрезерованный в корпусе фрезы.

В корпусе имеются отверстия под штифты, причем для обеспечения надежного закрепления ножа расстояние a от центровой линии отвер-

стия под штифт до задней опорной стенки паза должно быть выдержано точно, в противном случае при запрессовке штифта последний будет или проходить глубоко, или выступать за торец фрезы. Угол лыски у штифта принимается 3 или 5°.

К недостаткам конструкции относится трудность обработки отверстия под штифт, а также невозможность регулировки фрезы по диаметру после переточки.

Крепление зуба с помощью клина, расположенного вдоль оси ножа (фиг. 180, тип *Б*). Конструкция в основном повторяет приведенную выше. Отличие заключается в небольшом упрощении изготовления паза в корпусе, так как такая форма позволяет



Фиг. 181. Типы крепления ножей у сборных цилиндрических фрез.

вместо сверления отверстия под штифты производить протягивание или фрезерование паза под клин.

Крепление ножа с помощью радиального клина и винта (фиг. 180, тип *В*). Нож в этой конструкции плоский с параллельными сторонами. Паз в корпусе имеет трапециевидное сечение. Нож закрепляется клином. После забивания клина он закрепляется винтами имеющими цилиндрические головки. Необходимо обеспечить при изготовлении фрезы точное расположение оси винтов по отношению к задней стенке паза.

Крепление ножа с помощью втулки и винта (фиг. 181, тип *Г*). Нож — плоский. Паз в корпусе снабжен гнездами для втулки. Последние крепятся винтами. Аналогична этой конструкции конструкция со срезанными втулками (фиг. 181, тип *Д*).

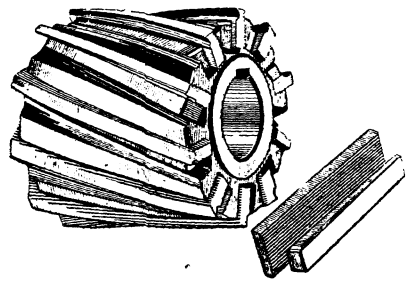
Все перечисленные конструкции обладают одним общим недостатком, а именно: после переточки не позволяют производить увеличения диаметра фрезы выдвижением ножа в радиальном направлении.

В перечисленных ниже конструкциях этот общий недостаток в той или иной мере устраняется и этим повышается срок службы комплекта ножей, тем самым более рационально используется быстрорежущая сталь

Крепление двухсторонних ножей с помощью осевого клина (фиг. 181, тип *Е*). Эта конструкция дает возможность после стачивания одной режущей кромки перевернуть нож в пазу другой режущей кромкой и продолжать работу. Крепление ножей осуществляется клином и довольно надежно. Однако форма двухуглового клина и изготовление паза под такой клин сложны.

Недостатком является невозможность применения конструкции на мелких диаметрах фрез (практически фрезы с таким креплением ножей можно выпускать, начиная с диаметра 200 *мм*).

Крепление ножей клиновидной формы в пазах, снабженных рифлением (фиг. 181, тип *Ж*). Эта конструкция крепления надежна. В СССР имеются два стандарта: ГОСТ 2569-44 на фрезы цилиндрические со вставными ножами (с углом наклона ножей $\omega = 20°$) и ГОСТ 1979-43 на фрезы цилиндрические сборные составные (с углом наклона ножей $\omega = 45°$), в которых рекомендуется изготовление сборных цилиндрических фрез с клиновидными ножами, снабженными рифлениями.



Фиг. 182. Конструкция цилиндрической фрезы завода „Фрезер".

Рифления позволяют производить регулировку диаметра фрезы при переточках.

Недостатком этой конструкции, несмотря на ее простоту (всего две детали — нож и корпус), является клиновидная форма ножа, требующего сложного технологического процесса для получения заготовок (штамповка, ковка), особенно если учесть, что изготовление ножей производится из быстрорежущей стали, которая при ковке и штамповке склонна к образованию трещин. Это резко снижает практическую ценность конструкции, так как получается высокий процент брака при ковке или штамповке ножей.

На заводе „Фрезер" недавно принято крепление ножа[1], имеющего рифление с одной стороны, с помощью гладкого клина (фиг. 182). *Паз в корпусе клиновидной формы; одна стенка паза снабжена* продольными рифлениями. В паз вставляется плоский нож, имеющий рифленую опорную поверхность. Нож закрепляется в пазу корпуса гладким клином с углом 3°. При переточке нож может быть переставлен на одно или несколько рифлений, и тем самым диаметр фрезы сохраняется.

По сравнению с приведенными выше конструкциями эта конструкция имеет ряд преимуществ.

По сравнению с конструкциями типов *А*, *Б*, *В*, *Г*, *Д* (см. фиг. 180 и 181) она допускает увеличение диаметра фрезы и срока службы ножа путем перестановки ножа на рифлениях.

[1] Предложено инж. Г. А. Алексеевым, А. И. Барсовым и И. Ф. Фесечко.

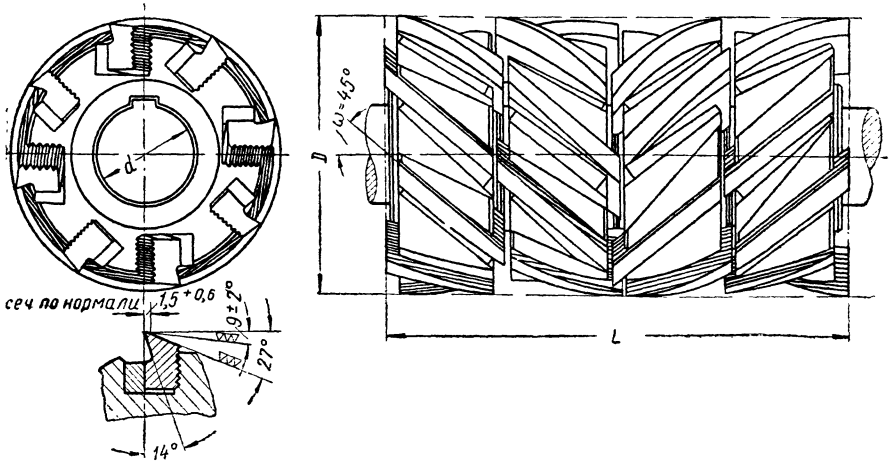
По сравнению с конструкцией типа *Е* (см. фиг. 181) эта конструкция позволяет упростить изготовление паза клина и ножа, так как нет необходимости делать сложный профиль паза и, кроме того, благодаря большой компактности она допускает изготовление фрез, начиная с диаметра 75 *мм*, что невозможно при конструкции по типу *Е* фиг. 181.

По сравнению с конструкцией типа *Ж* (см. фиг. 181) имеется ряд преимуществ.

1. Резко уменьшается расход быстрорежущей стали на комплект ножей (на 20—35%).

2. Упрощается технология изготовления запасных ножей.

Недостатком этой конструкции по сравнению с типом *Ж* (фиг. 181) является несколько повышенная трудоемкость изготовления корпуса и



Фиг. 183. Цилиндрические сборные фрезы с углом 45°.

клиньев. Но если учесть, что корпус и клинья служат долго, то этот недостаток полностью компенсируется упрощенной технологией ножей.

Благодаря углу наклона винтовых канавок при резании возникает осевое усилие. Для того чтобы обеспечить спокойную работу, рекомендуется так устанавливать фрезу, чтобы осевое усилие было направлено в сторону шпинделя фрезерного станка, имеющего, как правило, упорные подшипники.

Фрезы с углом $\omega = 20°$ дают сравнительно небольшое осевое усилие, поэтому возможно при эксплоатации устанавливать одну фрезу. Фрезы с углом наклона $\omega = 45°$ (фиг. 183) дают значительные осевые усилия и поэтому должны устанавливаться так, чтобы по возможности уравновесить осевое усилие. Для этой цели фрезы выполняются составными с разным направлением винтовых канавок и устанавливаются на оправку станка комплектом. Количество фрез в комплекте принимается различным в зависимости от требуемой ширины и диаметра фрез.

Как для фрез с углом 20°, так и для фрез с углом 45°, предназначенных для обработки стали средней твердости, передний угол γ

в сечении, нормальном режущей кромке зуба, принимается 14—16°; задний угол α_n в том же сечении принимается равным 9—11°. При заточке фрезы допускается ленточка по цилиндру до 0,1 *мм*.

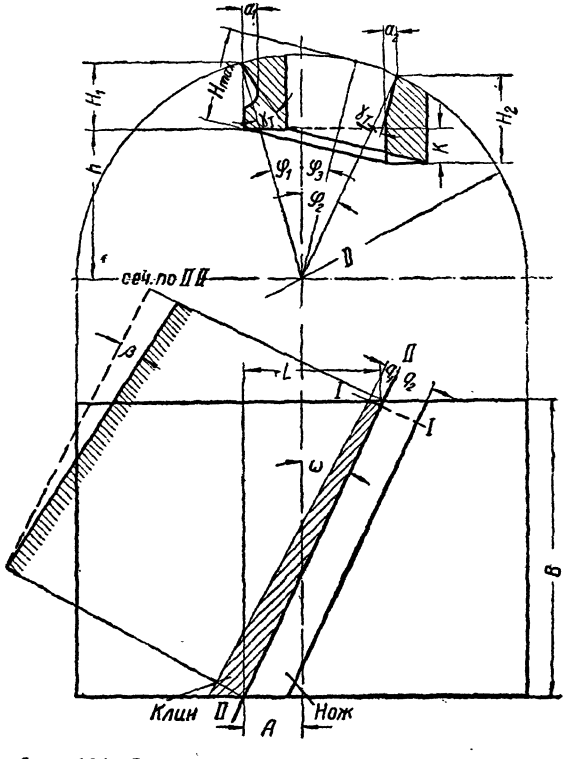
Корпуса фрез должны изготовляться из стали 40Х, ножи изготовляют из быстрорежущей стали.

Расчет цилиндрических сборных фрез конструкции завода „Фрезер"

При конструировании фрезы необходимо обеспечить такое расположение ножа, *при котором величина слоя, стачиваемого при переточках* (a_1 и a_2, фиг. 184), будет одинаковой у обоих торцов ножей, при этом остающееся тело ножа должно быть также одинаковым. Величина смещения ножа с оси (размер A), обеспечивающая такое расположение ножа, определяется графически, путем пробных построений. После того как найдена величина A, производится расчет основных размеров ножа и клина.

Расчет элементов ножа. На фиг. 184 показан один нож в корпусе фрезы. Смещения ножа A в горизонтальной плоскости и h — в вертикальной плоскости получены графическим путем. Угол наклона β дна паза в сечении II—II определен графическим путем. Угол ω задан при конструировании фрез (для одинарных цилиндрических фрез он принимается равным 20°, для составных—45°). Передний угол γ_T в торцевом сечении фрез получается пересчетом переднего угла γ в нормальном сечении по формуле

$$\operatorname{tg}\gamma_T = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\cos\omega}.$$



Фиг. 184. Схема расчета размеров ножа сборной фрезы.

Длина фрезы B и диаметр D также заданы. Требуется определить размеры ножа H_1, H_2 и H_{max}.

Из фиг. 184 следует

$$H_1 = \frac{D}{2}\cos\varphi_1 - h,$$

где угол φ_1 определяется по формуле

$$\sin\varphi_1 = \frac{2A}{D}.$$

Аналогично определим высоту H_2:

$$H_2 = \frac{D}{2}\cos\varphi_2 - h + k$$

или

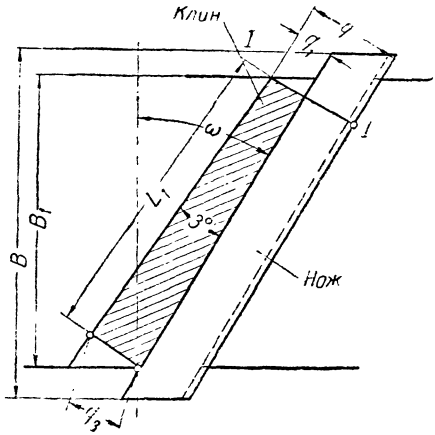
$$H_2 = \frac{D}{2}\cos\varphi_2 - h + \frac{B}{\cos\omega}\operatorname{tg}\beta;$$

угол φ_2 найдем из отношения

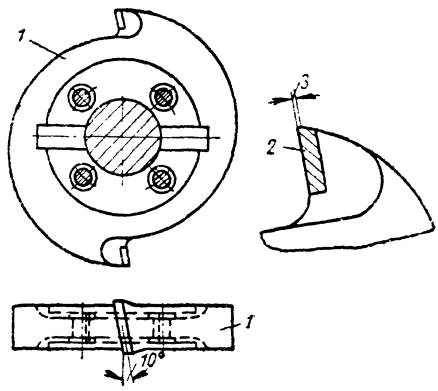
$$\sin\varphi_2 = \frac{2(L + a_2 - A)}{D};$$

пренебрегая величиной a_2 и считая $L = B\operatorname{tg}\omega$, получим

$$\sin\varphi_2 = \frac{2(B\operatorname{tg}\omega - A)}{D}.$$



Фиг. 185. Определение толщины клина и ножа.



Фиг. 186. Фреза для скоростной обработки легких сплавов.

Размер H_{max} определяем по формуле

$$H_{max} = \left[\frac{D}{2}\cos\varphi_3 - h + \left(\frac{D}{2}\sin\varphi_3 + A\right)\operatorname{tg}\varphi_3\right]\cos\varphi_3.$$

Угол φ_3 найдем из отношения

$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\cos(90 - \omega)}.$$

Определение размеров паза производится следующим образом (фиг. 185). В сечении *I—I* задаемся толщиной ножа и клина. Размер ширины паза q определится

$$q = q_1 + q_2 - \Delta,$$

где q_1 — толщина клина; q_2 — толщина ножа; Δ — натяг.

Натяг Δ необходим при забивании клина, так как последний (за счет упругих деформаций паза или ножа) может пройти глубже. Во всех конструкциях с клиновидным креплением натяг Δ принимается в пределах 0,2— ,4 *мм* (большие величины натяга принимаются для более коротких ножей, меньшие — для более длинных).

Определение размеров клина. На фиг. 185 показано клиновое закрепление ножа в корпусе фрез. Ширину корпуса принимают $B_1 = (B - 10)$ *мм*, где B — ширина фрезы. Длина клина L_1 определится

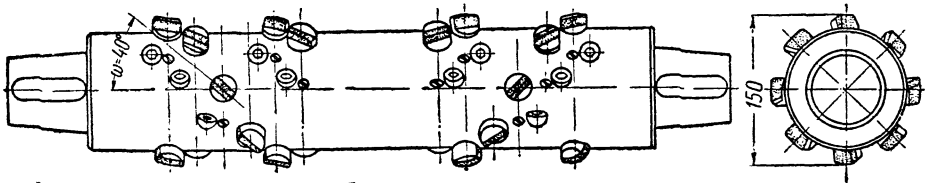
$$L_1 = \frac{B_1}{\cos\omega} - q_1 \operatorname{tg}\omega = \frac{B-10}{\cos\omega} - q_1 \operatorname{tg}\omega.$$

Полученную по формуле длину L_1 следует уменьшить на 2—3 *мм* и сделать клин короче. Зная длину клина, легко определить наибольшую толщину клина

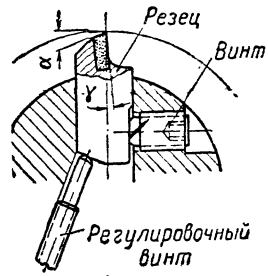
$$q_3 = L_1 \operatorname{tg} 3° + q_1.$$

Цилиндрические фрезы, оснащенные твердыми сплавами

Цилиндрические фрезы, оснащенные твердыми сплавами, не получили еще широкого применения. Однако попытки применения их при обработке легких сплавов показали хорошие результаты. Они применяются на специальных жестких горизонтально-фрезерных станках для фрезерования деталей самолетов. На фиг. 186 показана такая фреза с двумя зубьями, оснащенная твердым сплавом.



Фиг. 187. Цилиндрическая сборная фреза с ножами, оснащенными твердым сплавом (конструкция ГЗФС).



В последнее время начинают применять цилиндрические фрезы, оснащенные твердыми сплавами, для обработки стали[1] (фрезерование контура поковок паровозных дышел). Горьковский завод фрезерных станков применил для этой цели фрезы, изображенные на фиг. 187. Корпус фрезы изготовлен из конструкционной стали. В корпусе в шахматном порядке просверлены радиальные отверстия, в которые вставляются отдельные ножи фрезы *и закрепляются винтами.*

ТОРЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Цилиндрические фрезы служат для обработки плоских поверхностей и снабжены зубьями, расположенными на цилиндрической поверхности. Плоскость можно обработать также и торцевой фрезой, зубья которой расположены на торце. По сравнению с цилиндрическими фрезами торцевые фрезы имеют ряд преимуществ, а именно:

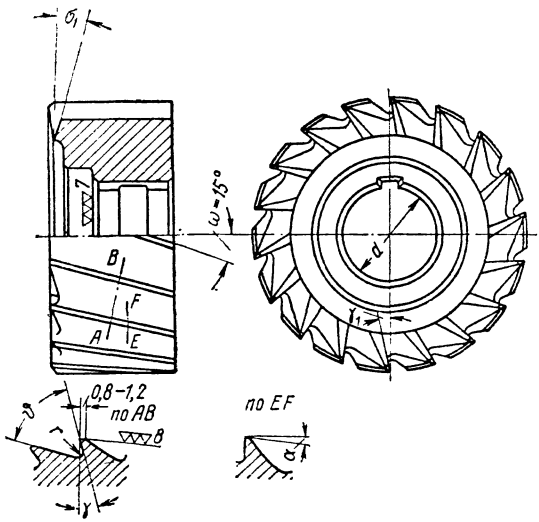
1) торцевые фрезы позволяют применять пластинки твердого сплава и перевести обработку на скоростные методы, что в цилиндрических фрезах менее удобно и трудно;

[1] См. С. И. Игнатов, Н. В. Ольховский, журнал „Станки и инструмент" № 1, 1950.

2) торцевые фрезы дают возможность обеспечить удобное размещение и надежное крепление отдельных ножей, поэтому чаще изготовляются сборными;

3) торцевые фрезы позволяют получить плавную работу даже при незначительных припусках на изделие, так как угол контакта с изделием у торцевых фрез не зависит от величины припуска, а зависит от ширины фрезерования и диаметра фрезы.

Эти и ряд других преимуществ обусловили широкое распространение и развитие конструкций торцевых фрез. В настоящее время большинство работ по фрезерованию плоскостей выполняется торцевыми фрезами.



Фиг. 188. Торцевая цельная фреза с мелким зубом.

Перейдем к разбору особенностей конструкции наиболее распространенных типов торцевых фрез.

Торцевые цельные фрезы с мелким зубом. На фиг. 188 показана такая фреза. Она предназначена для обработки плоскостей, а также стенок пазов. Фреза имеет кроме торцевых кромок длинные режущие кромки, расположенные на цилиндрической части. Диаметр фрезы D, диаметр отверстия d и ширина фрезы определены стандартом. Предусмотрены по ГОСТ 3753-47 фрезы с мелким зубом, которые дают чистую поверхность и служат для чистовых и получистовых работ. Число зубьев фрез с мелкими зубьями определяется по формуле

$$z = 2\sqrt{D},$$

где D — диаметр фрезы в *мм*.

Геометрические параметры фрез для общих работ рекомендуются следующие: задний угол $\alpha = 12 \div 14°$; передний угол $\gamma = 15°$.

Эти фрезы изготовляются только цельными, так как изготовление их сборными ввиду большого количества зубьев затруднительно. На шпинделе станка или оправке они закрепляются гайкой, которая входит в выточку на переднем торце фрезы. Для передачи крутящего момента служит шпоночный паз. Форма зуба на цилиндрической части фрезы принимается по типу *I* (см. фиг. 173). Угол впадины ϑ выбирается в зависимости от диаметра и числа зубьев; у больших фрез он меньше. Как на цилиндрической части, так и на торце впадины зубьев должны быть закруглены во избежание появления трещин; радиус закругления

принимается у фрез с мелким зубом в пределах 0,8—1,0 *мм*. Ширина фаски f принимается в пределах 1,0—1,5 *мм*. Зубья затачиваются обычно наостро; допустимо оставлять ленточку не более 0,03—0,05 *мм*. Угол наклона зубьев ω делается обычно 15°. Наличие торцевых зубьев не позволяет увеличивать угол ω, так как угол ω является в то же время передним углом для зубьев, расположенных на торце фрезы.

На рабочем чертеже торцевой цельной фрезы должен быть указан угол дна торцевого паза, обозначенный на чертеже фрезы (фиг. 188) через σ_1. Определение этого угла обязательно, так как он необходим для технологического расчета угла установки делительной головки.

Определение угла σ_1 производится по следующей формуле[1]:

$$\sin(\sigma_1 + \psi) = \sin\psi \operatorname{ctg}\vartheta_T \operatorname{ctg}\omega_1.$$

Входящие в эту формулу величины ψ, ϑ_T и ω_1 в свою очередь определяются по следующим формулам:

$$\operatorname{tg}\omega_1 = \operatorname{tg}\omega \frac{D-2H}{D}\cos\gamma_2;$$

$$\operatorname{tg}\psi = \operatorname{tg}\varepsilon \sin\omega_1;$$

$$\cos\vartheta_T = \sin\omega_1 \cos\rho + \cos\varepsilon\cos\omega_1\sin\rho,$$

где ω — угол наклона канавок;

D — диаметр фрезы;

H — высота зуба;

ε — центральный угол между зубьями.

Угол γ_2 определяется по формуле

$$\sin\gamma_2 = \sin\gamma\frac{D}{D-2H},$$

где γ — передний угол в нормальном сечении.

Угол $\rho = 90 - (\eta_T + \omega_1)$, где η_T — угол тела торцевого зуба.

Торцевые фрезы с крупным зубом. Для грубых обдирочных работ могут быть применены торцевые фрезы с крупным зубом. Число зубьев фрезы рекомендуется принимать по формуле $z = 1{,}2\sqrt{D}$.

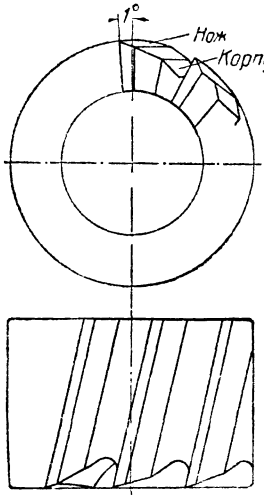
Геометрические параметры такие же, как у фрез с мелким зубом, кроме заднего угла α, который принимается равным 12°. Основные размеры фрез регламентированы ГОСТ 3754-47. Изготовление этих фрез цельными из быстрорежущей стали нецелесообразно ввиду большого расхода материала; лучше изготовлять их сборными. В последнее время многие заводы изготовляют литые торцевые фрезы. Рациональная конструкция сборных фрез показана на фиг. 189.

Корпус фрезы из конструкционной стали снабжен пазами, которые в сечении имеют клиновидную форму с углом между сторонами 1°. В пазы запрессованы каленые плоские ножи из быстрорежущей стали.

[1] Вывод формулы см. статью инж. А. И. Либермана в журнале „Станки и инструмент" № 5, 1936.

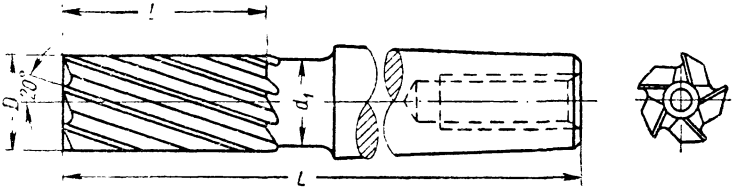
Соединение получается прочным, и после запрессовки пластинчатых ножей фреза шлифуется и затачивается как цельная.

Торцевые концевые фрезы. На фиг. 190 изображена торцевая концевая фреза. Эти фрезы предназначены для фрезерования пазов, различных выемок и могут быть применены в самых разнообразных случаях обработки. Фрезы малого диаметра обычно изготовляются хвостовыми. Хвостовик делают цилиндрическим для закрепления в цанговом патроне и коническим — для закрепления в конусном гнезде шпинделя станка. Фрезы с конусом обязательно должны иметь в хвостовой части отверстие с резьбой и при установке они затягиваются в шпиндель станка специальным винтом. Габаритные размеры фрез установлены ГОСТ 3958-47 и 3959-47.



Фиг. 189. Торцевая фреза с запрессованными ножами.

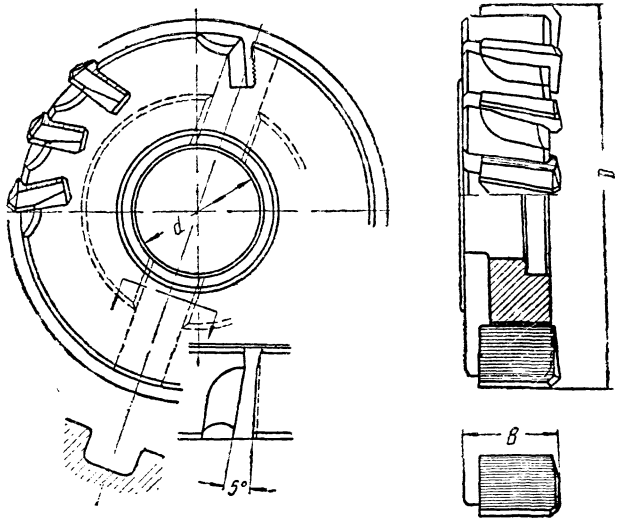
Торцевые фрезы сборных конструкций с ножами из быстрорежущей стали. На фиг. 191 показана конструкция сборной фрезы с клиновидными рифлеными ножами из быстрорежущей стали. Фрезы этой конструкции получили наибольшее распространение. Корпус фрезы, изготовленный из конструкционной стали, снабжен клиновидными пазами. На задней стенке паза нанесены рифления, направленные вдоль паза. Нож имеет форму клина, чаще всего с углом 5°. На одной стороне ножа также имеются рифления. Ударами молотка нож забивается в клиновидный паз и удерживается в корпусе благодаря возникающим силам трения. После стачивания диаметр фрезы можно восстановить перестановкой ножей на следующее рифление.



Фиг. 190. Торцевая концевая фреза с коническим хвостовиком.

Фреза, изображенная на фиг. 192, так же как и предыдущая, состоит из двух деталей — клина и ножа, но отличается от предыдущей тем, что клиновидный нож и паз в корпусе имеют два угла — продольный угол 5° и, кроме того, угол 2°30′, т. е. паз в корпусе расширяется по направлению к дну. Второй угол 2°30′ дает возможность получить дополнительное выдвижение ножа из корпуса при перестановке ножей на следующее рифление. В самом деле, если нож, имеющий один угол 5°, переставить на одно рифление, то он займет положе-

ние *II* (на фиг. 192 заштриховано); вылет его из корпуса не изменится. Если же нож и паз имеют двойной угол (угол 5° и угол 2°30′), то

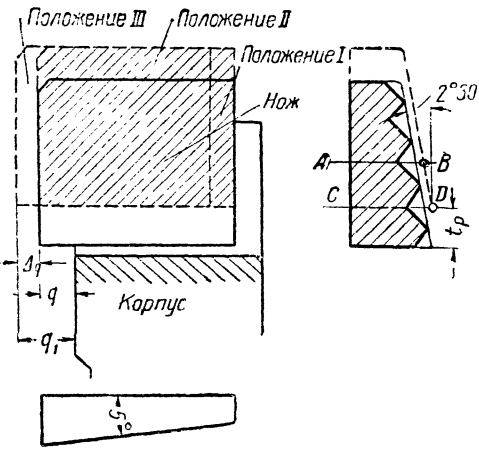


Фиг. 191. Сборная фреза с клиновидными рифленными ножами.

при перестановке на одно рифление нож в корпусе займет положение *III*, и вылет его из корпуса увеличится. Рассмотрим толщину ножа в сечении $C-D$ на уровне первого рифления. При перестановке на одно рифление толщина паза должна уменьшиться, и, следовательно, нож при посадке в корпус войдет в паз на меньшую глубину. Как нетрудно заметить из фиг. 192, вылет q_1 будет больше вылета q на величину Δq, которую можно определить по формуле

$$\Delta q = \frac{t_p \operatorname{tg} 2°30'}{\operatorname{tg} 5°} \approx \frac{1}{2}\, t_p,$$

где t_p — шаг рифлений (обычно равен 1,5 *мм*).



Фиг. 192. Схема выдвижения ножа у фрезы с двойным углом паза (5° и 2°30′).

Недостаток конструкции с двойным клином — сложность изготовления по сравнению с ножом с одним углом, поэтому она получила меньшее распространение. Фрезы с клиновидными рифленными ножами предусмотрены ГОСТ 1092-45 и 3876-47 (насадные фрезы) и ГОСТ 2637-44 (хвостовые фрезы).

Крепление ножей клиньями (фиг. 193) дает возможность использовать материал ножа более рационально, так как допускает выдвижение ножей по торцу на значительную величину, благодаря чему увеличивается число переточек ножей. Нож имеет рифление на опорной поверхности в корпусе фрезы и удерживается клином. Существуют также другие типы крепления — срезанной шпилькой, втулками с винтами и т. д.

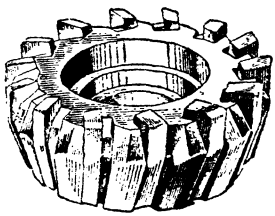
Все перечисленные типы крепления имеют те или иные недостатки и преимущества. Хорошим креплением ножа сборной фрезы считается то, которое обеспечивает:

а) жесткое и надежное закрепление ножа;

б) наибольшее число переточек;

в) простоту изготовления фрезы.

Определение некоторых конструктивных элементов торцевых сборных фрез с клиновидными ножами. Диаметр фрез и диаметр отверстия принимаются по ГОСТ 1092-45. Крепление фрез диаметром до 225 *мм* к шпинделю станка осуществляется с помощью болта с круглой головкой, который завертывается в оправку; на переднем торце корпуса фрезы предусмотрена выточка, в которую входит головка болта. Крутящий момент передается торцевой шпонкой. Фрезы, начиная с 250 до 600 *мм* диаметром, крепятся к шпинделю станка болтами. Габаритные размеры таких фрез принимаются по ГОСТ 3876-47.



Фиг. 193. Сборная торцевая фреза с ножами, закрепленными отдельными клиньями.

Число зубьев фрезы определяется графическим путем с тем, чтобы оставался достаточно прочный выступ в корпусе. В табл. 38 приведены число зубьев и диаметр отверстия фрез с ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 1092-45.

Таблица 38

Диаметр фрезы в *мм*	Диаметр отверстия в *мм*	Число зубьев	Ширина фрезы в *мм*	Диаметр фрезы в *мм*	Диаметр отверстия в *мм*	Число зубьев	Ширина фрезы в *мм*
75	27	10	34	150	50	16	41
90	32	10	37	175	50	18	41
110	40	12	39	200	50	20	41
130	40	14	39	225	50	22	41

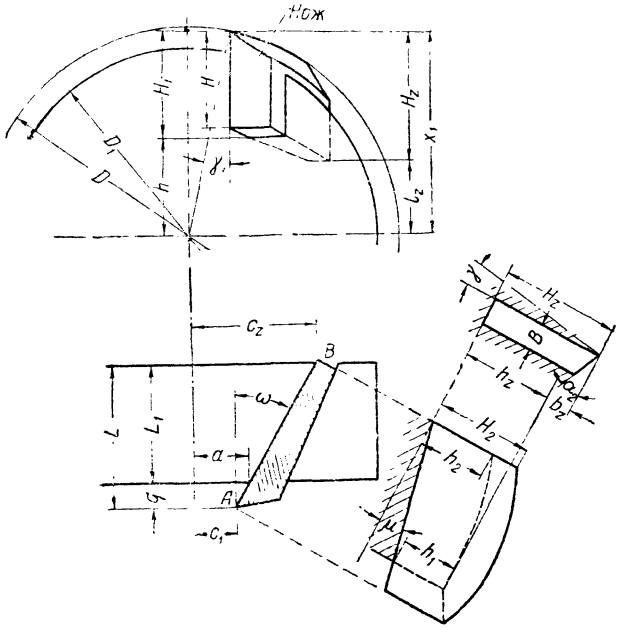
Нож фрезы затачивают в основном по периферии, так как всю работу резания выполняют кромки, расположенные на цилиндрической поверхности. Поэтому рифление сделано в осевом направлении. После нескольких переточек ножи переставляют на 1—2 рифления ближе к периферии, после чего повторно шлифуют и затачивают.

Для облегчения заточки режущих кромок по диаметру и торцу допускается оставлять ленточку (фаску) шириной 0,05—0,1 *мм*. Вылет

ножей по отношению к торцу принимается равным 6—10 *мм* в зависимости от размера фрезы. Вылет ножа должен обеспечивать достаточное пространство для помещения стружки. На цилиндрической поверхности корпуса (у передних граней ножей) выбирается канавка для помещения стружки.

Расположение ножей и их размеры определяются ориентировочно путем вычерчивания. После этого следует произвести аналитический расчет размеров ножа и впадин.

Расчет элементов ножа (по А. В. Щеголеву). Определим все размеры ножа в плоскости AB (фиг. 194).



Фиг. 194. Схема расчета элементов ножа сборной фрезы.

Для определения размеров ножа и паза необходимо рассчитать следующие основные размеры, обозначенные на чертеже (фиг. 194) буквами a, h, l_z, h_1 и h_2.

Размер a на переднем торце корпуса определится

$$a = \frac{D}{2} \sin \gamma_1 + q \operatorname{tg} \omega.$$

Размер h определится из формулы

$$h = \frac{D}{2} \cos \gamma_1 - H_1;$$

l_z определится следующим образом:

$$l_z = \frac{D}{2} \cos \gamma_1 - H - L \frac{\operatorname{tg} \mu}{\cos \omega}.$$

Глубина паза на переднем торце

$$h_1 = H + q\frac{\operatorname{tg}\omega}{\cos\omega} - \frac{D}{2}\cos\gamma_1 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - C_1^2};$$

на заднем торце

$$h_2 = H + L\frac{\operatorname{tg}\mu}{\cos\omega} - \frac{D}{2}\cos\gamma_1 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - C_z^2}.$$

Эти формулы позволяют определить размеры паза в плоскости *AB*.
Для вычерчивания ножа важно знать еще следующие основные размеры: ширину ножа H_1 в плоскости переднего торца фрезы

$$H_1 = H + q\frac{\operatorname{tg}\mu}{\cos\omega};$$

ширину ножа H_2 на заднем конце корпуса

$$H_2 = H + L\frac{\operatorname{tg}\mu}{\cos\omega};$$

вылет ножа из корпуса l_z в любом сечении

$$l_z = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - C_z^2} - \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - C_z^2}.$$

При расчете ширины паза и толщины ножа, который производится аналогично расчету цилиндрических фрез, следует учитывать натяг, так как соединение паза и ножа клиновое. Этот натяг практически принимается в пределах 0,2—0,4 *мм*. Ширина паза делается меньше расчетной на эту величину.

Торцево-конические и конические фрезы. На фиг. 195 показана торцево-коническая фреза со вставными зубьями.

Торцево-коническая фреза отличается от обычной торцевой фрезы тем, что она снабжена широкими зубьями на торцевой поверхности с малым углом в плане φ главной режущей кромки, вследствие чего уменьшается толщина стружки при заданной подаче на зуб (см. фиг. 205).

Исследования Г. М. Рывкина и проф. М. Н. Ларина (1938—1939 гг.) показали, что торцево-конические фрезы дают возможность значительно повысить производительность при обработке плоскостей.

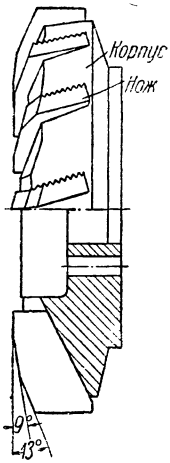
У торцево-конической фрезы, показанной на фиг. 195, главная режущая кромка имеет вид ломаной линии и выполнена с двумя разными углами в плане 9° и 13°. Такая конструкция позволяет за счет увеличения угла до 13° несколько уменьшить необходимый наружный диаметр фрезы. Диаметр торцево-конической фрезы можно определить по формуле

$$D = 2(b\cos\varphi + b_1\cos\varphi_1) + d_{\min},$$

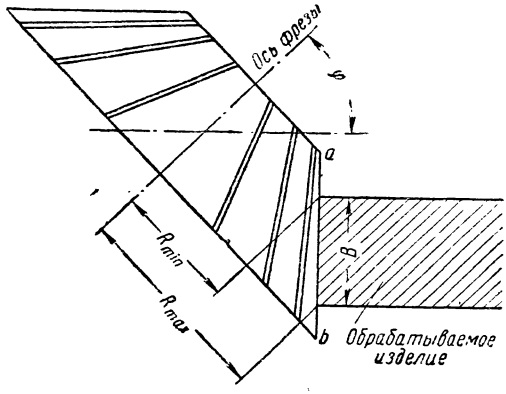
где D — наружный диаметр фрезы в *мм*;
b — ширина главной режущей кромки в *мм*;
b_1 — ширина вспомогательной режущей кромки в *мм*;
φ — главный угол в плане;
φ_1 — вспомогательный угол в плане;
$d_{\min}$ — наименьший допустимый диаметр выемки для крепления.

Угол φ принимается в пределах от 10 до 20°. Чем меньше угол φ, тем большую производительность фрезы можно получить. С уменьшением угла φ необходимы очень жесткие станки, так как сильно возрастает отталкивающее усилие. Поэтому фрезы с углом φ меньше 10° не применяются.

Конические фрезы (фиг. 196) применяются на мощных станках, которые допускают установку оси фрезы по отношению к изделию под углом φ. Процесс образования стружки у конической фрезы такой же, как и при работе



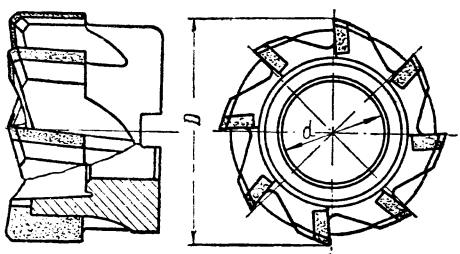
Фиг. 195. Торцево-коническая сборная фреза.



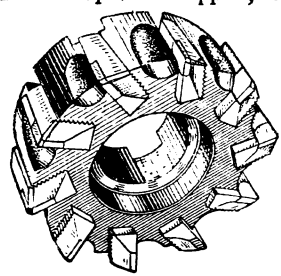
Фиг. 196. Схема работы конической фрезы.

дисковой фрезы. Вспомогательные лезвия отсутствуют, благодаря чему происходит свободное резание.

Торцевые фрезы, оснащенные твердыми сплавами. На фиг. 197 и 198 показаны конструкции торцевых фрез с твердыми сплавами. Эти фрезы благодаря высокой производительности получили на наших заводах большое распространение. Использование торцевых фрез, осна-



Фиг. 197. Торцевая фреза, оснащенная твердым сплавом.



Фиг. 198. Торцевая фреза с клиновидными рифлеными ножами, с пластинками твердого сплава.

щенных твердыми сплавами, позволяет увеличить скорость резания в 3—6 раз по сравнению со скоростями, которые допускают фрезы с быстрорежущими ножами.

*

Для успешной работы фрезы важно правильно подобрать марку твердого сплава. На основании работ ВНИИ можно рекомендовать для обработки стали сплав марки Т15К6, для обработки чугуна — сплав ВК8.

Применение твердого сплава заставляет вносить в конструкцию торцевой фрезы некоторые изменения: повысить жесткость, обеспечить легкую заточку твердого сплава и др.

Особенности конструкции торцевых фрез, оснащенных твердым сплавом. Производительность фрезы определяется минутной подачей $s_м$:

$$s_м = s_z \cdot z \frac{v \cdot 1000}{\pi D},$$

где s_z — подача на зуб; z — число зубьев фрезы; v — скорость резания; D — диаметр фрезы.

Минутная подача пропорциональна числу зубьев фрезы. Поэтому во всех конструкциях фрез всегда стремятся увеличить число зубьев (если, конечно, при этом остается достаточное междузубое пространство для помещения стружки). Однако с возрастанием числа одновременно работающих зубьев возрастает также потребляемая мощность. При использовании фрез с быстрорежущими ножами возрастание мощности не выходит за пределы возможностей станков, поэтому практически число зубьев можно выбрать достаточно большим. При применении твердых сплавов резко возрастает скорость резания, благодаря чему при том же числе зубьев мощности станка уже нехватает[1]. Из-за недостаточной мощности фрезерных станков для фрез общего назначения рекомендуется число зубьев принимать:

а) для обработки чугуна $z = (0{,}08 \div 0{,}1)\,D$ (D—диаметр фрезы в *мм*);

б) для обработки стали $z = (0{,}04 \div 0{,}06)\,D$.

Полученное по этим формулам число зубьев следует проверить на равномерность работы. Число одновременно работающих зубьев должно быть не менее двух, т. е. угол контакта должен быть равен или больше 2ε, где ε — центральный угол между зубьями.

Для определения угла контакта необходимо знать ширину фрезерования B, а также расположение фрезы относительно детали. Расположение фрезы относительно фрезеруемой детали имеет большое значение, особенно если ширина фрезерования значительно меньше диаметра фрезы. Проще всего угол контакта определять графически простым вычерчиванием окружности фрезы и контура детали.

В тех случаях, когда мощности станка все же нехватает, рекомендуется применять фрезы со ступенчатым расположением зубьев, с разбивкой припуска между отдельными зубьями. По данным лаборатории завода „Красный пролетарий", такие фрезы позволяют снизить расход мощности до 15% по отношению к фрезам с обычным расположением зубьев.

Особенностью конструкции фрез с твердыми сплавами является необходимость в жестком массивном корпусе. Рекомендуется во избежа-

[1] И. Г. Баранов, Скоростные методы обработки металлов, Машгиз, 1949.

ние вибрации снабжать фрезерный станок маховиком, укрепленным на шпинделе. Благодаря массе маховика фрезерование происходит более плавно. При конструировании сборных фрез с ножами, оснащенными твердыми сплавами, следует стремиться к снятию минимального слоя твердого сплава при заточке фрезы, так как при излишнем стачивании пластина твердого сплава портится, появляются трещины. За последнее время появились конструкции фрез с механическим креплением пластин твердого сплава вместо припайки их. Механическое крепление пластин до сих пор слабо исследовано. Однако есть все основания предполагать, что пластины твердого сплава при напайке подвергаются значительным напряжениям в результате разницы в коэфициентах линейного расширения у корпуса и у пластинки, поэтому механическое крепление, при котором пластинка может свободно расширяться, дает лучшие результаты.

Типы конструкций торцевых фрез с твердыми сплавами. Цельная торцевая фреза с впаянными непосредственно в корпус пластинками твердого сплава (см. фиг. 197) имеет ряд недостатков.

1. При незначительной трещине хотя бы одного из зубьев перепайка пластин твердого сплава чрезвычайно сложна и может повлечь за собой разрушение пластин у соседних зубьев.

2. При выкрашивании одной из пластин необходимо затачивать все зубья.

Поэтому такие торцевые фрезы не находят широкого применения, и заводы переходят к использованию сборных фрез, в которых пластинки напаиваются на вставные ножи.

На фиг. 198 показана сборная фреза с клиновидными рифлеными ножами, аналогичная фрезе с вставными ножами из быстрорежущей стали. Такие фрезы применяются преимущественно для обработки чугуна и оснащаются поэтому твердыми сплавами марки ВК8.

Геометрия режущей части фрезы: передний угол $\gamma = 8°$; угол $\omega = 0°$; угол в плане главной режущей кромки $\varphi = 90°$; угол в плане переходной кромки $\varphi_0 = 45°$; угол в плане вспомогательной кромки $\varphi_1 = 4 \div 5°$.

Ножи и пазы имеют двойной угол клина 5° и 2°30′ (подробно см. стр. 225).

Число зубьев, ширина, диаметр отверстия и наружный диаметр фрезы (по данным завода „Фрезер“) приведены в табл. 39.

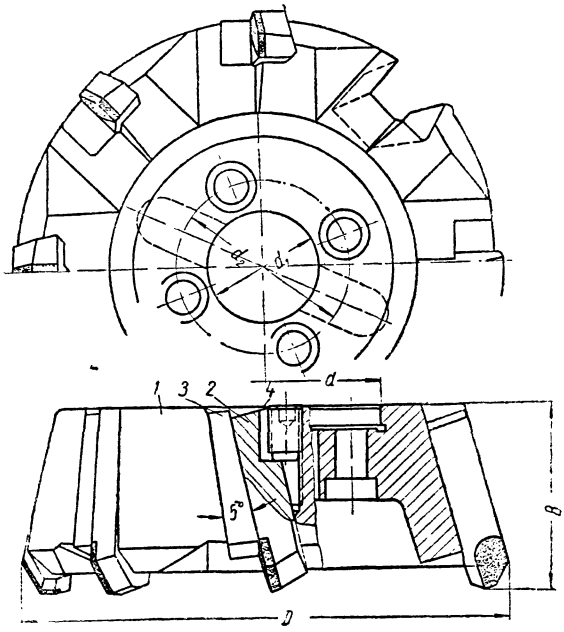
Как видно из табл. 39, число зубьев z принимается почти равным числу зубьев быстрорежущей фрезы (см. табл. 38 на стр. 256). Это возможно при обработке чугуна, когда мощности станков будет вполне достаточно. У фрез для обработки стали приходится делать меньше зубьев. Корпус фрезы изготовляется из стали 40Х, корпус ножа изготовляется из стали У7—У8.

Таблица 39

Основные размеры торцевых фрез

D	d	B	z
90	32	37	10
110	40	39	12
130	40	39	12
150	50	41	14
175	50	41	16
200	50	41	16
225	50	41	18

Эта конструкция обладает некоторыми недостатками. Благодаря клиновому креплению ножа вылет последнего по отношению к торцу корпуса колеблется в довольно значительных размерах, поэтому неравномерно выступает пластинка твердого сплава, которую приходится стачивать. Это — крупный недостаток конструкции, так как заточка пластин твердого сплава затруднительна, приводит часто к трещинам и требует значительного расхода шлифовальных карборундовых кругов.



Фиг. 199. Торцевая сборная фреза для скоростной обработки стали (конструкция инж. Д. Г. Христофорова, завод „Фрезер").

Забивание ножей осуществляется ударами молотка. Эти удары (конечно, они ни в коем случае не должны производиться по пластинке) могут привести к деформации ножа и нарушению припоя и выкрашиванию пластинки.

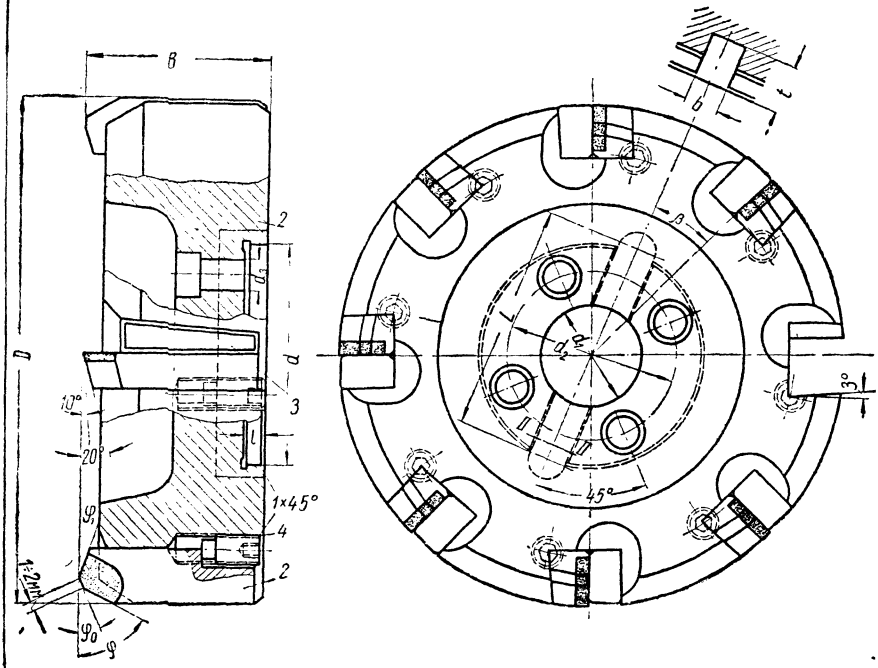
Торцевая сборная фреза, предназначенная для скоростного фрезерования стали, показана на фиг. 199.

Ножи *2* имеют трапециевидное поперечное сечение. Они крепятся в клиновидном пазе корпуса *1* гладкими клиньями *3* с углом 5°. Трапециевидная форма придана ножам с тем, чтобы возникающие при работе фрезы радиальные усилия не вырвали нож из паза корпуса фрезы. Как ножи, так и пазы в корпусе имеют гладкие стенки без рифлений. Для облегчения установки ножей предусмотрены винты *4*, которые ввертываются с задней стороны корпуса фрезы. При ослабленном клине можно перемещать винтом нож вдоль паза, и таким образом можно установить ножи под заточку.

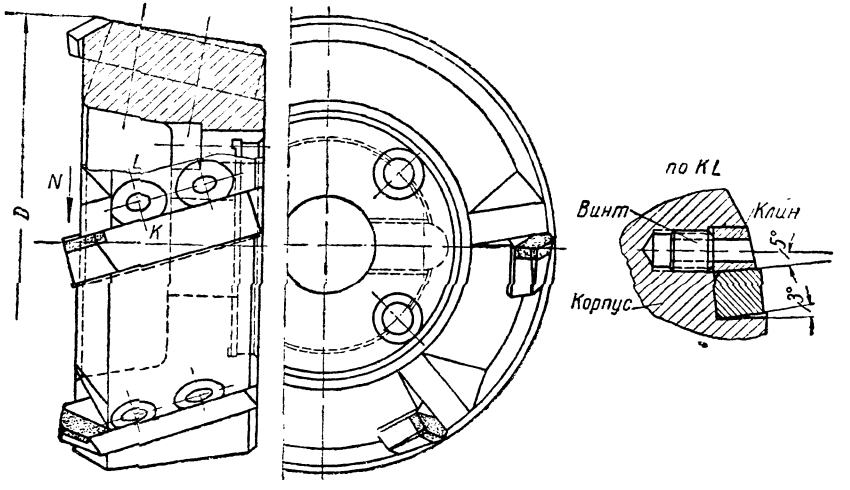
Фрезы такого типа предназначены для обработки стали. Такое крепление ножей с успехом применяется заводом „Фрезер" как для обработки стали (фиг. 199), так и для обработки чугуна (фиг. 200)

Предложенная ВНИИ МСС конструкция фрезы показана на фиг. 201.

Паз корпуса такой же, как у фрез завода „Фрезер". Различие заключается в способе закрепления ножей. Ножи закрепляются двумя клиньями-втулками, имеющими плоскость, срезанную под углом 5° к оси. Втулки перемещаются винтами, ввернутыми в корпус. При вывинчивании винтов из корпуса втулки поднимают вверх и зажимают

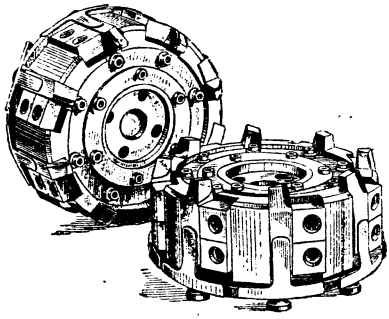


Фиг. 200. Торцевая фреза со вставными ножами для скоростной обработки чугуна (конструкция завода „Фрезер").



Фиг. 201. Торцевая фреза для скоростной обработки стали (конструкция ВНИИ МСС).

ножи благодаря наклонному срезу. Так же как в предыдущей конструкции, нож и паз трапециевидные. Это обеспечивает их от выворачивания из корпуса. По сравнению с конструкцией завода „Фрезер" эта конструкция позволяет легче установить нож в паз корпуса. Можно заточить нож отдельно от корпуса и затем установить его индикатором в корпусе.



Фиг. 202. Торцевая фреза для скоростной обработки с точной установкой предварительно заточенных ножей (конструкция ЭНИМС).

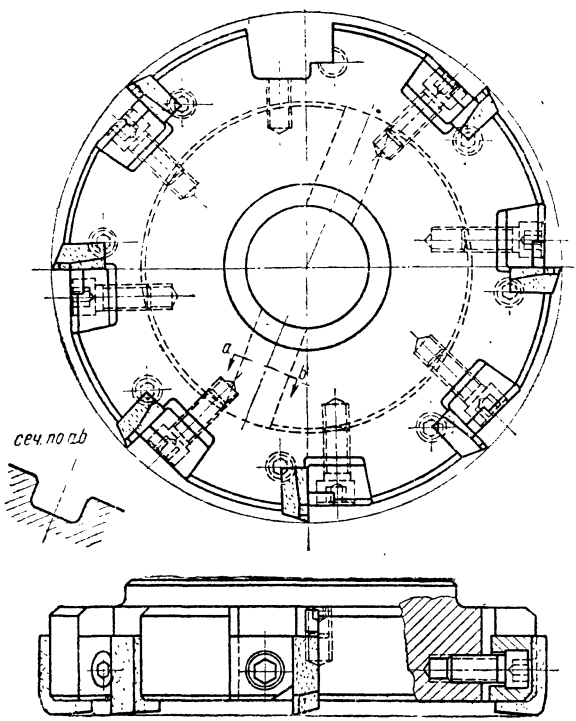
В ГОСТ 3879-47 рекомендуется конструкция фрез, предложенная ВНИИ МСС (инж. И. Г. Баранов и канд. техн. наук В. М. Воробьев).

Кроме описанных типов фрез существует большое разнообразие других типов крепления ножей, которые приводятся в технической литературе последних лет.

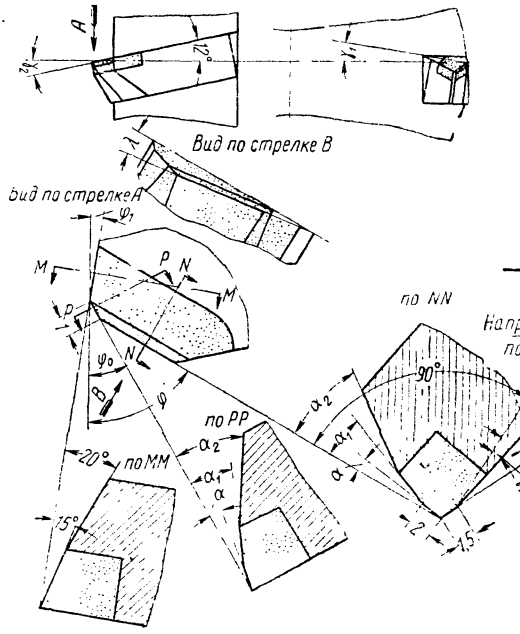
Все перечисленные конструкции крепления (одни в меньшей степени, другие — в большей) отличаются отдельными достоинствами и недостатками.

Общей целью всех конструкторов является обеспечение хорошей и быстрой установки ножей в корпусе с тем, чтобы при заточке ножей снимать по возможности меньший слой твердого сплава. В отдельных конструкциях обеспечивается заточка ножей перед сборкой их в корпус. Такую заточку допускают, например, торцевые фрезы конструкции ЭНИМС (фиг. 202).

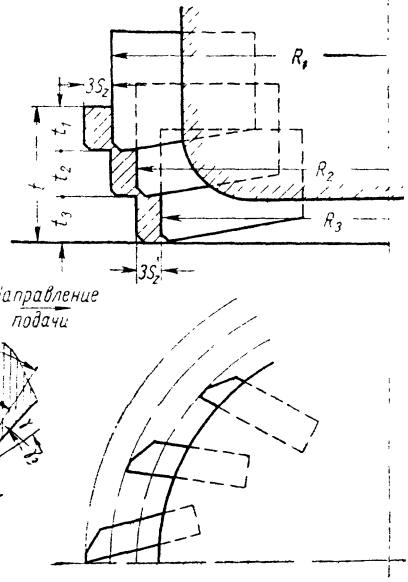
В последнее время появились конструкции фрез с механическим креплением пластин твердого сплава. На фиг. 202а показана такая торцевая фреза. У фрез с механическим креплением улучшаются условия работы пластинок твердого сплава, так как в пластин-



Фиг. 202а. Торцевая фреза с механическим креплением пластинок твердого сплава.



Фиг. 203. Геометрические параметры зуба торцевой фрезы для скоростной обработки.



Фиг. 204. Схема ступенчатой фрезы И. Гудова.

Таблица 40

Геометрия режущей части торцевых фрез

Обрабатываемый материал	Углы заточки ножей										
	λ	γ	γ_1	γ_2	γ_3	φ	φ_0	φ_1	α	α_1	α_2
	Градусы										
Сталь с пределом прочности при растяжении $\sigma_b < 80$ кг/мм² . . .	15	—10	—1	—16	5	60	30	5	20	22	25
Сталь с пределом прочности при растяжении $\sigma_b = 80 \div 120$ кг/мм²		—15	—6	—18	10				15	15	20
Сталь с пределом прочности при растяжении $\sigma_b > 120$ кг/мм² . . .		—20	—10	—20	15				10	12	15

Примечание. В случае применения станков с ременным приводом передний угол γ следует брать:

при обработке стали с пределом прочности при растяжении $\sigma_b < 80$ кг/мм² . . . . . 10°
то же $\sigma_b = 80 \div 120$ кг/мм² . . . . . 0°
» » $\sigma_b > 120$ кг/мм² . . . . . —5°

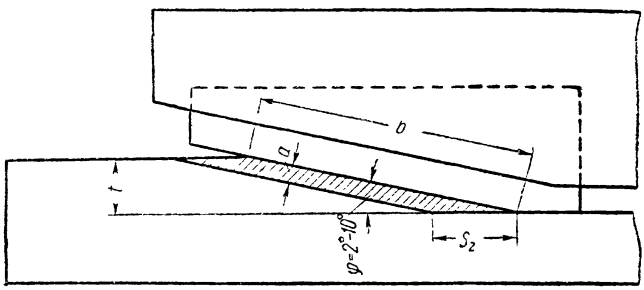
ках отсутствуют внутренние напряжения, которые получаются после напайки, но, с другой стороны, при механическом креплении увеличивается вес пластин.

Фрезы диаметром от 75 до 150 *мм* следует делать хвостовыми. Форма хвоста может быть выбрана по форме отверстия шпинделя станка. Фрезы диаметром 175 *мм* и выше следует делать насадными. Ножи, на которые производится напайка пластин твердого сплава, должны быть жесткими, поэтому для фрезерования стали лучше делать ножи трапециевидной или квадратной формы. Вылет ножей из корпуса фрез следует делать небольшим в целях получения максимальной жесткости.

В ГОСТ 3879-47 даны рекомендуемые размеры фрез для скоростного фрезерования.

Геометрия режущей части зубьев торцевых фрез, предназначенных для скоростного фрезерования стали, рекомендуемая ГОСТ 3879-47, приведена в табл. 40 и на фиг. 203.

Ступенчатый метод фрезерования. При фрезеровании торцевой фрезой можно применять также ступенчатый метод. В Советском Союзе этот метод был предложен стахановцем И. Гудовым. Основное принципиальное отличие заключается в том, что вся глубина резания t торцевой фрезы разбивается на несколько ступеней (фиг. 204). Благодаря этому ширина стружки уменьшается, а толщина ее при том же количестве зубьев увеличивается. Разделение стружки по ширине уменьшает склонность к дрожаниям (вибрациям). Благодаря увеличенной толщине стружки снижается коэфициент резания. Это ведет к относительному снижению крутящих моментов и мощности, потребляемой при фрезеровании.



Фиг. 205. Схема работы торцево-конической фрезы.

Недостатком ступенчатого фрезерования является более сложная заточка фрез, так как каждый зуб фрезы должен быть заточен по определенному радиусу. Количество ступеней фрезы может быть принято различным. Чем больше припуск, тем больше можно делать количество ступеней.

Торцево-коническую фрезу, предложенную ЗИС и МВТУ им. Баумана, можно рассматривать как ступенчатую фрезу с большим количеством ступеней. Схема работы такой фрезы видна на фиг. 205.

Торцево-конические фрезы имеют небольшой угол в плане φ (до 20°). Благодаря этому при одной и той же подаче на зуб толщина стружки a будет меньше подачи

$$a = s_z \sin\varphi,$$

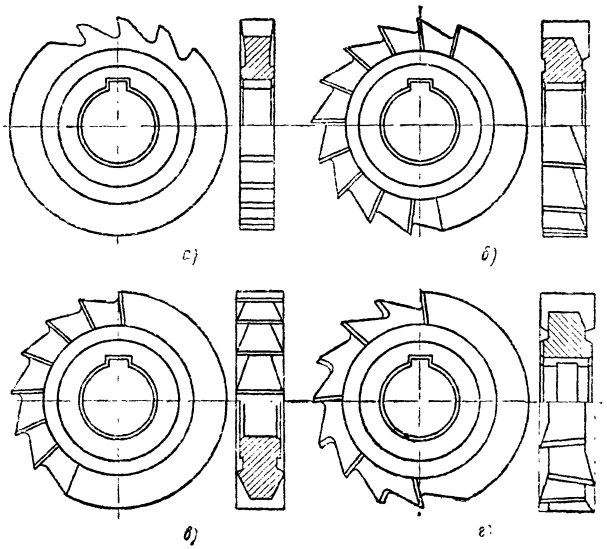
а ширина стружки b будет значительно больше глубины резания t

$$b = \frac{t}{\sin\varphi}.$$

Уменьшение толщины стружки дает возможность значительно увеличить подачу на зуб, тем самым обеспечивается повышение производительности при обработке плоскостей.

ДИСКОВЫЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Дисковые цельные фрезы. Дисковые фрезы предназначены для фрезерования различных пазов и выемок. На фиг. 206 показаны основные типы цельных дисковых фрез. Фрезы дисковые пазовые (фиг. 206, *а*) снабжены зубьями только на цилиндрической части и пред-



Фиг. 205. Типы дисковых фрез.

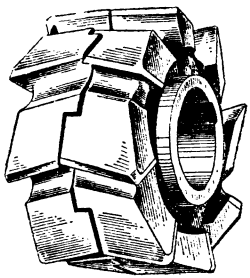
ставляют собой как бы неширокие цилиндрические фрезы с прямыми зубьями. С целью уменьшения трения по торцам ширина фрез у периферии делается больше, чем в центральной части у ступицы.

Такие дисковые фрезы по ГОСТ 3964-47 изготовляются шириной от 5 до 16 *мм*. Более тонкие фрезы называются прорезными (шлицевыми) и изготовляются по ГОСТ 2680-44.

Самым важным элементом дисковой пазовой фрезы является ширина, так как фреза предназначена для обработки пазов, поэтому ширина ее должна быть выдержана. Допускаемое отклонение по ширине составляет 0,04—0,05 *мм*.

Дисковые двух- и трехсторонние фрезы (фиг. 206, *б* и *в*) имеют зубья, расположенные не только на цилиндрической поверхности, но и на одной или обеих торцевых поверхностях. Дисковые фрезы могут быть изготовлены как с мелким зубом, так и с крупным. Первые предназначаются для неглубоких выемок и чистовых работ, вторые — для более глубоких выемок. Поэтому у вторых зуб приходится делать крупнее, а междузубую канавку — больше по объему для помещения большого количества стружки.

Условия резания на торцевых кромках хуже, так как небольшая глубина канавки у торца (большой глубины при узкой фрезе допустить нельзя) не позволяет заточить достаточный задний и передний углы. Число зубьев мелкозубых фрез по ГОСТ 3755-47 принимается в пределах $z = 2\sqrt{D}$.



Фиг. 207. Дисковые сдвоенные фрезы.

При конструировании кроме расчетов, связанных с определением числа зубьев, геометрических параметров и т. д., необходимо произвести расчет углов установки делительной головки для фрезерования торцевого зуба.

При переточках ширина фрезы уменьшается довольно быстро, поэтому в тех случаях, когда фреза должна сохранять размер по ширине, приходится применять сдвоенные дисковые фрезы (фиг. 207), состоящие из двух половин, между которыми закладывается тонкое кольцо. Регулируя толщину кольца, можно, таким образом, регулировать ширину паза или выемки.

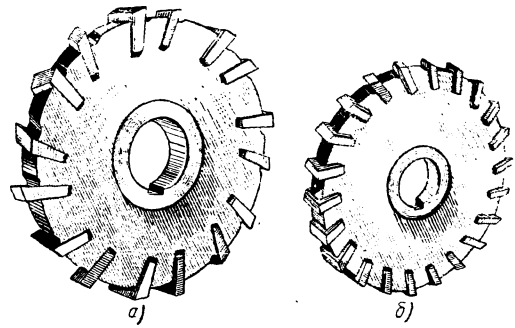
Следует обратить внимание на то, что в месте стыка должно быть обеспечено перекрытие режущих кромок, для чего изготовлен замок, состоящий из выступов на одной и соответствующих впадин на другой половине фрезы.

Значительно более производительны дисковые фрезы с разнонаправленными зубьями (фиг. 206, *г*). Такие фрезы дают возможность получить хорошие условия резания как на цилиндрической поверхности, так и на торцевой за счет наклона зуба.

Следует помнить, что если по цилиндрической поверхности фреза работает всеми своими зубьями, то на торце срезается половина зубьев, имеющих в результате наклона ω отрицательный передний угол γ. На каждом торце, таким образом, в работе участвует в 2 раза меньше зубьев, чем на цилиндрической поверхности. Но так как в основном фреза работает своей цилиндрической поверхностью, а торцевые зубья являются только вспомогательными кромками, то эти фрезы обладают высокой производительностью, несмотря на срезанные зубья.

Дисковые фрезы со вставными клиновидными ножами. Довольно значительные размеры дисковых фрез заставляют в целях экономии быстрорежущей стали изготовлять их сборными. На фиг. 208 показаны сборные фрезы с клиновидными рифлеными ножами из быстрорежущей стали. Такие фрезы наиболее широко распространены. Размеры трехсторонних сборных дисковых фрез (фиг. 208, *а*) даются

в ГОСТ 1669-45. Двухсторонние фрезы (фиг. 208, *б*) изготовляют по нормалям заводов. Диаметр фрез — от 75 до 200 *мм*, отверстие — соответственно от 22 до 50 *мм*. Ширина фрез принимается от 12 до 60 *мм* с интервалами через 2 *мм*. Ножи клиновидной формы с рифлениями забиваются в клиновые пазы в корпусе, рифления расположены радиально. При переточке ширина фрезы уменьшается. Это уменьшение может быть компенсировано соответствующей перестановкой ножей на другие рифления. С целью уменьшения величины выдвижения ножа из корпуса расстояние от первого рифления до торца фрезы у всех пазов различно. Рифления должны смещаться последовательно от паза к следующему пазу по величине $\frac{t_p}{z}$, где t_p — шаг рифления. Угол наклона ножей ω принимается при ширине фрез до 20 *мм*—8°, свыше 20 *мм* — 15°. Этот угол ω обеспечивает равномерное фрезерование. Число зубьев может быть определено из условий прочности корпуса. Практически достаточно хороший результат дают фрезы со следующим числом зубьев:



Фиг. 208. Дисковые фрезы сборной конструкции с клиновидными рифлеными ножами: *а* — трехсторонняя; *б* — двухсторонняя.

D в *мм*	75	90	110	130	150	200
z	12	12	14	16	16 и 14	18 и 16

Там, где указано два значения, бо́льшее число зубьев относится к узким фрезам, меньшее — к более широким фрезам.

Расчет размеров ножа и паза дисковых фрез со вставными ножами. Для определения размеров ножа и паза необходимо знать следующие исходные данные (фиг. 209):

1) диаметр фрезы *D*;
2) ширину фрезы *b*;
3) передний угол γ_1;
4) угол наклона ножа ω;
5) вылет ножей по торцу *l*.

Зная эти величины, можно определить:

1) угол ω_1;
2) смещение паза C_z;
3) зазор *x* между нерабочей стороной и стенкой корпуса;
4) размеры клинового паза под нож.

Произведем необходимые расчеты [1].

1. Определение угла ω_1. С достаточной для практики точностью можно определить угол ω_1 по формуле, которая выводится из предположения,

[1] Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

что режущая кромка имеет вид прямой в обеих проекциях. Из фиг. 209 можно определить:

$$\operatorname{tg}\omega_1 = \frac{h_1}{b}.$$

Из фиг. 209 видно, что

$$h_1 = \frac{D}{2}\sin(\gamma_1 + \psi) - a,$$

но

$$a = \frac{D}{2}\sin\gamma_1.$$

Подставив значение a и h_1, получим

$$\operatorname{tg}\omega_1 = \frac{\frac{D}{2}\sin(\gamma_1 + \psi) - \frac{D}{2}\sin\gamma_1}{b} = \frac{D}{2b}[\sin(\gamma_1 + \psi) - \sin\gamma_1].$$

Угол ψ можно определить по формуле

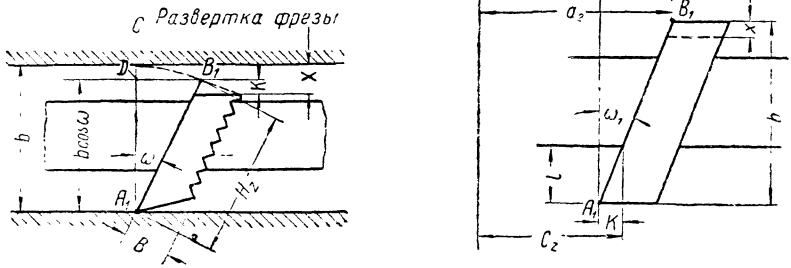
$$\sin\psi = \frac{2b}{D}\operatorname{tg}\omega.$$

2. Определение величины смещения паза C_z. Из фиг. 209 видно

$$C_z = a + K = \frac{D}{2}\sin\gamma_1 + l\operatorname{tg}\omega_1.$$

3. Величина зазора x (фиг. 209, справа) определяется по формуле

$$x = b - b\cos\omega_1 + B\sin\omega_1\cos\omega_1.$$



Фиг. 209. Схема определения размеров ножа дисковых сборных фрез.

4. Определение размеров клинового паза и ножа. Определение расстояния дна паза от центральной линии l_z производится после вычерчивания фрезы в натуральную величину с учетом толщины необходимой стенки у ступицы фрезы.

Размеры ножей и пазов следует брать по ГОСТ 2568-44.

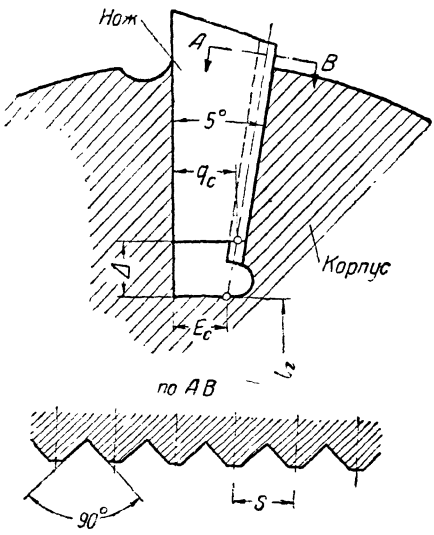
Профиль рифления такой же, как у цилиндрических и торцевых фрез. Необходимо в пазах корпуса иметь определенный зазор Δ между дном паза и вставным ножом (фиг. 210). При забивании этот зазор должен оставаться. Не допускается, чтобы зазор при сборке отсутствовал. При забивании ножа в корпус так же, как и у цилиндрических и торцевых фрез, следует при расчете учитывать деформацию паза и брать паз уже, чем нож, на 0,2—0,3 *мм*. Весь расчет необходимо вести по средней линии рифления. Если размер принятого

ножа по средней линии рифлений у тонкого конца ножа обозначим q_c, то размер паза E_c может быть подсчитан по следующей формуле:

$$E_c = q_c - \Delta \operatorname{tg} 5° - (0{,}2 \div 0{,}3) \text{ мм},$$

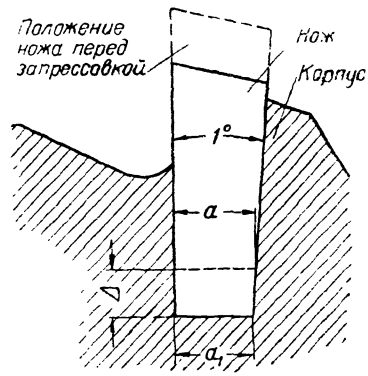
где Δ принимается равным 3—4 *мм*. Зная величину зазора, можно определить высоту ножа на фиг. 209:

$$H = \frac{D}{2} \cos \gamma_1 - l_z - \Delta.$$



Фиг. 210. Положение клиновидного ножа в корпусе фрезы.

Фрезы с запрессованными ножами (фиг. 211) значительно проще в изготовлении, чем фрезы с клиновидными рифлеными ножами. Недо-



Фиг. 211. Положение гладкого ножа в корпусе фрезы перед запрессовкой.

статком их конструкции является невозможность восстановления ширины фрезы после переточки, так как нож настолько плотно сидит в корпусе, что сменить его или переставить нельзя. В корпусе фрезы (фиг. 211) профрезерованы клиновидные пазы с углом 1°, в которые запрессовываются тонкие плоские ножи в закаленном виде. Надежность крепления паза и ножа обеспечивается изготовлением паза и ножа с точными допусками по толщине ножа и ширине паза. При хорошо организованном производстве ножи можно вовсе не подвергать механической обработке, а получать профилированную тянутую сталь необходимого сечения.

Необходимо обеспечить такое соотношение толщины ножа и ширины паза, при котором натяг при запрессовке ножей будет достаточным, но не чрезмерным. При большом натяге в материале корпуса во время запрессовки могут возникнуть большие усилия (так как угол клина 1° очень небольшой), которые приведут к раздавливанию стенок корпуса. Необходимо, чтобы напряжения в корпусе не переходили за пределы упругих деформаций.

Конструктор должен рассчитать ширину паза a_1 таким образом, чтобы при вставленном в паз ноже зазор Δ находился в пределах 2—3,5 *мм* в зависимости от размера ножа при средней ширине корпуса. Чем шире корпус фрезы, тем меньше нужно брать зазор. После запрессовки ножей в корпус зазора между дном паза и ножом не должно быть.

Ниже указаны рекомендуемые минимальные значения Δ в *мм*:

D	60	75	90	110	130	150	175	200
Δ	2,3	2,5	2,8	2,8	3.1	3,1	3,1	3,1

При указанном зазоре можно легко определить ширину паза a_1:

$$a_1 = a - \Delta \operatorname{tg} 1°.$$

При изготовлении ножей и пазов у фрез трудно обеспечить жесткие допуски по толщине, поэтому можно организовать сборку путем подбора ножей для определенных пазов. Рекомендуется также угол у ножей делать 1°, а у пазов — несколько меньше (на 20′) с тем, чтобы при запрессовке ножи плотнее прилегали к стенкам паза в своей верхней части. Канавки для стружки делаются в корпусе фрезы.

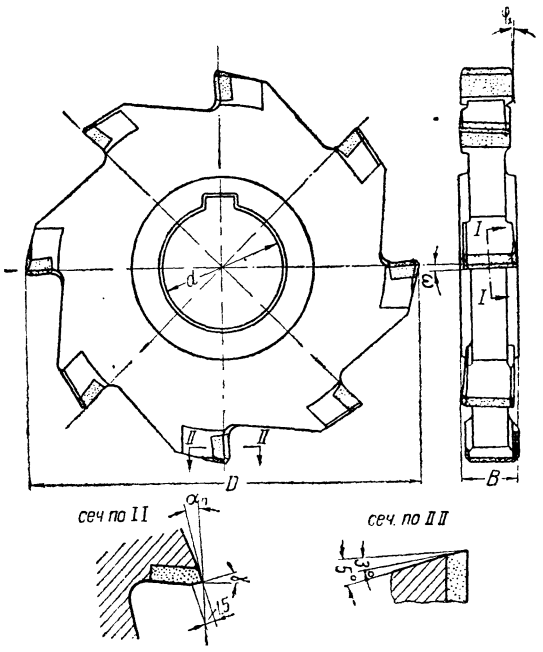
В таблице указано число зубьев фрез с запрессованными ножами.

D	60	75	90	110	130	150	175	200
z	12	12	14	16	18	20	24	26

Диаметр и ширина фрезы, а также диаметры отверстия могут быть выбраны по ГОСТ 1669-45. Расстояние от центра фрезы до дна паза l_z (фиг. 209) определяется при Δ = 0 по формуле

$$l_z = \frac{D}{2} \cos \gamma_1 - H,$$

где H — высота ножа.



Фиг. 212. Дисковая трехсторонняя фреза с напаянными пластинками твердого сплава.

Конструирование дисковых фрез с твердым сплавом. На фиг. 212 показана дисковая трехсторонняя фреза с пластинками твердого сплава, припаянными к корпусу.

Такие фрезы предназначаются для обработки чугуна, стали и других материалов. Геометрические параметры режущей части дисковых фрез, оснащенных твердыми сплавами (рекомендуются ВНИИ МСС),

можно принимать по табл. 41, составленной с учетом применения при обработке стали твердых сплавов марок Т15К6 и Т5К10, а при обработке чугуна — ВК6 и ВК8.

Таблица 41

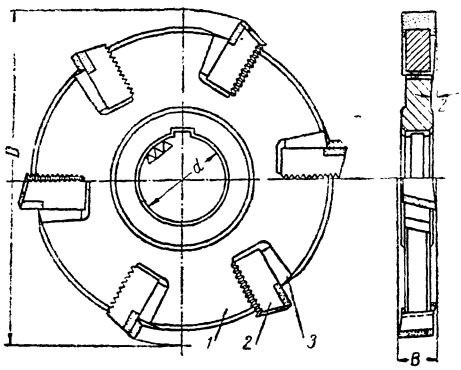
Геометрические параметры режущей части дисковых фрез, оснащенных твердыми сплавами

Обрабатываемый материал	$\omega°$	$\gamma°$	$\alpha_n°$
Сталь σ_b до 80 *кг/мм²*	5	—5	20
» σ_b от 80 до 120 *кг/мм²*	5—10	—10	20—25
» σ_b свыше 120 *кг/мм²*	5—10	—15	20—25
Чугун	5—10	5	10—15

Примечания: 1. Величины задних углов на вспомогательной режущей кромке брать возможно большими, исходя из величины вылета вспомогательной режущей кромки от торца корпуса фрезы.

2. Для мерных пазов величину вспомогательного угла в плане $\varphi_1°$ необходимо назначать, исходя из допуска на изделие.

Дисковые фрезы (фиг. 212) трудны в изготовлении, потому что при самой незначительной трещине хотя бы в одной из пластин приходится переделывать всю фрезу. Поэтому дисковые фрезы рекомендуется изготовлять сборными со вставными ножами (фиг. 213). Ножи *2*, плоские, с одной стороны имеют рифления. Пазы в корпусе *1* клиновидные, с одной стороны также снабжены рифлениями, идущими вдоль паза в осевом направлении. Для закрепления ножа в корпусе имеются гладкие клинья *3* с углом 3—5°, которые забиваются в радиальном направлении.



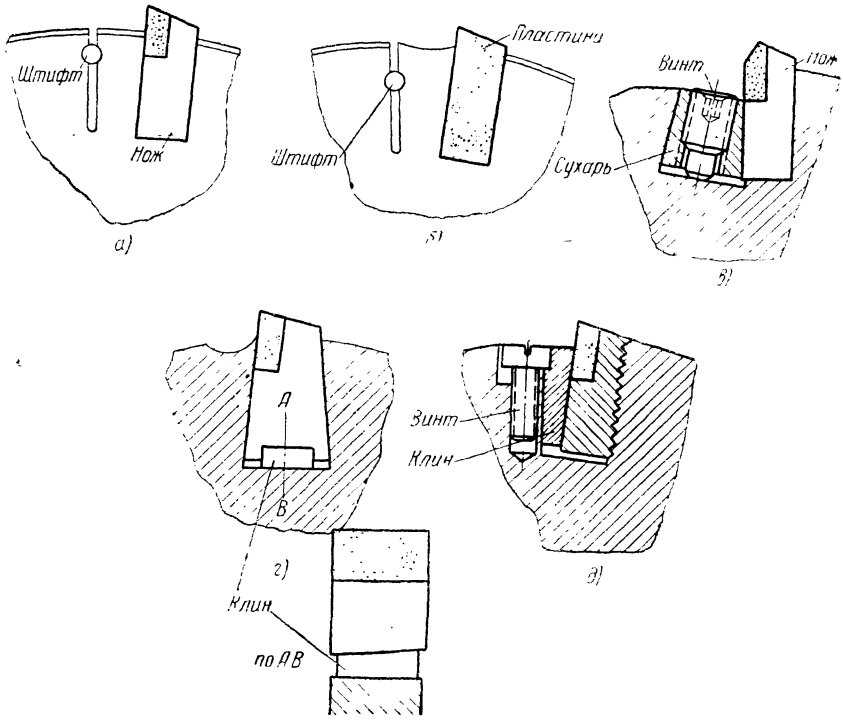
Фиг. 213. Дисковая трехсторонняя фреза сборной конструкции с ножами, оснащенными пластинками твердого сплава.

Основные размеры фрез приведены в табл. 42.

Расчет положения паза в корпусе, размеров ножей и клина производится по формулам, приведенным на стр. 269. При расчете толщины ножа с припаянной пластинкой твердого сплава следует толщину тела ножа брать в 3—3,5 раза больше толщины пластины.

Существуют также конструкции дисковых сборных фрез шириной свыше 12 *мм*, где крепление ножей в корпусе осуществляется другими способами: коническими штифтами (фиг. 214, *а* и *б*), клиновидными сухарями (фиг. 214, *в*), поперечными клиньями (фиг. 214, *г*) и клиньями

с винтами (фиг. 214, *д*). Но эти типы крепления не имеют особых преимуществ перед креплением радиальными клиньями.



Фиг. 214. Способы крепления ножей дисковых трехсторонних фрез.

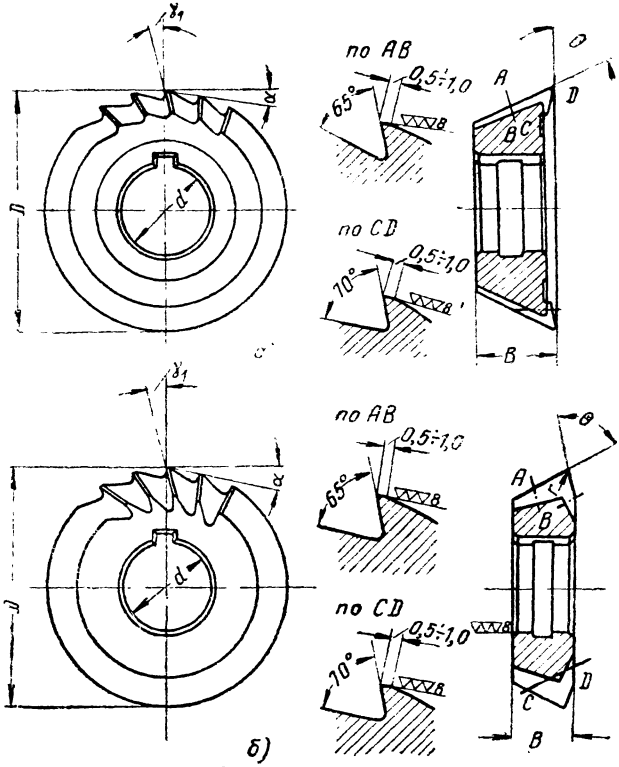
Таблица 42

Основные размеры дисковых трехсторонних фрез с ножами, оснащенными пластинками твердого сплава

Диаметр фрезы D в *мм*	Ширина фрезы B в *мм*	Диаметр отверстия d в *мм*	Число зубьев z
90	От 12 до 20	32	6
110	„ 12 „ 28	32	6
130	„ 12 „ 16	40	8
130	„ 12 „ 16	40	6
150	„ 12 „ 34	50	8
175	„ 12 „ 34	50	8
200	„ 12 „ 40	60	10
225	„ 12 „ 40	60	10

УГЛОВЫЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Угловые фрезы разделяются на одноугловые (фиг. 215, *а*) и двуугловые (фиг. 215, *б*). Последние могут быть симметричные и несимметричные. Размеры угловых фрез общего назначения в Советском Союзе предусмотрены стандартами: одноугловые — ГОСТ 3960-47, двуугловые несимметричные — ГОСТ 3961-47, угловые для канавок затылованных фрез с прямым зубом — ГОСТ 3965-47, двуугловые для канавок затылованных фрез — по ГОСТ 3966-47.



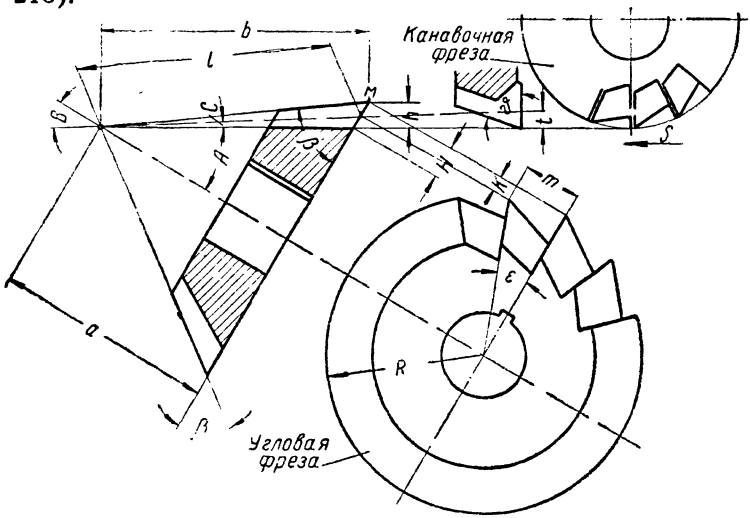
Фиг. 215. Угловые фрезы:
а — одноугловые; *б* — двуугловые.

Угловые фрезы предназначаются для фрезерования канавок в инструменте или для фрезерования различных пазов. Основные особенности при конструировании таких фрез заключаются в следующем. Диаметр фрезы зависит от глубины фрезерования и диаметра оправки и выбирается по соответствующим стандартам. Число зубьев принимается $z = (2{,}8 \div 2{,}5)\sqrt{D}$, причем бо́льший коэфициент берется для меньших размеров, меньший коэфициент — для бо́льших размеров фрез. Зубья угловых фрез расположены на конических поверхностях, поэтому они имеют неравномерную высоту. Длина зубьев и их форма зависят от

угла θ. Фрезы с большими углами θ получаются значительно лучше, так как тело фрез остается достаточно прочным. У фрез с малыми углами ($\theta = 18 \div 25°$) зубья получаются очень тонкими. По этим причинам приходится у фрез с небольшими углами θ делать очень неглубокий зуб с малым задним углом (до 8°).

Для изготовления угловой фрезы необходимо знать углы установки делительной головки. Эти углы должны быть обязательно рассчитаны конструктором и проставлены на рабочем чертеже фрезы.

Расчет угла установки делительной головки (по И. И. Семенченко). Дано: ϑ — угол канавки, β — угол при вершине (для одноугловых фрез $\beta = \theta$), z — число зубьев. Требуется определить углы A, B и C (фиг. 216).



Фиг. 216. Расчет угла установки делительной головки при фрезеровании канавок угловой фрезы.

Угол наклона шпинделя делительной головки A будет равен

$$A = B - C.$$

Но угол B можно найти, зная центральный угол $\varepsilon = \frac{360°}{z}$ и угол β.

При рассмотрении фиг. 216 видно

$$\operatorname{tg} B = \frac{R - K}{a}.$$

Величину a можно найти, зная угол β:

$$a = \frac{R}{\operatorname{ctg} \beta}.$$

После подстановки получим

$$\operatorname{tg} B = \frac{R - K}{R} \operatorname{ctg} \beta,$$

где

$$\frac{R-K}{R}=\cos\varepsilon.$$

Следовательно,

$$\operatorname{tg}B=\cos\varepsilon\operatorname{ctg}\beta.$$

Угол C можно определить следующим образом:

$$\sin C=\frac{t}{l},$$

где t — величина врезания канавочной фрезы;

$$t=m\operatorname{ctg}\vartheta.$$

Так как $m=(R-K)\operatorname{tg}\varepsilon$, то, следовательно,

$$t=(R-K)\operatorname{tg}\varepsilon\operatorname{ctg}\vartheta.$$

Определим l из чертежа:

$$l=\frac{R-K}{\sin B}.$$

Подставив значения t и l, получим

$$\sin C=\frac{t}{l}=\frac{(R-K)\operatorname{tg}\varepsilon\operatorname{ctg}\vartheta\sin B}{(R-K)}$$

или после сокращения

$$\sin C=\operatorname{tg}\varepsilon\operatorname{ctg}\vartheta\sin B.$$

Из фиг. 216 можно определить также глубину фрезерования h и высоту зуба по торцу H:

$$h=b\cos(\beta+A),$$

где

$$b=\frac{R}{\cos\beta}.$$

Таким образом,

$$h=\frac{R\cos(\beta+A)}{\cos\beta}.$$

Зная h, легко найти H:

$$H=\frac{h}{\cos A}=\frac{R\cos(\beta+A)}{\cos\beta\cos A}.$$

По этим формулам определяются основные элементы конструкции зуба одной стороны угловой фрезы.

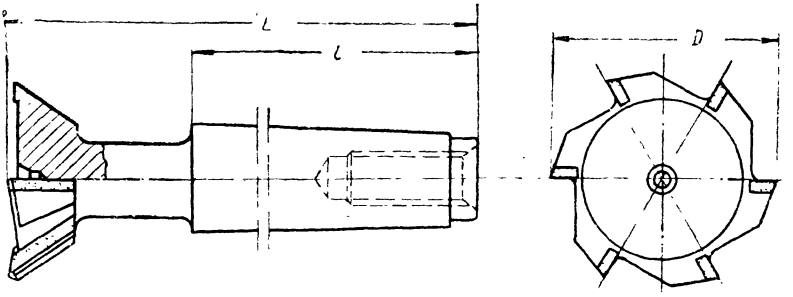
Совершенно аналогично определяются необходимые элементы другой стороны. Можно решать также и обратную задачу; задавшись значениями углов A, B, C, числом зубьев z и углом β, которые можно вычертить на чертеже, определяют необходимый угол рабочей фрезы ϑ, затем последний необходимо округлить до ближайшего угла рабочей фрезы, оканчивающегося на 0 или 5°.

Если угол β мал, а длина режущих кромок большая, зубья фрезы ближе к меньшему диаметру будут очень неглубокие и в них будет забиваться стружка. В этом случае делают попеременно срез зубьев по длине.

Вершину угловой фрезы необходимо закруглять во избежание быстрого износа. Угловые фрезы для канавок инструмента имеют значительный радиус закругления вершины зуба.

Угловые фрезы можно оснащать пластинками твердого сплава.

На фиг. 217 изображена такая фреза. В ГОСТ 2209-49 даются специальные формы пластинок твердого сплава для угловых фрез.

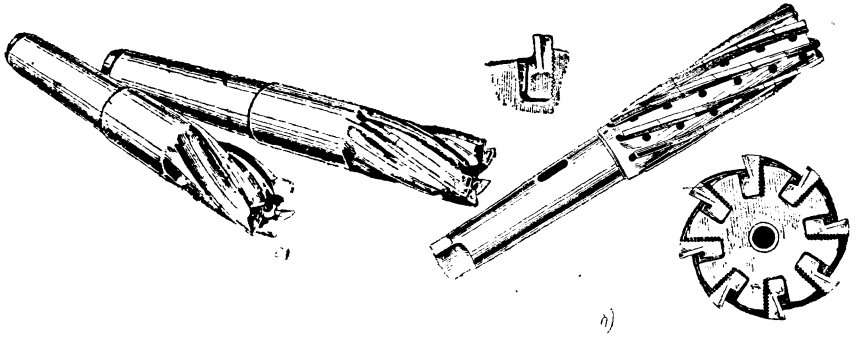


Фиг. 217. Угловая хвостовая фреза с пластинками твердого сплава.

Сборные конструкции угловых фрез встречаются редко и могут быть выполнены удовлетворительно только при большом угле θ и значительном диаметре фрезы.

КОНЦЕВЫЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Концевые фрезы с остроконечными зубьями имеют в отличие от торцевых и цилиндрических фрез конический или цилиндрический хвостовик

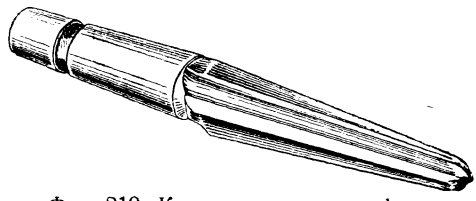


Фиг. 218. Концевые фрезы:
а — цельные; *б* — сборные.

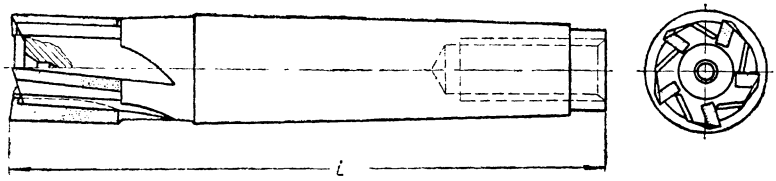
(фиг. 218). Зубья на цилиндрической части рассчитывают так же, как зубья цилиндрических фрез; зубья на торцевой части — аналогично зубьям на торцевой части у торцевых фрез. Концевые фрезы большого

диаметра можно делать сборными со вставными ножами. На фиг. 218, *б* показана сборная фреза.

Концевые фрезы могут иметь также коническую форму и закругленную вершину (фиг. 219). Такие фрезы применяются на копировально-фрезерных станках и носят название копирных. При изготовлении конических копирных фрез возникают затруднения с изготовлением зубьев, расположенных на концевой части. Свести все зубья в одну точку не представляется возможным, поэтому концевую часть копирных фрез конструируют таким образом, чтобы свести к центру два, в крайнем случае четыре зуба, а остальные зубья до центра не доходят. Концевые фрезы можно оснащать пластинками твердого сплава (фиг. 220).



Фиг. 219. Концевая копирная фреза.

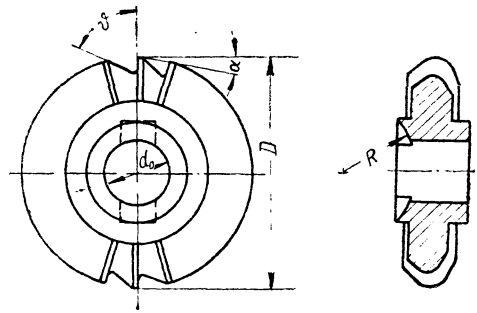


Фиг. 220. Концевая фреза, оснащенная пластинками твердого сплава.

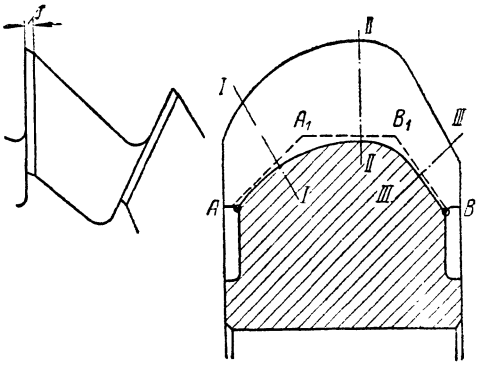
Можно у концевых фрез малого диаметра делать режущую часть целиком из твердого сплава и впаивать в державку из инструментальной стали.

ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ С ОСТРОКОНЕЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

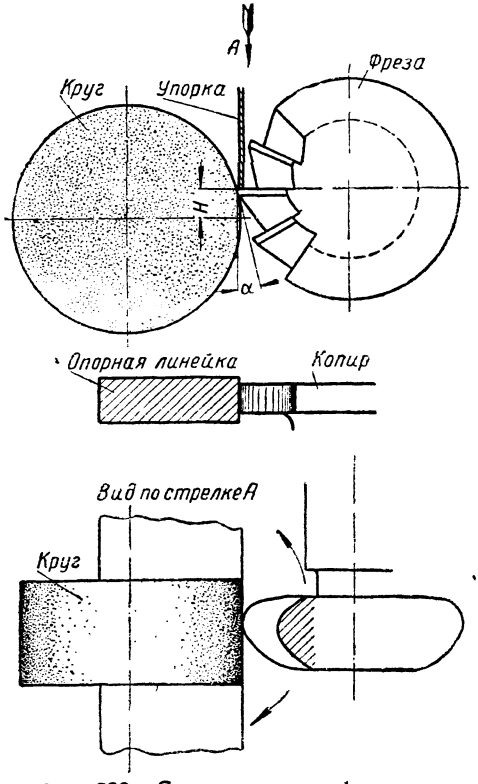
К фасонным фрезам относятся фрезы со сложным профилем. Обычно фасонные фрезы изготовляются с затылованными зубьями. Однако преимущество остроконечных зубьев заставляет изготовлять их и на фасонных фрезах. Остроконечные фасонные фрезы дают более чистую поверхность, имеют повышенную стойкость по сравнению с затылованными фасонными фрезами. Однако не всякий профиль можно обрабатывать фасонной фрезой с остроконечными зубьями: существуют выпуклые профили, для которых можно изготовить фасонную остроконечную (острозаточенную) фрезу и вогнутые профили, для которых изготовление фрезы крайне затруднено. На фиг. 221 показана наиболее распространенная фасонная фреза с остроконечными зубьями для фре-



Фиг. 221. Фасонная канавочная фреза с остроконечными зубьями.



Фиг. 222. Фаска в различных сечениях зуба фасонной фрезы.



Фиг. 223. Схема заточки фасонных фрез с остроконечным зубом.

зерования канавок сверл. Профиль фрезы выпуклый. Диаметр фрезы, диаметр оправки и ширина фрезы определяются обычно аналогично ранее описанным фрезам (см. стр. 238). Число зубьев определяется в зависимости от назначения фасонной фрезы. Можно пользоваться следующим соотношением: $z = m\sqrt{D}$, где $m = 1{,}5 \div 2$. Профиль зуба принимается по типу *I* (см. фиг. 173).

Угол рабочей фрезы для фрезерования канавок $\vartheta = 50 \div 60°$.

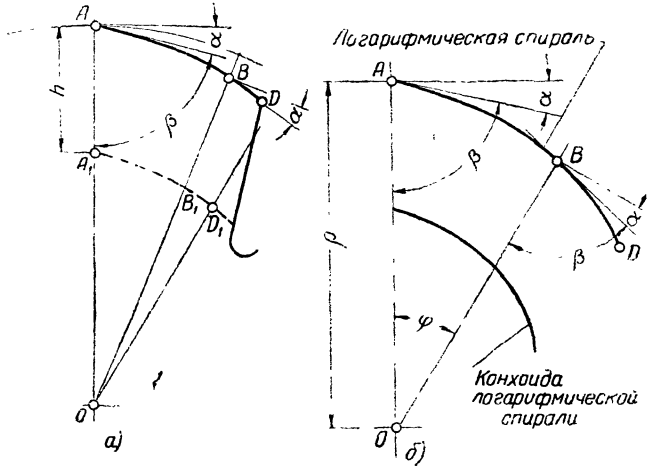
Самым основным и важным в конструкции фасонной фрезы является обеспечение одинаковой фаски на задней грани по всему профилю зуба фрезы (фиг. 222). Равенство фаски может быть достигнуто только тем, что при фрезеровании зуба канавочная фреза будет по отношению к обрабатываемой фасонной фрезе совершать такое движение, при котором вершина канавочной фрезы будет огибать заготовку по кривой *AB*. Эта кривая рассчитывается так, чтобы в каждом сечении ширина фаски *f* была постоянна. Для обеспечения этого условия необходимо фрезерование канавки острозаточенной фасонной фрезы производить на специальном приспособлении, позволяющем придать канавочной фрезе требуемое положение. С достаточной для практики точностью можно также изготовлять такие фрезы, фрезеруя канавки в 3—4 прохода (см. пунктирную линию AA_1B_1B на фиг. 222).

Заточка фасонных фрез с остроконечными зубьями производится на специальных приспособлениях (фиг. 223). Эти приспособления имеют

плоскую опорную линейку, которая должна лежать с образующей круга в одной плоскости. По этой линейке обкатывается (со скольжением или без скольжения, это безразлично) копир, имеющий форму профиля фрезы. С копиром жестко связана затачиваемая фреза. При качении копира по линейке шлифовальный круг будет затачивать на зубе фрезы профиль, в точности совпадающий с профилем копира. Задний угол на фрезе может быть получен путем сноса центра шлифовального круга по отношению к центру изделия на величину $H = \frac{D_{кр}}{2} \sin \alpha$, где $D_{кр}$ — диаметр шлифовального круга, α — задний угол фрезы в нормальном сечении.

ФРЕЗЫ С ЗАТЫЛОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ

Вторая группа фрез — фрезы с затылованными зубьями — имеет также широкое распространение в машиностроении. Затылованный зуб встречается в основном у фрез, предназначенных для обработки фасон-



Фиг. 224. Выбор кривой для затылования.

ных поверхностей. Затылование производится по определенной кривой. Основная особенность затылованного зуба состоит в том, что при переточках по передней грани профиль фрезы сохраняется до полного износа фрезы.

Выбор кривой для затылования. Для постоянства профиля, вообще говоря, безразлична кривая, по которой производится затылование. Однако эта кривая должна обладать следующими свойствами.

1. Если рассмотрим два радиальных сечения AA_1 и BB_1 затылованного зуба (фиг. 224, *а*), то высота профиля h должна после переточки быть постоянной. Следовательно, при затыловании необходимо, чтобы $AA_1 = BB_1$. Если ABD — некоторая кривая, то кривая $A_1B_1D_1$ должна

быть такой, чтобы высота h в любом сечении по радиусу была постоянной. Этому условию удовлетворяет ряд кривых.

2. Зуб при переточке должен сохранять первоначальный задний угол α. На фиг. 224 показано, если в точке A задний угол α имеет определенную величину, то в точке B он должен быть такой же. Если рассмотрим дополнительный к углу α угол β, то это второе правило можно сформулировать так: угол между касательной к кривой в определенной точке и радиусом-вектором в той же точке должен быть постоянным. Этому условию удовлетворяет только одна кривая, а именно — логарифмическая спираль. В самом деле, построим полярные координаты (фиг. 224, *б*) и проведем в полярных координатах кривую ABD. На этой кривой возьмем точку A и точку B. По условию угол между касательной и перпендикуляром к радиусу-вектору, т. е. задний угол α, и дополнительный к нему угол β должны быть постоянны.

Из математики известно, что тангенс угла β наклона касательной к радиусу-вектору равняется отношению функции к ее первой производной

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{f(\varphi)}{\frac{df(\varphi)}{d\varphi}},$$

но

$$\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}(90^\circ - \alpha) = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Следовательно,

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\frac{df(\varphi)}{d\varphi}}{f(\varphi)}.$$

Полагая $\alpha = \text{const} = m$, получим

$$\frac{df(\varphi)}{d\varphi f(\varphi)} = m$$

или

$$\frac{df(\varphi)}{f(\varphi)} = m \cdot d\varphi.$$

Обозначим для удобства $f(\varphi) = \rho$, тогда

$$\frac{d\rho}{\rho} = m \cdot d\varphi.$$

Интегрируя, получим

$$\ln\rho = m\varphi + C_1.$$

Считая $C_1 = \ln A$, получим

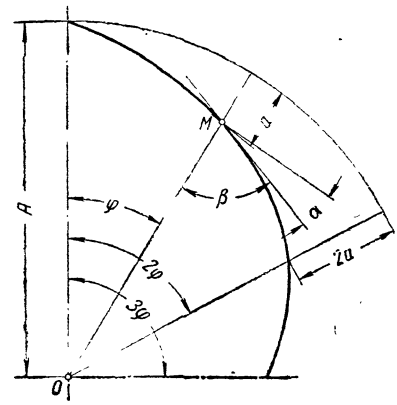
$$\ln\rho = m\varphi + \ln A.$$

Потенцируя, получим окончательно

$$\rho = A \cdot e^{m\varphi}.$$

Это есть уравнение логарифмической спирали в полярных координатах. Следовательно, если добиваться получения одинакового заднего угла, необходимо производить затылование зуба фрезы по логарифмической спирали.

Полученная логарифмическая спираль дает возможность сохранить постоянный задний угол только в точках профиля, расположенных у наружного диаметра фрезы (у вершины зуба). Если же взять любую другую точку профиля, то она будет затылована по кривой, равноотстоящей от логарифмической спирали. Такая кривая носит название конхоиды логарифмической спирали; она получается, если на радиусах-векторах откладывать соответствующие постоянные отрезки. Конхоида логарифмической спирали не обеспечивает постоянного заднего угла во всех точках профиля, поэтому второе условие, предъявляемое к кривой для затылования — постоянство заднего угла, также нарушается для всех точек кроме точки A, лежащей на вершине. Если учесть к тому же трудность изготовления кулачка[1] для затыловочного станка, то придем к выводу о непригодности логарифмической спирали в качестве кривой затылования. Вот почему для этой цели получила применение другая кривая, а именно — архимедова спираль.



Фиг. 225. Построение архимедовой спирали.

Архимедова спираль может быть получена при сочетании двух равномерных движений — вращательного и поступательного.

Уравнение архимедовой спирали в полярных координатах (фиг. 225) можно написать так:

$$\rho = B\varphi,$$

где ρ — радиус-вектор (для точки M радиус-вектор $\rho = \overline{OM}$);

B — постоянный коэфициент;

φ — текущий полярный угол (в радианах).

Архимедова спираль не дает постоянного заднего угла, но изменения последнего получаются в допустимых пределах.

Самым важным преимуществом архимедовой спирали, которое и определило ее как наиболее приемлемую кривую для затылования, является простота изготовления кулачков. Кроме того, при затыловании по архи-

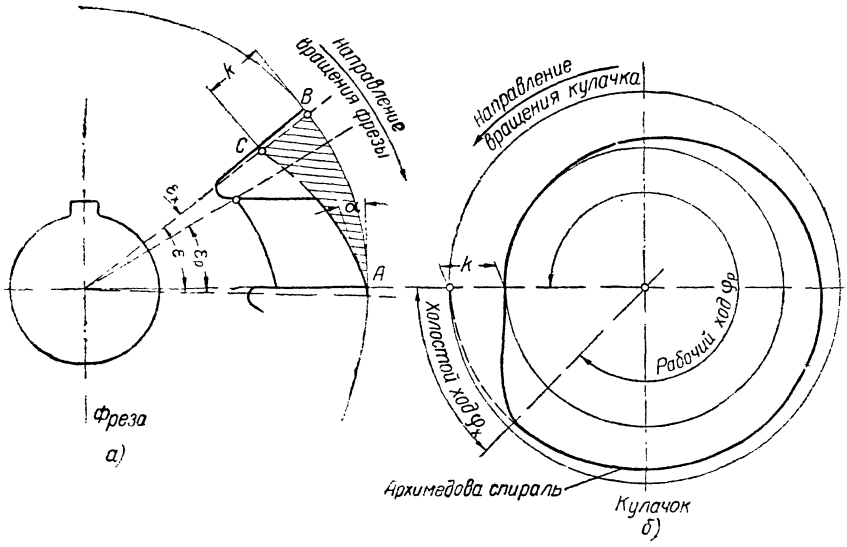
[1] Для каждого диаметра фрезы потребуется при затыловании по логарифмической спирали свой отдельный кулачок.

медовой спирали один и тот же кулачок может быть использован при разных диаметрах фрез.

Кроме логарифмической и архимедовой спирали возможно затылование также по прямой и ее конхоиде [1].

Однако затылование по прямой не получило распространения, потому что изготовление кулачков для затылования сложно и на каждый диаметр фрезы необходим особый кулачок.

Рассмотрение всех кривых для затылования показывает, что наиболее удобной кривой является архимедова спираль. Поэтому для затылования фрез используется только архимедова спираль.



Фиг. 226. Схема затылования зуба фрезы.

Определение величины затылования. На фиг. 226, *а* показана схема затылования зуба по архимедовой спирали.

Затылование осуществляется на токарно-затыловочном станке, причем движение супорта осуществляется кулачком. По мере равномерного вращения заготовки затыловочный резец равномерно поступательно продвигается по направлению к центру детали. Величина затылования характеризует продвижение затыловочного резца. Зная задний угол, диаметр и число зубьев затылуемой фрезы, можно определить величину затылования. Представим себе затылованный зуб. Задняя поверхность его ограничена архимедовой спиралью. Если показанный на фиг. 226, *а* криволинейный треугольник ABC развернуть на плоскость, то получим:

$$\text{катет } AB = \frac{\pi \cdot D}{z},$$

а

$$\text{катет } BC = K.$$

[1] Подробно см. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз 1938.

Зная угол α, можно определить

$$K = AB \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$K = \frac{\pi \cdot D}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Это основные формулы для определения необходимой величины затылования K.

Кулачки для затыловочных станков обязательно имеют клеймо, показывающее, для какой величины затылования K они предназначены.

При затыловании по архимедовой спирали кулачок должен также быть очерчен по архимедовой спирали, т. е. при повороте на определенный угол пропорционально должен возрастать радиус кулачка. Кулачок, рассчитанный для определенной величины K, можно использовать при любом числе зубьев, диаметре фрезы и угле α, необходимо только, чтобы соотношения между этими величинами давали величину K, удовлетворяющую выведенной формуле. Это обстоятельство очень важно и дает возможность затыловать любые фрезы, пользуясь сравнительно небольшим набором кулачков. Конструктору при расчете размеров фрезы недостаточно знать только одну величину затылования K. Необходимо также знать угол холостого хода кулачка. На фиг. 226, *б* показан затыловочный кулачок. Вся окружность кулачка разделена на две части. Первая часть — рабочий сектор кулачка, очерченный по архимедовой спирали, — расположена на большей части окружности с центральным углом φ_p. Вторая часть с углом φ_x используется для обратного хода резца (холостой ход). Важно знать, от какой точки кулачок начинает отвод резца от детали. Найдем эту точку. Если обозначим: ε — центральный угол между зубьями (фиг. 266, *а*), ε_p — центральный угол, соответствующий рабочему ходу кулачка, ε_x — центральный угол, соответствующий холостому ходу кулачка, то можно составить пропорцию

$$\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_p} = \frac{\varphi_x}{\varphi_p}.$$

Следовательно, отношение $\frac{\varphi_x}{\varphi_p}$ на кулачке характеризует очень важную для конструктора величину.

Существуют кулачки с углом $\varphi_x = 90°$, т. е. отношение $\frac{\varphi_x}{\varphi_p} = {}^1/_4$; кулачки с углом $\varphi_x = 60°$, т. е. отношение $\frac{\varphi_x}{\varphi_p} = {}^1/_6$; кулачки с углом 45°, т. е. отношение $\frac{\varphi_x}{\varphi_p} = {}^1/_8$. Зная это отношение, можно при конструировании зуба и канавки для выхода резца выдерживать правильное соотношение между шириной зуба и канавки.

Наиболее распространенными кулачками, на которые и следует вести расчет инструмента, являются кулачки с углом $\varphi_x = 90°$, но встречаются также кулачки с углом $\varphi_x = 60°$ и $\varphi_x = 45°$. Чем больше угол φ_x, тем более плавно и спокойно работает кулачок, тем выше производительность при затыловании. И там, где нет особой надобности в других кулачках, следует применять кулачки с $\varphi_x = 90°$.

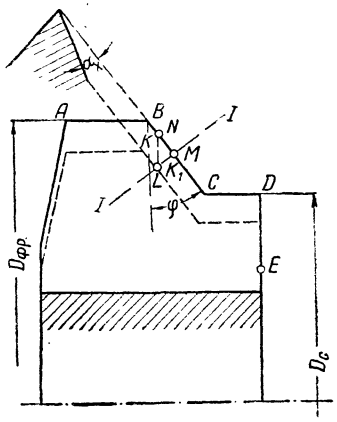
Определение бокового заднего угла. На фиг. 227 показан затылованный зуб с профилем, имеющим несколько участков. Рассмотрим и определим, какие задние углы имеет такой зуб фрезы в отдельных точках.

Форма профиля имеет большое значение для выбора заднего угла. В самом деле, если рассмотрим участок профиля AB, параллельный оси фрезы по всей длине участка, задний угол будет постоянным и равным

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{Kz}{\pi D_{фр}},$$

так как на этом участке ни K, ни $D_{фр}$, ни z не меняются. Участок BC расположен наклонно под углом φ. Задний угол, измеренный в плоскости, перпендикулярен оси и будет на этом участке изменяться. В точке B задний угол будет

$$\operatorname{tg}\alpha_B = \frac{Kz}{\pi D_{фр}}.$$



Фиг. 227. Задние углы на различных участках профиля зуба затылованной фрезы.

Задний угол в точке C

$$\operatorname{tg}\alpha_C = \frac{Kz}{\pi D_C}.$$

Так как $D_{фр} > D_C$, то в точке C задний угол будет больше, чем в точке B.

Для резания имеет большое значение задний угол α_x, измеренный в плоскости $I—I$ перпендикулярно режущей кромке. Найдем этот угол. Для этой цели удобнее всего изобразить условно пунктиром заднюю сторону зуба фрезы, тогда можно определить угол α_x в сечении $I—I$, построив треугольник MNL с катетом K_1 и гипотенузой K:

$$K\sin\varphi = K_1.$$

Но

$$K = \frac{\pi D}{z}\operatorname{tg}\alpha$$

и

$$K_1 = \frac{\pi D}{z}\operatorname{tg}\alpha_x,$$

следовательно,

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \operatorname{tg}\alpha\sin\varphi.$$

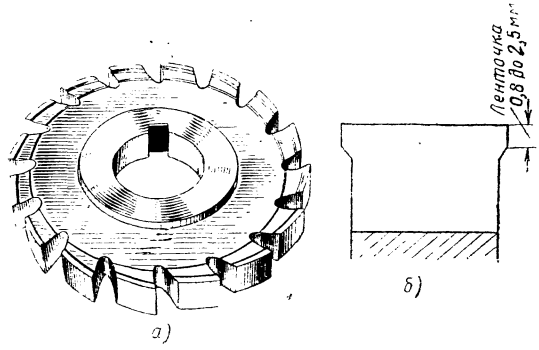
Если принять во внимание радиус, на котором расположена рассматриваемая точка, то для любой точки фрезы задний угол в сечении, нормальном к режущей кромке, будет

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{R}{r_x}\operatorname{tg}\alpha\sin\varphi,$$

где R — наружный радиус фрезы;

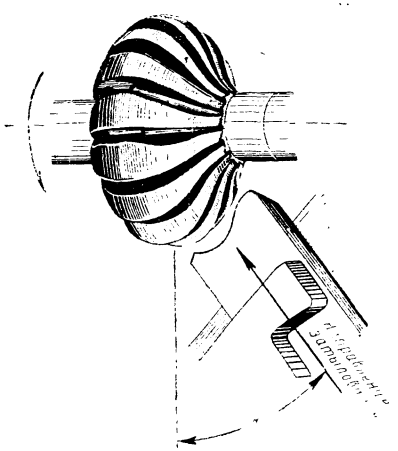
r_x — радиус в рассматриваемой точке режущей кромки.

Полагая в этой формуле $\varphi = 0$ (т. е. участок профиля перпендикулярен оси, например, участок DE на фиг. 227), получим $\alpha_x = 0$. Следовательно, на участке профиля, перпендикулярном оси, заднего угла не будет. Поэтому стараются при конструировании фрез с затылованным профилем не допускать таких участков профиля. Если все же они имеются (например, у пазовых затылованных фрез) (фиг. 228, *а*), то перпендикулярный оси участок профиля оформляют, как показано на фиг. 228, *б*, т. е. оставляют на этом участке с целью уменьшения трения узкую ленточку шириной от 1 до 2,5 *мм* в зависимости от размера фрезы. В тех случаях, когда ширина зуба не имеет значения и может при переточках изменяться, производят у фрез косое затылование таких участков.

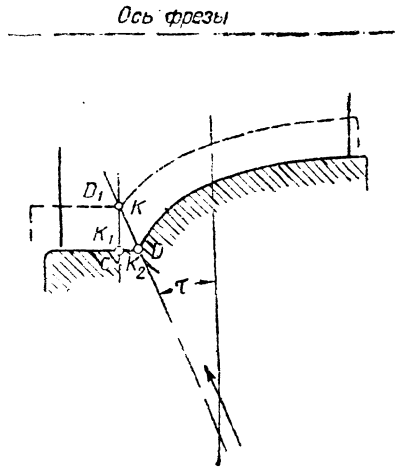


Фиг. 228. Оформление зуба пазовой затылованной фрезы.

Косое затылование. Мы рассматривали все время такое затылование, когда направление движения затыловочного резца было перпендикулярно оси фрезы, и убедились, что если у фрезы имеется участок профиля с малым углом φ, то задний угол α_x будет очень мал. В этих случаях прибегают к косому затылованию.



Фиг. 229. Косое затылование.



Фиг. 230. Схема косого затылования.

Косое затылование представляет собой такой способ затылования, при котором затыловочный резец движется не перпендикулярно оси

фрезы, а под углом к ней. На фиг. 229 показана схема установки супорта затыловочного станка при косом затылковании (затылование под углом к оси фрезы).

На фиг. 230 показано пунктиром конечное положение затыловочного резца. Обозначим буквой D начальное положение любой точки профиля резца, а буквой D_1 — ее конечное положение после перемещения. Из прямоугольного треугольника CD_1D, у которого катет K_1 представляет собой величину перемещения точки D в плоскости, перпендикулярной оси, а катет K_2 — в плоскости, параллельной оси, определим угол наклона τ супорта по отношению к оси фрезы:

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{K_2}{K_1}.$$

Необходимая для подбора кулачка величина затылования будет равна

$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}.$$

Полученную величину K следует округлить до ближайшего существующего в наборе кулачка. Можно также определить величину K, зная одну из величин K_1 или K_2 и угол τ:

$$K = \frac{K_1}{\cos\tau} \quad \text{и} \quad K = \frac{K_2}{\sin\tau}.$$

Конструирование фрез с затылованным зубом

Конструирование фрез с затылованным зубом предполагает определение тех же основных элементов, что и у фрез с остроконечными зубьями. Эти элементы следующие: диаметр фрезы, диаметр отверстия, число зубьев, шаг зубьев, профиль канавки и профиль зуба. Наиболее сложно при конструировании таких фрез правильно определить элементы зуба. Фреза должна удовлетворять следующим условиям.

1. Зуб фрезы должен быть достаточно прочен.

2. У новой фрезы междузубые канавки должны быть достаточных размеров для помещения стружки. После переточек междузубые канавки увеличиваются, поэтому в отношении забивания стружкой наиболее опасен первоначальный период работы фрезы.

3. Должен быть предусмотрен значительный запас на переточки по толщине зуба.

4. Число зубьев фрезы должно быть достаточным для плавной работы фрезы.

5. Междузубые канавки в начальный период должны быть достаточными для выхода затыловочного резца или шлифовального круга.

На фиг. 231 показаны элементы фрезы, которые приходится определять. Для упрощения расчета передний угол $\gamma = 0$ (передняя грань направлена радиально).

Диаметр фрезы можно определить по формуле

$$D = 2H + d + 2m,$$

где H — глубина канавок;

d — диаметр отверстия;

m — толщина тела фрезы, которая может быть принята равной $(0{,}5 - 0{,}3)\,d$.

После ориентировочного подбора диаметра необходимо вычертить зуб в масштабе.

Так же как и при конструировании фрез с остроконечными зубьями, у фрез с затылованным зубом стараются выбирать наименьший допустимый диаметр фрезы. В отдельных случаях (червячные зуборезные фрезы, пальцевые модульные и т. д.) выбор диаметра определяется условиями, связанными с размерами детали. Подробно об этом будет изложено в соответствующих разделах зуборезного инструмента. На практике применяют следующие диаметры фрез и диаметры отверстий (рассчитаны на среднюю высоту профиля):

для фрез диаметром до	55 *мм*	$d = 16$ *мм*
„ „ „	55—65 *мм*	$d = 22$ „
„ „ „	70—85 „	$d = 27$ „
„ „ „	90—110 „	$d = 32 \div 40$ *мм*

У фрез с затылованным зубом диаметр тесно связан с числом зубьев, высотой профиля и величиной затылования.

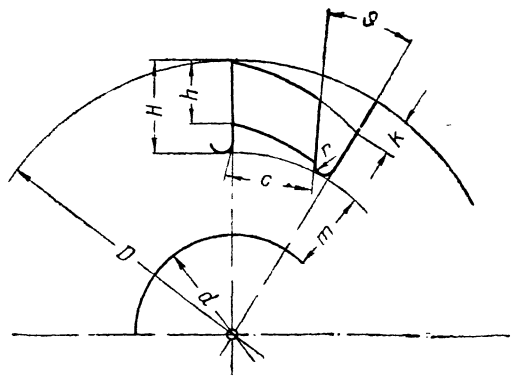
Величина H представляет собой глубину канавки и может быть определена по формуле

$$H = h + K + r,$$

где h — высота затылуемого профиля;

K — величина падения затылка;

r — радиус дна канавки, принимается от 1 до 5 *мм* в зависимости от диаметра фрез. Высота h принимается на 1—5 *мм* больше высоты профиля детали, чем обеспечивается известный запас по высоте профиля при фрезеровании деталей с повышенным припуском.



Фиг. 231. Элементы затылованного зуба.

Величина затылования K определяется по формуле

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — задний угол у вершины зуба.

Конструктор вначале приближенно определяет диаметр фрезы и диаметр отверстия по приведенным выше соотношениям (для фрез диаметром 55—110 *мм*), затем производит расчет элементов зуба и вычерчивает зуб фрезы и только тогда определяет окончательно глубину канавки, число зубьев фрезы и диаметр фрезы. В этом определенная трудность расчета затылованных фрез.

Число зубьев фрезы. Число зубьев фрезы должно быть выбрано так, чтобы обеспечить равномерную работу фрезы и достаточную толщину зуба у основания.

На фиг. 231 толщина зуба обозначена буквой c. Для вычерчивания зуба число зубьев фрезы может быть принято ориентировочно в зависимости от шага фрезы по формуле

$$z = \frac{\pi D}{S_{окр}}.$$

В эту формулу кроме диаметра фрезы входит окружной шаг зубьев $S_{окр}$.

Чистовые фрезы должны по возможности иметь бо́льшее количество зубьев в контакте с деталью, так как после обработки чистовой фрезой обработанная поверхность не должна иметь заметных следов от неравномерной работы фрезы. В черновых фрезах окружной шаг может быть увеличен. В этом случае чистота обрабатываемой поверхности имеет меньшее значение, но зато важно обеспечить прочность зуба фрезы и достаточное количество переточек. В тех случаях, когда глубина фрезерования неизвестна (в фрезах общего назначения), окружной шаг в зависимости от высоты зуба H может быть принят: для чистовых фрез $S_{окр} = (1{,}3 \div 1{,}8)H$; для черновых фрез $S_{окр} = (1{,}8 \div 2{,}5)H$.

Число зубьев в зависимости от глубины фрезерования может быть определено так же, как и у фрез с остроконечными зубьями. Для этого используем формулу (см. стр. 241)

$$\cos\frac{\varphi}{2} = 1 - \frac{2t}{D},$$

откуда найдем угол контакта φ.

Зная угол контакта φ, легко определить минимально необходимое число зубьев при условии, что в контакте с обрабатываемым изделием находится не менее двух зубьев:

$$z_{min} \geqslant \frac{720}{\varphi}.$$

Когда величина t мала и увеличить число зубьев невозможно, изготовляют затылованные фрезы со спиральным зубом (например, обдирочные затылованные фрезы). Если фрезы предназначены для фасонных работ, глубиной фрезерования t является высота профиля изделия h (обычно значительная); угол контакта в этом случае получается бо́льшим, следовательно, можно брать число зубьев z достаточно малым.

Ориентировочно число зубьев фрезы, в зависимости от диаметра, можно принимать равным (по И. И. Семенченко):

при $D = 45 \div 55$ *мм* . . . . . $z = 16 \div 14$
„ $D = 50 \div 65$ „ . . . . . $z = 12 \div 11$
„ $D = 70 \div 90$ „ . . . . . $z = 10 \div 9$
„ $D = 95 \div 110$ „ . . . . . $z = 8 \div 7$

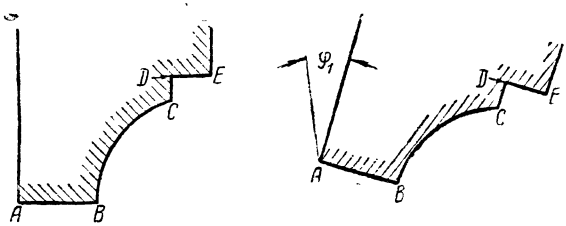
причем бо́льшие числа зубьев относятся к меньшим диаметрам фрез, меньшие числа зубьев — к большим диаметрам.

Удобнее брать четное число зубьев. Но это часто бывает невозможно, так как при измененном числе зубьев на один в ту или другую сторону резко изменяются основные элементы зуба (особенно при небольших числах зубьев). Поэтому приходится принимать также и нечетные числа зубьев.

После определения диаметра и числа зубьев необходимо произвести окончательный расчет величины затылования K. Рекомендуется при подсчете исходить из величины заднего угла $\alpha = 10 \div 14°$. В тех случаях, когда профиль имеет участки, наклоненные к торцевой плоскости фрезы под углом φ (см. фиг. 227), расчет величины затылования следует производить, исходя из минимально допустимого угла α_x (угол бокового зазора), равного минимально 3—4°. При меньших значениях этого угла резание будет проходить очень плохо. Расчет заднего угла α производится по формуле (см. стр. 286)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{r_x}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha_x}{\sin\varphi}.$$

Для криволинейных участков профиля угол φ является углом наклона касательной в рассматриваемой точке к торцевой плоскости фрезы.



Фиг. 232. Поворот профиля изделия в целях улучшения задних углов на вертикальных участках профиля.

Если при этом угол α получается больше 15—17°, то необходимо попытаться исправить этот недостаток. Исправление возможно двумя способами. При первом способе поворачивают профиль детали относительно оси фрезы, как показано на фиг. 232. Например, для затылования дан профиль $ABCDE$; на участках BC и CD угол φ очень мал. Следовательно, на этих участках необходимо делать очень большой задний угол α с тем, чтобы получить минимальный задний угол $\alpha_x = 3 \div 4°$. Если только форма детали позволяет повернуть ее на угол φ_1, следует это сделать. Тогда угол α будет увеличен и, следовательно, сохранится минимальный задний угол $\alpha_x = 3 \div 4°$. Необходимый минимальный угол φ_1 поворота детали можно определить по формуле (см. стр. 286)

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{R}{r_x}\operatorname{tg}\alpha\sin\varphi_1.$$

Полагая $\alpha_x = 4°$, а $\alpha = 15°$, найдем угол φ_1:

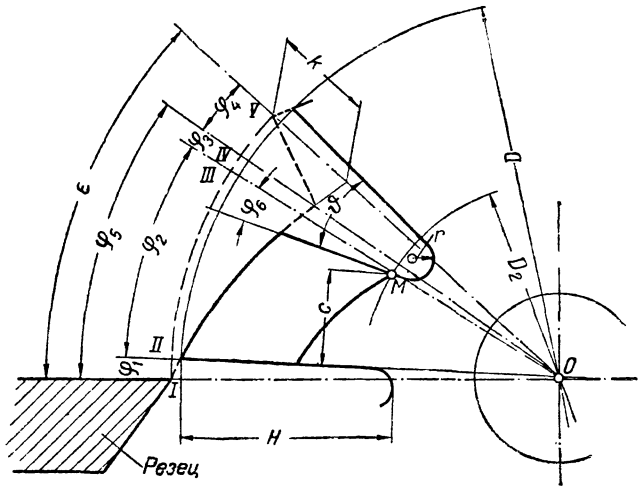
$$\sin\varphi_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_x r_x}{\operatorname{tg}\alpha \cdot R}$$

или

$$\sin\varphi_1 = \frac{\operatorname{tg} 4°}{\operatorname{tg} 15°} \cdot \frac{r_x}{R}.$$

Первый способ исправления условий резания фасонной затылованной фрезы не всегда возможен. Иногда повернуть профиль детали относительно торцевой плоскости фрезы невозможно. Тогда прибегают к другому способу. Таким способом является косое затылование под углом (см. фиг. 229). На стр. 288 дана формула для определения направления движения затыловочного резца.

Окончательное определение элементов зуба и канавки[1]. После предварительного определения диаметра фрезы, диаметра отверстия, числа зубьев и величины затылования производится



Фиг. 233. Затылование зуба фрезы (схема положений резца).

окончательное определение элементов зуба. Для этого необходимо ясно представлять себе процесс затылования. На фиг. 233 показан затылованный зуб фрезы со всеми элементами.

Пунктирной линией показана траектория движения резца относительно зуба фрезы. В начальном положении *I* резец подходит к зубу фрезы. Резец за время поворота фрезы на угловой шаг ε (центральный угол между зубьями) должен пройти весь путь затылования от одного зуба к другому. Кулачок на станке должен за это же время сделать один полный оборот. Если из центра фрезы провести лучи, соответствующие определенным положениям резца, то луч *I* будет соответствовать начальному положению резца, луч *II* — моменту соприкосновения затылованного резца с зубом фрезы, луч *III* — моменту схода резца с затылуемой поверхности. Луч *IV* соответствует моменту начала обратного отвода резца. Луч *V* соответствует концу обратного хода резца и началу подхода к следующему зубу. Обозначив углы между лучами φ_1, φ_2, φ_3 и φ_4, определим угол рабочего хода φ_5.

Он будет равен

$$\varphi_5 = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$$

[1] См. В. М. Воробьев, „Станки и инструмент" № 3, 1936.

и должен соответствовать углу рабочего хода кулачка. Угол холостого или обратного отвода фрезы φ_4 будет соответствовать углу φ_x холостого хода кулачка. Практически углы φ_1 и φ_3 можно брать в сумме равными 1—2°.

При определенном кулачке мы имеем определенные соотношения между углом φ_4 и ε:

$$\frac{\varepsilon}{\varphi_4} = 4;\ 6 \text{ или } 8.$$

Следовательно, угол φ_4 может быть различный в зависимости от применяемого кулачка.

Зная углы ε и φ_4, а также задавшись углами φ_1 и φ_3, можно определить угол φ_2:

$$\varphi_2 = \varepsilon - \varphi_4 - \varphi_1 - \varphi_3.$$

Угол φ_2 дает возможность определить ширину C зуба у основания. Ширину C можно определить по формуле

$$C = \left(\frac{D}{2} - K\frac{\varphi_2}{\varepsilon} - h\right)\sin\varphi_2.$$

Для определения положения точки M необходимо определить диаметр D_2:

$$D_2 = D - \frac{2K\cdot\varphi_2}{\varepsilon} - 2h.$$

Найденное нами положение точки M, ограниченное величиной C и D_2, дает возможность определить точно радиус закругления дна канавки r. Для упрощения принимают r равным

$$r = \frac{\pi D}{10z}.$$

Полная глубина канавок H может быть определена теперь совершенно точно:

$$H = h + K_1 + r,$$

где K_1 может быть определено по формуле

$$K_1 = \frac{K\cdot\varphi_2}{\varepsilon};$$

если отношение $\frac{\varphi_2}{\varepsilon} = \frac{3}{4}$, то $K_1 = \frac{3}{4}K$;

„ „ $\frac{\varphi_2}{\varepsilon} = \frac{5}{6}$, „ $K_1 = \frac{5}{6}K$;

„ „ $\frac{\varphi_2}{\varepsilon} = \frac{7}{8}$, „ $K_1 = \frac{7}{8}K$.

Для того чтобы высота зуба H имела запас для выхода затыловочного резца, часто пренебрегают этими последними соотношениями и при определении H принимают $K_1 \approx K$.

После определения H производится проверка. У хорошего прочного зуба $\frac{C}{H} = 0{,}8 \div 1\ 0$.

Определение угла рабочей канавочной фрезы ϑ. Задняя сторона зуба по отношению к лучу *III* должна быть наклонена под углом $\varphi_6 = 15 \div 20°$. Тогда угол канавки будет равен

$$\vartheta = \varphi_3 + \varphi_4 + \varphi_1 + \varphi_6;$$

так как $\varphi_1 + \varphi_3 = 1 \div 2°$, а $\varphi_6 = 15 \div 20°$,

$$\vartheta = \varphi_4 + (16 \div 22°),$$

φ_4 можно определить из условий затылования резца кулачками.

$$\text{Если } \frac{\varphi_4}{\varepsilon} = \frac{1}{4}, \text{ то } \varphi_4 = \frac{\varepsilon}{4};$$

$$\frac{\varphi_4}{\varepsilon} = \frac{1}{6}, \text{ „ } \varphi_4 = \frac{\varepsilon}{6};$$

$$\frac{\varphi_4}{\varepsilon} = \frac{1}{8}, \text{ „ } \varphi_4 = \frac{\varepsilon}{8}.$$

Тогда

$$\vartheta = \frac{\varepsilon}{(4 \div 8)} + (16 \div 22°).$$

Но

$$\varepsilon = \frac{360}{z},$$

и, следовательно,

$$\vartheta = \frac{360}{(4 \div 8)z} + (16 \div 22°).$$

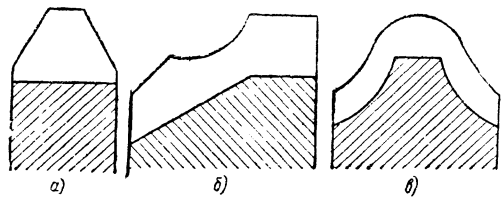
После определения ϑ необходимо округлить полученную величину до ближайшего размера угловой канавочной фрезы по ГОСТ 3965-47 или ГОСТ 3966-47.

Форма впадины. В практике конструирования фрез с затылованным зубом встречается необходимость делать впадину зуба более сложной конфигурации (фиг. 234).

На фиг. 234, *а* показан простейший случай — впадина идет параллельно оси зуба. Такая форма встречается далеко не у всех фрез. Часто приходится прибегать к другим формам впадин (фиг. 234, *б* и *в*), но изготовление таких фрез сложнее, чем по форме фиг. 234, *а*. Однако конструктору в некоторых случаях приходится прибегать к усложнению формы впадин, например, при большой глубине h профиля. Если взять для большой глубины h профиля форму впадины по типу фиг. 234, *а*, то придется во избежание чрезмерного ослабления зуба делать фрезу

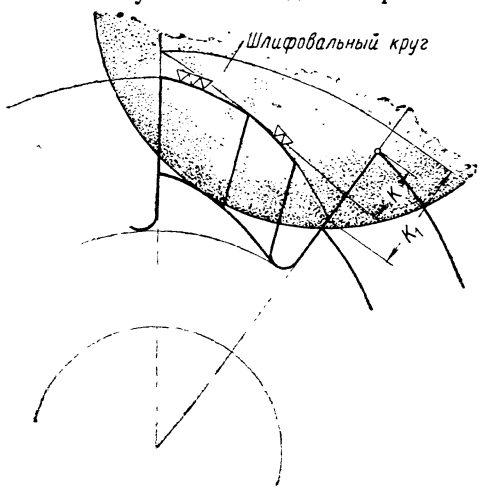
большого диаметра. Увеличение диаметра фрезы, во-первых, не всегда возможно, а, во-вторых, крайне нежелательно, так как повлечет за собой излишний расход материала.

Расчет фрез со впадиной типов фиг. 234, *б* и *в* производится вначале по наибольшей глубине профиля. Число зубьев выбирается предварительно по формулам, приведенным на стр. 290. Зуб получается тонким. Отношение $\frac{C}{H}$ получается значительно меньше 0,8—1,0. Для сохранения прочности зуба изменяют форму впадин, тем самым значительно укрепляется зуб. Рекомендуется при таком изменении формы впадины делать глубину впадины во всех точках равномерной. Правда, в точках, наиболее удаленных от центра, лучше делать глубину больше, так как при одной и той же подаче на зуб общее количество стружки зависит от длины дуги контакта и больше на участках, имеющих наибольший диаметр.



Фиг. 234. Типы впадин у фасонных фрез с затылованным зубом.

Двойное затылование. При конструировании фрез с затылованным зубом необходимо заранее знать все требования к профилю и способ обработки профиля зуба. Если зуб обрабатывается резцом на затыловочном станке, тогда расчет фрезы производится по приведенным выше формулам. Если затылованный резцом зуб должен быть после термической обработки отшлифован (например, резьбовые, зуборезные червячные и прочие фрезы), то необходимо в этом случае предусмотреть выход шлифовального круга. Затылование зуба рекомендуется производить двумя кулачками (фиг. 235). Один кулачок имеет расчетную величину затылования K, другой кулачок — K_1. Обычно $K_1 = (1{,}2 \div 1{,}5)K$. Полученный таким путем зуб может быть отшлифован по профилю шлифовальным кругом с кулачком K.

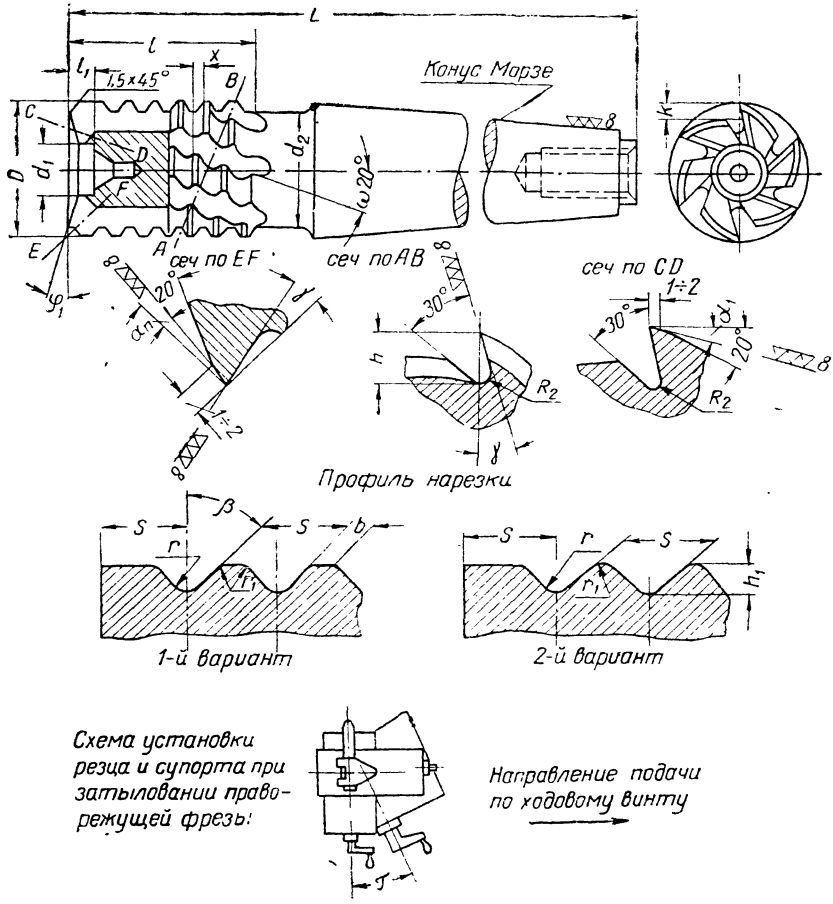


Фиг. 235. Двойное затылование зуба при шлифованном профиле.

Затылованный зуб применяется у различных типов фрез. В настоящей главе разберем конструкции цилиндрических, дисковых, пазовых, угловых и фасонных фрез.

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ФРЕЗЫ С ЗАТЫЛОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ

Применение затылованного зуба у цилиндрических фрез встречается значительно реже, чем остроконечного зуба. Однако при выполнении тяжелых обдирочных работ применяют фрезы с затылованными зубьями.



Фиг. 236. Цилиндрические фрезы с затылованным зубом.

Эти фрезы (фиг. 236) получили название „кукурузных" потому, что стружкоразделительные канавки особой формы, которыми снабжены их зубья, внешне напоминают початок кукурузы.

Фрезы могут быть как насадные, так и хвостовые; в отдельных случаях они снабжаются зубьями на одном из торцов и могут работать как торцевые. Зубья фрезы винтовые. Угол наклона ω принимается обычно в пределах 20—30°. Поскольку фрезы предназначены для тяжелых обдирочных работ, они снабжаются стружкоразделительными канавками.

Если развернем зубья фрезы на плоскость, то увидим, что режущие кромки канавок расположены на кольцевых выступах, смещенных друг относительно друга на некоторую величину. Для удобства затылования таких фрез эту величину смещения от зуба к зубу принимают одинаковой. Таким образом, если рассмотрим вершины режущих кромок, они будут расположены по винтовой линии с шагом $S = x \cdot z$, где z — число зубьев фрезы. Величина x выбирается так, чтобы кольцевые выступы соседних зубьев перекрывали бы друг друга. Если через b обозначить ширину зуба, то условие перекрытия будет соблюдено, когда $x < b$; величина перекрытия $(b-x)$ принимается обычно равной 1,5—3 *мм*.

Затылование стружкоразделительных канавок производится на затыловочном станке. Станок настраивается так, чтобы затылование происходило по винтовой линии с шагом S. Для получения кольцевых выступов на фрезе при перемещении резца по винтовой линии используется движение затыловочного супорта. Направление затылования устанавливается под углом τ. Величина затылования K подбирается с таким расчетом, чтобы перемещению x резца вдоль оси фрезы от зуба к зубу соответствовало бы обратное равномерное движение затыловочного супорта на такую же величину x.

В результате сложения двух движений по винту в одну сторону и затылования — в обратную, траектория резца относительно фрезы представляет собой кольцевую линию.

Определим необходимую величину затылования K кулачка и угол поворота супорта τ. Если при повернутом на угол τ супорте обозначить величину затылования в направлении оси фрезы через K_0, а в направлении, перпендикулярном оси, через K_T, то необходимая величина затылования K (или спад затылка кулачка) будет гипотенузой прямоугольного треугольника, построенного на катетах K_0 и K_T. Величина K_0 для обеспечения кольцевого направления витка должна быть равна смещению x режущих кромок соседних зубьев. Определим угол τ:

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{K_0}{K_T} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}\tau = \frac{x}{K_T}.$$

Подставив величину

$$K_T = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg}\alpha,$$

получим

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{x \cdot z}{\pi D \operatorname{tg}\alpha}.$$

Величина затылования кулачка K определится

$$K = \frac{K_T}{\cos\tau} \quad \text{или} \quad K = \frac{\pi D}{z} \cdot \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\tau}.$$

При настройке необходимо учитывать направление зуба фрезы (праворежущая и леворежущая фреза). Размеры цилиндрических обдирочных фрез с затылованным зубом приводятся в ГОСТ 4675-49.

ДИСКОВЫЕ ФРЕЗЫ С ЗАТЫЛОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ

На фиг. 228 изображена пазовая затылованная фреза. Размеры таких фрез предусмотрены ОСТ 20194-40.

Зуб затылуется только по наружному диаметру, боковые стороны зуба шлифованы. Для уменьшения трения боковых сторон зуба о стенки паза при фрезеровании делаются выемки с обеих сторон и оставляются у вершин зуба только узкие ленточки шириной от 1 до 2,5 *мм* в зависимости от размера фрезы.

При работе такими фрезами благодаря отсутствию заднего угла на торцевых кромках происходит налипание металла и интенсивный износ. Паз, профрезерованный такой фрезой, имеет грубые следы обработки.

Единственным преимуществом фрез является сохранение их ширины при переточках.

ФАСОННЫЕ ФРЕЗЫ С ЗАТЫЛОВАННЫМИ ЗУБЬЯМИ

Наибольшее распространение получили фасонные фрезы с затылованными зубьями (фиг. 237). Затылованный зуб позволяет сохранить профиль фрезы после переточек. Заточка фасонных фрез с затылованным зубом производится только по передней грани. Разберем несколько типов фасонных фрез с затылованным зубом.

Полукруглые выпуклые (фиг. 237, *а*) **и вогнутые** (фиг. 237, *б*) **фрезы.** Размеры таких фрез предусмотрены ГОСТ 3962-47 и ГОСТ 3963-47.

Фрезы предназначаются для фрезерования полукруглых канавок и выступов с радиусом от 1,5 до 12 *мм*.

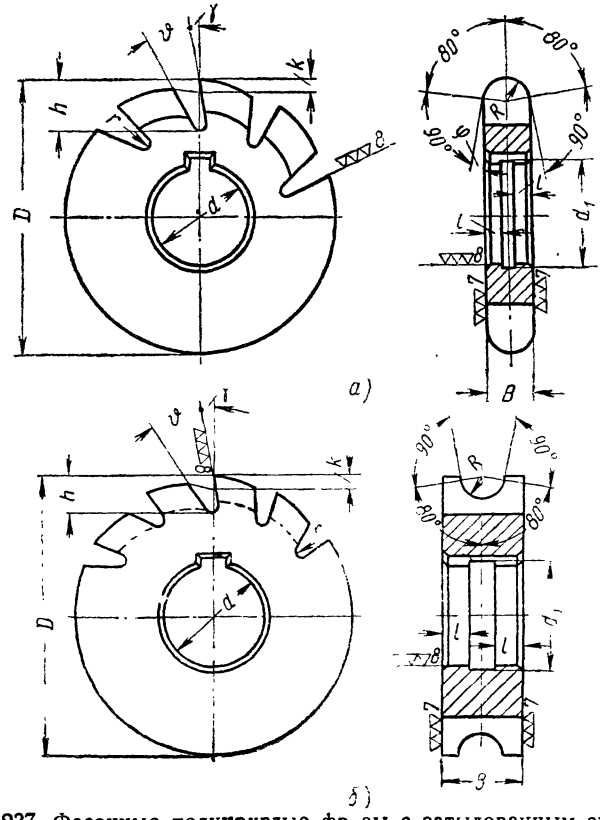
Профиль фрез показан на чертеже. Как видно из чертежа (фиг. 237), он выполнен неполностью по окружности. Окружность имеется только на углах 80° в ту и другую стороны. Это делается для того, чтобы по возможности облегчить тяжелые условия резания у тех участков фрезы, где угол φ (угол наклона касательной к профилю фрезы по отношению к торцевой плоскости) мал. Если бы профиль был выполнен в виде полуокружности, то на крайних участках профиля угол φ был бы равен нулю и это обязательно вызывало бы трение на этих участках, так как задний угол α_x был бы равен нулю.

В стандарте принят минимальный угол $\varphi = 10°$. Тогда в крайних точках $\alpha_x = 3°$, а это вполне достаточно.

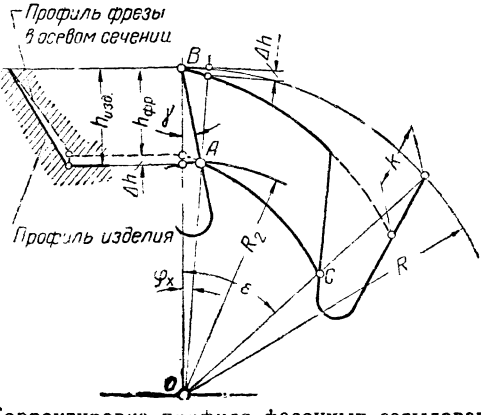
Рассмотренные нами фасонные фрезы имеют небольшой передний угол $\gamma = 5°$. Вследствие наличия переднего угла у фасонных фрез получаются искажения профиля. Эти искажения следует предусматривать и соответственно корректировать затыловочные резцы. Корректировка производится у фрез с точным профилем, а также у неточных фрез в тех случаях, когда передний угол $\gamma > 5°$.

Расчет искажения профиля фасонных затылованных фрез. На фиг. 238 показан зуб фасонной фрезы ($\gamma > 0$).

Обозначим: $h_{фр}$ — высота профиля фрезы в осевом сечении и затыловочного резца для нее; $h_{изд}$ — высота профиля, получающаяся на детали при фрезеровании фрезой с передним углом γ.



Фиг. 237. Фасонные полукруглые фрезы с затылованным зубом:
а — полукругло-выпуклые; *б* — полукругло-вогнутые.



Фиг. 238. Корректировка профиля фасонных затылованных фрез.

Из фиг. 238 можно определить $h_{фр} = h_{изд} - \Delta h$.

Зная угол φ_x, можно определить величину Δh:

$$\frac{\Delta h}{K} = \frac{\varphi_x}{\varepsilon},$$

где центральный угол между зубьями $\varepsilon = \frac{360^\circ}{z}$.

Преобразуя пропорцию, получим

$$\Delta h = \frac{K \cdot z}{360} \varphi_x.$$

Подставив Δh в выражение $h_{фр}$, получим

$$h_{фр} = h_{изд} - \frac{K \cdot z}{360^\circ} \varphi_x.$$

Остается определить угол φ_x. Этот угол можно определить, решив косоугольный треугольник AOB, у которого сторона $BO = R$; сторона $AO = R_2 = R - h_{изд}$. Сторона AB нам неизвестна, но известен угол γ, следовательно, треугольник решить можно. Определим угол φ_x:

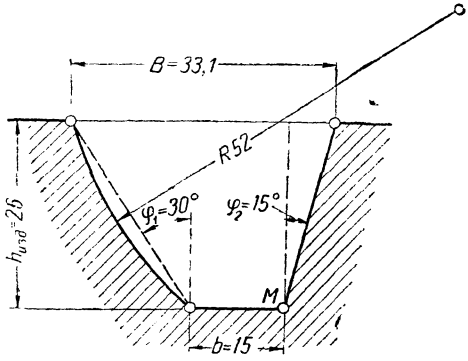
по теореме синусов

$$\frac{R - h_{изд}}{\sin \gamma} = \frac{R}{\sin [180 - (\gamma + \varphi_x)]}$$

или

$$\varphi_x = \arcsin \frac{R \sin \gamma}{R - h_{изд}} - \gamma.$$

Приведенный метод расчета корректированного профиля фрезы в практике применяют только для фрез, профиль которых ограничен прямыми линиями. В тех случаях, когда фасонная фреза имеет криволинейный профиль, стараются принимать передний угол $\gamma = 0$. Если же фреза имеет неточный профиль, то пренебрегают корректированием, так как корректирование криволинейного профиля сложно.



Фиг. 239. Профиль детали.

Существует также способ получения фрез с криволинейным профилем путем введения переднего угла на затыловочных резцах.

Пример расчета фасонной фрезы. Дано: рассчитать и сконструировать фасонную фрезу для обработки стальной детали (сталь $\sigma_b = 50$ *кг/мм²*). Фреза должна быть следующего профиля (фиг. 239): $\varphi_1 = 30^\circ$; $\varphi_2 = 15^\circ$; $h_{изд} = 26$ *мм*; $b = 15$ *мм*; $R = 52$ *мм*.

Фреза предназначается для чистовой работы и должна быть выполнена с возможно большим числом зубьев.

Расчет фрезы начинаем с определения диаметра. Диаметр можно определить приближенно по формуле

$$D = 2H + (1{,}6 \div 2)\, d.$$

Задаемся величиной $d = 40$ *мм*. Считая $H = h_{изд} + K + r$ и полагая приближенно $K = 10$ и $r = 3$ *мм*, получим

$$H = 26 + 10 + 3 = 39 \text{ мм}; \qquad D = 39 \cdot 2 + 1{,}6 \cdot 40 = 142 \text{ мм}.$$

Полученный таким приближенным подсчетом диаметр D должен быть проверен последующим расчетом.

Число зубьев z получим, полагая

$$S_{окр} = 1{,}3 \cdot H,$$

тогда

$$S_{окр} = 1{,}3 \cdot 39 = 50{,}7 \text{ мм};$$

$$z = \frac{\pi D}{S_{окр}} = \frac{3{,}14 \cdot 142}{50{,}7} = 8{,}8; \text{ принимаем } z = 9.$$

После такого предварительного подсчета необходимо произвести расчет элементов зуба. Принимая диаметр фрезы 140 *мм* и число зубьев $z = 9$, рассчитаем величину затылования K. Примем на правой стороне профиля наименьший задний угол $\alpha_x = 4°$. Задний угол α в точке M определим по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\operatorname{tg}\alpha_x}{\sin\varphi} = \frac{\operatorname{tg} 4°}{\sin 15°} = \frac{0{,}0699}{0{,}259} = 0{,}27.$$

Следовательно,

$$\alpha = 15°\,07'.$$

После этого можно найти величину затылования K:

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg}\alpha = 13{,}2 \text{ мм}.$$

Берем

$$K = 13 \text{ мм}.$$

Поскольку фреза чистовая и впадина для стружки может быть небольшая, принимаем кулачок с отношением

$$\frac{\varphi_x}{\varepsilon} = \frac{1}{6}.$$

На фиг. 240 изображен зуб фрезы. Определим основные конструктивные элементы зуба (см. стр. 292—293).

Угол $\varphi_1 + \varphi_3 = 1°$. Угол $\varepsilon = \frac{360°}{z} = 40°$. Угол $\varphi_4 = \frac{1}{6}\varepsilon$ (по условиям кулачка); $\varphi_4 = 6°40'$. Угол $\varphi_2 = \varepsilon - \varphi_4 - \varphi_1 - \varphi_3 = 40° - 6°40' - 1° = 32°20'$.

Для удобства расчета угол φ_2 переведем в десятичную дробь, т. е. $\varphi_2 = 32{,}34°$.

Ширина зуба у основания C:

$$C = \left(\frac{D}{2} - \frac{K \cdot \varphi_2}{\varepsilon} - h\right) \sin\varphi_2 = \left(\frac{140}{2} - \frac{13 \cdot 32{,}34°}{40} - 26\right) 0{,}535; \quad C \approx 18 \text{ мм}.$$

Диаметр D_2 определится по формуле

$$D_2 = D - 2\frac{K \cdot \varphi_2}{\varepsilon} - 2h = 140 - \frac{2 \cdot 13 \cdot 32{,}34°}{40} - 2 \cdot 26 = 67 \text{ мм}.$$

Затем определим радиус закругления впадины по приближенной формуле

$$r = \frac{\pi D_2}{10z} = \frac{3{,}14 \cdot 67}{10 \cdot 9} \approx 2{,}5 \text{ мм}.$$

При прочерчивании устанавливаем $r = 3$ *мм*. Величину K_1 принимаем по формуле

$$K_1 = \frac{K \cdot \varphi_2}{\varepsilon} = \frac{13 \cdot 32{,}34}{40} = 10{,}5 \text{ мм}.$$

Теперь можно определить глубину канавки H:

$$H = h + K_1 + r = 26 + 10{,}5 + 3 = 39{,}5 \text{ мм};$$

принимаем

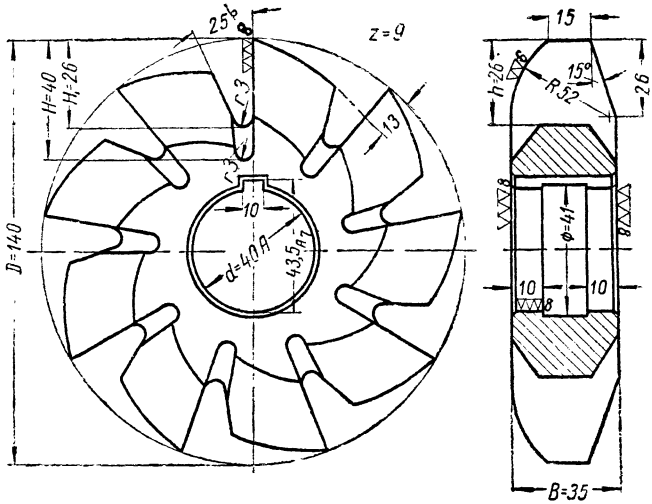
$$H = 40 \text{ мм}.$$

Дальше найдем угол канавочной фрезы (в нашем случае кулачок принят 60°):

$$\vartheta = \frac{\varepsilon}{6} + (16 \div 22) = \frac{40}{6} + 19 = 25°.$$

Остановимся на значении угла $\vartheta = 25°$.

Определив расчетом все элементы зуба, обязательно следует произвести графическую проверку. Вычерчивание рекомендуется вести в масштабе 1 : 1.



Материал — сталь 9ХС, термическая обработка $H_{RC} = 61 \div 63$.

Клеймить: № чертежа, материал, марку завода.
Профиль — по шаблону; допустимый просвет 0,1 мм.
Остальное — по техническим условиям.

Фиг. 240. Чертеж затылованной фасонной фрезы.

Следует проверить, достаточна ли ширина зуба C. Рекомендуется толщину зуба принимать $C \geqslant 0{,}8H$. В нашем случае $\frac{C}{H} = \frac{18}{40} = 0{,}45$, т. е. зуб у основания получился очень тонкий, поэтому впадину необходимо выполнить различной глубины, как показано на фиг. 234, *б*.

В правой части фиг. 240 показан зуб с измененной впадиной. Высоту H_1 следует принимать не менее $h_{изд}$ с тем, чтобы при заточке можно было бы сразу заточить участки передней грани до дна впадины.

Для вычерчивания фрезы остается наметить размеры отверстия и выточек, шпонки и фаски. Допуски на отверстие и шпоночный паз принимаются по ГОСТ 4020-48. На профиль фрезы допуски, как правило, не даются, указывается только допустимый просвет по профилю при измерении профиля шаблоном. Для нашей фрезы можно назначить просвет по профилю в 0,1 *мм*.

ЗАТОЧКА ФРЕЗ

Для заточки фрез применяются универсально-заточные станки или в отдельных случаях (заточка крупных торцевых фрез) специальные станки.

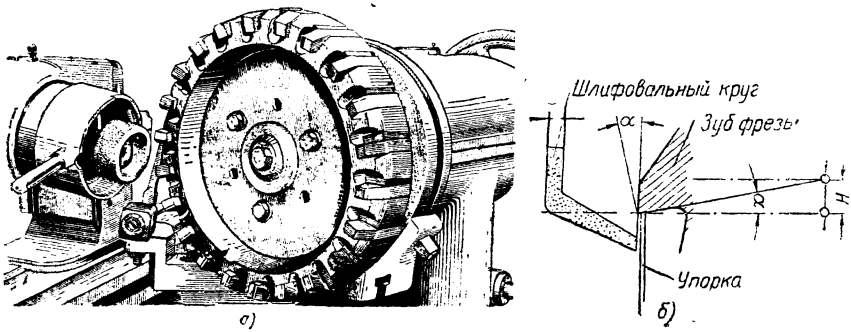
При заточке фрез с остроконечными зубьями, осуществляемой по задней грани, необходимо так установить фрезу, чтобы можно

было подвести зуб фрезы к шлифовальному кругу (фиг. 241, *а*). Заточка производится торцом шлифовального круга чашечной формы. Зуб фрезы должен быть расположен по отношению к кругу так, чтобы получить требуемый задний угол (фиг. 241, *б*). Зуб передней гранью опирается на неподвижную упорку. Величина понижения H рассчитывается по формуле

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha.$$

Из формулы следует, что с увеличением заднего угла необходимо упорку ставить еще ниже центра фрезы.

Переточка фрез с остроконечным зубом по передней грани производится редко, но при изготовлении фрезы затачивание ее по перед-

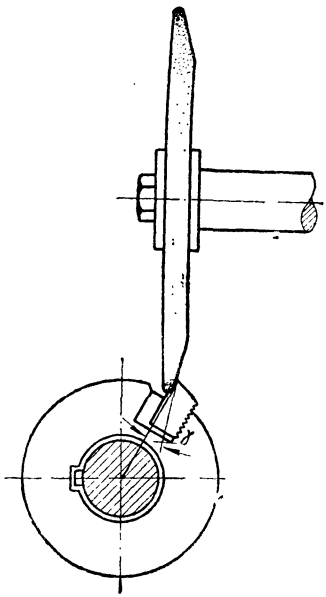


Фиг. 241. Заточка зуба фрезы по задней грани.

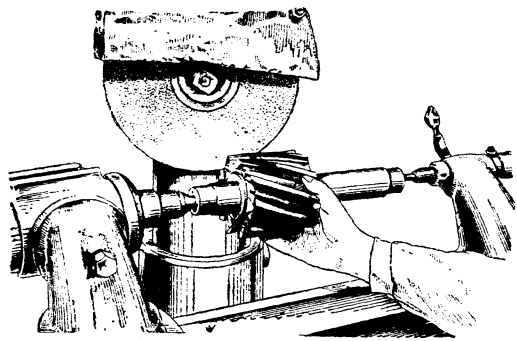
ней грани обязательно. Заточка по передней грани должна производиться до заточки по задней грани с таким расчетом, чтобы заусенцы, получающиеся в результате заточки по передней грани, не оставались. Перед заточкой по передней грани фрезы шлифуют по диаметру предварительно. Окончательное шлифование фрез по диаметру производят после заточки по передней грани (иногда называют заточку по передней грани заточкой под зубом). Заточку по передней грани производят на универсально-заточных станках. Фрезу устанавливают вместе с оправкой, на которую ее насаживают, в центры заточного станка и затем подводят к заточному кругу. На фиг. 242 схематически показана установка шлифовального круга по отношению к оси фрезы. Требуемый передний угол γ получается за счет смещения оси фрезы относительно рабочей поверхности шлифовального круга. На фиг. 243 показана заточка цилиндрической фрезы со вставными зубьями. Фреза установлена на оправке и свободно поворачивается в центрах заточного станка. Рабочий-заточник рукой поворачивает фрезу, прижимая ее к кругу, и одновременно передвигает стол заточного станка; в результате фреза затачивается по винтовой поверхности. Деление от зуба к зубу производится вручную. Иногда затачивают фрезы с принудительным делением от зуба к зубу. Таким способом затачивают, например, червячные зуборезные фрезы, резьбовые фрезы и т. д., конструкция которых подробно описана в последующих главах.

Заточка фрез с затылованными зубьями несколько отличается от заточки фрез с остроконечными зубьями. Поскольку фрезы с затылованными зубьями должны затачиваться и перетачиваться исключительно по передней грани, заточка их по сравнению с заточкой фрез с остроконечными зубьями несколько проще. Фреза должна быть установлена на оправке в центры заточного станка или может быть установлена на специальном приспособлении.

При заточке затылованных фрез существенно необходимо, чтобы режущие кромки были расположены на одном и том же диаметре, т. е. чтобы фреза не имела биения по режущим кромкам. Так как расстояние всех точек режущих кромок у затылованной фрезы



Фиг. 242. Схема расположения круга при затачивании фрезы по передней грани.

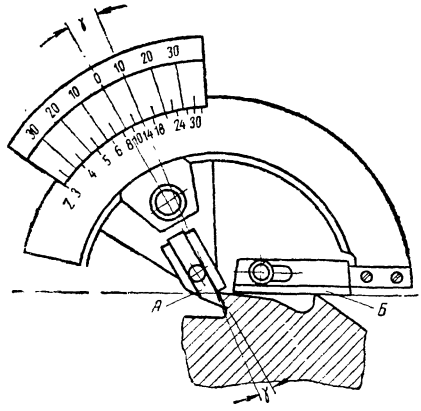


Фиг. 243. Заточка цилиндрической сборной фрезы по передней грани.

зависит исключительно от операции затылования зуба и последующего шлифования отверстия, то трудно при заточке фрезы по передней грани определить точно, какой слой необходимо снять. Для облегчения заточки затылованных фрез часто прибегают к такому приему: устанавливают фрезу на гладкую оправку и на круглошлифовальном станке шлифуют по диаметру вершины зубьев, но так, чтобы круг только коснулся всех зубьев фрезы. В результате такого шлифования на вершинах зубьев получаются небольшие цилиндрические ленточки. Затем устанавливают фрезу на приспособление заточного станка или в центры заточного станка и производят заточку по передней грани до полного исчезновения ленточки, сохраняя радиальное положение передней грани зуба. Ленточки, полученные от шлифования по диаметру, дают возможность ориентироваться рабочему, производящему заточку, в том, какой слой можно сточить с каждого зуба фрезы.

Контроль фрез после заточки. При заточке фрез должен производиться контроль величины задних и передних углов и биения по режущим кромкам. Для контроля задних и передних углов существует ряд приборов. Наиболее распространенным и удобным прибором является угломер канд. техн. наук Бабчиницера, изображенный на фиг. 244. Этот

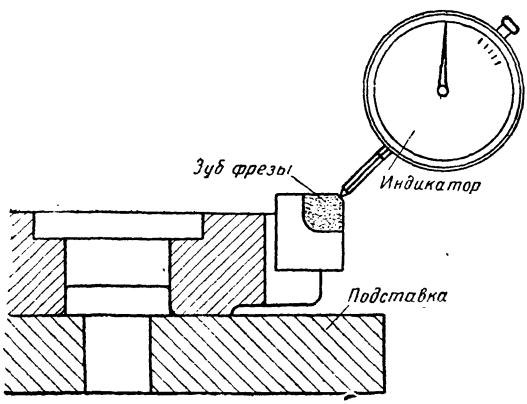
прибор состоит из градуированной дуги и ползушки, последняя устанавливается на острие зуба уголком *А*. Опорная линейка прибора *Б* опирается на острие соседнего зуба фрезы. При установке измерительной линейки *А* без видимого просвета по задней или передней грани зуба измеряется по шкале соответственно задний или передний угол. Отсчет величины угла по шкале производится против цифры, показывающей число зубьев измеряемой фрезы. На фиг. 244 показано измерение переднего угла $\gamma = 10°$ у фрезы с числом зубьев $z = 14$. Угломер Бабчиницера удобен тем, что позволяет производить измерение задних и передних углов как у фрез с прямыми, так и у фрез с винтовыми зубьями. При измерении углов у фрез с винтовыми зубьями прибор необходимо устанавливать в торцевом сечении фрезы; полученные же на приборе величины заднего и переднего углов должны быть пересчитаны в нормальное сечение по следующим формулам:



Фиг. 244. Угломер конструкции Бабчиницера.

$$\operatorname{tg}\gamma_n = \operatorname{tg}\gamma\cos\omega; \qquad \operatorname{tg}\alpha_n = \operatorname{tg}\alpha\cos\omega;$$

для углов ω, меньших 25°, пересчета можно не производить.



Фиг. 245. Измерение биения режущих кромок фрезы.

Необходимо контролировать биение режущих кромок фрезы относительно оси. Для этой цели пользуются простыми приборами, в которых фреза поворачивается на цилиндрической оправке, установленной в центрах, или закрепленной на приборе. На фиг. 245 показано измерение биения режущих кромок у торцевой фрезы со вставными зубьями. Фреза поворачивается на цилиндрическом выступе прибора; таким образом, базой при измерении служат отверстие и торцевая поверхность корпуса фрезы. При поворачивании фрезы наконечник индикатора скользит по задней грани зуба. Если режущие кромки будут расположены на различном расстоянии от центра, то стрелка индикатора будет по-

казывать различные крайние положения наконечника; разница между этими показаниями даст биение фрезы.

Контроль б ения фрезы после заточки очень важен. Если фреза будет иметь повышенное биение, то зубья ее будут работать неравномерно. Зубья, наиболее далеко отстоящие от центра, будут снимать значительно больший слой материала, а зубья, лежащие ближе к центру, будут нести меньшую нагрузку или при большом биении вообще не будут нести никакой нагрузки.

ПИЛЫ

Имеется два основных вида пил: кру лые пилы, выполненные в виде диска, и продольные пилы, выполненные в виде ленты или полотна.

Кроме режущих круглых пил, работающих по способу холодной распиловки, имеются еще так называемые пилы трения, которые представляют собой диски, вращающиеся с большой окружной скоростью (100—150 *м/сек*). Благодаря такой большой скорости пила, соприкасаясь с заготовкой, нагревает ее до температуры плавления, и расплавленные частицы металла выбрасываются из прореза диском пилы.

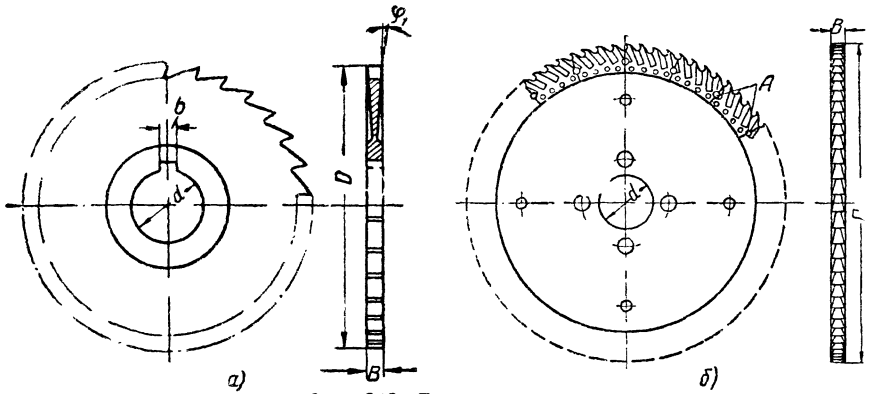
Несмотря на то, что пила расплавляет металл, диск пилы нагревается сравнительно мало, так как он быстро охлаждается на воздухе вследствие большой скорости вращения. В электрических пилах трения пила и изделие включаются в цепь электрического тока, и в месте соприкосновения пилы и изделия возникает вольтова дуга, которая ускоряет процесс распиловки металла. Имеются также анодно-механические пилы.

Продольные пилы разделяются на ножовочные полотна и ленточные пилы. В настоящей главе мы разберем только круглые пилы для холодной распиловки металла как относящиеся к группе фрез.

Конструкция круглых пил для холодной распиловки. Пила для холодной распиловки металла представляет собой острозаточенную фрезу для фрезерования узкой прорези. Пилы небольшого диаметра могут быть изготовлены в виде цельного диска, у которого имеется ряд зубьев, расположенных на периферии (фиг. 246, *а*). С целью уменьшения трения пилы о стенки пропила толщина диска должна уменьшаться по направлению от периферии к центру. Каждый зуб этой пилы представляет собой отдельный резец, который снимает стружку. Объем стружки пропорционален пути, проходимому этим резцом. Если диаметр пилы значителен, то объем стружки, снимаемый одним зубом, благодаря большой длине дуги соприкосновения может быть значительным. Междузубое пространство должно быть достаточно для помещения этой стружки. В зависимости от свойств обрабатываемого материала и от режимов резания форма и размеры снимаемой стружки могут быть различными. Поэтому число зубьев пил и форма впадины зуба должны быть определены с учетом условий работы пилы.

В настоящее время в связи с необходимостью применения пил из высококачественного материала (быстрорежущей стали) в целях экономии последней делают круглые пилы диаметром больше 250 *мм* сборной конструкции (фиг. 246, *б*). Существует несколько сборных конструкций

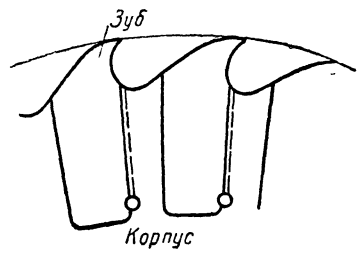
пил. Изображенная на фиг. 247 пила с отдельными вставными зубьями не получила широкого распространения, так как зубья пилы довольно трудно изготовлять. Кроме того, шаг такой пилы не может быть сделан малым. К недостаткам этой конструкции относится также и то, что



Фиг. 246. Дисковые пилы:
а — цельная; *б* — с приклепанными сегментами.

при работе пилы может выскочить и поломаться один из ее зубьев, при этом он может повредить остальные зубья и само полотно пилы (ее корпус).

Наибольшее распространение получили сборные пилы с приклепанными сегментами (фиг. 246, *б*). Корпус пилы выполнен в виде диска, на периферии которого имеется тонкий кольцевой выступ. По всей окружности к диску приклепаны заклепками сегменты из быстрорежущей стали. Сегмент имеет узкий паз, которым он вставляется на кольцевой выступ диска пилы и закрепляется на этом кольцевом выступе заклепками, проходящими через диск пилы. Кроме заклепок, скрепляющих сегмент с диском, два смежных сегмента скрепляются также между собой заклепкой *А*, которая вставляется и заклепывается в месте стыка двух сегментов. Режущая часть сегмента имеет несколько зубьев Число зубьев сегмента различное в зависимости от обрабатываемого материала.



Фиг. 247. Крепление отдельных вставных зубьев в корпусе пилы.

Конструкция дисковой пилы с сегментами надежна в работе и сравнительно проста в изготовлении. Такие пилы стандартизованы в ГОСТ 4047-48.

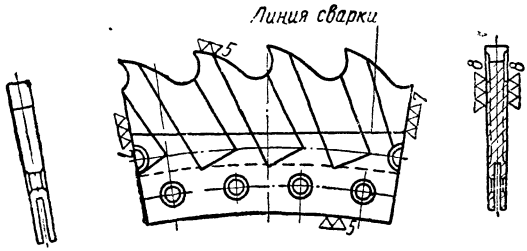
По числу зубьев пилы делятся на три группы: мелкозубые, среднезубые и крупнозубые.

Первая группа пил предназначена для материалов повышенной твердости, имеет 8 зубьев на сегменте.

*

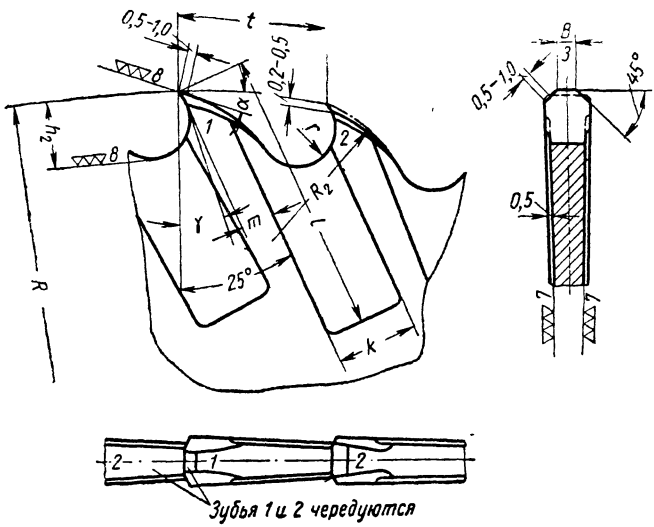
Вторая группа предназначена для материала средней твердости и снабжена меньшим количеством зубьев (6 зубьев на сегменте).

И, наконец, третья группа пил предназначена для распиловки мягких материалов, поэтому снабжается минимальным количеством зубьев (4 зуба на сегменте); междузубое пространство имеет наибольший объем.



Фиг. 248. Сегмент для дисковой пилы.

На фиг. 248 показан отдельный сегмент крупнозубой дисковой пилы. Режущая часть сегмента снабжена четырьмя крупными зубьями, причем форма этих зубьев похожа на форму зуба остроконечных фрез с параболическим профилем. Зуб пилы имеет следующие основные углы: передний угол γ и задний угол α (фиг. 249). Чем больше передний угол γ, тем лучшие условия создаются для стекания стружки. Если обрабатываемый материал мягкий, то передний угол следует выбирать бо́льшим. Если же обрабатываемый материал твердый, то передний угол приходится уменьшать в целях повышения прочности зуба. Задний угол выбирается примерно одной и той же величины — от 8 до 16°. Он обеспечивает уменьшение трения. Задний угол нельзя выбирать слишком большим, чтобы не ослабить зуб пилы. Угол заострения определяется углами γ и α.



Фиг. 249. Профиль зубьев сегмента для дисковой пилы.

В зависимости от свойств обрабатываемого материала рекомендуются следующие углы заточки зуба круглых пил:

Разрезаемый материал	$\gamma°$	$\alpha°$
Сталь σ_b до 50 *кг/мм²*	18—22	14—16
„ σ_b „ 75 „	15—20	10—12
„ σ_b свыше 75 *кг/мм²* и легированная сталь	10—15	8—10
Латунь	0—8	8—10
Чугун	18—22	14—16

Форма междузубой впадины очень важна для правильного резания пилы. Если междузубое пространство окажется недостаточным для помещения образующейся стружки, то стружка, сжимаясь, вызовет повышенное трение о стенки пропиливаемого изделия и приведет к поломке пилы. Необходимо, чтобы объем междузубой впадины был в 5—6 раз больше объема снимаемой стружки. Кроме объема имеет значение также сама форма впадины зуба. Исследования и практика показывают, что наиболее рациональной формой для пил, предназначенных для разрезания материалов средней твердости, является форма зуба, изображенная на фиг. 249. Размеры зуба даются в ГОСТ 4047-48 в зависимости от шага. Ширина B пилы принимается обычно в зависимости от диаметра по формуле

$$B = 0{,}2\sqrt{D},$$

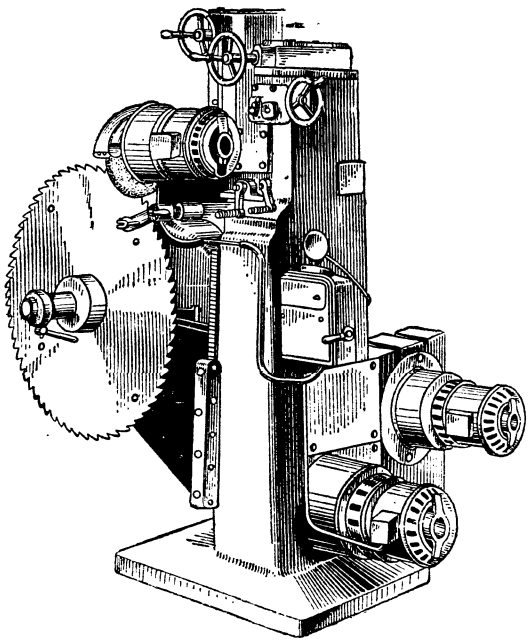
где D — диаметр пилы в *мм*.

Если пила небольшого диаметра и небольшой ширины, то можно не делать стружкоразделяющих канавок. Если же пила имеет значительную ширину и предназначена для снимания больших стружек, рекомендуется применять устройства для дробления стружки и облегчения работы резания. С этой целью можно сделать различную высоту зубьев, как это показано на фиг. 249. Один зуб такой фрезы врезается в материал сравнительно узкой площадкой (ширина площадки равна обычно $^1/_3$ ширины зуба), второй зуб срезает оставшийся в углах материал. Таким образом, работа резания распределяется между двумя зубьями, один из которых врезается, а другой подчищает оставшийся материал.

Для устранения трения боковых сторон пилы о стенки пропила толщина диска делается меньше ширины сегментов и, кроме того, сегменты постепенно сужаются по направлению к центру пилы, имеют угол поднутрения φ_1 до 2° (вспомогательный угол в плане). При конструировании сегмента необходимо сделать соответствующий расчет на прочность заклепок и кольцевого выступа диска пилы. Оправдавшие себя на практике размеры дисков и сегментов приводятся в ГОСТ 4047 48.

Заточка дисковых пил. Заточка дисковых пил производится после сборки сегментов с корпусом пилы. Собранная пила должна быть прошлифована по боковой стороне сегмента (если не имеется возможности осуществить такое шлифование, сегменты при установке должны быть строго выверены относительно диска пилы). Для заточки применяются специальные заточные станки (фиг. 250). Диск пилы устанавливается на оправку заточного станка. Шлифовальный круг закрепляется на

шпинделе станка, расположенного на вертикальных салазках. Станок имеет полуавтоматический цикл работы. Вращение пилы связано с перемещением вертикальных салазок станка. Таким образом, профиль зуба пилы получается в результате двух движений: вращательного движения пилы и поступательного движения вертикальных салазок. Шлифовальный круг расположен по отношению к оси затачиваемой пилы наклонно. Ось шлифовального круга перпендикулярна оси пилы. Шлифовальный круг должен быть заправлен по определенной форме. Перемещение шлифовального круга в процессе заточки, а также перемещение пилы совершаются автоматически. После заточки одной впадины и зуба храповой механизм станка поворачивает диск пилы на следующую впадину. На таком станке можно получить определенную требуемую для разрезаемого материала геометрию зуба пилы.



Фиг. 250. Станок для затачивания пил.

В случае отсутствия специального заточного станка можно заточить зубья пилы в зажимном приспособлении вручную. После заточки пила должна быть проверена на биение. Если пила дает большое биение, она будет работать неравномерно, не все ее зубья будут участвовать в работе, и за счет этого понизится производительность пилы.

Кроме заточки по впадине зуба, при помощи которой создаются определенные углы резания, необходимо производить подточку боковых сторон сегментов, как это показано на фиг. 249. Такие боковые углубления шириной K уменьшают трение пилы о стенки пропила и облегчают работу пилы. Подточка боковых сторон может производиться на универсально-заточном станке, пила устанавливается на специальном приспособлении, укрепленном на столе заточного станка, шлифовальный круг вращается с определенной скоростью и работает периферией. Ширина шлифовального круга должна соответствовать ширине углубления, а глубина последних равняется 0,5 *мм*.

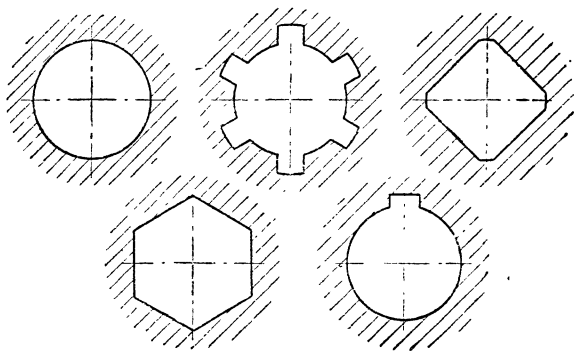
ГЛАВА X

ПРОТЯЖКИ И ПРОШИВКИ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Протяжкой называется режущий инструмент, предназначенный для обработки сквозных отверстий и наружных поверхностей. Она представляет собой в большинстве случаев стержень, на поверхности которого имеется ряд зубьев, увеличивающихся от начала к концу режущей части.

Протяжки применяются при массовом и серийном изготовлении различных деталей, формы обрабатываемых поверхностей которых весьма разнообразны; можно обработать протяжкой, например, сквозные отверстия, формы которых показаны на фиг. 251; можно получить также



Фиг. 251. Разнообразные формы протягиваемых отверстий.

различные прямые или винтовые канавки и фасонные наружные поверхности. В последнее время протяжки начали применять даже для обработки зубчатых колес внутреннего зацепления, различных зубчатых секторов, предварительной обработки зубчатых конических колес и т. д.

На фиг. 252, *а* показана схема работы протяжки, а на фиг. 252, *б* — схема работы прошивки.

Прошивки отличаются от протяжек в основном различным направлением усилий резания: протяжка работает на растяжение, прошивка — на сжатие. Этим обстоятельством объясняется небольшая длина прошивок. Если прошивка длиннее 12—15-кратного диаметра, она может

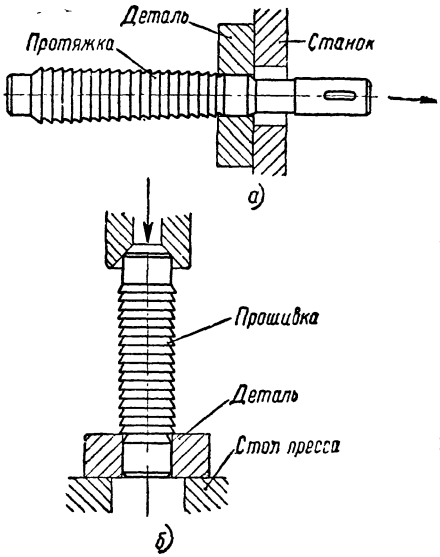
изогнуться, протяжка же может быть, вообще говоря, любой длины. Практически длина протяжки ограничивается возможностями термической обработки и длиной хода протяжного станка.

Протяжки и прошивки благодаря своей высокой производительности и большой точности обработки (2—3-й класс точности) являются одним из наиболее передовых типов режущего инструмента.

Протяжки можно подразделить на следующие две основные группы[1]:

1) для обработки отверстий различной формы;

2) для обработки наружных поверхностей.



Фиг. 252. Схема работы протяжки и прошивки.

По конструкции зубьев и методу работы протяжки подразделяются на режущие протяжки, т. е. такие, у которых имеются острые режущие зубья, и на уплотняющие протяжки (выглаживающие), работа которых основана на давлении и уплотнении материала. Выглаживающие протяжки могут расширять отверстия на весьма незначительную величину.

Как режущие, так и уплотняющие протяжки по типу протягиваемых отверстий можно разделить на следующие типы:

1) протяжки для круглых отверстий;

2) шлицевые протяжки;

3) фасонные протяжки различного профиля (эвольвентные зубчатые, многогранные, елочные);

4) комбинированные протяжки (круглые и шлицевые);

5) шпоночные и пазовые протяжки.

Протяжки для обработки наружных поверхностей подразделяются на:

1) протяжки, работающие по методу снятия отдельных тонких слоев металла;

2) протяжки, работающие по методу прогрессивного протягивания;

3) протяжки, работающие по генераторной схеме.

По типу обрабатываемых поверхностей протяжки можно подразделить также на плоские, круглые и фасонные. В отдельную группу можно выделить сборные протяжки со вставными зубьями, наборные протяжки, протяжки, оснащенные пластинками твердого сплава.

Все протяжки работают с небольшими скоростями резания (от 1 до 12 *м/мин*), поэтому они изготовляются из легированной стали ХВГ, которая мало деформируется при термической обработке (это очень важно для протяжек, так как они имеют значительную длину). Распро-

[1] Б. Ф. Еремин, Протяжки, Машгиз, 1947.

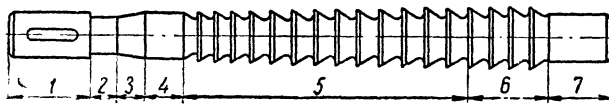
странено также применение быстрорежущей стали, которая дает высокую стойкость протяжек. В последнее время стали применять протяжки, оснащенные твердыми сплавами. Однако эти протяжки не получили еще широкого распространения из-за большой сложности изготовления.

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ВНУТРЕННЕГО ПРОТЯГИВАНИЯ

На фиг. 253 изображена протяжка и обозначены ее отдельные части. Хвостовик *1* служит для крепления протяжки в специальном патроне. Он имеет различную форму в зависимости от типа патрона.

Шейка *2* и переходной конус *3* являются промежуточными звеньями между хвостовиком и направляющей частью.

Направляющая часть *4* служит для направления протяжки в начале ее работы. Она гарантирует протяжку от перекосов. Направляющая



Фиг. 253. Части протяжки.

часть по своей форме должна соответствовать форме предварительно обработанного отверстия.

Режущая часть *5* выполняет основную работу по срезанию стружки Она снабжена рядом зубьев, постепенно увеличивающихся от направляющей части к задней части протяжки. Каждый последующий зуб больше предыдущего; разница между последующим и предыдущим зубьями представляет собой подъем на зуб.

Калибрующая часть *6* следует за режущей частью; она также снабжена зубьями, которые калибруют отверстие, обеспечивая необходимую чистоту его поверхности. Обычно зубья калибрующей части не увеличиваются в размерах, т. е. не имеют подъема на зуб.

Задняя направляющая часть *7*, часто поддерживаемая специальным люнетом, служит для предотвращения протяжки от провисания.

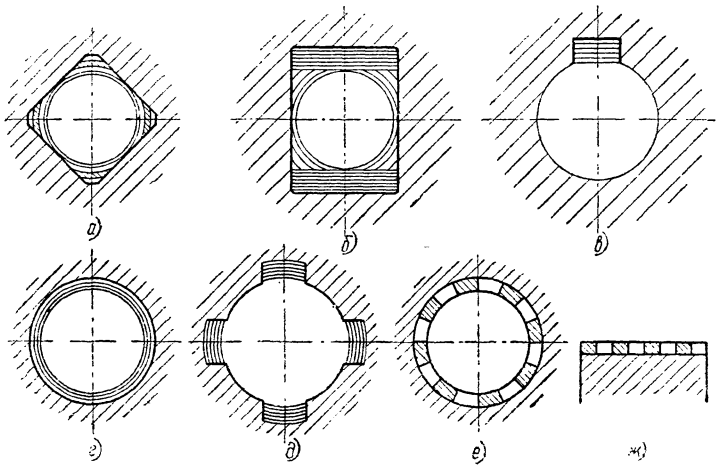
Основными конструктивными элементами любой протяжки являются: углы режущих и калибрующих зубьев (передний и задний); профиль зуба и профиль впадины; подъем на зуб; шаг зубьев; элементы стружкоразделительных канавок; форма и размеры хвостовика; количество режущих и калибрующих зубьев; длины направляющей, режущей и калибрующей частей.

Выбор и методы расчета конструктивных элементов протяжки. Схемой резания протяжки называют способ распределения работы между отдельными зубьями протяжки. На фиг. 254 показаны схемы резания некоторых наиболее распространенных типов протяжек и отдельные слои металла, снимаемые зубьями. Например, на схеме резания

протяжки, предназначенной для квадратного отверстия (фиг. 254, *а*), первые зубья снимают стружку концентрическими слоями по окружности, последующие зубья очерчиваются дугами окружности, а с боков ограничиваются прямыми линиями, и, наконец, последние зубья имеют форму квадрата.

Схема резания, определяющая собой способ постепенного изменения профиля изделия в процессе протягивания, очень важна для конструктора. Существуют три принципиально различных метода построения схемы резания.

Первый метод, по которому построены схемы фиг. 254, *в*, *г*, *д*, предусматривает снятие каждым последующим зубом протяжки тонкой



Фиг. 254. Схемы резания протяжек.

стружки по всей ширине обрабатываемой поверхности, например, по всей ширине шлица, по всей длине окружности и т. д. При этом методе построения схемы резания стружка получается тонкой, но широкой. Из учения о резании известно, что с уменьшением толщины стружки увеличивается удельное давление резания. Благодаря этому схема резания, построенная по первому методу, дает значительные удельные давления резания, а следовательно, значительные усилия протягивания.

Второй метод построения схемы резания предусматривает разделение общего срезаемого слоя на небольшое количество частей, а иногда даже срезание всего слоя сразу на полную глубину. Схемы резания, показанные на фиг. 254, *е*, *ж*, выполнены по второму методу. Этот метод носит название прогрессивного протягивания. При прогрессивном протягивании срезаются толстые и сравнительно узкие стружки. При этом удельное давление резания уменьшается. Трение режущей кромки об обработанную поверхность, вызывающее нагрев протяжки и изделия, при прогрессивном протягивании также уменьшается. Поэтому стойкость прогрессивной протяжки выше стойкости протяжки, рассчитанной по

первому методу. К недостаткам прогрессивного протягивания следует отнести более сложное изготовление протяжек.

Третий метод — генераторная схема (фиг. 254, *а, б*) предусматривает снятие припуска параллельными слоями на отдельных участках, как показано на фиг. 254 *а, б*, и только последний зачищающий зуб снимает тонкий слой по всему профилю. Преимуществом генераторной схемы является простота изготовления и заточки фасонных протяжек.

Припуск. Под припуском понимается толщина слоя металла, который необходимо удалить, чтобы получить после протягивания определенные размеры детали, выдержанные с заданной точностью.

При определении величины припуска можно пользоваться для круглых отверстий, обработанных перед протягиванием сверлом или зенкером, следующей формулой:

$$A=0{,}005D+(0{,}1\div 0{,}2)\sqrt{L},$$

где A — номинальный припуск на диаметр отверстия в *мм*;

D — номинальный диаметр отверстия в *мм*;

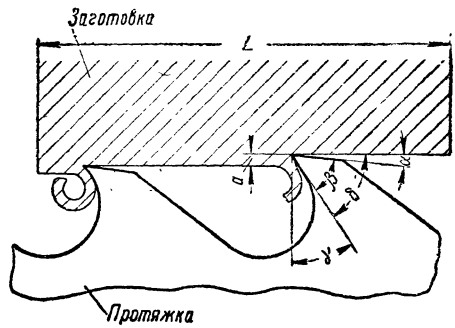
L — длина протягиваемого отверстия в *мм*.

При более точной обработке отверстия под протягивание припуск определяется по формуле

$$A=0{,}005D+(0{,}05\div 0{,}1)\sqrt{L}.$$

Формулы для определения припуска в зависимости от формы обрабатываемого отверстия для других типов протяжек даются в соответствующих справочниках [1]. В размер припуска должен включаться также допуск на изготовление отверстия. Припуск является исходным при расчете любой протяжки.

Выбор геометрических параметров зуба. Протяжка, как и всякий режущий инструмент, имеет зубья, которые по своей форме похожи на резцы (фиг. 254а). Передний угол γ зубьев протяжки выбирается в зависимости от обрабатываемого материала. По ГОСТ 4494-48 рекомендуются следующие значения переднего угла (табл. 43).



Фиг. 254а. Элементы зуба протяжки.

Задний угол α зубьев протяжки выбирается независимо от обрабатываемого материала. Задний угол должен обеспечивать хорошие условия резания, следовательно, он должен соответствовать заднему углу резца, но, с другой стороны, при большой величине заднего угла наружный диаметр внутренней протяжки при переточках будет резко уменьшаться, а, кроме того, зуб будет недостаточно прочный.

[1] См. М. Д. Пекарский, А. С. Лернер, В. И. Климов, Л. Н. Смирнов, Справочник конструктора „Металлорежущие инструменты", Машгиз, 1947.

Таблица 43

Значения переднего угла режущей части протяжки

Обрабатываемый материал и его механические свойства			γ°
Сталь	σ_b	До 60 *кг/мм²*	15—18
		От 60 до 100 *кг/мм²*	12—15
		Свыше 100 *кг/мм²*	8—10
Чугун	H_B	До 150	8—10
		Свыше 150	4—8
Алюминий			12—15
Бронза			0—5
Баббит			10—15
Медь красная			15
Латунь		хрупкая	2
		мягкая	6

В табл. 44 приведены значения заднего угла, рекомендуемого по ГОСТ 4494-48.

Таблица 44

Протяжки	Задний угол α	
	Режущие зубья	Калибрующие зубья
Для внутреннего протягивания . . .	2°—3°30′	30′—1°
Для наружного протягивания	10°	

Подъем на зуб. Подъемом на зуб *a* (см. фиг. 254) называют разность высот двух соседних зубьев протяжки, представляющую собой толщину слоя, снимаемого каждым последующим зубом протяжки. Величина *a* подъема на зуб зависит от ряда факторов: свойств обрабатываемого материала, жесткос и детали и т. д.

В табл. 45 приведены величины подъема на зуб, рекомендуемые при конструировании протяжек. Этот подъем не всегда остается постоянным по всей длине режущей части протяжки. Например, при протягивании квадратного отверстия (см. фиг. 253, *а*), по мере входа протяжки, ширина стружки уменьшается. Поэтому можно на последующих зубьях протяжки увеличивать подъем на зуб по сравнению с первыми зубьями, сохраняя при этом примерно одинаковую площадь поперечного сечения стружки [1]. При проектировании таких протяжек все режущие зубья

[1] См. И. Е. Бурштейн, Л. К. Мануйлов, С. С. Черников, Протягивание, Машгиз, 1947.

разделяются на несколько ступеней. В каждой ступени устанавливается различный подъем на зуб.

Таблица 45

Величина подъема на зуб при протягивании (по данным ЭНИМС)

Обрабатываемый материал	Наружное протягивание и протягивание шпоночных пазов	Внутреннее протягивание		
		цилиндрических отверстий	шлицевых отверстий	многогранных отверстий
	Подъем на зуб a на сторону в *мм*	Подъем на зуб $2a$ на две стороны в *мм*		
Сталь	0,05–0,20	0,04–0,10	0,08–0,16	0,04–0,30
Чугун серый, бронза	0,06–0,12			
Баббит	—	0,12–0,21	—	—
Алюминий	0,03–0,2	0,02–0,10	0,04–0,20	—

Профиль зуба и профиль впадины. Протяжка по форме зуба и по характеру его работы относится к инструментам, имеющим закрытое пространство для помещения стружки. Форма и размеры впадины должны быть выбраны достаточными для свободного размещения образующейся стружки. Стружка при протягивании в зависимости от свойств обрабатываемого материала может быть как сливной (при обработке вязких материалов), так и стружкой надлома (при обработке хрупких материалов). Изучение характера образования стружки, ее формы, объема, а также положения, которое она занимает во впадине, дает возможность установить наиболее рациональную форму и объем впадины.

Практически установлено следующее соотношение между объемом впадины и объемом снимаемого металла:

$$\frac{V}{V_1}=k,$$

где V — объем впадины в *мм*^{3};

V_1 — объем снимаемого металла в *мм*^{3};

k — объемный коэфициент стружки.

С другой стороны, можно установить, что

$$\frac{F}{F_1}=k,$$

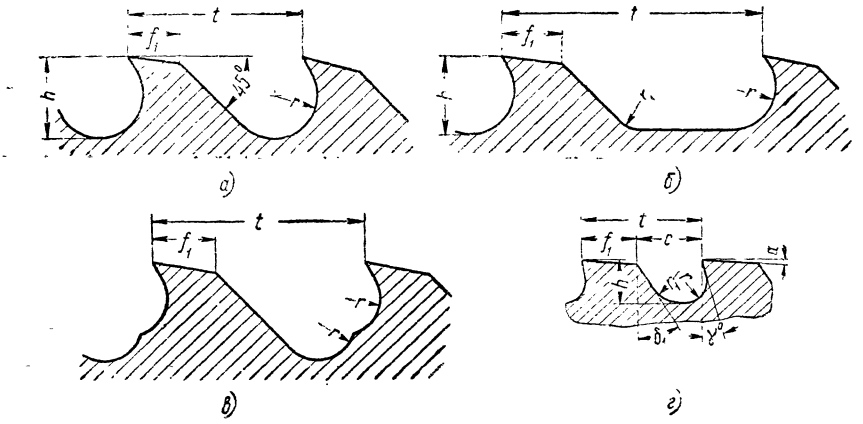
где F — площадь впадины в *мм*^{2};

F_1 — площадь продольного сечения стружки в *мм*^{2}.

Коэфициент k принимается в пределах 3—6, причем для материалов, дающих стружку надлома, величина k принимается меньшей; для материалов, дающих сливную стружку, приходится принимать большее значение k[1].

[1] См. Б. Ф. Еремин, Протяжки, Машгиз, 1947.

При конструировании протяжек применяется несколько различных форм впадины, как показано на фиг. 255. Наибольшее распространение получила форма зуба и впадины, изображенная на фиг. 255, *а*. Спинка зуба направляется под углом 45°, глубина впадины h делается большей частью равной 0,3—0,4 шага, величина радиуса r дна впадины



Фиг. 255. Формы впадин зубьев.

определяется построением. В табл. 46 даны рекомендуемые размеры зубьев и впадин в зависимости от шага протяжки, рассчитанные для данной формы впадины (фиг. 255, *а*).

Таблица 46

Размеры зубьев и впадин протяжки [1]

Площадь сечения впадины в *мм*²	Шаг протяжки t в *мм*	Глубина впадины h в *мм*	Длина задней грани f_1 в *мм*	Радиус r в *мм*
3,0	6	2,0	2,5	1,0
5,8	7	2,3	3,0	1,25
7,0	8	2,7	3,5	1,5
12,5	10	3,6	4,0	2,0
19,3	12	4,5	4,5	2,5
27,9	14	5,4	5,0	3,0
38,0	16	6,3	5,5	3,5
49,6	18	7,2	6,0	4,0
62,7	20	8,1	6,5	4,5

Пользование этой таблицей очень просто. Определяют площадь продольного сечения стружки F_1, снимаемой одним зубом протяжки, по формуле

$$F_1 = L \cdot a,$$

где L — длина протягивания; a — подъем на зуб.

[1] См. И. Е. Бурштейн, Л. К. Мануйлов, С. С. Черников, Протягивание, Машгиз, 1947.

Затем задаются величиной k для данного обрабатываемого металла и определяют необходимую площадь сечения впадины по формуле

$$F=k\cdot F_1.$$

По табл. 46 определяют величину шага и остальные размеры профиля зубьев и впадин протяжки.

Формы впадин, показанные на фиг. 255, *б*, *в*, применяются значительно реже.

В последнее время разработана новая форма впадины и профиля зуба протяжки [1]. Эта форма показана на фиг. 255, *г*. Установлены следующие соотношения между отдельными элементами профиля впадины, профиля зуба и глубиной впадины h:

шаг зубьев режущей части протяжки $t=2{,}75h$;
длина задней грани зуба $f_1=1{,}25h$;
ширина впадины $C=1{,}5h$;
радиус рабочей части впадины $r=0{,}5h$;
радиус дополнительной части впадины $r_1\approx 0{,}75h$;
угол наклона стенки зуба $\delta_1=30^\circ$.

Глубина впадины h в свою очередь определяется:

для вязких материалов, дающих сливную стружку,

$$h=1{,}13\sqrt{a\cdot L\cdot k},$$

а для крупных материалов, дающих стружку надлома,

$$h=\sqrt{a\cdot L\cdot k},$$

где a — величина подъема на зуб в *мм*;

L — длина обрабатываемой поверхности детали в *мм*;

k — объемный коэфициент стружки.

Числовые значения объемного коэфициента стружки k, полученные на основании исследований, приведены в табл. 47.

Шаг зубьев — конструктивный элемент, очень важный для расчета протяжки, так как от величины шага зависят количество режущих и калибрующих зубьев, количество одновременно работающих зубьев, а также общая длина протяжки.

Практически установлено, что шаг режущих зубьев протяжки зависит от длины обрабатываемого изделия и может быть подсчитан по формуле

$$t=(1{,}25\div 1{,}5)\sqrt{L},$$

где L — длина протягиваемого изделия в *мм*. В отдельных случаях величина коэфициента может быть увеличена до 2. При выборе коэфициента необходимо иметь в виду, что число одновременно работающих зубьев протяжки обычно должно быть не менее трех.

Величина шага калибрующих зубьев принимается равной шагу режущих зубьев или 0,6—0,7 от величины шага режущих зубьев.

[1] Б. Ф. Еремин. Протяжки, Машгиз, 1947.

Для коротких изделий допускается количество одновременно работающих зубьев до двух. Очень короткие изделия протягиваются пакетом по несколько штук, и шаг рассчитывается по общей длине пакета.

Таблица 47

Числовые значения объемного коэфициента k стружки при протягивании в зависимости от величины подъема на зуб протяжки и вида обрабатываемого материала (по данным Б. Ф Еремина)

Величина подъема на зуб протяжки a в *мм*	Материал обрабатываемой детали							
	Марка стали						Серый чугун	Бронза
	40	45	40Х	ХГ	35ХГСА	20Х		
0,100	2,33	2,45	2,25	2,28	2,05	2,60	2,00	2,15
0,090	2,36	2,47	2,27	2,31	2,05	2,62	2,05	2,19
0,080	2,40	2,52	2,31	2,35	2,08	2,66	2,12	2,24
0,070	2,46	2,57	2,36	2,42	2,15	2,72	2,20	2,31
0,060	2,53	2,63	2,43	2,49	2,23	2,80	2,30	2,38
0,050	2,63	2,75	2,52	2,60	2,36	2,92	2,45	2,50
0,040	2,78	2,92	2,63	2,79	2,57	3,10	2,68	2,65
0,030	3,00	3,17	2,82	3,20	2,75	3,37	3,13	2,92
0,020	3,50	3,70	3,10	4,50	3,70	4,00	4,50	3,90

Стружкоразделительные канавки. Зубья режущей части протяжки обычно имеют стружкоразделительные канавки. Эти канавки предназначаются для деления широкой стружки на отдельные узкие стружки. Они облегчают работу протяжки и создают лучшие условия размещения стружки во впадине зуба. Число канавок для круглых протяжек можно принимать по следующим данным:

Диаметр протяжки	Количество канавок
От 10 до 13 *мм* включительно	6
„ 13 „ 16 „ „	8
„ 16 „ 20 „ „	10
„ 20 „ 25 „ „	12

Для шпоночных протяжек, плоских наружных протяжек, фасонных протяжек число и размеры стружкоразделительных канавок принимаются в каждом отдельном случае в зависимости от конкретных условий.

Число зубьев протяжки. Число режущих зубьев z_p протяжки подсчитывается обычно по формуле

$$z_p = \frac{A - A_з}{a} + 1,$$

где A — припуск на две стороны в *мм*;

$A_з$ — припуск, снимаемый зачищающими зубьями, в *мм*;

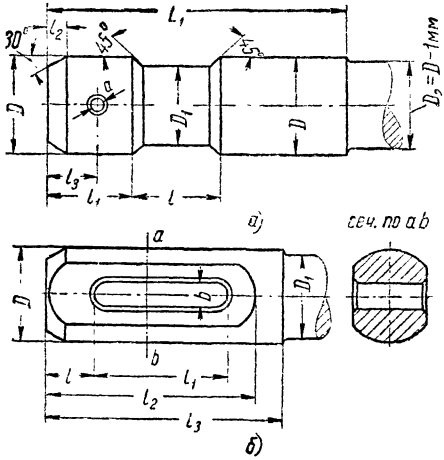
a — толщина стружки (подъем на зуб на сторону) в *мм*.

Число калибрующих зубьев $z_к$ выбирается от 3 до 8, причем большее число зубьев принимается для обработки более точных отверстий. Дополнительно между режущими и калибрующими зубьями делают также 3—4 зачищающих зуба и несколько запасных.

Типы хвостовиков. Хвостовик протяжки служит для закрепления ее в патроне протяжного станка. Патроны разделяются на кулачковые, резьбовые и клиновые. Хвостовики шпоночных протяжек под кулачковые патроны приведены в ГОСТ 4043-48; хвостовики для круглых протяжек под кулачковые патроны по ГОСТ 4044-48 (фиг. 256, *а*) приведены в табл 48.

Хвостовик для клинового патрона показан на фиг. 256, *б*. Другие типы хвостовиков встречаются реже.

Расчет протяжек на прочность. Выбранные. элементы протяжки — профиль зуба, шаг, профиль впадины, форма и размеры хвостовика и т. д. — должны быть проверены расчетом протяжки на прочность. Протяжка во время работы подвергается растяжению. Если усилие протягивания превысит определенную величину, протяжка может разорваться.



Фиг. 256. Хвостовики круглых протяжек.

Для расчета протяжки на прочность необходимо знать усилие резания при протягивании. Это усилие можно подсчитать, зная площадь поперечного сечения стружки, снимаемой одним зубом, и число одновременно работающих зубьев. Усилие резания P_z определится по следующей формуле:

$$P_z = p \cdot f \cdot z_{max}^*,$$

где p — удельное усилие резания в *кг/мм²*;

f — площадь поперечного сечения стружки, снимаемая одним зубом, в *мм²*;

z_{max} — число одновременно работающих зубьев.

Таблица 48

D	D_1	l_1	l	L_1	l	a	l_3	F_x в *мм²*	D	D_1	l_1	l	L_1	l	a	l_3	F_x в *мм²*
12	8							50,3	28	22							350
14	9,5							70,1	32	25							490
16	11	15	28	115	5		10	95	36	29	20	32		8		12	660
18	13							133	42	33							865
20	15							177	50	38			125				1130
22	17					6		227	62	50							1960
25	19							284	75	52	25	38		12		15	2123

F_x — площадь опасного сечения.

* В Справочнике по режимам резания при протягивании Бюро технических нормативов НКСС дается уточненная более сложная формула, но и эта формула дает достаточную для практики точность расчета.

Для определения удельного усилия резания P можно пользоваться данными табл. 49.

Таблица 49

Подъем на сторону (толщина стружки) a в *мм*	Удельное усилие резания p в *кг/мм²*		Подъем на сторону (толщина стружки) a в *мм*	Удельное усилие резания p в *кг/мм²*	
	Углеродистая и хромистая сталь	Никелевая и хромоникелевая сталь		Углеродистая и хромистая сталь	Никелевая и хромоникелевая сталь
0,0125	600	780	0,055	340	440
0,015	580	750	0,06	320	430
0,020	510	650	0,07	290	410
0,025	480	630	0,08	280	390
0,030	475	580	0,09	270	375
0,035	410	550	0,10	260	360
0,040	380	500	0,12	245	350
0,045	370	480	0,15	230	330
0,050	350	400			

Площадь поперечного сечения стружки, снимаемой одним зубом, можно определить в зависимости от типа протяжки и принятой схемы резания по следующим формулам:

для шпоночной и наружной протяжки

$$f = b \cdot a \ мм^2;$$

для многошлицевых протяжек

$$f = b \cdot a \cdot n \ мм^2;$$

для круглых протяжек

$$f = \pi \cdot D \cdot a \ мм^2,$$

где a — подъем на зуб в *мм*;

b — ширина кромки зуба в *мм*;

n — число шлицев.

Для подсчета числа одновременно работающих зубьев необходимо знать длину обрабатываемого изделия. Это следует помнить и при эксплоатации протяжек. Протяжка, рассчитанная на определенную длину обрабатываемого изделия и определенные характеристики материала, не может быть использована для значительно более длинных изделий, а также для значительно более твердых материалов. Число одновременно работающих зубьев подсчитывают по формуле

$$z_{max} = \frac{L}{t} + 1,$$

где L — длина изделия в *мм*;

t — шаг протяжки в *мм*.

Подсчитав усилие протягивания P_z, можно определить напряжение в опасном сечении протяжки. Опасным сечением у протяжки может

быть сечение по впадине первого режущего зуба или сечение по хвостовику. Напряжение определяется по формуле

$$R = \frac{P_z}{F},$$

где P_z — общее усилие протягивания в *кг*;
F — площадь опасного сечения в *мм*²;
R — напряжение на разрыв в *кг/мм*².

Величина напряжения на разрыв не должна превышать допускаемых для протяжки напряжений.

В таблице приводятся допускаемые напряжения для протяжек:

Тип протяжек	Допускаемое напряжение R в *кг/мм*²
Круглая	25
Гранная, шлицевая, елочная, эвольвентная, прямоугольная	20
Шпоночная	10

Для прошивок допускаемое напряжение равно $1{,}5R$.

Результаты испытаний на Горьковском автозаводе им. Молотова показывают, что допускаемое напряжение для протяжек можно увеличивать до 30—40 *кг/мм*².

Если при расчете окажется, что напряжение превышает допускаемое, изменяют или шаг зубьев протяжки, или величину подъема на зуб. При уменьшении шага зубьев необходимо повторно рассчитать размеры впадины на размещение стружки (см. стр. 318).

В отдельных случаях производится проверка хвостовика на смятие. Допускаемое напряжение на смятие не должно превышать 60 *кг/мм*².

Длина протяжки. После проверки протяжки на прочность, зная шаг зубьев и их число, определяют длину режущей и калибрующей частей по формулам:

длина режущей части

$$l_p = t_p \cdot z_p;$$

длина калибрующей части

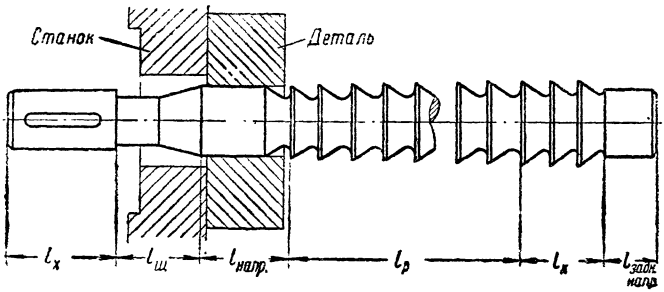
$$l_к = t_к \cdot z_к,$$

где t_p — шаг зубьев режущей части;
$t_к$ — шаг зубьев калибрующей части.

Что касается длины хвостовика, шейки, передней и задней направляющих, они принимаются с учетом размеров хвостовика, размеров патрона станка, размеров приспособления для протягивания, а также размеров протягиваемой детали. На фиг. 257 показана схема расположения этих размеров. Общая длина протяжки равняется сумме длин отдельных ее частей.

Исполнительные размеры и допуски. Протяжки предназначены для окончательной обработки отверстий, поэтому калибрующие зубья должны обеспечивать требуемую точность поперечных размеров отверстий. При

протягивании жестких толстостенных изделий замечается разбивка (уширение) размеров отверстия до 0,02 *мм*, при протягивании тонкостенных изделий замечается усадка (уменьшение) размеров. Величина разбивки и усадки может быть определена опытным путем в зависимости от толщины стенок протягиваемого изделия. Например, по данным



Фиг. 257. Схема расположения размеров протяжки.

завода им. Коминтерна при протягивании тонкостенных стальных втулок усадка $У$ достигает:

для Ст. 3 и Ст. 5

$$У = 0{,}3d - 1{,}4t_0;$$

для сталей 40Х и 18ХНВА

$$У = 0{,}6d - 2{,}8t_0,$$

где $У$ — величина усадки в *мк*;

d — внутренний диаметр втулки в *мм*;

t_0 — толщина стенки втулки в *мм*.

Если нет данных о разбивке или усадке, берут размеры калибрующих зубьев по максимальным размерам отверстия, а затем корректируют их опытным путем.

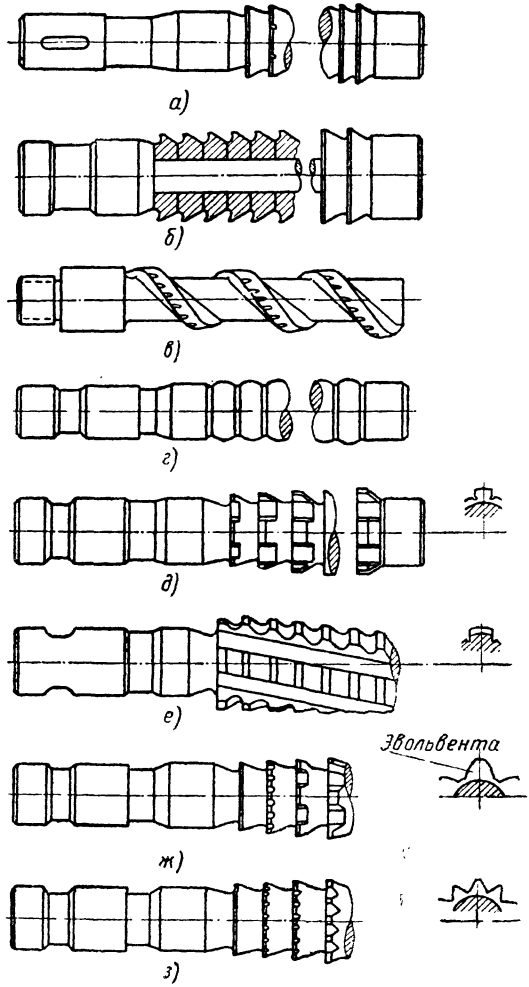
На основные поперечные размеры протяжки (диаметр, ширина шлица и т. д.) можно принимать по справочным данным следующие допуски[1]:

Элементы протяжки	Допустимые отклонения
Режущие зубья	$\pm 1/5$ от подъема зубьев, но не более $\pm$ 0,02 *мм*
Калибрующие зубья . .	— $1/3$ допуска на протягиваемое отверстие, но не более отклонений скользящей посадки 2-го класса точности
Направляющие части .	Посадка Д-ОСТ 1012 для отверстий 2-го класса точности

[1] Допуски на остальные элементы см. М. Д. Пекарский, А. С. Лернер, В. И. Климов, Л. Н. Смирнов, Металлорежущие инструменты, Справочник конструктора, Машгиз, 1947.

ПРОТЯЖКИ ДЛЯ КРУГЛЫХ ОТВЕРСТИЙ

На фиг. 258 изображено несколько типов протяжек. Обычная круглая протяжка с прямыми зубьями (фиг. 258, *а*) служит для обработки отверстий 2—3-го класса точности. Круглая протяжка большого диаметра в целях экономии быстрорежущей стали может быть выполнена сборной из отдельных колец (фиг. 258, *б*). Однако из-за сложности изготовления сборные протяжки не получили пока широкого применения. На фиг. 258, *в* показана круглая протяжка для протягивания глубоких отверстий. Она снабжена винтовыми зубьями и имеет небольшую длину. Рабочая часть режущих кромок расположена на винтовой поверхности протяжки. Протяжка крепится к подвижному штоку специального протяжного станка при помощи хвостовика, снабженного резьбой. Шток имеет два движения: поступательное вдоль оси и вращательное вокруг оси. Таким образом протяжка медленно поворачивается и протаскивается через отверстие детали. Стружка срезается режущими кромками, сходит по винтовым канавкам протяжки и остается позади протяжки в обработанном отверстии, откуда она выталкивается сильной струей масла, поступающего под большим напором из специального устройства со стороны штока станка. Кроме гладкого круглого отверстия подобной протяжкой можно обработать фасонное отверстие, например, нарезы в стволе. Такая протяжка может снимать небольшие припуски от 0,2 до 0,4 *мм* и служит



Фиг. 258. Некоторые типы протяжек.

для окончательной обработки отверстия. Обычно применяют комплект таких протяжек.

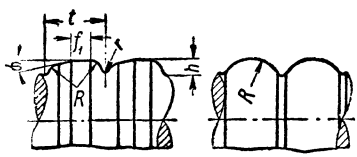
Круглая выглаживающая протяжка показана на фиг. 258, *г*. Выглаживающая протяжка по своей конструкции резко отличается от режущей протяжки. Зубья ее не имеют острых режущих кромок, а, наоборот, закруглены и при движении протяжки как бы развальцовывают обрабатываемое отверстие. При конструировании выглаживающей протяжки необходимо правильно выбрать величину подъема на зуб; последняя обычно колеблется от 0,01 до 0,02 *мм* на диаметр. При работе выглаживающей протяжки диаметр обрабатываемого отверстия может получиться за счет упругих деформаций несколько меньшего размера. Изделие как бы сжимается после прохода протяжки через отверстие. Это уменьшение необходимо учитывать при конструировании выглаживающей протяжки и брать ее диаметр несколько больше диаметра обработанного отверстия.

В табл. 50 приведены величины уменьшения диаметра отверстия (в *мм*) при уплотняющем протягивании (по данным ГАЗ).

Таблица 50

Предельные диаметры протяжек в *мм*	Латунь (запрессованная втулка)	Бронза (запрессованная втулка)	Незакаленная сталь	Закаленная сталь
10—20	0,03 - 0,035	0,035--0,045	0,025—0,04	0,005—0,01
20—30	0,035 - 0,04	0,045—0,06	0,04 - 0,05	0,0075—0,015
30—45	0,04—0,06	0,06—0,075	0,05 - 0,06	0,01—0,02
45—60	—	0,075—0,08	—	—

Для тонкостенных изделий величину уменьшения следует брать по верхнему пределу, для толстостенных изделий — по нижнему. На фиг. 259 показаны формы зубьев уплотняющих протяжек. Радиус закругления $R = (0{,}15 \div 0{,}25)\,t$. Ширина цилиндрической ленточки $f_1 = (0{,}8 \div 1{,}0)\sqrt{t}$. Высота зуба $h = (0{,}15 \div 0{,}25)\,t$. Радиус впадины $r = 0{,}05t$. Угол приемного конуса $\varphi = 4 \div 5°$. Все эти величины выбираются в зависимости от шага протяжки. Шаг протяжки t должен быть выбран в зависимости от длины изделия по формуле $t = (1 - 1{,}2)\sqrt{L}$. Усилия протягивания обычно определяются опытным путем. Поверхность выглаживающей протяжки должна быть очень чисто обработана до зеркальной гладкости; риски совершенно недопустимы.



Фиг. 259. Зубья выглаживающей (уплотняющей) протяжки.

ШЛИЦЕВЫЕ ПРОТЯЖКИ

Конструирование шлицевых протяжек для прямоугольных шлицев (см. фиг. 258, *д*) аналогично конструированию круглых протяжек.

Существуют шлицевые протяжки для винтовых (спиральных) канавок (см. фиг. 258, *е*). Зубья этих протяжек располагаются винтовыми

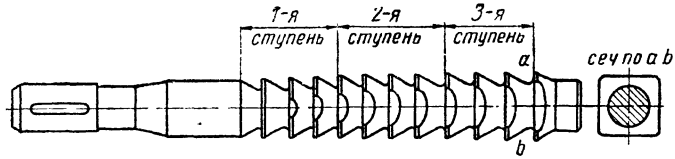
рядами. Междузубые канавки могут быть как кольцевые, так и винтовые. Винтовые шлицевые протяжки имеют сравнительно небольшое распространение.

В зависимости от формы шлицевых отверстий протяжки изготовляются с эвольвентным профилем шлиц (см. фиг. 258, *ж*), с угловыми или елочными шлицами (см. фиг. 258, *з*). Метод расчета протяжек с эвольвентной формой шлица или елочными зубьями[1] не отличается от расчета круглых протяжек.

ПРОТЯЖКИ ДЛЯ МНОГОГРАННЫХ ОТВЕРСТИЙ

К протяжкам для многогранных отверстий относятся квадратные, шестигранные, прямоугольные, восьмиугольные и др.

В качестве примера на фиг. 260 показана протяжка для квадратного отверстия. Особенностью при конструировании таких протяжек является



Фиг. 260. Протяжка для квадратного отверстия.

наличие у них 3—4 ступеней по длине с различными подъемами на зуб. В табл. 51 приведены рекомендуемая разбивка подъема на зуб и числа режущих зубьев по ступеням при протягивании квадратных и шестигранных отверстий.

Таблица 51

Расстояние между сторонами квадрата или шестигранника в *мм*	Подъем на зуб на диаметр в *мм*				Число режущих зубьев			
	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень	4-я ступень	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень	4-я ступень
При протягивании квадратных отверстий								
22	0,05	0,08	0,12	0,24	20—21	16 17	17—18	16—17
24	0,05	0,08	0,12	0,24	20—22	18—19	19—20	17—18
27	0,06	0,10	0,16	0,30	22—23	15—16	16—17	18—19
При протягивании шестигранных отверстий								
22	0,06	0,10	0,15	—	10—12	8- 9	13—14	—
27	0,06	0,12	0,18	—	11—12	8—9	13—14	—
32	0,06	0,14	0,20	—	13—14	8-9	14—15	—
36	0,07	0,16	0,25	—	12-13	9—10	13—14	—
41	0,07	0,18	0,30	—	14—15	9—10	12—13	—
50	0,08	0,20	0,30	—	15—16	10—11	15—16	—
55	0,08	0,20	0,30	—	17—18	10—11	16—17	—
60	0,08	0,20	0,30	—	18—19	11—12	18-19	—

[1] См. Пекарский, Лернер, Климов, Смирнов, „Металлорежущие инструменты", Справочник конструктора, Машгиз, 1947.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОТЯЖКИ

Комбинированные протяжки предназначены для последовательной одновременной обработки шлицевых или зубчатых отверстий. Они имеют две режущие части, выполненные на одном стержне. Например, комбинированная протяжка для шлицевых отверстий имеет вначале круглую часть, которая обрабатывает отверстие по внутреннему диаметру шлицев. За круглой частью следует режущая шлицевая часть. Эта часть предназначена для вырезания шлицевых пазов. Круглая и шлицевая режущие части имеют несколько калибрующих зубьев. Основным преимуществом комбинированной протяжки является повышение производительности, так как две операции совершаются за один проход.

К недостатку комбинированных протяжек следует отнести более сложное изготовление, а следовательно, и более высокую стоимость протяжки.

Изготовление комбинированной протяжки возможно только для таких деталей, у которых общий снимаемый припуск невелик.

При расчете длины комбинированной протяжки необходимо учитывать возможности термической обработки и длину хода станка. Очень длинную протяжку трудно обрабатывать термически. Длинная протяжка сильно деформируется также при механической обработке.

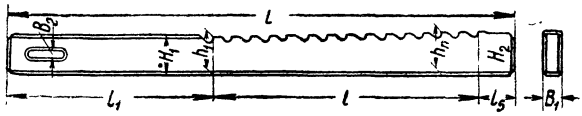
ШПОНОЧНЫЕ ПРОТЯЖКИ

На фиг. 261 изображена шпоночная протяжка. Такие протяжки предназначены для протягивания пазов под шпонку в различных отверстиях. Размеры шпоночных протяжек с хвостовиками под кулачковые патроны стандартизованы в ГОСТ 4043-48.

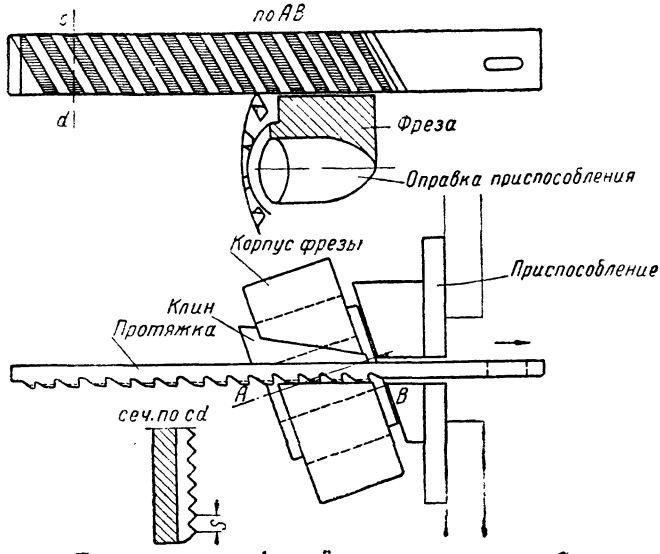
Существуют также различные специальные протяжки, предназначенные для протягивания фасонных поверхностей в отверстиях или пазах. Примером может служить изображенная на фиг. 262 протяжка для протягивания рифлений в пазах корпусов сборного режущего инструмента. Протяжка для рифлений изображена в рабочем положении при протягивании корпуса цилиндрической сборной фрезы. В паз корпуса вставляется клин, который, опираясь на стенку паза, обеспечивает направление протяжки.

ПРОТЯЖКИ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ

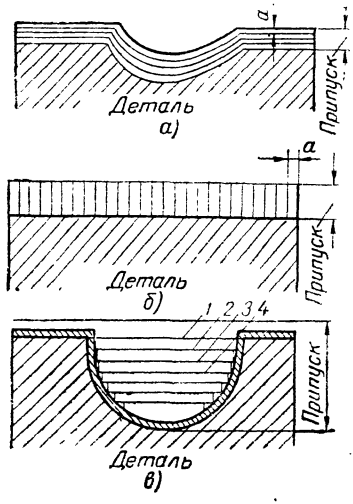
Протяжки для наружного протягивания могут работать по различным схемам резания. Первый метод (фиг. 263, *а*) предусматривает снятие припуска на обработку тонкими слоями металла, равными по ширине обрабатываемой детали. Второй метод — метод прогрессивного протягивания (фиг. 263, *б*) — состоит в том, что каждый зуб протяжки снимает весь припуск сразу, захватывая небольшую ширину обрабатываемой поверхности, равную величине подъема *а* на отдельный зуб. Слои, снимаемые при этом, показаны на фиг. 263, *б*; они перпендикулярны обрабатываемой поверхности. Существует также третий метод протягивания с так называемой генераторной схемой резания (фиг. 263, *в*). В этом случае припуск снимается параллельными слоями *1*, *2*, *3* и т. д., а последний зуб протяжки снимает оставшиеся ступени и зачи-



Фиг. 261. Шпоночные протяжки.

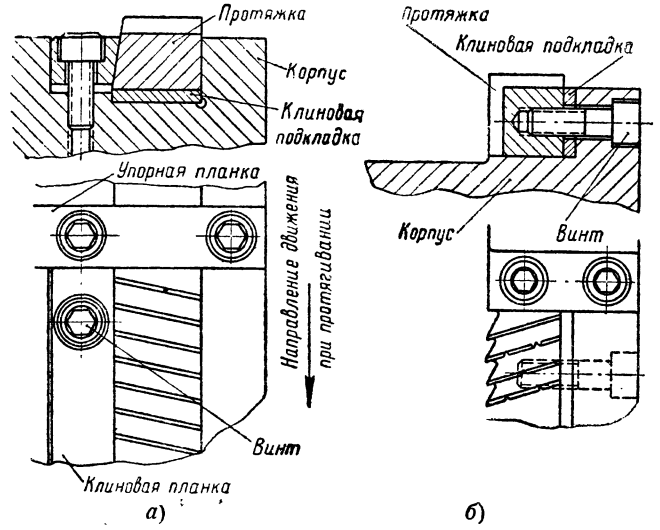


Фиг. 262. Протягивание рифлений в пазах корпусов сборных фрез.



Фиг. 263. Схемы резания протяжек для наружного протягивания.

щает поверхность. Первая схема благодаря очень широкой, но тонкой стружке неприменима при обработке деталей с твердой коркой. Вторая, прогрессивная схема резания может быть применена для протягивания необработанных поверхностей, поскольку толщина стружки значительна. Наконец, генераторная схема, применяемая для фасонных протяжек, удобна тем, что резко упрощается изготовление самой протяжки, так как все зубья протяжки кроме зачищающих не приходится затачивать по всему фасонному затылку.



Фиг. 264. Типы крепления наружных протяжек к корпусу:
а — крепление плоской односторонней протяжки; *б* — крепление двухсторонней протяжки.

Если же сконструировать протяжку для обработки фасонной поверхности по первой схеме (фиг. 263, *а*), то резко усложняется затачивание протяжки, так как каждый зуб протяжки приходится затачивать отдельно по всему профилю затылка зуба.

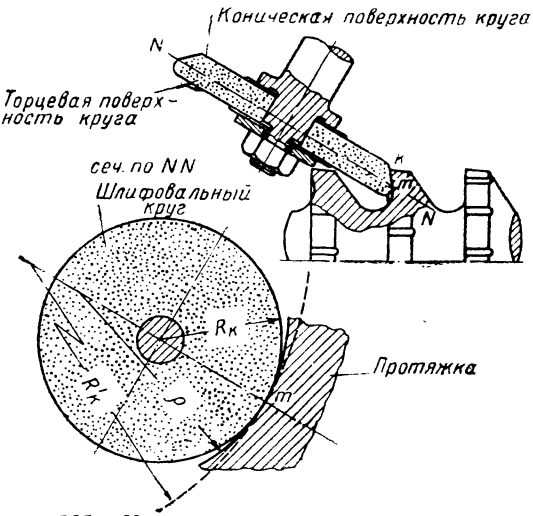
Наружные протяжки могут быть выполнены как цельными, так и сборными. Если при конструировании протяжки для отверстия конструктор связан диаметром отверстия и не может сделать протяжку прочнее, чем это позволяет размер отверстия, то при конструировании протяжки для наружной поверхности конструктор может выбрать любые габаритные размеры протяжки и тем самым создать очень прочную сборную протяжку.

Крупные наружные протяжки изготовляются в виде отдельных секций, укрепленных на специальном приспособлении. На фиг. 264 показано несколько типов креплений отдельных секций протяжки на общем приспособлении. Могут быть изготовлены также протяжки с отдельными вставными зубьями. Все элементы крепления протяжек, состоящих из отдельных секций, а также и протяжек со вставными зубьями должны быть рассчитаны на прочность.

ЗАТОЧКА ПРОТЯЖЕК И ПРОШИВОК

Зуб новой протяжки должен быть заточен как по передней, так и по задней грани.

Для заточки протяжек имеются специальные станки с длинным столом, позволяющие установить шлифовальный круг под необходимым углом к передней поверхности зуба протяжки. На фиг. 265 показана схема установки шлифовального круга по отношению к круглой протяжке. При затачивании плоских наружных протяжек, а также шпоночных протяжек диаметр шлифовального круга не имеет значения. При заточке круглых и шлицевых протяжек, а также гранных протяжек (для квадрата, шестигранника и т. д.) диаметр шлифовального круга имеет очень большое значение. Это понятно из фиг. 265, где показан шлифовальный круг и зуб протяжки в сечении *NN*. Если радиус шлифовального круга $R'_к$ будет больше радиуса кривизны ρ передней поверхности протяжки (такое положение показано на фиг. 265 пунктиром), то шлифовальный круг будет срезать своими краями переднюю грань зуба протяжки. Поэтому радиус шлифовального круга $R_к$ должен быть меньше радиуса кривизны ρ.



Фиг. 265. Установка шлифовального круга для заточки протяжки по передней грани.

Важно также правильное расположение круга относительно передней поверхности протяжки: необходимо, чтобы круг соприкасался с ней не торцевой, а конической поверхностью. На фиг. 265 показано правильное расположение шлифовального круга относительно передней поверхности зуба круглой протяжки.

Переточка протяжек производится в основном по передней поверхности и реже — по задней.

Заточку по задней поверхности зуба можно производить у круглых и шлицевых протяжек на круглошлифовальном станке, у шпоночных протяжек — на специальном заточном станке.

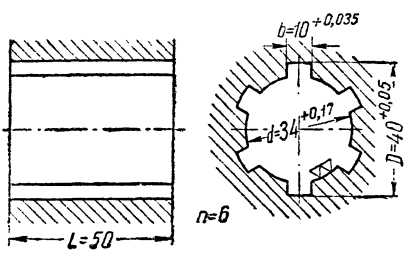
Положение круга должно обеспечивать определенный задний угол. Как при заточке протяжки по передней грани, так и особенно при заточке по задней грани протяжка не должна иметь большого биения при закреплении ее в центрах заточного или круглошлифовального станка. Особое внимание при заточке протяжек должно быть обращено

на плавность перемещения стола станка, отсутствие люфта шпинделя, отсутствие забоин на центрах станка и в центровых углублениях протяжки. Должен быть правильно подобран шлифовальный круг. При заточке протяжек применяются круги зернистостью 60—80. Твердость круга должна быть СМ1—СМ2. В качестве абразивного материала рекомендуется высший сорт алунда — корракс. Связка шлифовальных кругов — керамиковая или бакелитовая. Последняя дает более чистую поверхность и позволяет работать при более высоких режимах.

После заточки по передней поверхности рекомендуется снять заусенцы на режущих кромках. Для этой цели можно применять оселок. В целях увеличения стойкости протяжек в последнее время применяется хромирование режущих зубьев. Протяжки с хромированными режущими зубьями следует затачивать только по передней грани, в противном случае снимается слой хрома.

ПРИМЕР РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОТЯЖКИ

Задано: сконструировать протяжку для протягивания шлицевой втулки, показанной на фиг. 266. Материал втулки — сталь 40Х, отверстие $\varnothing 31^{+0,17}$ обработано круглой протяжкой. Установочной базой служит торец втулки, обработанный перпендикулярно оси отверстия. Протягивание производится на горизонтально-протяжном станке.



Фиг. 266. Эскиз обрабатываемой втулки.

1. Выбираем схему резания, изображенную на фиг. 253, *д* (стр. 314). Зубья протяжки будут срезать материал тонкими концентрическими слоями шириной, равной ширине шлицев.

2. Определяем величину припуска A, подлежащего снятию при протягивании: $A = D_{max} - d_{min} = 40{,}05 - 34 = 6{,}05$ *мм*.

3. Определяем подъем на зуб. По табл. 45 на стр. 317 подъем на зуб по диаметру для сталей при протягивании шлицевых отверстий рекомендуется $2a = 0{,}08 - 0{,}16$ *мм*; принимаем среднее значение $2a = 0{,}12$ *мм* (для зубьев, расположенных на режущей части протяжки). Обычно между калибрующими и режущими частями в конце режущей части делается несколько зачищающих зубьев с постепенно убывающим подъемом на зуб. Принимаем число зачищающих зубьев z_3 для нашего примера равным 4 и распределяем следующим образом подъем на зуб: первый зачищающий зуб — 0,1 *мм* по диаметру; второй зачищающий зуб — 0,07 *мм* по диаметру; третий зачищающий зуб — 0,05 *мм* по диаметру; четвертый зачищающий зуб — 0,03 *мм* по диаметру.

Все четыре зачищающих зуба снимут слой A_3, равный сумме этих величин: $0{,}1 + 0{,}07 + 0{,}05 + 0{,}03 = 0{,}25$ *мм*.

4. Определяем профиль зуба и профиль впадины. Для этой цели используем данные табл. 46 на стр. 318. В этой таблице каждой форме впадины соответствует определенная площадь сечения впадины. Необходимо подсчитать площадь продольного сечения стружки, снимаемой одним режущим зубом протяжки. Этот расчет производится по формуле

$$F_1 = L \cdot a = 50 \cdot 0{,}06 = 3{,}0 \text{ мм}^2.$$

Затем, задаваясь объемным коэфициентом стружки $k = 6$ (для вязкого металла), рассчитываем площадь впадины по формуле

$$F = k \cdot F_1 = 6 \cdot 3{,}0 = 18 \text{ мм}^2.$$

Подбираем по табл. 46 ближайшую большую площадь впадины $F = 19{,}3$ мм² Для этой формы впадины (см. фиг. 255, *а*) в табл. 46 приведены следующие элементы профиля: шаг протяжки $t = 12$ мм; глубина впадины $h = 4{,}5$ мм; длина задней грани $f_1 = 4{,}5$ мм; радиус дна впадины $r = 2{,}5$ мм.

В целях упрощения изготовления протяжки принимаем одну и ту же форму впадины как для режущих, так и для калибрующих зубьев.

5. Подбираем задний и передний углы протяжки по табл. 43 и 44. Для нашего материала изделия (сталь 40Х) передний угол $\gamma = 15°$, задний угол $\alpha = 2°$.

6. Определяем максимальное количество одновременно работающих зубьев протяжки:

$$z_{max} = \frac{L}{t} + 1 = \frac{50}{12} + 1 = 5{,}15.$$

т. е. одновременно могут работать 5 зубьев.

7. Определяем усилие протягивания

$$P_z = p \cdot f \cdot z_{max}.$$

По табл. 49 для данного случая можно принять удельное давление резания $p = 320$ кг/мм², так как подъем на сторону составляет у режущих зубьев 0,06 мм. Следовательно, усилие протягивания

$$P_z = p \cdot f \cdot z_{max} = p \cdot b \cdot a \cdot n \cdot z_{max} = 320 \cdot 10 \cdot 0{,}06 \cdot 6 \cdot 5 = 5670 \text{ кг}.$$

8. Рассчитываем протяжку на прочность. Расчет протяжки на прочность производится по формуле

$$R = \frac{P_z}{F},$$

где площадь опасного сечения F может быть принята по впадине первого зуба

$$F = \frac{\pi (d - 2h)^2}{4} = \frac{3{,}14 (34 - 9)^2}{4} = 490{,}6 \text{ мм}^2,$$

откуда

$$R = \frac{5670}{490{,}6} = 11{,}55 \text{ кг/мм}^2.$$

Это вполне допустимо.

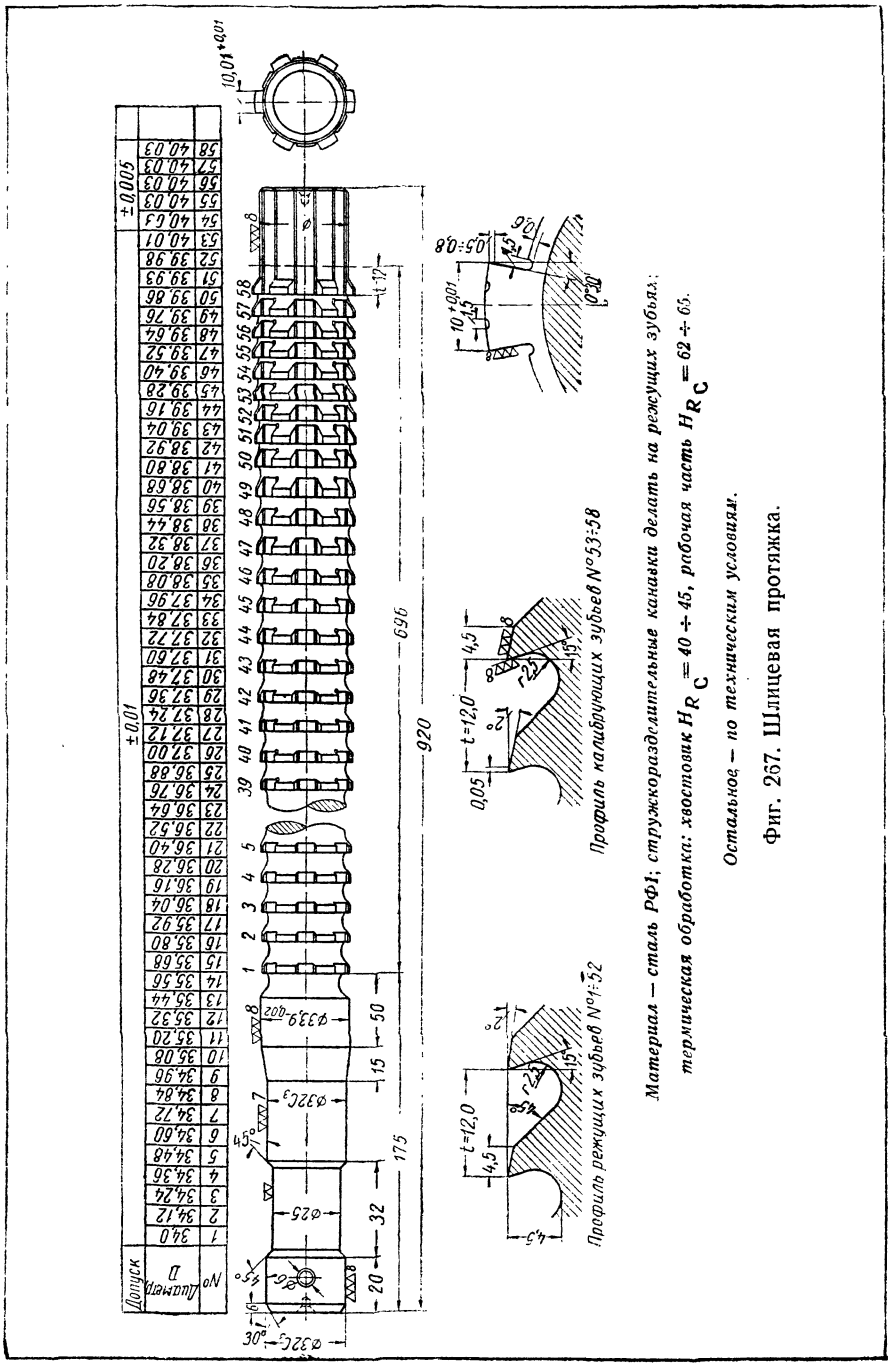
9. Выбор хвостовика. Принимаем для нашей протяжки хвостовую часть под быстросменный кулачковый патрон. Выбираем по табл. 48 ближайший подходящий размер хвостовика. Внутренний диаметр предварительно обработанного отверстия равен 34 мм, поэтому выбираем хвостовик диаметром 32 мм. Площадь опасного сечения такого хвостовика $F_x = 490$ мм².

10. Расчет хвостовика на разрыв и на смятие. Хвостовик протяжки в опасном сечении будет работать на разрыв. При площади опасного сечения 490 мм² напряжение на разрыв составит также 11,5 кг/мм². Кольцо хвостовика будет работать на смятие. Определяем площадь, которая подвергается смятию, по формуле

$$F_{см} = \frac{\pi (D^2 - D_1^2)}{4} = 3{,}14 \frac{(32^2 - 25^2)}{4} = 313{,}2 \text{ мм}^2.$$

Определим напряжение на смятие по формуле

$$R_{см} = \frac{P_z}{F_{см}} = \frac{5670}{313{,}2} = 18{,}1 \text{ кг/мм}^2.$$



Материал — сталь Р6М5; стружкоразделительные канавки делать на режущих зубьях;

термическая обработка: хвостовик $H_{RC} = 40 \div 45$, рабочая часть $H_{RC} = 62 \div 65$.

Остальное — по техническим условиям.

Фиг. 267. Шлицевая протяжка.

Следовательно, и на смятие хвостовик вполне выдерживает принятую нагрузку.

Таким образом, принятый нами профиль впадины и шаг режущих зубьев протяжки вполне подходят.

11. Определяем общее количество зубьев протяжки:

$$z = z_p + z_з + z_к.$$

Количество режущих зубьев

$$z_p = \frac{A - A_з}{2a} + 1 = \frac{5{,}80}{0{,}12} + 1 = 49.$$

Количество зачищающих зубьев $z_з$ было принято равным 4. С целью сохранения большей долговечности протяжки при переточке ее по задней грани делают иногда запасные калибрующие зубья.

Для нашего примера принимаем пять калибрующих зубьев (вместе с запасными).

Общее количество зубьев протяжки равно

$$z = z_p + z_з + z_к = 49 + 4 + 5 = 58.$$

12. Определение длин отдельных частей протяжки. Длина рабочей части l протяжки равна

$$l = t_p z_p + t_з z_з + t_к z_к.$$

Но так как $t_p = t_з = t_к = 12$ *мм*, то

$$l = t \cdot z = 12 \cdot 58 = 696 \text{ мм}.$$

Длина хвостовика, шейки, передней направляющей части и переходного конуса выбирается в зависимости от толщины планшайбы станка, длины детали и размеров патрона. В нашем примере принимаем длину протяжки до первого режущего зуба равной 175 *мм*, а длина задней направляющей — 50 *мм*.

Общая длина протяжки L будет равна

$$L = 175 + 696 + 50 = 921 \text{ мм}.$$

Принимаем

$$L = 920 \text{ мм}.$$

На фиг. 267 приведен чертеж протяжки. В чертеже обязательно должны быть указаны размеры каждого зуба протяжки, размеры хвостовика и направляющих частей — передней и задней.

Допуски на основные размеры протяжки принимаются по справочным данным [1].

---

[1] См. М. Д. Пекарский, А. С. Лернер, В. И. Климов, Л. Н. Смирнов, Справочник конструктора, Машгиз, 1947.

ГЛАВА XI

НАПИЛЬНИКИ

ТИПЫ НАПИЛЬНИКОВ

Напильник — режущий инструмент, имеющий большое количество режущих зубьев, производящих срезание слоя металла при своем поступательном или вращательном движении. Это один из самых распространенных режущих инструментов, предназначенных для обработки металлов вручную. Основные профили и размеры напильников определяются ОСТ 20166-40.

Напильники делятся на обыкновенные, специальные, рашпили и надфили.

К обыкновенным (слесарным) напильникам относятся: плоские тупоносые (фиг. 268, *а*), плоские остроносые (фиг. 268, *б*), квадратные (фиг. 268, *в*), трехгранные (фиг. 268, *г*), полукруглые (фиг. 268, *д*) и круглые (фиг. 268, *е*). Сортамент на эти напильники дается в ГОСТ 20167-40, 20168-40, 20169-40, 20171-40, 20176-40 и 20177-40.

К специальным слесарным напильникам относятся: ножовочные (фиг. 269, *а*), ромбические (фиг. 269, *б*), плоские с овальными ребрами (фиг. 269, *в*), овальные (фиг. 269, *г*) и напильники-брусовки (фиг. 269, *д*). Сортамент на эти напильники дается в ГОСТ 20172-40, 20173-40, 20174-40, 20175-40 и 20170-40.

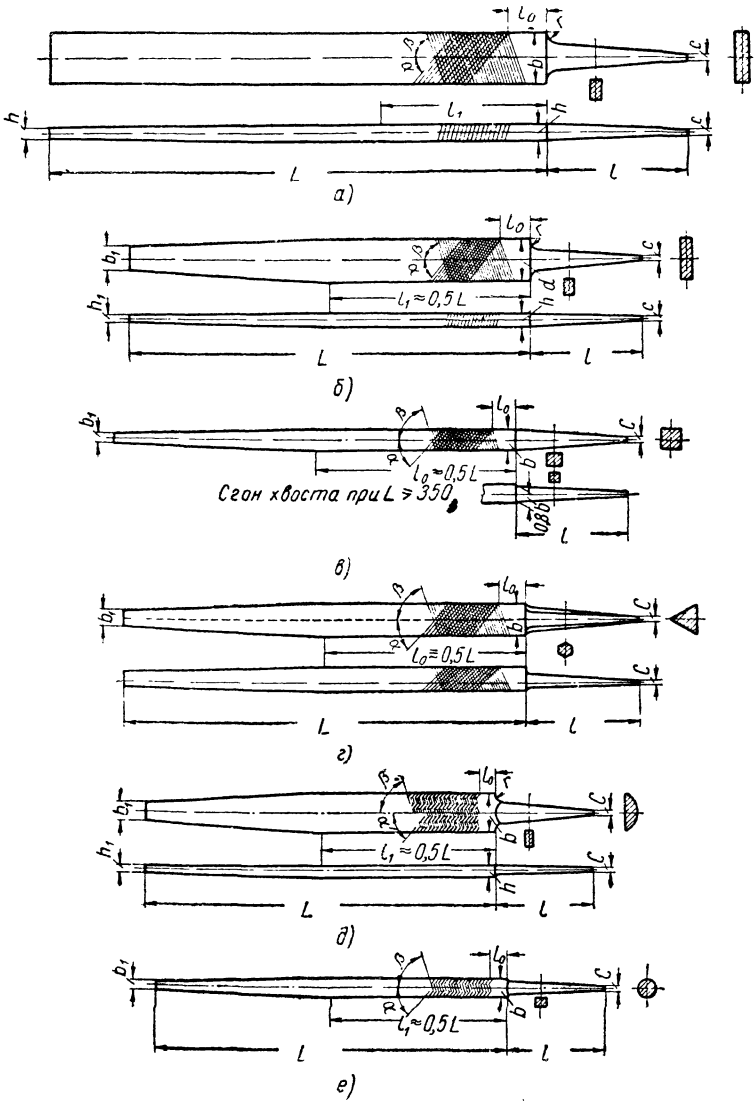
К специальным напильникам относятся также напильники для заточки ручных поперечных пил по дереву, которые делаются ромбическими, трехгранными, квадратными и круглыми. Размер и технические условия на них даются в ОСТ НКТМ 20150-39.

Специальные напильники бывают: в виде круглых дисков, на которых сделана насечка для образования зубьев; в виде цельных круглых лент; в виде лент, на которых закреплены сегментные напильники. Эти напильники применяются для работы на специальных станках.

Рашпили — один из видов напильников. Они имеют крупную (рашпильную) насечку (фиг. 270) и подразделяются на плоские тупоносые (НКТМ 2006-39), плоские остроносые (НКТМ 2007-39), полукруглые (НКТМ 2008-39), круглые (НКТМ 2009-39), сапожные (НКТМ 2010-39) и конские рашпили (НКТМ 2011-39).

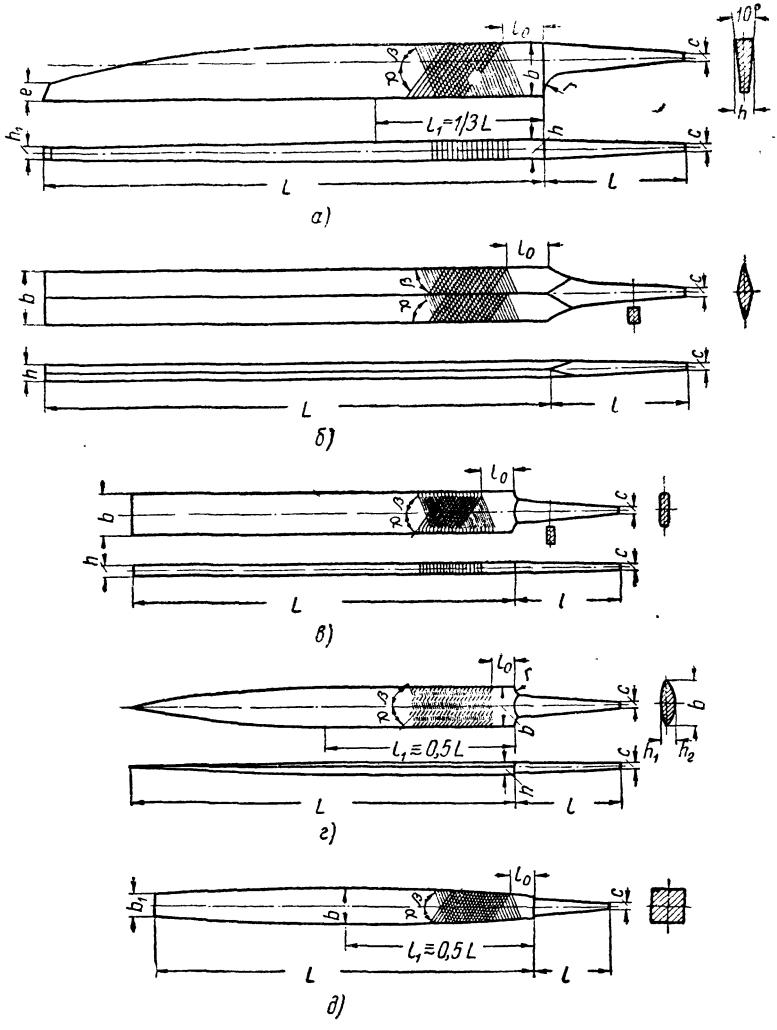
На фиг. 271 показан полукруглый рашпиль.

Рашпили применяются для обработки дерева, кожи (с мелким зубом) и опиловки конских копыт (с крупным зубом).



Фиг. 268. Типы обыкновенных слесарных напильников:

а — плоские тупоносые; *б* — плоски. остроносые; *в* — квадратные; *г*—трехгранные; *д*—полукруглые; *е* — круглые.

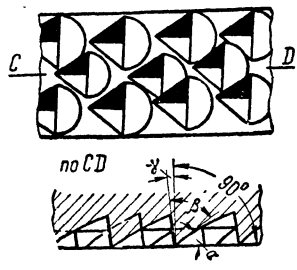


Фиг. 269. Типы специальных слесарных напильников:
а — ножовочные; *б* — ромбические; *в* — плоские с овальными ребрами; *г* — овальные; *д* — напильники-брусовки.

Надфили — мелкие напильники, применяющиеся для отделочных работ в местах, трудно поддающихся обработке обычным напильником.

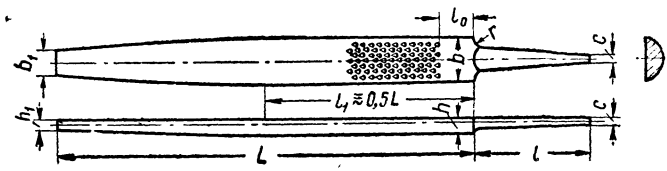
Типы надфилей:

а) плоские тупоносые (ОСТ НКТП 7017/414);
б) плоские остроносые (ОСТ НКТП 7018/415);
в) квадратные (ОСТ НКТП 7019/416);
г) трехгранные (ОСТ НКТП 7020/417);
д) полукруглые (ОСТ НКТП 7021/418);
е) круглые (ОСТ НКТП 7022/419);
ж) овальные (ОСТ НКТП 7023/420);
з) ромбические (мечевидные) — ОСТ НКТП 7024/421;
и) ножовочные (ОСТ НКТП 7025/422);
к) надфили баррет (ОСТ НКТП 7026/423), которые имеют в сечении равнобедренный, но не равносторонний треугольник.



Фиг. 270. Рашпильная насечка.

Надфили делаются трех длин: 80, 120 и 160 *мм*. На фиг. 272 представлены некоторые типы из указанных надфилей. Технические условия на надфили определяются ГОСТ 1513-48.



Фиг. 271. Полукруглый рашпиль.

Зубья напильника расположены на его рабочей части L; хвостовик служит для укрепления его в рукоятке, обеспечивающей удобство удержания напильника в руке.

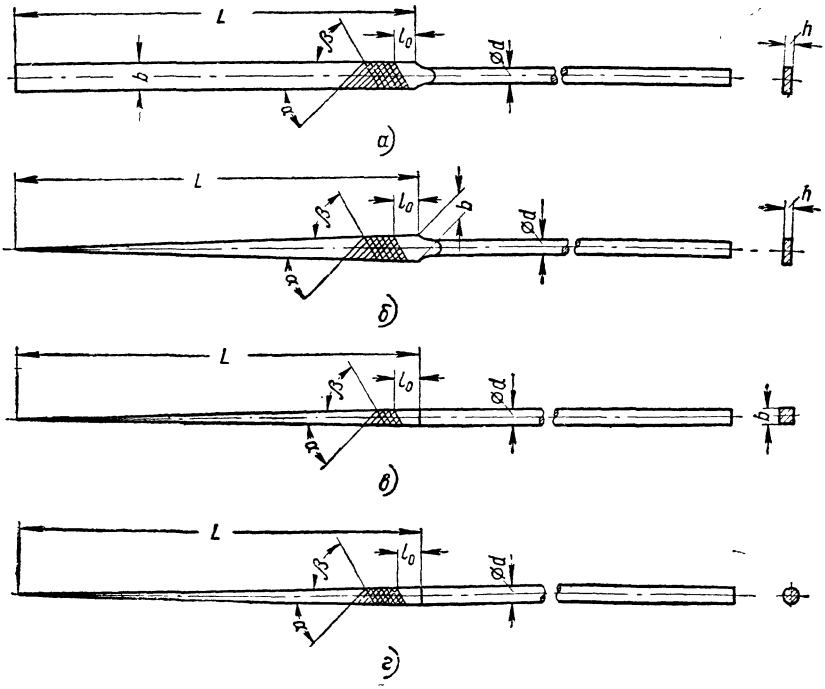
ВИДЫ НАСЕЧЕК

Напильник имеет канавки (насечки), образующие его режущие зубья.

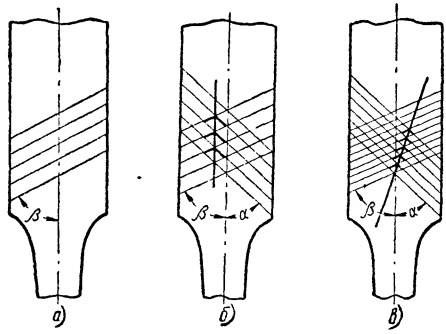
Насечки бывают: а) простые или одинарные (фиг. 273, *а*); б) перекрестные или двойные (фиг. 273, *б* и *в*); в) рашпильные (см. фиг. 270).

При простой (одинарной) насечке зуб напильника режет по всей своей длине, снимая широкую стружку. Это приводит к возникновению больших усилий, что делает работу таким напильником тяжелой. Поэтому напильники с такой насечкой пригодны для обработки мягких (цветных) металлов. Угол β между насечкой и осью обыкновенного напильника делается 70°. При одинарной насечке напильников для заточки ручных поперечных пил по дереву этот угол делается 55° для напильников ромбических, трехгранных и квадратных и 70° — для круглых.

*



Фиг. 272. Надфили:
а — тупоносый; *б* — остроносый; *в* — квадратный; *г* — круглый.



Фиг. 273. Виды насечек напильника:
а — простая; *б* и *в* — перекрестная.

Для раздробления стружки и облегчения работы применяется перекрестная (двойная) насечка. В результате такой насечки зуб получается в виде пирамидки, ребра которой и будут представлять собой режущие кромки такого зуба-резца.

Чем больше углы α и β (фиг. 273, *б* и *в*), тем больше будет зуб по площади, но тем меньшее число зубьев будет приходиться на единицу поверхности напильника.

При равных шагах насечки зубья будут расположены по прямой, параллельной оси напильника (фиг. 273, *б*). При движении напильника в направлении его оси на изделии будут оставаться канавки. Во избежание этого у слесарных напильников одна насечка (нижняя) делается под углом $\alpha = 55°$, а другая (верхняя) — под углом $\beta = 70°$ (фиг. 273, *в*) и шаг насечек делается неодинаковым (у нижней насечки больше, чем у верхней). При такой насечке зубья располагаются на прямой, составляющей некоторый угол с осью, и при движении будут перекрывать друг друга, обеспечивая получение более чистой поверхности.

У напильников для заточки ручных поперечных пил по дереву нижняя насечка делается под углом 60°, а верхняя — под углом 55°.

У надфилей углы насечек такие же, как и у обыкновенных напильников (55° и 70°).

К двойным насечкам относится и елочная насечка, которая делается у напильников круглых, полукруглых и овальных. Углы насечек те же (55° и 70°). Число рядов насечек колеблется от 4 до 23.

Рашпильная насечка получается с помощью специального зубила. Она применяется в напильниках для обработки мягких металлов, дерева, кости и т. п. Режущая кромка зуба рашпиля располагается перпендикулярно к оси рашпиля. Основание зуба не имеет обычно закругления, что приводит к прочному заполнению впадины опилками.

По числу насечек, приходящихся на 1 *пог. см* длины, напильники делятся на 6 классов и соответственно этому называются драчевыми (1-й класс), личными (2-й класс) и бархатными (3-й, 4-й, 5-й и 6-й классы). Чем больше число насечек, тем мельче зуб напильника, тем больше номер класса, к которому он принадлежит.

Напильники плоские с овальными ребрами выпускаются двух классов (драчевые и личные).

Наиболее грубыми напильниками, применяемыми для обдирки, являются напильники-брусовки, имеющие всего один класс (драчевые). По ОСТ 20170-40 они делаются трех длин, для которых предусматривается следующее число насечек на 1 *пог. см*:

а) для напильника длиной 400 *мм* — 5 насечек;
б) „ „ „ 450 „ — 4,5 насечки;
в) „ „ „ 500 „ — 4 насечки.

Драчевые напильники применяются для грубой опиловки, личные — для чистовой обработки поверхностей, но они не рекомендуются для опиловки цветных металлов, так как будут быстро засаливаться стружкой.

Бархатные напильники, имеющие самую мелкую насечку, применяются для отделки (полирования).

Надфили имеют шесть номеров насечек в зависимости от их числа на 1 *пог. см*. Первый номер имеет 22 насечки, второй — 30, третий — 40, четвертый — 50, пятый — 60, шестой — 80 для всех диаметров надфилей.

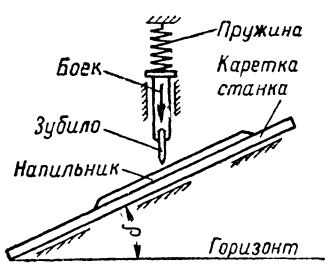
Напильники для заточки ручных поперечных пил по дереву на классы не делятся и имеют 20—21 насечку на 1 *пог. см* длины.

Указанное число насечек относится к нижней насечке. У напильников (слесарных) число верхних насечек на 1 *пог. см* больше числа нижних на 1—2 для 1-го и 2-го классов и на 3—5 — для 3—6-го классов. У надфилей число верхних насечек на 3—5 больше числа нижних. У напильников для заточки ручных поперечных пил по дереву число верхних насечек — 22.

Число насечек на 1 *пог. см* длины и ширины рашпиля стандартизовано и дается в ОСТ НКТМ 2006-39—2011-39. В зависимости от числа насечек рашпили делятся на 2 класса. Для 1-го класса число насечек на 1 *пог. см* длины делается от 3,6 до 2,0 (в зависимости от рабочей длины рашпиля), а на 1 *пог. см* ширины — от 2,8 до 1,2. Для 2-го класса соответственно 6,8—4,4 и 4,8—2,4. 2-й класс, следовательно, имеет более мелкую насечку, а потому применяется для чистовой опиловки.

ФОРМА И УГЛЫ ЗУБА НАПИЛЬНИКА

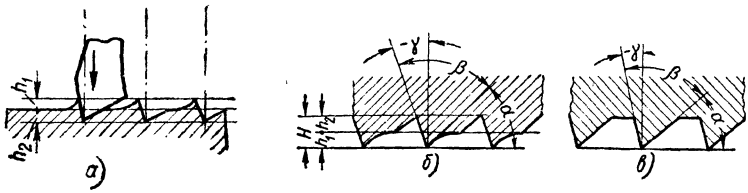
Форма зуба насеченного напильника зависит в основном от углов заточки зубила, твердости металла напильника и силы удара. На фиг. 274 дана схема станочной насечки напильника. Заготовка закреплена на наклонной каретке станка. Зубило закреплено в бойке, который под действием пружины совершает периодические удары. При ударе зубило производит наклонный подрез материала с одновременным отворотом его во внешнюю сторону (фиг. 275,*а*), что приводит к возвышению зубьев над телом напильника на величину h_1. Спинка этой части зуба имеет криволинейную форму. Спинка части зуба, лежащей в теле напильника (высота h_2), имеет прямолинейную форму, как след от соприкосновения с поверхностью зубила. Из рассмотрения действительного профиля зуба напильника (фиг. 275, *б*) видно, что зуб имеет отрицательное значение переднего угла γ и большую величину заднего угла α, т. е. углы зуба напильника неблагоприятны для процесса резания. Получить насеканием положительное значение переднего угла трудно, так как даже для угла $\gamma = 0$ (фиг. 276) при наклоне каретки на угол $\rho = 17°$ угол зубила x должен быть 17°, а угол $y = 43°$ [для прочности зубила его угол заострения $(x + y)$ не должен быть меньше 60°]. Уменьшение угла x для получения положительного значения угла γ приводит к быстрому выкрашиванию зубила. Больший же поворот каретки по отношению



Фиг. 274. Схема станочной насечки напильника.

к оси зубила приводит к большему отвороту материала и искажению формы зуба.

Представленный на фиг. 276 случай, когда $x = 17°$ (углу наклона каретки), имеет место при расположении насечки перпендикулярно



Фиг. 275. Образование зуба напильника:
а — при насечке; *б* — углы; *в* — зуб, полученный протягиванием.

к оси напильника. Для случая же перекрестной насечки, направленной под углом α и β, угол x должен подсчитываться по формуле

$$x = \gamma + \rho_1,$$

где γ — передний угол зуба напильника;

ρ_1 — угол наклона заготовки, измеренный в плоскости, перпендикулярной к направлению насечки.

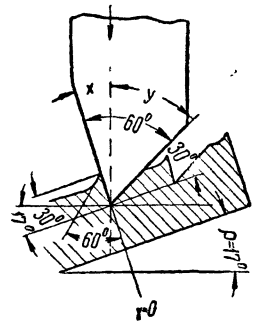
В свою очередь

$$\sin \rho_1 = \sin \rho \cos (90° - \alpha)$$

для нижней насечки и

$$\sin \rho_1 = \sin \rho \cos (90° - \beta)$$

для верхней насечки.



Фиг. 276. Образование зуба напильника с углом $\gamma = 0$.

Отрицательное значение переднего угла γ, измеренного в сечении, перпендикулярном к направлению основной (верхней) насечки, не должно быть больше 12° (ОСТ 1468-48). Отношение высоты зуба H к нормальному шагу основной насечки должно быть не менее 0,45. У напильников с двойной насечкой возвышение зубьев над телом напильника h_1 равно (иногда немного меньше) высоте зуба в теле напильника h_2. У напильников с одинарной насечкой $h_1 : h_2 = 3:2$, т. е. возвышение в 1,5 раза больше впадины.

Так как насеченный зуб имеет неблагоприятные углы резания и острое основание впадины, в которую забивается стружка (засаливание), то за последнее время широкое распространение находят фрезерование и протягивание насечки. Эти методы наряду с обеспечением повышения режущих способностей напильника являются и более производительными при его изготовлении.

Особого внимания заслуживает разработанный в СССР метод протягивания, осуществленный на плоскопараллельных напильниках.

Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС, руководитель работ лауреат Сталинской премии И. Е. Бурштейн) предложил делать плоские напильники с параллельными сторонами и протянутым зубом на них. Новая конструкция напильников дает возможность значительно повысить производительность при их изготовлении и улучшает конструкцию зуба и ровность напильника. Протянутый зуб имеет уменьшенное значение переднего угла (—5°) и плоское дно впадины (см. фиг. 275, *в*). Такие напильники по сравнению с насеченными легче врезаются в обрабатываемый металл, обеспечивают повышение производительности, имеют более высокую стойкость и не засаливаются во время работы.

Новые конструкция и технология изготовления напильников, а также постройка высокопроизводительной автоматической линии по их производству — крупное достижение нашей станкоинструментальной промышленности.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПИЛЬНИКОВ

Напильники делаются из инструментальной углеродистой стали (У10, У10А, У12, У12А, У13 и У13А), а также из хромистой (ШХ6, ШХ9, ШХ15). Надфили изготовляются из сталей У10, У10А, У12 и У12А.

Твердость и острота зубьев напильника должны обеспечивать сцепляемость их со стальной пластинкой твердостью не ниже 54 H_{R_C}.

ГЛАВА XII

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ

Все инструменты, предназначенные для обработки резьбы, можно разделить на три основные группы.

1. Инструменты, снабженные режущими кромками, для нарезания резьбы методом снятия стружки. Материалом для таких инструментов служат инструментальная сталь и твердые сплавы.

2. Абразивные инструменты — шлифовальные круги. Процесс образования резьбы в этом случае можно рассматривать как процесс резания, он также сопровождается образованием стружки.

3. Инструменты, работающие методом пластических деформаций материала изделия. Этот процесс не сопровождается отделением стружки, резьба образуется в результате вдавливания инструмента в обрабатываемый материал.

К основным видам режущих инструментов для обработки резьбы относятся: 1) резьбовые резцы и гребенки; 2) метчики; 3) резьбонарезные плашки; 4) резьбонарезные самоотрывающиеся и регулируемые головки; 5) резьбовые фрезы и 6) резьбовые обкаточные резцы.

К инструментам, работающим методом пластических деформаций материала изделия, можно отнести накатные плоские плашки и накатные ролики.

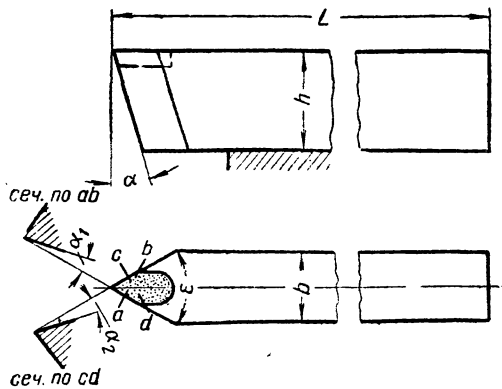
РЕЗЬБОВЫЕ РЕЗЦЫ И ГРЕБЕНКИ

Резьбовые резцы служат для нарезания наружной и внутренней резьбы. Резцами можно нарезать различные резьбы: остроугольную, прямоугольную, трапецоидальную, упорную и пр. Резьбовые резцы делятся на: 1) нормальные стержневые однониточные и гребенчатые; 2) призматические однониточные и гребенчатые; 3) круглые дисковые, также однониточные и гребенчатые.

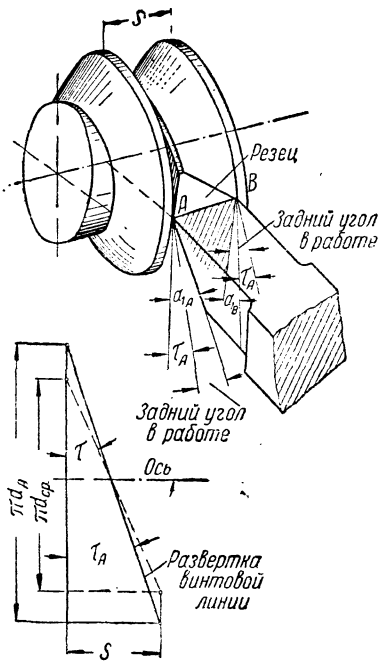
Особенности конструкции резьбовых резцов. На фиг. 277 показан нормальный однониточный резец. Он представляет собой стержень прямоугольного, квадратного или круглого сечения, который имеет головку, по форме соответствующую форме профиля нарезаемой резьбы. На фиг. 277 показан резец для треугольной резьбы, но такие резцы могут быть и для прямоугольной, трапецоидальной, упорной и прочих резьб. Резьбовые резцы можно изготовлять из инструментальной быстрорежущей стали и твердых сплавов, последние обладают более высокой стойкостью.

Представим себе резьбовой резец в работе (фиг. 278).

Профиль резьбы образуется двумя режущими кромками. Боковая поверхность нарезаемой резьбы является винтовой поверхностью с шагом S. Возьмем на одной из режущих кромок точку A (в целях ясности чертежа точка A взята на наружном диаметре резьбы). В нерабочем положении (см. фиг. 277) задний угол резца в сечении $a-b$, нормальном к режущей кромке, обозначен через α_1. Во время работы фактический задний угол резца изменится. На фиг. 278 показан стрелками задний угол α_{1A} (для ясности чертежа этот задний угол α_{1A} показан не в нормальном сечении к режущей кромке, а в сечении плоскостью AB, параллельной оси резьбы). Легко заметить, что задний угол в процессе работы (в том же сечении) определится как разность углов $\alpha_{1A}-\tau_A$. Угол τ_A является углом подъема резьбы в точке A



Фиг. 277. Стержневой резьбовой резец для остроугольной резьбы.



Фиг. 278. Элементы резьбы.

(см. развертку винтовой линии, фиг. 278 внизу) и может быть определен по формуле

$$\operatorname{tg}\tau_A = \frac{S}{\pi d_A}.$$

Обычно угол подъема резьбы условно принимают на среднем диаметре и обозначают его через τ, тогда

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{S}{\pi d_{ср}}.$$

Рассматривая влияние угла подъема резьбы на действительный задний угол в процессе работы резца (в сечении плоскостью AB, параллельной оси, — см. фиг. 278), замечаем, что на левой режущей кромке благодаря углу подъема резьбы действительный задний угол уменьшается

на величину угла τ_A, а на правой кромке (точка B) увеличивается на ту же величину.

Но нас интересуют задние углы в сечениях ab и cd, перпендикулярных к режущим кромкам. В этих сечениях действительные задние углы в процессе резания могут быть подсчитаны по следующим формулам:

для левой режущей кромки (см. фиг. 277, сечение ab) задний угол

$$\alpha_{p.л} = \alpha_1 - \mu;$$

для правой режущей кромки (сечение cd)

$$\alpha_{p.п} = \alpha_2 + \mu.$$

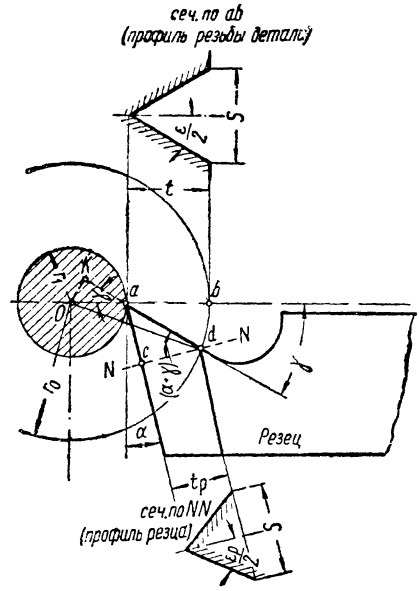
Угол μ наклона траектории в этих сечениях можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\mu = \operatorname{tg}\tau \cos\frac{\varepsilon}{2},$$

где τ — угол подъема резьбы;

ε — угол профиля резьбы.

Из этой формулы следует, что для резьб с малым углом подъема τ и большим углом профиля ε угол μ будет незначительный. Практически для треугольных резьб с $\varepsilon = 55 \div 60°$ и углом подъема $\tau = 3 \div 4°$ не учитывают влияния угла μ и делают резцы с одинаковыми углами α_1 и α_2.



Фиг. 279. Расчет профиля стержневого резца с углом γ.

Для трапецоидальной и квадратной резьбы угол μ получается большой и должен учитываться при определении задних углов резца.

Передний угол γ резьбового резца выбирается в зависимости от обрабатываемого материала и может быть принят аналогично переднему углу фасонных резцов (см. главу „Фасонные резцы").

Вследствие наличия переднего угла у резьбовых резцов приходится корректировать их профиль. Расчет корректировки профиля при переднем угле γ можно производить по формулам, применявшимся для расчета профиля фасонного призматического резца (строго говоря, с введением переднего угла γ профиль изделия при нарезании резьбы прямолинейной кромкой резца не будет прямолинейным, но этим обычно ничтожным по величине отклонением в практике пренебрегают).

Примем следующие обозначения (фиг. 279):

γ — передний угол резца;

ε — угол профиля резьбы в плоскости ab;

ε_p — угол профиля резца в сечении NN;

S — шаг резьбы;

t — теоретическая высота резьбы в сечении ab (до острой вершины);

t_p — высота резьбы в сечении NN (до острой вершины);
r_0 — наружный радиус резьбы изделия;
r_1 — внутренний радиус резьбы изделия.

На фиг. 279 показано расположение резца и изделия. Зная угол ε, необходимо найти угол ε_p профиля резца в сечении NN.

Вначале определяем сторону $\overline{ad}$ из косоугольного треугольника Oad и треугольника OKa. В этих треугольниках нам известны: сторона $\overline{Oa} = r_1$, сторона $\overline{Od} = r_0$ и $\angle OaK = \gamma$.

Сторона ad определится по формуле: $\overline{ad} = \overline{dK} - \overline{aK}$ или

$$\overline{ad} = \sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2\gamma} - r_1 \cos\gamma.$$

Затем из прямоугольного треугольника acd определяем сторону $\overline{cd}$:

$$\overline{cd} = \overline{ad} \cos(\alpha + \gamma).$$

Подставив значение $\overline{ad}$ и заменив $\overline{cd}$ через t_p, получим

$$\overline{cd} = t_p = \left(\sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2\gamma} - r_1 \cos\gamma\right) \cos(\alpha + \gamma).$$

Зная t_p, легко найти угол ε_p (для простоты выводов резьба показана с острой вершиной без закругления).

Из фиг. 279 определяем

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_p}{2} = \frac{S}{2t_p}.$$

Таким образом, можно определить угол резца ε_p в сечении NN.

Если угол $\gamma = 0$, то формулы примут вид:

$$t_p = (r_0 - r_1)\cos\alpha = t\cos\alpha;$$

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_p}{2} = \frac{S}{2t_p} = \frac{S}{2t\cos\alpha}.$$

Но

$$\frac{S}{2t} = \operatorname{tg}\frac{\varepsilon}{2};$$

подставив, получим

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_p}{2} = \frac{\operatorname{tg}\frac{\varepsilon}{2}}{\cos\alpha}.$$

По этим формулам можно подсчитать профиль резца для треугольной резьбы.

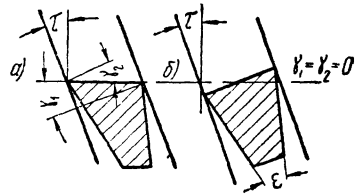
Особенности в расчете профиля имеются для трапецоидальной и прямоугольной резьб. Эти резьбы обычно имеют большой угол подъема τ (особенно многозаходные резьбы).

Существуют два способа установки резьбового резца при нарезании трапецоидальной резьбы.

Первый способ. Установка передней поверхности резца параллельно оси (фиг. 280, *а*) дает возможность получить точный винт. Угол

профиля резца (если передний угол $\gamma = 0$) получается точно такой же, как и угол профиля резьбы. Если $\gamma > 0$, расчет угла профиля ничем не отличается от приведенного выше расчета для остроугольной резьбы.

К недостаткам этого способа следует отнести ухудшение условий резания на кромке с отрицательным передним углом γ_1, а при очень большом угле подъема τ резьбы — ослабление кромки с углом γ_2.

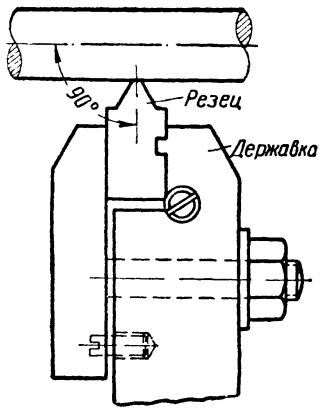


Фиг. 280. Установка резца при нарезании прямоугольной и трапецоидальной резьб с большим углом подъема.

Второй способ. Установка передней поверхности резца перпендикулярно к витку резьбы (фиг. 280, *б*) позволяет уравнять условия резания на обеих сторонах профиля, но в этом случае затрудняется проектирование резца. Для обеспечения точного прямолинейного профиля резьбы необходимо придать режущей кромке резца криволинейную форму. Определение искажений профиля при этом можно производить графическим или аналитическим путем[1].

Первый способ установки обычно применяют для чистовых, а второй способ — для черновых резцов.

Призматические резьбовые резцы. Призматический резец (фиг. 281) представляет собой фасонный резец, обработанный по профилю резьбы и зажатый в специальную державку, часто пружинную. Задний угол резца получается за счет наклона в державке и обычно принимается в пределах 15°. Заточка призматических резьбовых резцов производится только по передней грани. Передний угол γ может приниматься различным в зависимости от обрабатываемого материала. Основным преимуществом призматических резцов по сравнению со стержневыми является более рациональное использование быстрорежущей стали в связи с увеличением числа возможных переточек. Призматические резцы можно применять только при небольших углах подъема резьбы, так как для этих резцов нельзя давать разные задние углы на боковых сторонах профиля α_1 и α_2 (фиг. 277). Это обстоятельство ограничивает применение призматических резцов в основном обработкой остроугольных резьб с небольшим углом подъема τ.



Фиг. 281. Призматический резец в державке.

Круглые резьбовые резцы. Значительно чаще применяются круглые резьбовые резцы. Изготовление круглого резца проще призматического, профиль его может быть прошлифован на резьбошлифовальном станке. Круглые резцы для наружной резьбы выполняются обычно насадными

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, 1938.

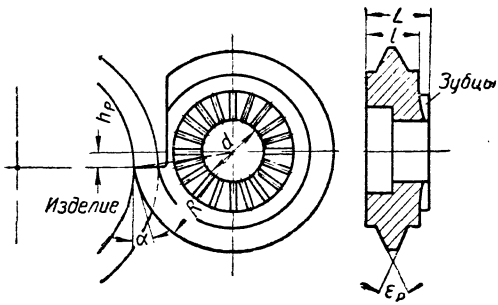
(фиг. 282). Резец устанавливается на специальной державке; для предохранения от проворачивания он снабжается на одном или обоих торцах зубцами.

Для получения заднего угла α центр резца устанавливается выше центра изделия на величину h_p. Величину сноса h_p можно подсчитать по формуле

$$h_p = R \sin \alpha.$$

Рекомендуется принимать угол α от 10 до 12°.

Передний угол резца γ выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала; у чистовых резьбовых резцов передний угол чаще всего принимают равным нулю с целью уменьшения искажения профиля резьбы.



Фиг. 282. Круглый резьбовой резец.

В отличие от стержневых и призматических резцов круглый резец не дает точного прямолинейного профиля резьбы даже при переднем угле $\gamma = 0$. В самом деле, если круглый резец пересечь плоскостью ab, проходящей ниже центра резца (фиг. 283), то в сечении ab кромки не будут прямолинейны. Однако этим отклонением от прямолинейности в практике пренебрегают. Ошибка будет тем меньше, чем меньше отношение $\frac{t}{D}$, где t — глубина профиля резьбы, а D — диаметр резца.

Для определения угла ε_p профиля круглого резьбового резца можно использовать обычный способ расчета фасонных круглых резцов по точкам (см. гл. V) или, принимая профиль резца прямолинейным, определить угол ε_p следующим образом.

Первый случай $\gamma = 0$ (см. фиг. 283).

Профиль резьбы изделия дается в радиальном сечении ab. Профиль резьбы резца необходимо найти в сечении cd. В треугольнике aOb известны отрезок $aO = R$ (принимается из конструктивных соображений) и отрезок $ab = t$ (теоретическая высота профиля до острия). Кроме того, известен задний угол резца α. Требуется найти отрезок ae, равный высоте t_p профиля резьбы на резце.

Высота профиля t_p в сечении cd определится

$$t_p = \overline{aO} - \overline{Oe}.$$

Но

$$\overline{Oe} = \overline{bO},$$

следовательно,

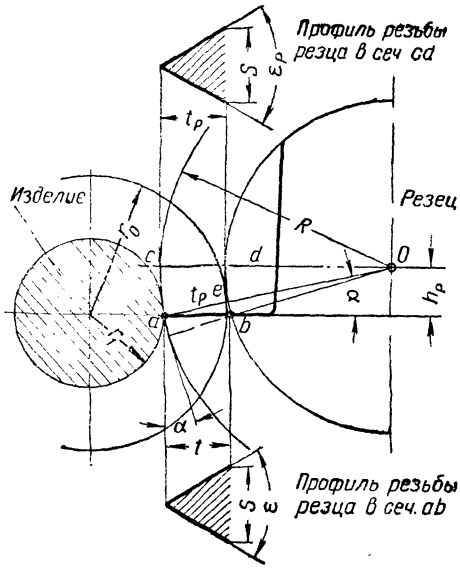
$$t_p = R - \overline{bO}.$$

Отрезок $\overline{bO}$ можно определить, решив косоугольный треугольник aOb:

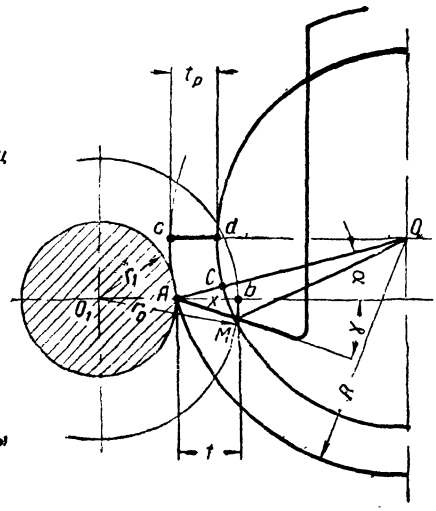
$$bO = \sqrt{R^2 + t^2 - 2Rt\cos\alpha}.$$

Подставив значение bO, получим

$$t_p = R - \sqrt{R^2 + t^2 - 2Rt\cos\alpha}.$$



Фиг. 283. Определение профиля резьбы круглого резца ($\gamma = 0$).



Фиг. 284. Определение профиля резьбы круглого резца ($\gamma > 0$).

Далее определим половину угла $\frac{\varepsilon_p}{2}$ по формуле

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_p}{2} = \frac{S}{2t_p}.$$

Второй случай — $\gamma > 0$ (фиг. 284). В косоугольном треугольнике AOM известен отрезок $AO = R$. Отрезок AM обозначим через x, тогда

$$\overline{OM} = \sqrt{R^2 + x^2 - 2Rx\cos(\alpha + \gamma)},$$

а

$$t_p = R - \sqrt{R^2 + x^2 - 2Rx\cos(\alpha + \gamma)}.$$

Для определения величины x, которая входит в эту формулу, рассмотрим треугольник AO_1M; в нем известны стороны $O_1A = r_1$ и $O_1M = r_0$, а также угол γ. Решив этот косоугольный треугольник, получим

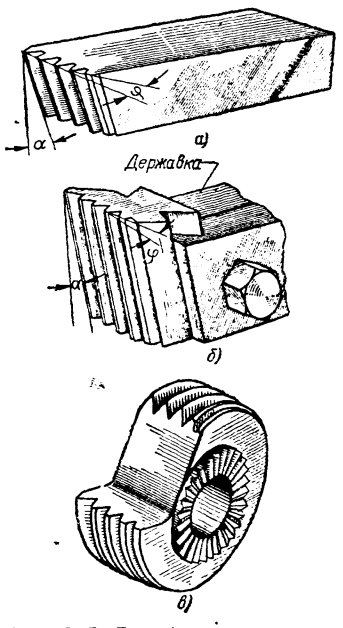
$$x = \sqrt{r_0^2 - r_1^2\sin^2\gamma} - r_1\cos\gamma.$$

Окончательно расчет профиля можно произвести по формуле

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_p}{2} = \frac{S}{2t_p},$$

где S — шаг резьбы; t_p — теоретическая высота резьбы у резьбового резца.

Особенности конструкции резьбовых гребенок. Кроме однониточных резьбовых резцов в практике часто применяют многониточные резцы, имеющие на режущей части несколько зубьев, выполненных по форме профиля резьбы. Такие многониточные резцы называют гребенками (фиг. 285). Гребенки бывают: 1) плоские стержневые (фиг. 285,*а*); 2) призматические (фиг. 285,*б*); 3) круглые с кольцевой или винтовой нарезкой (фиг. 285, *в*).



Фиг. 285. Резьбовые гребенки.

Гребенки могут быть применены как для нарезания резьбы на цилиндрической поверхности, так и для нарезания резьбы на конической поверхности (в последнем случае гребенки выполняются с резьбой, расположенной под углом к оси).

Рабочая часть гребенок состоит из режущей и калибрующей части. Режущая (заборная) часть гребенки обычно принимается длиной от $1^1/_2$ до $2^1/_2$ витков и срезается под углом φ, образуя заборный конус. Благодаря этому нагрузка распределяется между двумя или тремя зубьями гребенки. Разделение нагрузки позволяет значительно увеличить радиальную подачу гребенки и тем самым уменьшить число проходов при нарезании. Калибрующая часть (длиной 4—6 витков) предназначена для зачистки резьбы.

Стержневые и призматические гребенки из-за трудностей в изготовлении не получили широкого распространения. Значительно шире распространены круглые гребенки, которые в отличие от круглого резьбового резца имеют несколько кольцевых или винтовых витков. Гребенки с кольцевыми витками несложны в изготовлении, но они могут применяться только в тех случаях, когда резьба на изделии имеет небольшой угол подъема τ. Если угол подъема большой, то кольцевые витки гребенки не совпадают с витками изделия; в этом случае задний угол на одной стороне уменьшается, и в результате гребенка неравномерно изнашивается и затирает одну сторону резьбы.

Лучше работают резьбовые круглые гребенки с винтовой резьбой, у которых витки расположены по винтовой линии.

При нарезании внутренней резьбы направление резьбы гребенки должно совпадать с направлением резьбы изделия: если резьба правая,

то и на гребенке необходимо нарезать правую резьбу. При нарезании наружной резьбы направление резьбы гребенки должно быть обратным направлению резьбы изделия. При конструировании такой гребенки необходимо добиваться совпадения угла подъема резьбы изделия с углом подъема резьбы гребенки. Только при совпадении этих углов можно получить одинаковые задние углы на обеих сторонах профиля. Однако это не всегда удается. У гребенок, предназначенных для нарезания внутренней резьбы, невозможно добиться равенства углов подъема резьбы, так как диаметр гребенки всегда должен быть меньше диаметра нарезаемой резьбы (иначе невозможно будет вывести гребенку из отверстия), а шаг резьбы одинаков. Поэтому при нарезании внутренних резьб угол подъема резьбы гребенки будет всегда больше угла подъема нарезаемой резьбы.

Иная картина получается при нарезании наружной резьбы. Диаметр гребенки в этом случае может быть любым: он может быть меньше диаметра резьбы, равен ему или больше диаметра резьбы.

Если возникает необходимость увеличить диаметр гребенки, то в целях сохранения угла подъема следует делать резьбу у гребенки многозаходной. В этом случае диаметр гребенки должен быть больше диаметра резьбы в n раз, т. е.

$$D_{ср} = d_{ср} \cdot n,$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр гребенки;
$d_{ср}$ — средний диаметр резьбы изделия;
n — число заходов резьбы гребенки.

Наряду с обычным искажением высоты t_p и угла профиля ε у гребенки с винтовой резьбой получаются дополнительные искажения угла профиля, вызванные расположением витков по винтовой линии. Возьмем винтовую гребенку с передним углом $\gamma = 0$. На фиг. 286 показана такая гребенка. Для получения заднего угла α передняя грань гребенки, как и у круглого дискового резца, снесена с центра на величину h_p.

Представим себе винтовую гребенку в виде короткого винта с большим шагом S. Если рассечем такой винт двумя плоскостями — плоскостью cd, проходящей через ось винта, и плоскостью ab, параллельной плоскости cd и проходящей на расстоянии h_p от линии центра, получим в сечении два различных профиля резьбы. В сечении ab гребенка должна иметь профиль, в точности совпадающий с профилем резьбы изделия. Следовательно, профиль в сечении ab нам задан. Представим себе, какой должен быть профиль в сечении cd. Для этой цели спроектируем точки 1, 2, 3 на плоскость ab, получим точки $1'$, $2'$ и $3'$. Из этих точек проведем соответствующие винтовые линии до совмещения с точками $1''$, $2''$, $3''$. Из точки $1'$ в точку $1''$ винтовая линия пойдет с углом подъема, соответствующим углу подъема резьбы у внутреннего диаметра. Можно определить этот угол подъема τ_1 по формуле

$$\operatorname{tg} \tau_1 = \frac{S}{\pi d_1}.$$

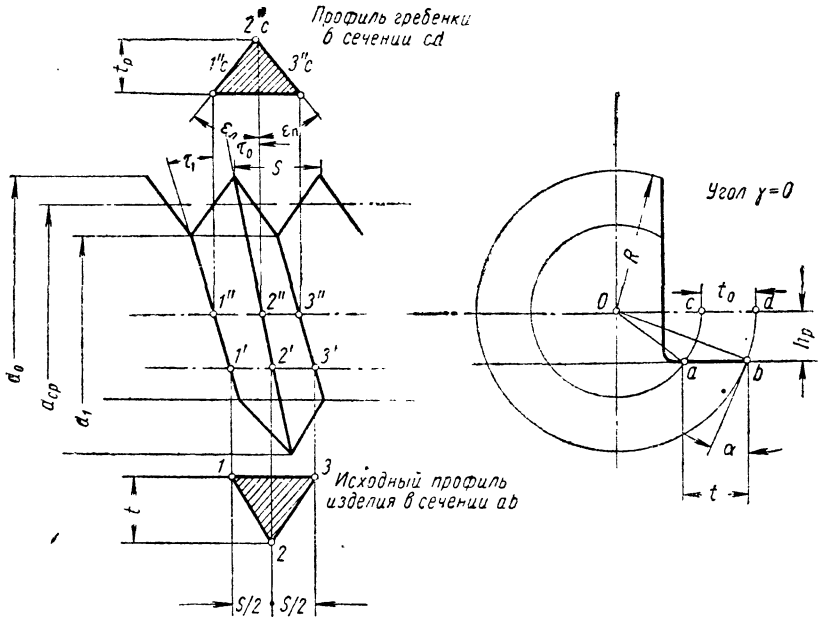
Из точки $2'$ в точку $2''$ винтовая линия пойдет под другим углом подъема τ_0, тогда

$$\operatorname{tg}\tau_0 = \frac{S}{\pi d_0}.$$

Так как d_1 меньше, чем d_0, то τ_1 всегда будет больше τ_0.

Из точки $3'$ в точку $3''$ винтовая линия пойдет под углом τ_1, который мы определили для точки $1'$.

Мы нашли точки $1''$, $2''$, $3''$. Теперь можно построить профиль резьбы гребенки в сечении cd.



Фиг. 286. Искажение профиля винтовой гребенки.

Стороны профиля гребенки в сечении cd будут иметь разные углы. Левая сторона профиля (фиг. 286) будет иметь угол $\varepsilon_л$, правая сторона профиля — угол $\varepsilon_п$. Угол профиля левой стороны можно определить так:

$$\operatorname{tg}\varepsilon_л = \frac{\overline{1'' - 2''}}{t_p}.$$

Для правой стороны профиля

$$\operatorname{tg}\varepsilon_п = \frac{\overline{2'' - 3''}}{t_p}.$$

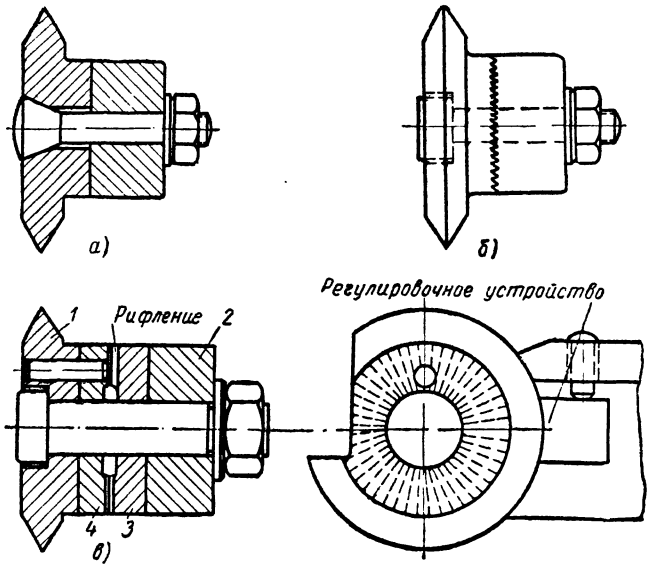
Высоту профиля t_p можно определить по формулам, выведенным на стр. 350—351.

Для определения отрезков $\overline{1'' - 2''}$ и $\overline{2'' - 3''}$ необходимо, как мы говорили раньше, построить винтовые линии из точек $1'$, $2'$ и $3'$. Эти винтовые линии можно заменить прямыми, проведенными под соответствующими углами подъема. При небольших углах подъема и малой величине h_p такое допущение не даст большой ошибки. В этом случае отрезок

$$\overline{1'' - 2''} = \frac{S}{2} + h_p \operatorname{tg} \tau_1 - h_p \operatorname{tg} \tau_0;$$

отрезок

$$\overline{2'' - 3''} = \frac{S}{2} - h_p \operatorname{tg} \tau_1 + h_p \operatorname{tg} \tau_0.$$



Фиг. 287. Различные типы крепления гребенок.

Преобразуя и подставляя в формулы для $\varepsilon_л$ и $\varepsilon_п$, получим:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_л = \frac{\frac{S}{2} + h_p (\operatorname{tg} \tau_1 - \operatorname{tg} \tau_0)}{t_p};$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_п = \frac{\frac{S}{2} - h_p (\operatorname{tg} \tau_1 - \operatorname{tg} \tau_0)}{t_p}.$$

По этим приближенным формулам можно определить корректированные углы профиля винтовой гребенки.

Кроме этих искажений углов имеет место криволинейность профиля, которая получается как у круглых резцов и гребенок с кольцевой резьбой, так и у круглых винтовых гребенок. В расчете профиля мы пренебрегаем этим, так как в практике это искажение не имеет серьезного значения (конечно, при небольших углах τ).

Конструкции крепления круглых резцов и гребенок[1]. Наиболее распространенными типами крепления резцов и гребенок являются:

1) крепление болтом с конической или цилиндрической головкой (фиг. 287, *а*); резец или гребенка закрепляется на державке и удерживается исключительно силой трения;

2) крепление болтом, усиленное рифлеными зубьями на торце гребенки (фиг. 287, *б*); рифления на торце гребенки расположены радиально и входят в рифления на торце державки или в рифление специальной регулируемой прокладки;

3) крепление гребенки *1* на державке *2*, снабженной регулировочным устройством, состоящим из двух шайб *3* и *4*, снабженных рифлениями для поворота гребенки (фиг. 287, *в*); гребенка или круглый резец в этом случае не имеет рифлений.

Первый тип крепления применяется для легких работ, где нет больших усилий; второй и третий типы применяются при работе с большой нагрузкой. Лучше при этом вводить в конструкцию крепления регулировочное устройство для поворачивания гребенки после заточки.

МЕТЧИКИ

Основные понятия. Метчиком принято называть режущий инструмент, предназначенный для нарезания резьбы в отверстиях. Он представляет собой винт, снабженный одной или несколькими продольными прямыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки.

Классификация метчиков. Метчики можно подразделить на следующие основные типы (классификация по ОСТ НКТП 2938).

1. Ручные метчики (фиг. 288, *а*, *б*) служат для нарезания резьбы вручную. Нарезание производят комплектом метчиков из 2 или 3 шт. в зависимости от размера нарезаемой резьбы. Комплект метчиков для основной метрической и дюймовой резьбы состоит из 3 шт., для мелкометрических резьб и трубных резьб — из 2 шт.

2. Гаечные метчики (фиг. 288, *в*) делятся на гаечные метчики с длинным и коротким хвостовиком и на станочные метчики. Применяются они для нарезания резьбы гаек на станках.

3. Машинные метчики (фиг. 288, *г*) применяются для нарезания резьбы как в сквозных, так и в глухих отверстиях. Эти метчики в отличие от ручных устанавливаются и работают на станках.

4. Плашечные метчики предназначены для нарезания резьбы в плашках.

5. Маточные метчики предназначены для калибровки резьбы плашек.

6. Калибровочные метчики (фиг. 288, *д*) применяются для калибровки нарезанных или фрезерованных резьб.

7. Гаечные метчики с изогнутым хвостовиком (фиг. 288, *е*) предназначены для нарезания резьбы в гайках на специальных гайкорезных автоматах.

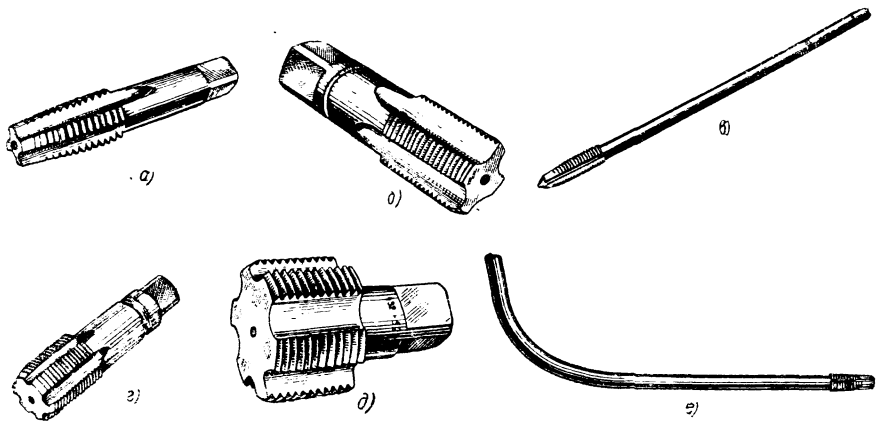
8. Регулируемые раздвижные метчики, в которых диаметр метчика может изменяться в небольших пределах, достаточных для компенсации износа метчика.

---

[1] С. С. Четвериков, Металлорежущие инструменты, Машгиз, 1946.

9. Самооткрывающиеся раздвижные метчики (иначе их называют патроны или головки для внутренних резьб). Эти метчики позволяют по окончании нарезания резьбы вынуть их из отверстия без вывинчивания.

Встречается также целый ряд специальных метчиков, имеющих конструктивные особенности, отличающие их от основных типов.

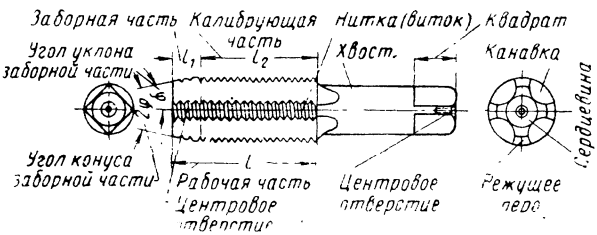


Фиг. 288. Основные типы метчиков:

а — ручной с метрической резьбой; *б* — ручной с трубной резьбой; *в* — гаечный; *г* — машинный; *д* — калибровочный; *е* — гаечный изогнутый.

Части и конструктивные элементы метчика. На фиг. 289 показан ручной метчик и обозначены его основные части и конструктивные элементы.

Рабочей частью называется вся нарезанная часть метчика, участвующая в работе нарезания резьбы. Рабочая часть метчика разделяется на заборную и калибрующую части.



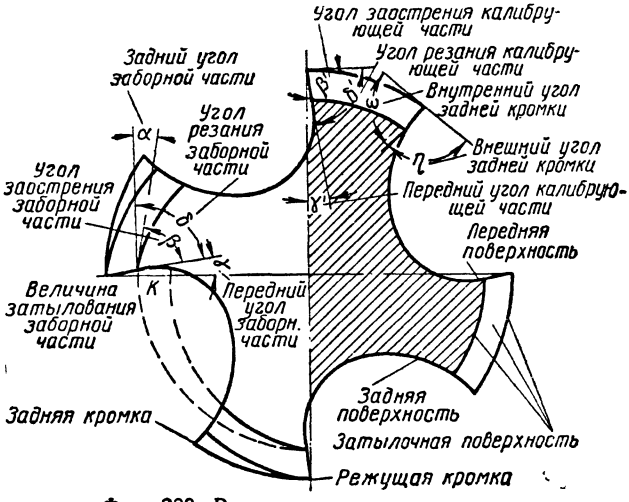
Фиг. 289. Части метчика.

Заборная часть является собственно режущей частью метчика; калибрующая часть служит для зачистки (калибрования) нарезаемой резьбы, для направления метчика и для подачи вдоль оси (калибрующая часть выполняет роль ходового винта при подаче самозатягиванием).

Хвостовая часть метчика представляет собой стержень для закрепления метчика в патроне или воротке. Для передачи крутящего момента

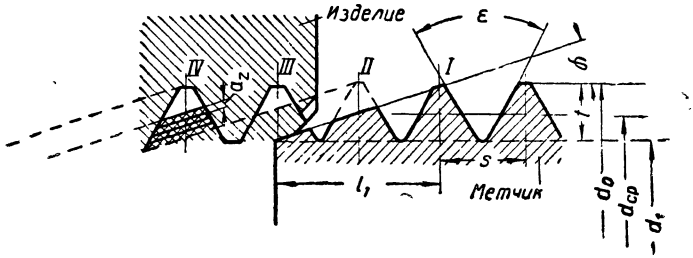
служит квадрат; у некоторых машинных метчиков вместо квадрата делают лыску, шпоночную продольную канавку и др.

К элементам, определяющим конструкцию метчика, относятся: 1) стружечные канавки; 2) режущие перья, снабженные резьбой; 3) сердцевина метчика.



Фиг. 290. Режущие элементы метчика.

К элементам, характеризующим процесс резания, относятся: 1) заборный конус; 2) режущие кромки; 3) передние углы γ и γ' — соответственно на заборной и калибрующей частях метчика (фиг. 290); 4) задний угол α на заборной части; 5) профиль канавок; 6) угол λ наклона винтовых канавок (если канавки винтовые или наклонные).



Фиг. 291. Последовательные положения метчика при повороте его на один оборот.

К элементам, характеризующим резьбу метчика, относятся (фиг. 291): 1) шаг резьбы S; если резьба многозаходная (что встречается редко), то шаг резьбы определяется также числом заходов; 2) угол профиля резьбы ε; 3) диаметры — наружный d_0, средний d_{cp} и внутренний d_1; 4) глубина резьбы t; 5) угол подъема резьбы τ, определяемый по среднему диаметру.

Процесс нарезания резьбы метчиком. Нарезание резьбы метчиком производится при следующих основных движениях:

1) вращательном движении (метчика или изделия) вокруг оси;

2) поступательном (прямолинейном) движении вдоль оси.

Для образования резьбы вращательное и поступательное движения должны быть между собой связаны: при одном обороте метчика он должен продвинуться вдоль оси на один шаг резьбы. Поскольку впадина, которую должен нарезать метчик, сравнительно глубока и не может быть нарезана одним зубом сразу, приходится в конструкцию метчика вводить заборную часть, т. е. работу резания распределять между несколькими нитками, вводить также несколько канавок и распределять работу между несколькими перьями. На фиг. 291 показано последовательное снятие стружки во впадине несколькими перьями метчика. За первый оборот метчик из положения *I* перемещается в положение *II*, так как при одном обороте он передвигается вдоль оси на один шаг резьбы S; за второй оборот метчик попадает в положение *III*, за третий оборот — в положение *IV*.

На фиг. 291 изображен метчик с заборной частью, имеющей длину $l_1 = 2S$. Полный профиль резьбы в этом случае получается за 2 оборота метчика. Если взять метчик с длиной заборной части $l_1 = 4S$, то профиль резьбы получится за 4 оборота метчика. Отсюда ясно, что чем больше длина заборной части, тем меньшие по толщине стружки будут сниматься за один оборот метчика. На фиг. 291 показана перекрестной штриховкой часть впадины резьбы, которая обработана за первый оборот метчика. На заштрихованной части показаны тонкими полосками слои, снимаемые каждым пером метчика. Легко можно подсчитать толщину стружки a_z, измеренную в направлении, перпендикулярном оси метчика. Эта толщина a_z будет равна всей высоте t резьбы, поделенной на число перьев z метчика и на число оборотов метчика, необходимое для прорезания полной высоты. Но число оборотов метчика зависит от длины заборного конуса. Таким образом,

$$a_z = \frac{t}{z} \cdot \frac{S}{l_1}.$$

На фиг. 291 видно, что

$$\frac{t}{l_1} = \operatorname{tg}\varphi,$$

следовательно,

$$a_z = \frac{S}{z} \operatorname{tg}\varphi,$$

т. е. толщина стружки зависит от шага резьбы, числа перьев и угла заборного конуса. С увеличением числа перьев или с уменьшением угла φ уменьшается толщина стружки. Известно, однако, что с уменьшением толщины стружки увеличивается удельное усилие резания, следовательно, с этой точки зрения выгодно резать метчиком, имеющим большой угол φ и меньшее число перьев. Однако увеличение толщины стружки отрицательно сказывается на чистоте нарезаемой резьбы и прочности метчика. Поэтому для различных условий нарезания применяют метчики с различной толщиной стружки.

Длина заборной части и угол φ. Метчик врезался в материал и начал производить нарезание резьбы. По мере входа заборной части метчика в нарезаемое отверстие крутящий момент возрастает.

При нарезании резьбы в сквозных отверстиях возможны 2 случая.

1. Если высота нарезаемой гайки больше длины заборной части метчика, то возрастание крутящего момента идет до тех пор, пока метчик всей заборной частью войдет в отверстие. Это возрастание продолжается и при входе калибрующей части в отверстие в связи с увеличением момента от силы трения. По мере того как заборная часть выходит из отверстия, крутящий момент уменьшается.

2. Если заборная часть метчика больше высоты гайки, то в этом случае крутящий момент будет возрастать по мере ввинчивания метчика в отверстие. Как только передний конец метчика начнет выходить из отверстия, крутящий момент будет оставаться на одном, более низком чем в первом случае, уровне. По мере дальнейшего продвижения крутящий момент будет уменьшаться.

Несколько иная картина наблюдается при нарезании метчиком глубокого несквозного отверстия. В этом случае крутящий момент возрастает до тех пор, пока вся заборная часть метчика войдет в отверстие, затем, при дальнейшем ввинчивании метчика, крутящий момент медленно возрастает за счет увеличения трения. При нарезании глубокого отверстия выгоднее работать метчиком с более короткой заборной частью, так как благодаря более толстым стружкам удельное усилие резания получается меньше, чем при тонких стружках. При длинной заборной части толщина стружки уменьшается, а удельное усилие резания возрастает. Следовательно, длинная заборная часть выгодна только при нарезании коротких сквозных резьб в твердых материалах; при нарезании резьбы в глубоких отверстиях метчики с длинной заборной частью работают хуже — они заклиниваются и ломаются из-за больших сил трения и большого крутящего момента.

Преимущества метчиков с короткой заборной частью заставляют переходить на изготовление последних, и только в тех случаях, когда необходимо хорошее направление метчика и чистая резьба в коротком сквозном отверстии, приходится применять метчики с длинной заборной частью.

Длина заборной части l_1 может быть определена по формуле

$$l_1 = \frac{t}{\operatorname{tg}\varphi},$$

где t — высота резьбы в *мм*;

φ — угол заборной части метчика.

Но $\operatorname{tg}\varphi$ можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{z \cdot a_z}{S},$$

где z — число перьев метчика;

a_z — толщина стружки в *мм*;

S — шаг резьбы в *мм*.

Обозначим отношение

$$\frac{a_z}{S} = \sigma.$$

Эта величина служит характеристикой метчика.

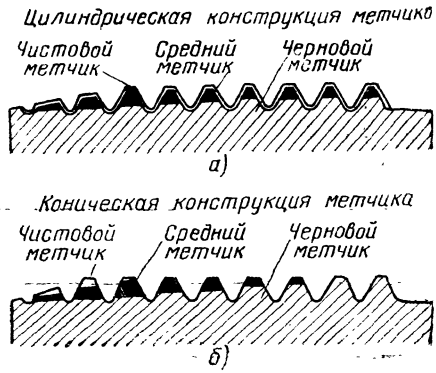
В табл. 52 приведены значения σ для некоторых типов метчиков.

Таблица 52

Наименование метчиков	Диаметр резьбы в *мм*	σ
Гаечные метчики со шлифованной резьбой . . .	2—9	0,012—0,018
То же	10—30	0,015—0,020
„	33—52	0,013—0,016
Плашечные метчики со шлифованной резьбой .	4—25	0,003—0,004

Распределение нагрузки между метчиками. При нарезании резьбы приходится часто разбивать всю работу нарезания между несколькими метчиками.

Существуют две конструкции ручных метчиков, которые предусматривают различные схемы распределения нагрузки между метчиками в комплекте. Первая конструкция, так называемая цилиндрическая (фиг. 292, *а*), предусматривает разные наружные диаметры у всех трех метчиков в наборе. Полный профиль резьбы имеет только чистовой метчик. Черновой и средний метчики имеют меньшие наружные диаметры. В каждом из метчиков имеется заборная часть различной длины — у чернового метчика она наибольшая, у чистового — наименьшая.



Фиг. 292. Схемы распределения нагрузки между метчиками в комплекте.

Наиболее употребительным является следующее распределение нагрузки, при котором 56—60% приходится на черновой метчик, 28—30% — на средний метчик, 16—10% — на чистовой метчик.

Вторая конструкция метчиков, так называемая коническая (фиг. 292, *б*), предусматривает изготовление всех трех метчиков в комплекте с полным профилем резьбы и одного и того же диаметра. Метчики различаются между собой только длиной и углом заборной части[1].

[1] Под конической конструкцией понимаются также метчики, резьба у которых нарезана на заборной части на конусе. Такие метчики снимают стружку не только по вершинам, но и по боковым сторонам профиля резьбы.

В табл. 53 приведены длины заборной части у метчиков цилиндрической и конической конструкции.

Таблица 53

№ метчика в комплекте	Длина заборной части	
	Цилиндрическая конструкция	Коническая конструкция
1-й черновой метчик	$4S$	$12S$
2-й средний	$2{,}5S$	$5S$
3-й чистовой	(1,5—2,0) S	(1,5—2,0) S

Примечание. S — шаг резьбы.

Цилиндрическая конструкция ручных метчиков применяется широко, так как она позволяет значительно снизить крутящий момент и более правильно распределить работу между метчиками.

При цилиндрической конструкции средний диаметр чернового и среднего метчиков делается меньше среднего диаметра чистового метчика. Благодаря этому каждый последующий метчик удаляет слой не только по высоте, но и снимает тонкую стружку по сторонам профиля резьбы и тем самым зачищает резьбу. Средние диаметры чернового и среднего метчиков выбираются в таких пределах, чтобы даже при самых неблагоприятных условиях (несовпадение шага метчиков) стороны профиля все же зачищались.

По данным завода им. Калинина („Фрезер") диаметры трехкомплектных метчиков подсчитываются по формулам:

Вид метчика	Средний диаметр	Наружный диаметр
Черновой метчик . .	$d_{cp_1} = d_{cp} - 0{,}067\sqrt{S} - 2\Delta$	$d_{0_1} = d_0 - 0{,}52S$
Средний метчик . .	$d_{cp_2} = d_{cp} - 0{,}067\sqrt{S} - \Delta$	$d_{0_2} = d_0 - 0{,}16S$
Чистовой метчик . .	d_{cp} (по ОСТ 7217—7218)	d_0 (по ОСТ 7217—7218)

где d_{cp}, d_{cp_1}, d_{cp_2} — минимальные средние диаметры метчиков;
d_0, d_{0_1}, d_{0_2} — минимальные наружные диаметры метчиков;
S — шаг резьбы;
Δ — допуск на неточность изготовления предварительных метчиков — устанавливается в пределах:

0,06	для	метчиков	диаметром	от	3	до 7	*мм*
0,07	„	„	„	„	8	„ 12	„
0,08	„	„	„	„	14	„ 22	„
0,09	„	„	„	„	24	„ 33	„

Эти данные относятся к метчикам для основной резьбы (дюймовой или метрической). При нарезании глубокой трапецоидальной резьбы приходится применять комплект, состоящий из 3—4—5 метчиков. При нарезании мелких резьб снимается небольшой слой металла, поэтому можно применять меньшее число метчиков в комплекте, например, для мелкометрической резьбы применяется комплект из двух метчиков, в которых 75% нагрузки падает на черновой метчик и 25% — на чистовой.

При нарезании глухих отверстий заборная часть должна быть по возможности короткой, в противном случае глухое отверстие не будет нарезано до дна. Поэтому при конструировании метчиков следует учитывать их назначение.

Имеется ряд стандартов, в которых даются основные элементы режущей части метчиков (ГОСТ 1602-43, ГОСТ 1603-43, ГОСТ В-1606-42. ГОСТ В-1607-42, ОСТ НКТМ 20130-39. ГОСТ 3267-46 и др.)

Число канавок. Число канавок метчика зависит от целого ряда условий: от типа и диаметра метчика, требуемой чистоты и точности резьбы, свойств обрабатываемого материала и др. При большом количестве канавок метчик снимает тонкие стружки, при этом возрастает удельное усилие резания, а следовательно, и крутящий момент. Вместе с тем при увеличении количества канавок получается более чистая резьба. Условия отвода стружки при изменении числа канавок также резко меняются. Однако установить наивыгоднейшее число канавок расчетным путем трудно, поэтому обычно принимают число канавок на основании практических данных (табл. 54).

Таблица 54

Число канавок метчиков

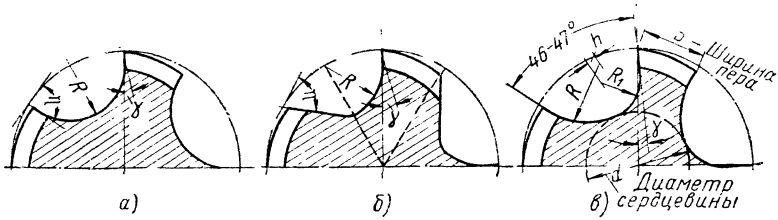
Тип метчика	Наружный диаметр метчика в *мм*						
	2—6	8—14	16—20	22—24	27—30	33 36	39—52
Ручной, гаечный, машинный для метрической или дюймовой резьбы	3	3	3	3—4	4	4	4—6
То же для трубной резьбы .	—	3—4	4	6	6	6	6
Маточный	1	6	6	6	8	8	10
Плашечный	3	3—4	4	4	4	4	4
Калибровочный	—	—	4—6	6	6	6	6—8

Как видно из табл. 54, наиболее часто применяемые метчики (от 6 до 20 *мм*) рекомендуется делать с тремя канавками.

При изготовлении калибровочных метчиков стараются число канавок делать как можно больше. Если метчик нарезает резьбу в отверстии, в котором имеются выемки или пазы (примером может служить калибрование резьбы плашки маточным метчиком), приходится число канавок брать не кратным числу этих пазов, так как в противном случае перья метчика могут заскакивать в пазы.

Форма канавок. Для производительной работы метчика необходимо, чтобы профиль канавок обеспечивал достаточное пространство для помещения стружки, не ослабляя прочности метчика, а также чтобы при вывертывании метчика задняя поверхность зуба не портила резьбу.

Форма канавок должна обеспечивать также благоприятные условия резания, т. е. передний угол должен быть выбран соответственно обрабатываемому материалу и должен быть постоянным во всех точках режущих кромок как у калибрующей части, так и у заборной части метчика. Для получения постоянного переднего угла следовало бы профиль канавки изготовлять по логарифмической спирали, однако, это сложно и нерационально, так как для каждого диаметра метчика потребовалась бы специальная канавочная фреза. Поэтому переднюю грань выполняют обычно прямолинейной или по дуге окружности.



Фиг. 293. Различные типы профилей канавок.

В зависимости от всех перечисленных требований применяются различные профили канавок. На фиг. 293 показано несколько наиболее распространенных профилей.

Тип *а* (фиг. 293, *а*) — канавки обработаны полукруглой фрезой. При вывертывании метчика задняя сторона пера может срезать стружку и испортить резьбу. Это обстоятельство заставляет применять полукруглую форму канавки только в исключительных случаях — для ручных калибровочных метчиков. При этом внешний угол γ_1 задней кромки должен быть близок к 90°.

Тип *б* (фиг. 293, *б*) — профиль канавки, в котором устранены недостатки типа *а*. Задняя поверхность зуба ограничена прямой, угол γ_1 меньше 90° (примерно 75°). Этот профиль можно рекомендовать для гаечных метчиков, которые не приходится вывинчивать обратно из нарезанного отверстия.

Лучшим следует считать профиль типа *в* (фиг. 293, *в*), применяемый инструментальными заводами[1]. Передняя поверхность прямолинейная; обеспечивается в достаточной степени постоянство переднего угла как на калибрующей, так и на заборной части. Общий угол профиля принимается 46—47°, передний угол γ — от 4 до 10°. Ширина пера b и диаметр d сердцевины принимаются в пределах (по данным завода „Фрезер"): для трехканавочных метчиков $b \approx 0{,}34\, d_0$, $d \approx 0{,}44\, d_0$; для четырехка-

[1] Основные данные для проектирования такого профиля канавок метчиков см. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.

навочных метчиков $b \approx 0{,}28\, d_0$, $d \approx 0{,}5\, d_0$ (d_0 — наружный диаметр метчика). Этот профиль можно рекомендовать как для ручных, так и для гаечных метчиков

При проектировании ручных метчиков глубину канавок можно делать одинаковой как у заборной части, так и у калибрующей части метчика. У гаечных метчиков глубину канавки на заборной и калибрующей части делают различную, т. е. сердцевину метчика делают тоньше у переднего конца и толще к хвостовику. Благодаря этому пространство для помещения стружки в месте ее наиболее интенсивного отделения — у заборной части — становится больше, стружка отделяется и завивается свободно. Увеличение сердцевины по направлению к хвостовику обеспечивает большую прочность и устойчивость метчика во время работы.

Передний угол γ. Передний угол на заборной и калибрующей части (см. фиг. 290) измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси метчика. Величины переднего угла γ° в зависимости от обрабатываемого материала рекомендуется принимать следующие (по И. И. Семенченко):

Бронзовое литье	0°
Сталь мягкая и вязкая	15°
Сталь средней твердости	10°
Сталь твердая	5°
Латунь	10°
Чугун	5°
Алюминий, силумин, дюраль	20—30°

Метчики, выпускаемые инструментальными заводами, имеют средние значения угла $\gamma = 5 \div 10^\circ$ и пригодны для обработки стали и чугуна.

Задний угол α измеряется обычно в плоскости, перпендикулярной оси метчика. Задний угол на заборной части метчика (см. фиг. 290, не заштрихована левая половина) получается путем затылования только по наружному диаметру.

Значения задних углов на заборной части приведены ниже:

Типы метчиков	α°
Ручные метчики	6—8°
Гаечные и машинные метчики со шлифованной резьбой	8—12°
Метчики для легких сплавов	4—8°

Задавшись величиной заднего угла, можно определить величину затылования K по формуле

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где d_1 — внутренний диаметр резьбы метчика в *мм*;

z — число перьев (канавок);

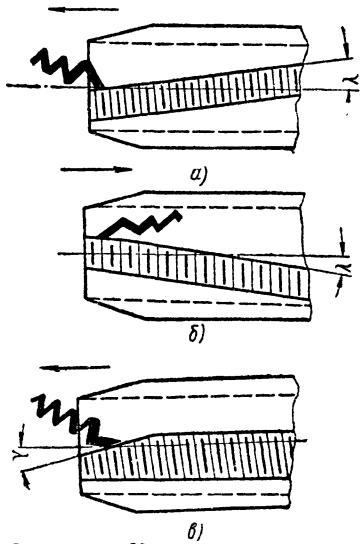
α — задний угол.

Задний угол на калибрующей части измеряется также в плоскости, перпендикулярной оси метчика.

Метчики, резьба у которых изготовлена методом накатывания или нарезания на токарном станке, не имеют заднего угла на калибрующей части, так как при нарезании и накатывании нельзя производить заты-

лования. Если резьба у метчика шлифована, задний угол на калибрующей части можно получить затылованием на резьбошлифовальном станке. Величина затылования по профилю резьбы принимается на ширине пера в пределах 0,02—0,04 *мм*, при этом задний угол будет иметь очень небольшую величину; однако даже такой задний угол резко улучшает условия работы метчика.

С целью уменьшения трения резьбовая часть метчика изготовляется с так называемым обратным конусом, т. е. наружный, средний и внутренний диаметры резьбы несколько меньше у хвостовика метчика, чем у переднего конца. Величина обратной конусности принимается от 0,01 до 0,03 *мм* (бо́льшая обратная конусность у машинных метчиков и меньшая — у ручных).



Фиг. 294. Направление схода стружки в зависимости от направления канавок.

Направление канавок. Метчики изготовляют в основном с прямыми и реже — винтовыми канавками. Метчик с винтовыми канавками, если эти канавки имеют угол λ наклона, равный углу τ подъема резьбы, дают возможность создать одинаковые углы резания на обеих сторонах профиля резьбы. Это особенно важно при значительных углах подъема резьбы.

Направлением винтовых канавок можно регулировать направление выхода стружки. На фиг. 294 показаны метчики с различным направлением винтовых канавок. Метчики типа *а* (фиг. 294, *а*) заставляют стружку идти вперед, метчики типа *б* (фиг. 294, *б*) заставляют стружку идти назад. Первый тип метчиков пригоден для сквозных отверстий, второй тип пригоден для глухих отверстий. У метчика с прямой канавкой можно заставить стружку также идти вперед — в отверстие. Это можно сделать путем заточки скоса под углом $\lambda = 8 \div 10°$ (фиг. 294, *в*). Благодаря скосу стружка будет отделяться и завиваться в спираль, направляясь вперед в отверстие. Такие метчики удобны для сквозных отверстий, особенно при обработке вязких материалов.

Диаметры резьбы и допуски метчика. К резьбовым соединениям предъявляются обычно условия полной взаимозаменяемости. Поэтому метчик должен быть изготовлен точно и все элементы резьбы метчика ограничены жесткими допусками. Важность этого вопроса потребовала разработки специальных стандартов (ОСТ ВКС 7217, 7218), в которых даются допуски на метчики для метрической и дюймовой резьбы. В ГОСТ 2174-43 рекомендуются исполнительные размеры и допуски на плашечные и маточные метчики.

Для обеспечения свинчивания должно быть соблюдено основное условие — резьба гайки должна во всех точках лежать выше теорети-

ческого профиля, а резьба болта — ниже теоретического профиля[1]. Такое условие можно обеспечить в том случае, когда метчик, которым нарезается гайка, будет по размерам выше теоретического профиля резьбы. Точность нарезанного отверстия зависит не только от точности выполнения резьбы на метчике; имеется ряд других факторов, которые оказывают влияние на размеры нарезаемого отверстия. К ним относятся: режим работы метчика, смазка, жесткость зажима метчика и изделия, свойства обрабатываемого материала (особенно его неоднородность).

При нарезании метчик обычно несколько увеличивает (разбивает) диаметр резьбы изделия; величина разбивки зависит как от способа нарезания (вручную или на станке), так и от свойств обрабатываемого материала. Более точные метчики, резьба которых шлифована, дают, как правило, более точную резьбу. Метчики по точности изготовления разделяются на:

1) метчики с нешлифованной резьбой двух степеней точности: Е — обычной точности и Н — пониженной точности;

2) метчики со шлифованной резьбой: С — повышенной точности и Д — обычной точности.

При нарезании метчиками степени С в условиях правильной эксплоатации можно получить резьбу 1-го класса точности, метчиками степени Д, а частично Е — резьбу 2-го класса и метчиками степени Н — резьбу 3 го класса.

У метчика должны быть установлены допуски на основные элементы резьбы, к которым относятся шаг, угол профиля резьбы, наружный, средний и внутренний диаметры резьбы.

Шаг резьбы. Допуск на шаг устанавливают на определенную длину. В стандартах принято устанавливать допуск на длину 10 *мм* для мелких размеров или 25 *мм* для более крупных. Отклонения от теоретического шага резьбы зависят от метода изготовления резьбы метчика.

Метчики с нешлифованной резьбой нарезаются или накатываются до термической обработки, при этом точность изготовления шага зависит от точности ходового винта (при нарезании) или от точности накатных плашек и накатных роликов, которыми накатывается резьба. Обычно шаг получается с точностью $\pm$ 0,01 *мм* на 25 *мм* длины.

Так как метчик подвергается дальше термической обработке (закалке и отпуску), появляется дополнительная погрешность шага, которая больше погрешности механической обработки и доходит до $\pm$ 0,04 — — 0,07 *мм* на 25 *мм* длины. Погрешности механической и термической обработки складываются.

У метчиков со шлифованным профилем резьбы погрешности шага зависят только от погрешностей ходового винта резьбошлифовального станка. Резьбошлифовальные станки могут давать точность до $\pm$ 0,005 на 25 *мм* длины. Поскольку термическая обработка производилась до шлифования резьбы, других погрешностей в этом случае не будет. Для метчиков устанавливают следующие допуски на шаг (табл. 55).

[1] И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.

Таблица 55

Допуски на шаг метчиков

Диаметр метчика в *мм*	Степень точности							
	С		Д		Е		Н	
	На 10 *мм*	На 25 *мм*	На 10 *мм*	На 25 *мм*	На 10 *мм*	На 25 *мм*	На 10 *мм*	На 25 *мм*
1—3	—	±0,01	—	±0,01	±0,04—0,03	—	±0,06—0,05	—
4—52	—	±0,01	—	±0,01	±0,03	±0,05	±0,04	±0,07

Угол профиля ε. Допуск устанавливается на половину угла профиля метчика. Это делается для того, чтобы обеспечить симметричное расположение оси профиля. Угол зависит от угла инструмента — резца, гребенки, накатного ролика, шлифовального круга и т. д. Точно так же, как и ошибки в шаге, погрешности в угле профиля метчика возникают по двум причинам:

1) неточность механической обработки;

2) искажения в угле профиля, образующиеся в результате термической обработки.

У метчиков со шлифованным профилем ошибки термической обработки не имеют значения, так как резьба шлифуется после термической обработки. Ошибки механической обработки у таких метчиков значительно меньше по величине, так как правка круга на резьбошлифовальном станке может быть произведена значительно более точно, чем установка резца или ролика.

В табл. 56 приводятся допуски на половину угла профиля метчиков в минутах (ОСТ ВКС 7217-7218).

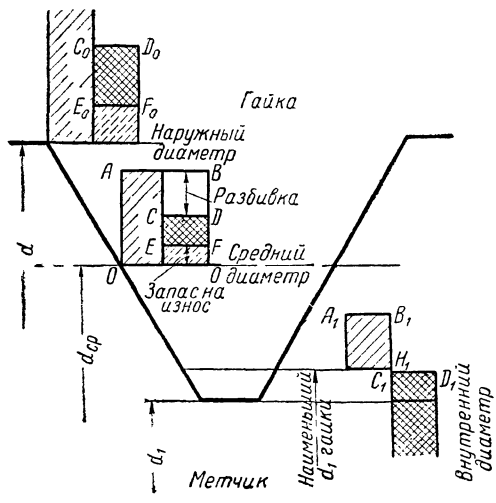
Таблица 56

Допуски на половину угла профиля резьбы метчиков
(плюс и минус в мин.)

Нешлифованные метчики			Шлифованные метчики	
Диаметр в *мм*	Степень точности		Диаметр в *мм*	Степень точности С и Д
	Е	Н		
1—1,7	70—75	85—90	4	35
2—3.5	50—60	65—75	5—6	30
4—6	40—45	55—60	8—10	25
7—12	30—35	45—50	12—33	20
14—22	25	40	36—52	15
24—33	20	35		
36—52	20	30		

Поля допусков на средний, наружный и внутренний диаметры метчика изображены на фиг. 295.

Средний диаметр. Погрешность среднего диаметра метчика определяется тремя элементами: погрешностью шага, угла профиля и самого среднего диаметра. Поскольку метчик должен работать как можно дольше, приходится при установлении допуска на средний диаметр принимать во внимание запас на износ метчика. Нарезанная метчиком резьба всегда будет по среднему диаметру больше, чем средний диаметр метчика, так как происходит разбивка отверстия. Поэтому отклонение среднего диаметра устанавливается с учетом разбивки и запаса на износ. На фиг. 295 показаны поля допусков. Верхнее отклонение CD среднего диаметра метчика лежит ниже верхнего отклонения AB гайки на величину разбивки. Нижнее отклонение EF метчика должно быть выше нижнего отклонения OO гайки на величину запаса на износ. Этот запас принимается равным $0{,}016\sqrt{S}$ для всех метчиков—шлифованных и нешлифованных.



Фиг. 295. Схема расположения полей допусков гайки и метчика.

Поле допуска по среднему диаметру метчиков (заштриховано перекрестной штриховкой) устанавливается в зависимости от степени точности.

Наружный диаметр. Верхнее отклонение наружного диаметра в гайке не устанавливается. Поэтому наружный диаметр метчика мог бы быть выполнен с любым верхним отклонением от теоретического профиля. Если наружный диаметр метчика не ограничивать, то резьба метчика может получиться острой, что отразится на его стойкости. Поэтому приходится ограничивать верхнее C_0D_0 и нижнее E_0F_0 отклонения наружного диаметра. В стандарте верхнее и нижнее отклонения приняты в таких пределах, чтобы ширина площадки по наружному диаметру метчика была равна примерно 60% ширины площадки теоретического профиля. Поле допуска на изготовление наружного диаметра установлено различное для шлифованных и нешлифованных метчиков.

Внутренний диаметр. Допуски на внутренний диаметр метчика не устанавливаются, необходимо только, чтобы верхнее отклонение внутреннего диаметра C_1D_1 не было выше наименьшего внутреннего диаметра (фиг. 295) гайки. Поле допуска гайки заштриховано одинарной штриховкой, поле допуска метчика — перекрестной.

Такое расположение допусков в некоторых случаях не приводит к желаемым результатам, так как условия работы метчика и свойства обрабатываемого материала могут в большой степени влиять на размеры нарезаемой резьбы. При нарезании особо вязких материалов приходится

уменьшать размеры метчика, так как имеет место значительная разбивка. Наоборот, при нарезании хрупких материалов (пластмасса) отверстие может уменьшаться по диаметру. В таких случаях приходится опытным путем устанавливать допуски на резьбу метчика.

Ручные метчики. Ручные метчики в зависимости от шага и диаметра нарезаемой резьбы должны конструироваться комплектами с разбивкой всей нагрузки на 2 или 3 метчика. Ручные метчики для метрической резьбы изготовляются по ГОСТ 1602-43, для дюймовой — по ГОСТ 1603-43. В интервале диаметров резьбы от 2 до 6 *мм* приходится обязательно делить нагрузку на 3 метчика. Метчики диаметром от 6 до 8 *мм* более прочны, и можно ограничиться разделением нагрузки на 2 метчика. Начиная от диаметра 8 до диаметра 18 *мм*, можно рекомендовать даже применение одного метчика, особенно при нарезании мягких и средних по твердости материалов. Для более твердых материалов и более вязких следует увеличить число метчиков в комплекте до двух или даже до трех. Метчиками диаметром свыше 18 *мм* трудно вручную нарезать резьбу, и поэтому приходится разбивать работу нарезания между тремя метчиками.

Мелкие метрические резьбы по сравнению с основной метрической резьбой имеют измельченный шаг, поэтому нагрузка на метчик значительно меньше и нет необходимости вводить в комплект три метчика; в этом случае можно ограничиться одним или двумя метчиками в зависимости от диаметра резьбы. Габаритные размеры ручных метчиков для мелкометрической резьбы приводятся в ОСТ НКТМ 20128-39.

Ручные метчики для трубной резьбы (габаритные размеры по ОСТ НКТМ 4094) обычно изготовляют двухкомплектными, так как шаг трубной резьбы значительно меньше шага дюймовой резьбы для соответствующих диаметров.

Хвостовая часть ручных метчиков оканчивается квадратом, который вставляется в гнездо воротка и передает крутящий момент. Диаметр хвостовика ручного метчика для удобства работы делается меньше внутреннего диаметра резьбы; благодаря этому при нарезании сквозных отверстий ручной метчик можно не вывинчивать обратно.

Метчики диаметром от 2 до 6 *мм* имеют хвостовик большего диаметра, чем рабочая часть, чем обеспечивается повышенная прочность хвостовика и уменьшается опасность поломки. Режущая часть ручных метчиков, как правило, снабжается прямыми канавками.

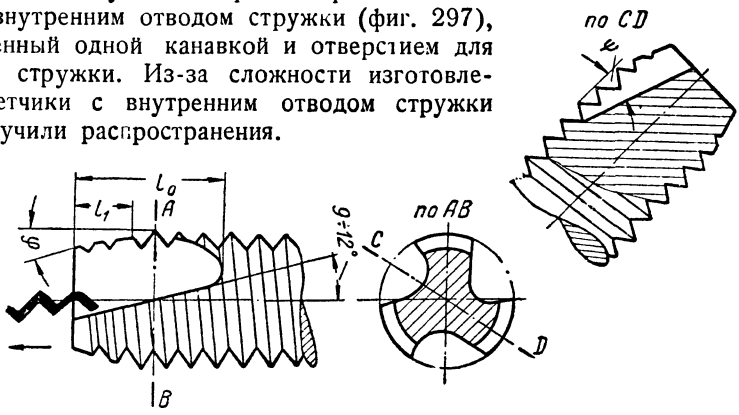
Существуют также другие конструкции ручных метчиков (пригодных для ручной и машинной работы), так называемые бесканавочные метчики, метчики с внутренним отводом стружки, метчики с прерывной резьбой.

У бесканавочных метчиков[1] режущие перья образуются короткими канавками, расположенными у переднего конца метчика (фиг. 296). Длина канавок равна удвоенной длине заборной части. Благодаря углу наклона канавок (9—12°) по отношению к оси стружка направляется через отверстие впереди метчика. Такой метчик по сравнению с обычным более прочен, так как канавки не ослабляют режущую часть.

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.

Отсутствие канавок на калибрующей части заставляет во избежание повышенного трения метчика о стенки отверстия делать резьбовую часть с большим обратным конусом (до 0,2 *мм* на 100 *мм* длины).

Бесканавочные метчики дают чистую резьбу, особенно при нарезании вязких и мягких материалов (сталь, цветные и легкие металлы). Они обеспечивают хороший отвод стружки в сквозном отверстии. Для нарезания глухих отверстий бесканавочный метчик непригоден, так как вся стружка скапливается в отверстии и прессуется в нем. Для глухих отверстий пригоден метчик с внутренним отводом стружки (фиг. 297), снабженный одной канавкой и отверстием для отвода стружки. Из-за сложности изготовления метчики с внутренним отводом стружки не получили распространения.



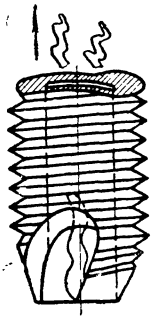
Фиг. 296. Бесканавочный метчик.

При нарезании особо вязких материалов приходится сталкиваться с тем, что обычные метчики часто дают нечистую рваную резьбу, начинают заедать и ломаются. Причина поломки объясняется следующим.

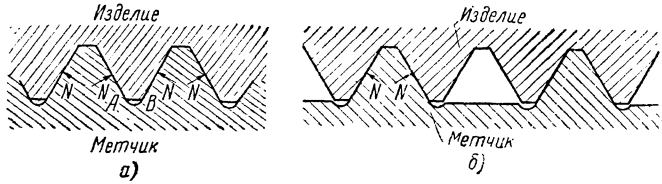
Впадина резьбы метчика охватывает нитку гайки своими сторонами *A* и *B* (фиг. 298, *а*). На нитку гайки действуют нормальные силы *N* и *N* и деформируют ее. Эта деформация особенно заметна на вязком материале. Нитка гайки захватывается сторонами профиля метчика, в результате чего получается срыв резьбы и, как следствие, поломка метчика. Этого явления можно избежать путем срезания зуба метчика через один в шахматном порядке. На фиг. 298, *б* показан профиль метчика с прерывной резьбой. У такого метчика меньше опасность срыва резьбы, так как нитка нарезаемой резьбы не может защемляться между сторонами профиля метчика. Срезание нитки можно производить на токарно-затыловочном станке или на токарном станке. Число канавок обязательно должно быть нечетным. Изготовление метчиков с прерывной резьбой сложно и поэтому применяются они только в исключительных случаях для особо вязких материалов.

Машинные метчики. Если нарезание резьбы производится на станке (а не вручную), применяются различные машинные метчики. Машинный метчик отличается от ручного формой хвостовой части, а также повышенными требованиями в отношении допусков на диаметр хвостовика, соосности его с резьбовой частью и стойкости рабочей части метчика.

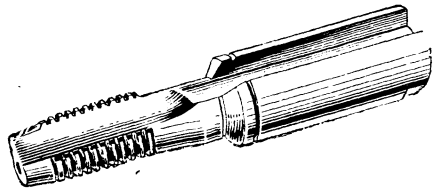
Машинные метчики изготовляются как одинарные, так и комплектные по 2 шт. в комплекте. В ГОСТ 3266-46 приводятся основные размеры машинных метчиков. Метчик имеет хвост с квадратом. На хвосте кроме квадрата имеется кольцевая выточка (см. фиг. 288, *г*), которая служит для предохранения метчика от выпадания из патрона. Кроме метчиков с квадратом на конце хвоста по ГОСТ 3266-46 применяют метчики с другими формами хвостов. Широкое распространение получила форма хвостовика, показанная на фиг. 298а, которая применяется у метчиков, предназначенных для работы с пружинным предохранительным патроном (см. фиг. 303), а также с патронами, допускающими перемену напра-



Фиг. 297. Метчик с внутренним отводом стружки.



Фиг. 298. Силы, действующие на резьбу метчика:
а — обычного метчика; *б* — метчика для вязких материалов.



Фиг. 298а. Машинный метчик со специальным хвостовиком.

вления вращения метчика (реверсивный нарезной патрон) при обратном ходе. Машинные метчики, предназначенные для нарезания резьбы в несквозных (глубоких) отверстиях, имеют короткую заборную часть (2 шага резьбы). Метчики, предназначенные для нарезания резьбы в сквозных отверстиях, следует делать с более длинной заборной частью (до 6 шагов резьбы). Число перьев у машинных метчиков следует брать равным трем. Остальные конструктивные элементы машинных метчиков принимаются аналогичные ручным метчикам.

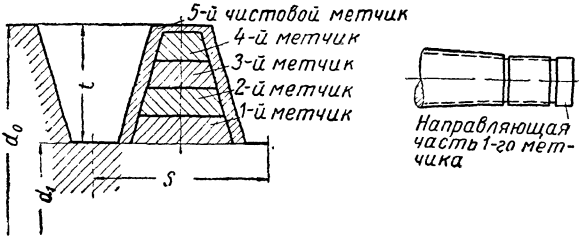
Следует отметить, что машинные метчики изготовляются в основном из быстрорежущей стали и резьба их шлифуется. Хвостовая часть метчика из конструкционной стали марки 45 приваривается, сварочный шов у метчиков по ГОСТ 3266-46 располагается на хвостовой части.

У метчиков диаметром до 18 *мм*, предназначенных для работы в патроне (фиг. 298а), следует сварочный шов для увеличения прочности располагать на хвостовой цилиндрической части, а не на шейке; у метчиков диаметром выше 18 *мм* можно сварочный шов располагать на шейке.

Метчики для трапецоидальной резьбы. При нарезании трапецоидальной резьбы приходится снимать большое количество материала,

поэтому необходимо для уменьшения нагрузки либо увеличивать число метчиков в комплекте, либо уменьшать (если, конечно, длина нарезаемой гайки небольшая) угол заборной части, тем самым увеличивая длину заборной части. На фиг. 299 показан профиль трапецоидальной резьбы с распределением работы нарезания на несколько метчиков (5 шт.).

В целях создания благоприятных условий резания у всех черновых и промежуточных метчиков делаются винтовые канавки с углом наклона, равным углу подъема резьбы. На перьях метчика производится затылование по всему профилю резьбы. Последний калибрующий метчик за-



Фиг. 299. Распределение работы нарезания между метчиками в комплекте.

чищает и калибрует резьбу по полному профилю; величина затылования у последнего метчика принимается незначительной, как у обычных метчиков[1]. Так как при нарезке первый метчик может легко потерять направление и нарезать неправильную резьбу, то у него делается гладкая цилиндрическая направляющая часть по внутреннему диаметру предварительно просверленного отверстия. У последующих метчиков с той же целью делается направляющая часть, но не гладкая, а снабженная неполной резьбой, соответствующей предварительно нарезанному отверстию.

Для уменьшения крутящих моментов при нарезании прибегают к разделению режущей части метчика на две с таким расчетом, чтобы суммарная длина первой режущей части и цилиндрической части, расположенной в середине метчика, была бы больше длины гайки. Этим обеспечивается последовательная работа вначале первой, а затем по выходе ее из гайки — второй режущей части метчика.

При конструировании таких метчиков принимают толщину стружки a_z на каждый зуб (по И. И. Семенченко): для чугуна — 0,12—0,15 *мм*; для стали и бронзы — 0,08—0,1 *мм*.

Задавшись толщиной стружки, можно определить угол φ по формуле $\operatorname{tg}\varphi = \frac{a_z \cdot z}{S}$, а затем определить необходимую длину режущей части. Но так как необходимая длина режущей части получается большой и не может быть выполнена на одном метчике, ее разбивают на требуемое количество метчиков в комплекте.

В табл. 57 приведено рекомендуемое распределение нагрузки между метчиками в комплекте (по данным проф. И. И. Семенченко).

[1] И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1938.

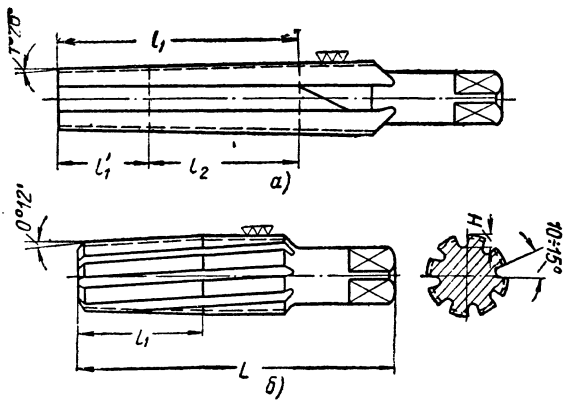
Таблица 57

Распределение нагрузки у метчиков для трапецоидальной резьбы (в *мм*)

Число метчиков в комплекте	№ метчика в комплекте	Диаметр калибрующей части d_0
2	1	$d_1 + 1{,}3t$
	2	d_0
3	1	$d_1 + 0{,}9t$
	2	$d_1 + 1{,}6t$
	3	d_0
4	1	$d_1 + 0{,}8t$
	2	$d_1 + 1{,}4t$
	3	$d_1 + 1{,}8t$
	4	d_0
5	1	$d_1 + 0{,}74t$
	2	$d_1 + 1{,}25t$
	3	$d_1 + 1{,}64t$
	4	$d_1 + 1{,}88t$
	5	d_0

d_1 — внутренний диаметр резьбы; t — глубина резьбы

При крупной резьбе для облегчения можно производить распределение работы с разбивкой всей впадины на определенные площадки по ширине. Стружка разделяется на несколько узких, но толстых стружек, что приводит к уменьшению крутящего момента, и работа метчиком облегчается.



Фиг. 300. Метчики:
а — плашечный; *б* — маточный.

Плашечные и маточные метчики. Плашечные метчики применяются для нарезания резьбы в круглых плашках. К этой резьбе предъявляются высокие требования в отношении чистоты, точности профиля и среднего диаметра. Поэтому конструкция плашечного метчика должна обеспечить такие условия нарезания, которые позволят получить точную резьбу. Выше уже указывалось, что при нарезании коротких резьб для снижения крутящего момента и получения чистой резьбы следует заборную часть метчика делать длинной. Так как резьба круглых плашек короткая, то длину заборной части у плашечных метчиков (фиг. 300, *а*) принимают равной 46—56 шагам. Для лучшего центрирования и направле-

ния метчика заборный конус выполняют из двух частей: первая часть длиной $l_1' = 16S$ нарезается по конусу с углом 1°20′; вторая часть $l_2 = 30S$ по наружному диаметру обточена на конус, а нарезание резьбы производится по цилиндру. Такая схема распределения нагрузки обеспечивает работу первых зубьев по всему профилю резьбы и работу остальных зубьев по вершинам профиля, что способствует получению более чистой поверхности.

Плашечные метчики изготовляются, как правило, со шлифованной резьбой, резьба на заборной и калибрующей части затылуется по среднему и внутреннему диаметру. Величина затылования K принимается от 0,03 до 0,06 *мм* в зависимости от диаметра резьбы (меньшая величина относится к меньшим размерам резьбы).

Кроме затылования по всему профилю производится затылование по наружному диаметру на длине заборного конуса; величина затылования выбирается с таким расчетом, чтобы получить достаточный задний угол.

Профиль канавок плашечных метчиков рекомендуется делать таким, чтобы обеспечить передний угол 5°. Диаметр сердцевины делают с увеличением по направлению к хвостовику, что позволяет увеличить прочность метчика и обеспечить достаточное пространство для стружки на заборной части [1].

Элементы резьбы плашечных и маточных метчиков — наружный, средний и внутренний диаметры резьбы, угол профиля и шаг — можно принимать по таблицам [2], рекомендуемым в ГОСТ 2174-43.

В отличие от плашечных метчиков маточные метчики имеют совершенно иные размеры заборной части и конструкцию канавок (фиг. 300, *б*). Назначение маточного метчика — прочистить резьбу, нарезанную плашечным метчиком, поэтому нагрузка на маточный метчик приходится небольшая. Режущая часть l_1 маточного метчика делается короче, чем у плашечного (12 шагов); для облегчения ввода его в отверстие весь профиль резьбы на заборной части у маточного метчика нарезается на конусе с углом 0°12′. Калибрующая часть метчика занимает обычно 10 витков. Резьба на метчике шлифуется с затылованием по всей длине; величина затылования делается от 0,015 до 0,04 *мм*. Канавки маточного метчика рекомендуется делать винтовыми с углом наклона от 3° до 6°. Число их принимается различное. При калибровании резьбы круглой плашки число канавок метчика не должно быть равно или кратно числу перьев плашки. При несоблюдении этого условия могут быть задиры резьбы.

Профиль канавок симметричный с углом 10—15° и небольшим радиусом закругления. Глубина канавок H должна быть в 2—3 раза больше высоты резьбы метчика.

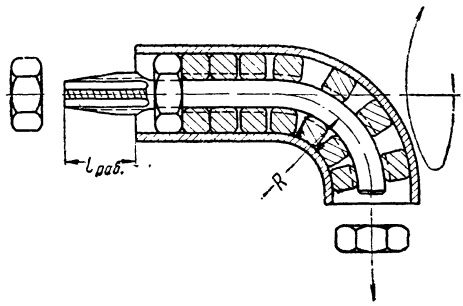
Калибровочные метчики (см. фиг. 288, *д*). Особенности конструкции калибровочного метчика вытекают из его назначения — калибровать резьбу. Слой, снимаемый при калибровании резьбы, незначителен, поэтому заборная часть метчика делается короткой. Особенно короткую

[1] Размеры метчиков см. „Нормали ВНИИ МСС", Машгиз, 1946.

[2] Расположение полей допусков плашечных и маточных метчиков см. фиг. 317.

заборную часть приходится делать у метчиков, предназначенных для калибрования резьбы в глухом отверстии или в отверстии с уступом. Длина заборной части у этих метчиков принимается от одного до двух шагов резьбы. Форма канавок обычно симметричная, угловая или полукруглая; число канавок большое. Длина рабочей части метчика составляет около 15—20 витков резьбы. Калибровочные метчики снабжаются коротким хвостовиком, оканчивающимся квадратом. Встречаются насадные калибровочные метчики для резьб большого диаметра. Резьба на калибровочных метчиках затылуется по наружному диаметру у заборного конуса. Калибрующая часть метчика может выполняться с незатылованной по профилю резьбой.

Гаечные метчики. Гаечные метчики предназначаются для нарезания резьбы гаек. Они разделяются на гаечные простые с коротким и длинным и гаечные с изогнутым хвостовиком.



Фиг. 301. Схема работы метчика с изогнутым хвостовиком.

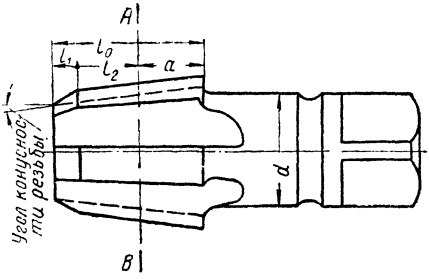
Заборная часть гаечных метчиков делается длиной 10—16 витков резьбы. Габаритные размеры метчиков приводятся в соответствующих стандартах ГОСТ В-1604-42, 1606-42, 1607-42, 1605-42 и ОСТ НКТМ 20130-39. Хвост гаечных метчиков делается возможно длиннее, так как нарезанные метчиком гайки одна за другой нанизываются на хвостовике. Станок останавливают для снятия гаек только после заполнения ими всего хвостовика метчика. Чем он длиннее, тем реже придется останавливать станок и снимать гайки. Но, с другой стороны, чем длиннее хвостовик метчика, тем он менее прочен.

На специальных гайкорезных автоматах применяются гаечные метчики с изогнутым хвостовиком (фиг. 301). Этот метчик не требует периодического снятия гаек с хвостовика метчика.

Метчик с изогнутым хвостовиком вставляется в шпиндель гайко-нарезного автомата; перед установкой метчика в шпиндель на хвостовик его должны быть нанизаны гайки. Это необходимо для того, чтобы метчик был установлен в центре отверстия шпинделя, диаметр которого равен наружному размеру нарезаемой гайки. Во время работы станка шпиндель вращается вместе с метчиком. К заборной части метчика при помощи магазинного устройства подаются гайки; по мере нарезания гайки сходят с рабочей части и, постепенно перемещаясь по изогнутому хвостовику, проталкивают находящиеся на нем гайки, которые падают вниз в специальный ящик. Процесс нарезания на таком станке осуществляется непрерывно. Для обеспечения легкого перемещения гаек по метчику последний должен быть чисто отшлифован; диаметр хвостовика принимается меньше внутреннего диаметра резьбы гайки на 0,05—0,10 *мм*.

Крупные размеры метчиков с изогнутым хвостом изготовляются сборными. При конструировании метчиков с изогнутым хвостом необходимы точные данные о размерах шпинделя станка. Длина хвоста и радиус изгиба R должны быть взяты по соответствующим размерам шпинделя. Длина рабочей части метчика $l_{раб}$ не может быть выбрана произвольной, так как она также связана с длиной хода магазина станка Если рабочая часть метчика будет длиннее, то гайка при продольном движении магазина не успеет сойти с рабочей части метчика, а это приведет к тому, что следующая за ней гайка сорвет резьбу предыдущей гайки. Остальные элементы метчика с изогнутым хвостом (число канавок, ширина пера, диаметр сердцевины) принимают равными соответствующим элементам гаечного метчика.

При изготовлении метчиков с изогнутым хвостом должна быть обеспечена достаточная прочность хвоста, поэтому хвост метчика изготовляется из инструментальной углеродистой стали У7—У8, приваривается к рабочей части из быстрорежущей стали и подвергается термической обработке до твердости $H_{RC}= 30 \div 40$.



Фиг. 302. Метчик для конической резьбы.

Метчики для конических резьб. Нарезание конических резьб более сложно, чем нарезание цилиндрических резьб. Основная трудность заключается в том, что метчик благодаря конусу резьбы, ввертываясь в гайку, режет не только заборной, но и калибрующей частью. При этом всегда имеется опасность защемления метчика, особенно в конце нарезания.

Эти недостатки при нарезании конической резьбы могут быть полностью устранены только при сборном метчике, гребенки которого должны перемещаться вдоль образующей конической резьбы. Однако высокая стоимость сборного метчика и невозможность изготовления его для диаметров резьб меньше 30 *мм* заставляет использовать цельные метчики для конических резьб.

На фиг. 302 показан метчик для нарезания конической резьбы. Применение такого метчика возможно как при ручной работе, так и на станке со специальным патроном, который при увеличении крутящего момента выше нормального автоматически выключается, так как ведущая муфта, которая под действием пружины сцеплена с ведомой, начинает провертываться вхолостую. На фиг. 303 показана схема патрона с пружинным предохранителем. Такие патроны рекомендуется применять также и при машинном нарезании резьбы глухих отверстий.

При конструировании метчика для нарезания конической резьбы наружный, средний и внутренний диаметры резьбы определяются в основной плоскости AB (фиг. 302). Все элементы резьбы метчика в этой плоскости соответствуют элементам резьбы изделия также в основной плоскости. Длина рабочей части l_0 метчика определяется

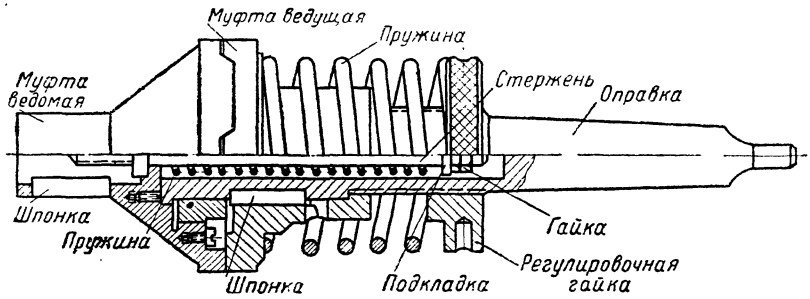
$$l_0 = l_1 + l_2 + a,$$

где l_1 — рабочая длина резьбы трубы (по стандарту);
l_2 — длина заборной части метчика (принимается равной 3—4 шагам резьбы);
a — некоторый запас (обычно 6—7 шагов резьбы).

Число перьев метчиков можно принимать по следующим данным:

Диаметр метчика	От 1/8 до 1″	От 1 до 2″
Число перьев	3—4	4—6

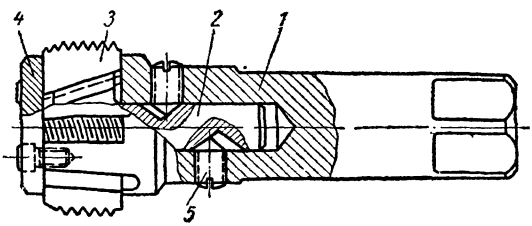
Передний угол принимается равным 5—10°, задний угол на заборной части — 2—3°; задний угол на калибрующей части в отличие от обычных метчиков для цилиндрической резьбы делается значительно боль-



Фиг. 303. Схема патрона с предохранителем.

шим. Величина затылования по всему профилю резьбы на ширине пера составляет от 0,15 до 0,4 *мм* в зависимости от размера метчика. Остальные элементы метчика (профиль канавок, хвостовая часть и т. д.) могут быть приняты такие же, как у обычных метчиков. С целью повышения прочности сердцевину метчика делают утолщающейся по направлению к хвостовику.

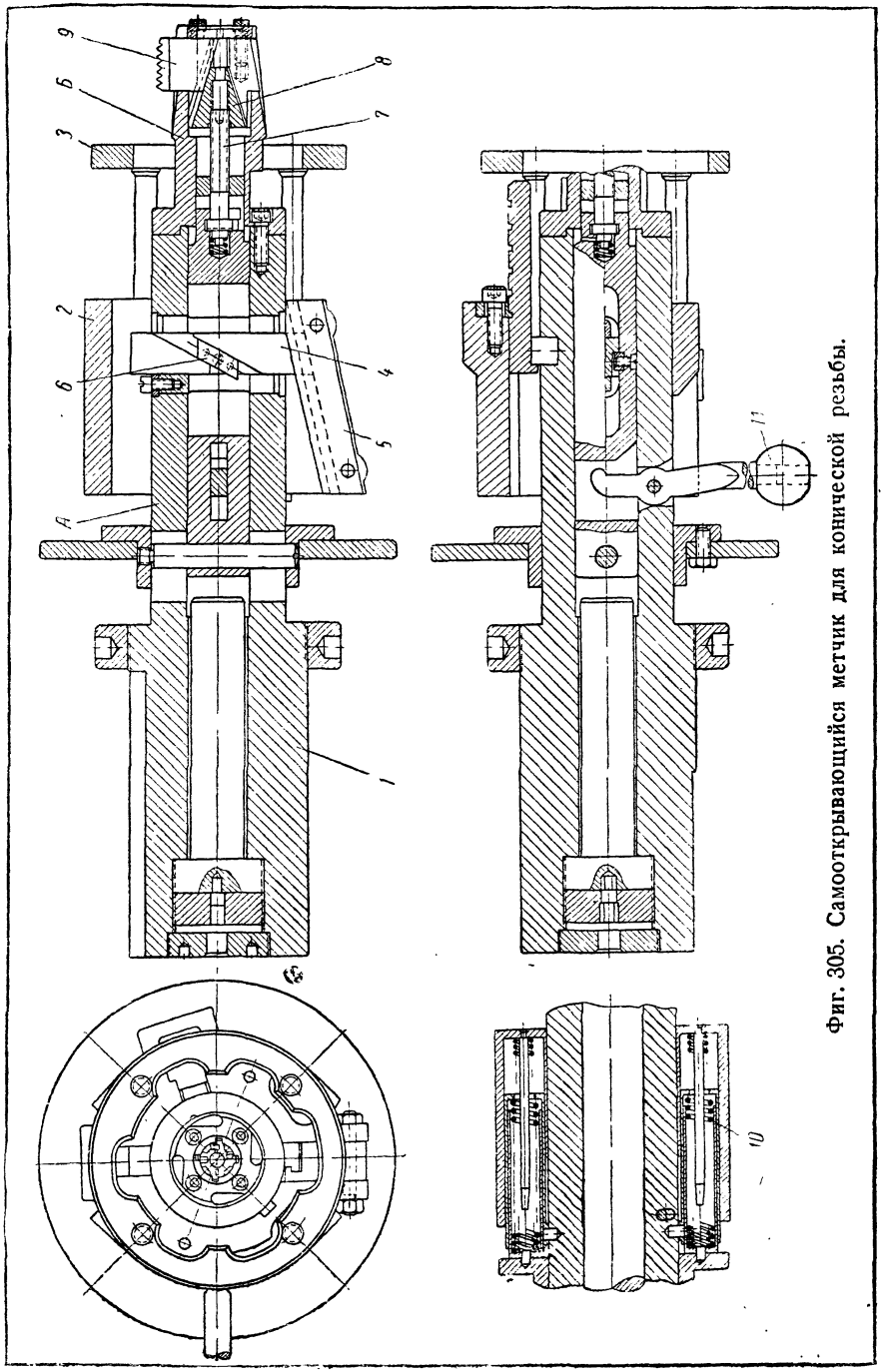
Сборные метчики. Большой расход материала (инструментальной стали), необходимость компенсировать износ по диаметру путем регулировки метчика и, наконец, уменьшение времени на нарезание путем устранения обратного вывинчивания метчика из нарезанного отверстия привели к идее создания сборных регулируемых и самооткрывающихся метчиков.



Фиг. 304. Регулируемый метчик.

Все типы сборных метчиков можно подразделить на три основные группы.

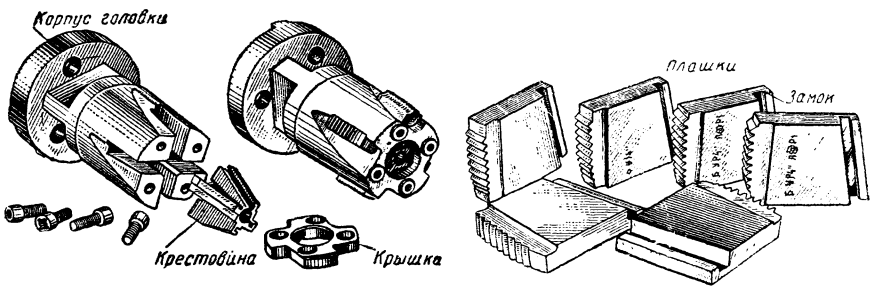
1. Метчики сборные нерегулируемые, в которых с целью уменьшения расхода быстрорежущей стали перья метчика выполняются из быстрорежущей стали и вставляются или завариваются в корпус метчика.



Фиг. 305. Самооткрывающийся метчик для конической резьбы.

2. Регулируемые метчики, получившие распространение для крупных и средних диаметров резьбы. На фиг. 304 показана схема одного из таких метчиков. В корпусе *1* метчика имеется отверстие, в которое входит стержень *2*. На переднем конце он снабжен специальным крестообразным замком для захватывания плашек. Корпус снабжен на переднем конце пазами, в которые входят плашки *3*, последние удерживаются в пазах крышкой *4*. При перемещении стержня 2 вперед плашки расходятся, при перемещении назад — они сходятся. Перемещение стержня осуществляется винтами *5*. Таким образом, диаметр метчика можно регулировать этими винтами. Необходимость вывинчивания метчика из отверстия при нарезании резьбы в глухих отверстиях является недостатком сборного регулируемого метчика.

3. Третьим типом сборных метчиков являются самооткрывающиеся метчики. На фиг. 305 (стр. 379) изображен такой метчик, предназначенный для нарезания конической резьбы в муфтах. Этот метчик часто на заводах называют муфтонарезным патроном. Он состоит из патрона *А* и головки *Б*. В патроне размещен механизм, служащий для открывания и закрывания метчика. Патрон изображенного метчика позволяет нарезать резьбу муфт диаметром от $1^1/_2$ до 4″. Для каждого размера резьбы имеется сменная головка с пазами (фиг. 306, *а*), в которых расположены плашки метчика (фиг. 306, *б*). Режущим инструментом, строго говоря, можно назвать только плашки. Они заменяют собой перья метчика. Плашки изготовляются из быстрорежущей стали и имеют



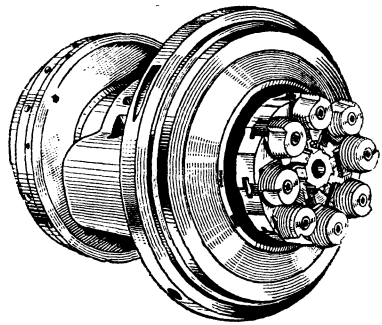
Фиг. 306. Головка к самооткрывающемуся метчику:
а — головка; *б* — плашки.

шлифованную резьбовую часть, которую аналогично цельному метчику разделяют на заборную и калибрующую части. Плашка на другом конце снабжена замком, который входит в пазы крестовины.

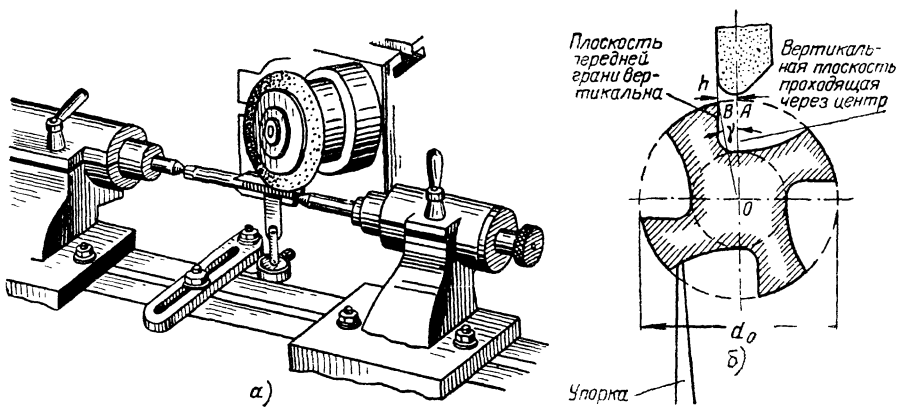
При перемещении крестовины *8* вдоль оси (см. фиг. 305) плашки *9* будут сходиться или расходиться. Если крестовина будет перемещаться влево — они сойдутся, вправо — разойдутся. Механизм патрона перемещает крестовину. Для нарезания цилиндрической резьбы этого было бы достаточно, но при нарезании конической резьбы необходимо обеспечить движение резьбовой части плашек вдоль образующей конуса резьбы.

Это достигается в рассматриваемой конструкции следующим образом (фиг. 305).

Скользящая муфта *2* кольцом *3* упирается в торец нарезаемой детали. Корпус патрона *1*, соединенный с головкой *Б*, продолжает движение внутрь муфты. В это время поперечный клин *4*, входящий в паз корпуса патрона, одним концом скользит по направляющей *5* и, благодаря наклону этой направляющей, перемещается в поперечном направлении. Своим скосом поперечный клин во время относительного перемещения двигает влево сердечник *6*, соединенный винтом *7* с крестовиной *8*, и медленно сводит плашки *9*. Движение поперечного клина должно быть строго согласовано с конусностью нарезаемой резьбы. После нарезания резьбы сердечник *6* соскакивает с выступа поперечного клина *4* и под действием пружин *10* быстро перемещается вместе с крестовиной влево. Плашки сразу сходятся к центру, и патрон может быть извлечен из нарезанного отверстия. После нарезания одного отверстия патрон должен быть приведен в первоначальное состояние рукояткой *11*.



Фиг. 307. Общий вид патрона для нарезания резьбы в муфтах.



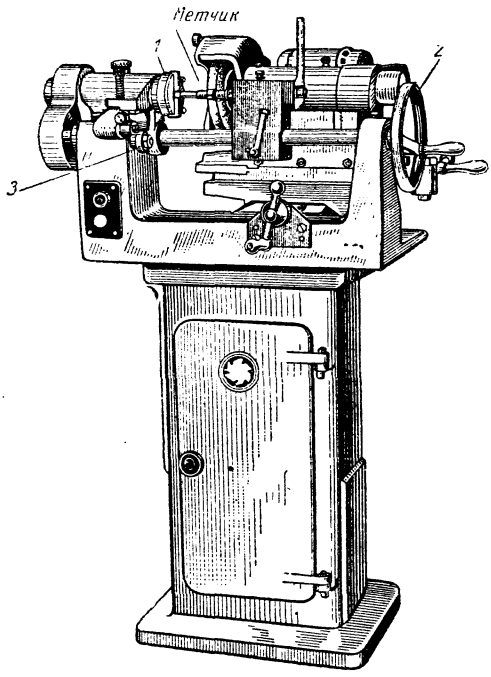
Фиг. 308. Заточка метчиков по передней грани.

Для крупных диаметров муфт (начиная с 4″ и выше) применяются патроны, плашки которых выполнены в виде круглых гребенок.

Устройство таких патронов очень сложное. В них также обеспечивается во время нарезания перемещение гребенок вдоль образующей конуса резьбы. На фиг. 307 показан общий вид такого муфтонарезного патрона конструкции лауреатов Сталинской премии инженеров Н. С. Дегтяренко, А. И. Либерман и С. П. Карцева.

Заточка метчиков. Заточка метчиков производится на универсально-заточных станках. Ручная заточка метчиков может производиться в исключительных случаях; применение ее не рекомендуется, так как при ручной заточке трудно получить правильную геометрическую форму режущей части и необходимые углы резания.

Износ метчика при эксплоатации происходит главным образом по заборной части и на первых калибрующих витках. Целесообразнее всего вести заточку метчиков не только по передней грани (под зубом), но и по заборной части.



Фиг. 309. Станок для затылования метчиков.

Заточка по передней грани. Метчик закрепляется в центрах (фиг. 308, *а*) и подводится к тарельчатому или дисковому кругу. Для обеспечения переднего угла необходимо расположить торцевую плоскость круга по отношению к центрам со смещением h. На фиг. 308, *б* показано расположение круга при заточке передней грани торцевой плоскостью круга. Смещение плоскости круга с оси метчика можно определить по формуле

$$h = \frac{d_0}{2} \sin \gamma,$$

где d_0 — наружный диаметр метчика; γ — передний угол.

Для обеспечения точного деления по окружности желательно использовать делительное приспособление или, в крайнем случае, установить упорку, как показано на фиг. 308, *б*. Язычок упорки упирается в заднюю поверхность следующей канавки и обеспечивает деление. Рекомендуется производить заточку электрокорундовыми (коракс) или алундовыми кругами зернистостью 40—60, твердостью СМ1 — СМ2.

Заточка по заборной части. Заточка метчика по заборной части должна производиться на специальных станках или приспособлениях, которые обеспечивают затылование заборной части. В случае отсутствия специальных станков заточку можно производить на универсально-заточных станках вдоль оси метчика кругом, заправленным по профилю задней поверхности пера метчика. Заточка вручную недопустима, так как при этом трудно достигнуть правильного затылования всех перьев метчика.

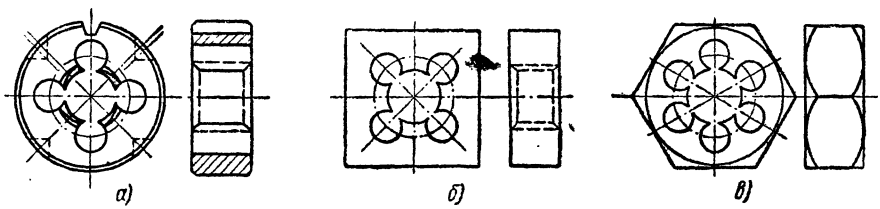
На фиг. 309 изображен станок завода „Фрезер" для затылования метчиков по заборной части. Метчик устанавливается в центрах станка, квадрат метчика закрепляется в специальном поводковом патроне *1*. Процесс затылования происходит следующим образом: имеющийся на станке маховичок *2* поворачивается от руки и приводит во вращение шпиндель с закрепленным в центрах метчиком. При вращении шпинделя вращается кулачок *3*, который приближает шпиндель вместе с задней бабкой к широкому шлифовальному кругу. Ширина круга равна длине заборной части метчика. Каждое перо метчика будет сошлифовываться по архимедовой спирали. Величина затылования *K* устанавливается путем изменения величины качания шпинделя метчика. Все движения метчика на этом станке аналогичны движениям на затыловочном станке.

Существует также ряд приспособлений для универсально-заточного или круглошлифовальных станков, на которых можно производить заточку метчиков по заборной части.

У сборных метчиков, регулируемых и самооткрывающихся, заточка режущих плашек и гребенок производится в разобранном виде в специальных приспособлениях.

ПЛАШКИ

Основные понятия. Плашка представляет собой цельное или разрезное кольцо (а сборная плашка или резьбонарезная головка даже целый механизм), которое во внутренней полости имеет нарезку и при навинчивании на деталь нарезает наружную резьбу.



Фиг. 310. Типы плашек:

а — круглая; *б* — квадратная; *в* — шестигранная.

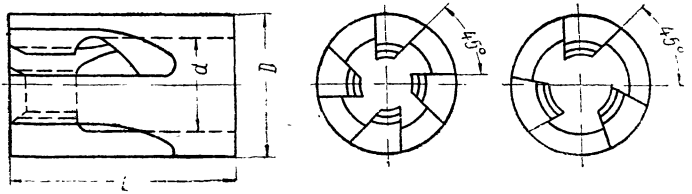
Существует много различных плашек. Их можно подразделить на следующие группы.

1. Резьбонарезные плашки цельные и разрезные; они могут быть круглые, квадратные и шестигранные (фиг. 310).
2. Трубчатые резьбонарезные плашки (прогонки, фиг. 311).
3. Плашки к слесарным клуппам (фиг. 312, *а*).
4. Винторезные дощечки, имеющие ряд отверстий (фиг. 312, *б*), которыми можно нарезать резьбы нескольких небольших диаметров.
5. Плашки к резьбонарезным головкам (самооткрывающимся и регулируемым).

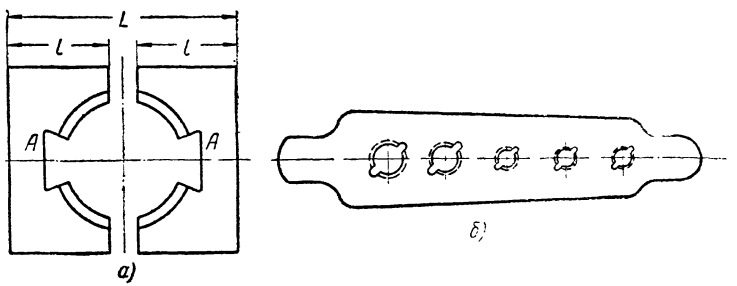
Процесс нарезания резьбы плашками происходит при двух движениях: вращательном — вокруг оси и поступательном — вдоль оси изделия.

Работа плашки совершенно аналогична работе метчика, и только в отличие от последнего плашка нарезает не внутреннюю, а наружную резьбу.

Разберем конструктивные элементы наиболее распространенной круглой плашки.



Фиг. 311. Трубчатая плашка (прогонка).



Фиг. 312. Плашки к слесарным клуппам (*а*) и винторезная дощечка (*б*).

Части и конструктивные элементы круглой плашки. На фиг. 313 изображена круглая плашка наиболее распространенной стандартной конструкции. Такая плашка нарезает резьбу за один проход. Основные конструктивные элементы и части плашки можно разделить на следующие.

Элементы, обеспечивающие процесс резания плашкой. К ним относятся: 1) передний угол γ; 2) режущие перья плашки (ширина пера H, ширина просвета H_1); 3) стружечные отверстия; 4) длина заборной части l_1 и угол заборного конуса φ; 5) ширина плашки h; 6) число перьев z; 7) величина затылования K заборной части и задний угол α.

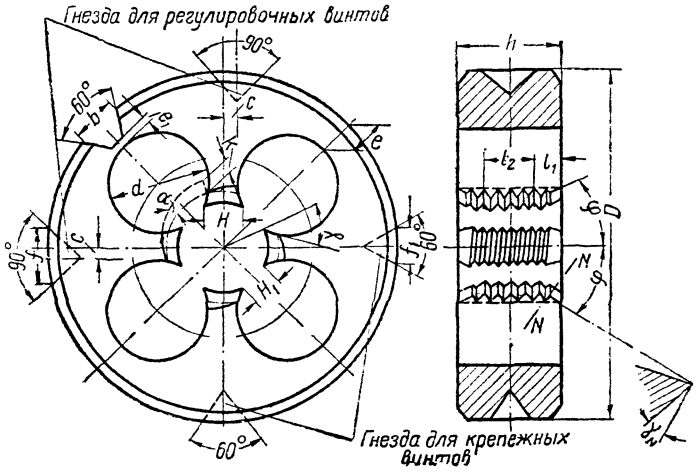
Элементы, связанные с размерами получаемой резьбы: 1) диаметры резьбы: наружный, внутренний и средний; 2) угол профиля резьбы ε; 3) шаг резьбы S.

Элементы, обеспечивающие закрепление плашки на станке или в воротке: 1) наружный диаметр плашки D; 2) перемычка e; 3) паз для разжимного винта; 4) гнезда для крепежных винтов; 5) гнезда для регулировочных винтов.

Круглые плашки применяются: 1) для нарезания резьбы; 2) для калибрования и зачистки предварительно обработанной резьбы.

В первом случае нарезание резьбы сопровождается отделением значительного количества стружки и большими усилиями, действующими на перья плашки. Стружечные отверстия должны быть большими, чтобы стружка не забивалась в них. Диаметр плашки, ее ширина и размер перьев должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы обеспечить достаточную прочность плашки.

Во втором случае при калибровании резьбы на долю круглой плашки приходится снятие небольшого слоя металла, и поэтому нет никаких



Фиг. 313. Конструктивные элементы круглой плашки.

оснований делать диаметр стружечных отверстий большим. Так как усилия при калибровании резьбы небольшие, то такая плашка может быть менее прочной.

Конструирование круглых плашек. При конструировании плашки необходимо правильно определить все ее основные элементы.

Наружный диаметр D. Определение наружного диаметра плашки базируется на выведенных практикой зависимостях. Обычно выбирается наименьший возможный диаметр плашки, так как малый диаметр позволяет сократить расход материала на плашку. В ГОСТ 2173 48 для определенного диаметра и шага резьбы дается наружный диаметр D плашки, а также ее ширина h. Ниже приводятся диаметры плашек в зависимости от диаметра резьбы.

Диаметр резьбы d_0 в *мм*	Диаметр плашки D в *мм*	Диаметр резьбы d_0 в *мм*	Диаметр плашки D в *мм*	Диаметр резьбы d_0 в *мм*	Диаметр плашки D в *мм*
1—2,6	16	12—14	38	39—42	75
3—5	20	16—20	45	45—52	90
6—9	25	20—24	55	56—60	100
10—11	30	27—36	65		

Как видно из приведенных выше данных, один наружный диаметр плашки охватывает несколько диаметров резьб. Это делается для того, чтобы было возможно меньше различных воротков.

При конструировании калибровочных плашек нельзя пользоваться этой таблицей, так как соотношение между диаметром резьбы и диаметром плашки иное.

Форма передней грани и угол γ. Самым важным исходным элементом для расчета круглой плашки является передний угол γ. Этот угол у круглой плашки измеряется в плоскости, перпендикулярной оси. Если взять передний угол плашки в сечении *NN*, нормальном к образующей заборного конуса (см. фиг. 313), то угол γ_N в этом сечении определится [1]

$$\operatorname{tg}\gamma_N = \operatorname{tg}\gamma\cos\varphi.$$

Поскольку в круглой плашке передний угол не оказывает влияния на профиль резьбы (не искажает его), то для удобства расчетов пренебрегают разницей между γ_N и γ и все эти расчеты производят, исходя из величины угла γ. В зависимости от обрабатываемого материала можно рекомендовать следующие значения угла $\gamma°$: для твердых материалов — $0-12°$; для материалов средней твердости — 15—20°; для мягких материалов — 20—25°.

Для стандартных плашек принимается среднее значение переднего угла $\gamma = 15 \div 20°$.

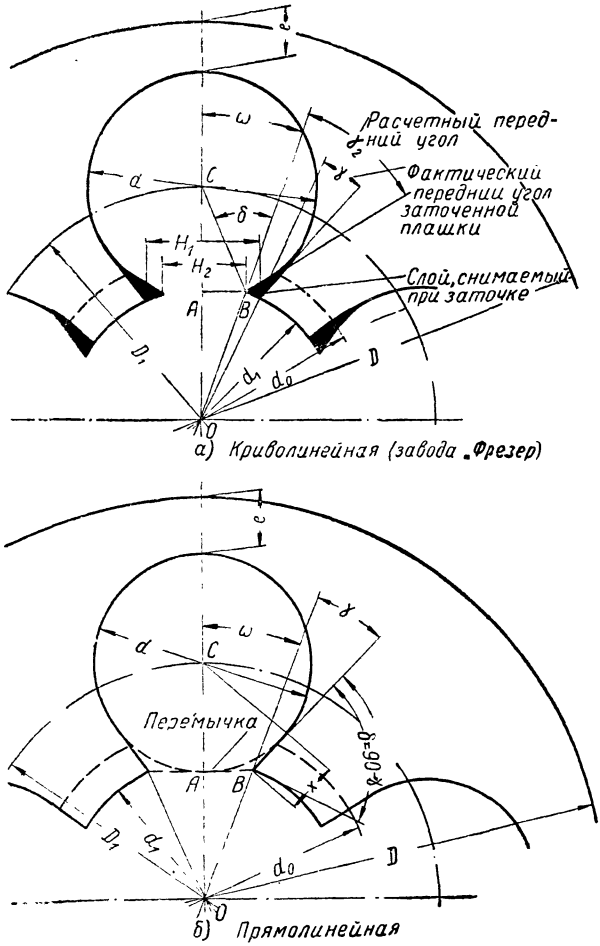
Если рассмотреть форму передней грани плашки и подсчитать передний угол в различных точках — у внутреннего, наружного и среднего диаметров резьбы, то можно убедиться, что угол γ не будет одинаковым.

Имеет большое значение форма передней грани плашки. На фиг. 314 показаны две существующие формы передней грани: криволинейная (фиг. 314, *а*) и прямолинейная (фиг. 314, *б*). Криволинейная форма передней грани плашки образована поверхностью просверленного стружечного отверстия. Для образования передней грани прямолинейной формы необходимо после сверления стружечного отверстия удалить перемычку, показанную пунктиром; это делается путем пропиловки стружечного отверстия напильником.

Рассматривая изменение переднего угла в зависимости от формы передней грани, можно убедиться, что криволинейная передняя грань дает более резкие колебания переднего угла, чем прямолинейная. Для точек, лежащих у внутреннего диаметра резьбы, передний угол γ принимается равным 15—20°. В точках, расположенных на наружном диаметре резьбы, передний угол γ уменьшается, причем это уменьшение более резко у плашки с криволинейной передней гранью. Поэтому до последнего времени считали необходимым изготовлять плашки с прямолинейной передней гранью. Как показал опыт завода „Фрезер", можно с успехом проектировать плашки с криволинейной передней гранью, но только

[1] Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

при расчете такой плашки необходимо задаваться несколько увеличенным передним углом $\gamma_2 = \gamma + (10 \div 15)°$; при этом предусматривается, что угол γ_2 изменится при заточке плашки. На фиг. 314, *а* черными треугольниками показан слой, который снимается при заточке плашки.



Фиг. 314. Форма передней грани плашек.

Таким образом, при этом отпадает необходимость пропиловки стружечных отверстий и сохраняется более постоянный угол γ.

Число стружечных отверстий z. При определении числа стружечных отверстий следует помнить, что при определенном угле φ заборного конуса толщина стружки a_z зависит от числа стружечных отверстий:

$$a_z = \frac{S}{z} \operatorname{tg} \varphi.$$

С увеличением количества стружечных отверстий z уменьшается толщина стружки a_z, и наоборот. С точки зрения учения о резании выгоднее работать с более толстыми стружками. Поэтому выгоднее делать меньше число отверстий z. В этом случае снижается удельное усилие резания, а следовательно, и крутящий момент. Однако чем меньше число отверстий, тем толще стружка и резьба получается с грубой, нечистой поверхностью. Опытом установлено, что наилучшие результаты при нарезании резьбы получаются при определенном значении толщины стружки a_z для каждого шага резьбы. Практически число отверстий устанавливается опытным путем.

В стандарте рекомендуется следующее число стружечных отверстий в зависимости от диаметра резьбы плашек.

Диаметр резьбы в *мм* . .	1—5	5,5—16	18—27	30—33	36—48	52—64
Число отверстий	3	4	5	6	7	8

Ширина пера H и ширина просвета H_1. Зная число стружечных отверстий, можно определить ширину пера H и ширину просвета H_1. Оба эти элемента связаны между собой, так как в сумме они образуют зуб и канавку для выхода стружки. Если взять небольшую ширину пера и широкий просвет, перо будет слабым и может сломаться. Кроме того, при узком пере плашка хуже центрируется и направляется по нарезанной части болта. Однако имеются причины, заставляющие ограничить ширину пера: чем шире перо, тем больше поверхность соприкосновения с нарезаемым болтом и больше трение; чем шире перо, тем меньше остается места для образования и выхода стружки, тем скорее стружечные отверстия плашки могут забиваться стружкой. Практически установлены следующие соотношения между H и H_1:

$$H = (0{,}8 \div 1{,}0)\, H_1.$$

Расчет диаметра стружечных отверстий d и диаметра расположения их центров D_1 (фиг. 314). В практике конструирования плашек чаще всего определяют диаметр стружечных отверстий и диаметр их расположения графическим путем. Вычерчивают плашку в масштабе и, задаваясь наружным диаметром D, углом γ, шириной просвета H_1, внутренним диаметром резьбы d_1 и числом отверстий z, определяют d и D_1.

Эту задачу можно решить аналитическим путем значительно точнее, но преимущество графического способа — его наглядность. Чаще всего конструктор совмещает оба способа: производит расчет и прочерчивание плашки.

Разберем аналитический расчет. Для решения задачи необходимо выбрать форму передней грани. На фиг. 314, *а* показана плашка с криволинейной формой передней грани. Из треугольника AOB видим, что угол ω может быть определен

$$\sin\omega = \frac{2H_2}{2d_1} = \frac{H_2}{d_1}.$$

Угол ACB будет равен $(\delta - \omega)$. Из треугольника ACB можно определить

$$\frac{d}{2} = \frac{H_2}{2\sin(\delta - \omega)},$$

или

$$d = \frac{H_2}{\sin(\delta - \omega)} = \frac{d_1 \sin\omega}{\sin(\delta - \omega)}.$$

В этой формуле угол $\delta = 90 - \gamma_2$. Из треугольника OCB видно, что

$$\frac{D_1}{2} = \overline{CC},$$

но

$$\overline{CC} = \overline{AO} + \overline{CA};$$

$$\overline{AO} = \frac{d_1}{2}\cos\omega; \quad \overline{CA} = \frac{d}{2}\cos(\delta - \omega).$$

После подстановки значения d получим

$$\overline{CA} = \frac{d_1 \sin\omega}{2\sin(\delta - \omega)}\cos(\delta - \omega) = \frac{d_1}{2}\sin\omega\,\mathrm{ctg}(\delta - \omega).$$

Затем определяем:

$$\frac{D_1}{2} = \overline{AO} + \overline{CA} = \frac{d_1}{2}\cos\omega + \frac{d_1}{2}\sin\omega\,\mathrm{ctg}(\delta - \omega) =$$

$$= \frac{d_1}{2}[\cos\omega + \sin\omega\,\mathrm{ctg}(\delta - \omega)].$$

Полученные значения d и D_1 необходимо проверить, подсчитав толщину перемычки e:

$$e = \frac{D}{2} - \frac{D_1}{2} - \frac{d}{2}.$$

Для сохранения прочности плашки необходимо, чтобы величина e была не меньше $(0{,}15-0{,}12)\,D$ для плашек с тремя-пятью стружечными отверстиями и не меньше $(0{,}1-0{,}09)\,D$ — для плашек с 6—8 отверстиями[1].

Расчетную ширину просвета H_2 и расчетный угол γ_2 следует брать с учетом снимаемого (при заточке) слоя. Рекомендуется принимать этот слой от 0,2 до 0,4 *мм* (на фиг. 314, *а* слой, подлежащий снятию, показан черным).

Расчет плашки с прямолинейной передней гранью (фиг. 314, *б*).

---

[1] И. И Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

В отличие от приведенного выше расчета в этом случае расчет диаметров d и D_1 производится по формулам (по Г. И. Грановскому):

$$\frac{d}{2} = \frac{\frac{d_1}{2}\sin\omega + x\sin(\omega+\gamma)}{\cos(\omega+\gamma)};$$

$$\frac{D_1}{2} = \frac{d_1}{2}\cos\omega + x\cos(\omega+\gamma) + \frac{d}{2}\sin(\omega+\gamma),$$

где $x = (1{,}2 - 1{,}5)\,S$.

После расчета также следует проверить тело плашки e по формуле

$$e = \frac{D}{2} - \frac{D_1}{2} - \frac{d}{2}.$$

После аналитического расчета рекомендуется вычертить плашку и проверить все ее элементы графическим способом. Для проверки достаточно вычертить два стружечных отверстия.

Определение длины l_1 заборной части, угла φ и ширины h плашки. Длина заборной части плашки определяется по следующей формуле:

$$l_1 = (t + a_1)\operatorname{ctg}\varphi,$$

где l_1 — длина заборной части плашки;

t — высота резьбы; a_1 принимается обычно от 0,15 до 0,4 *мм*.

Угол φ у стандартных плашек равен 25°. Для нарезания резьбы на твердом материале рекомендуется угол φ уменьшить до 15°.

Обычно у плашек делается заборный конус с обеих сторон, тогда общая ширина плашки может быть подсчитана по формуле

$$h = 2l_1 + l_2.$$

Длина l_2 калибрующей части обычно принимается от 3 до 6 шагов резьбы. Общая ширина h приводится в стандарте на плашки; в зависимости от шага резьбы плашки она различна. У плашек для небольших диаметров и шагов резьбы ширина h по расчету получается небольшой и для увеличения прочности плашек их делают с выточкой с одной стороны.

Задний угол α и величина затылования K. У круглой плашки калибрующая часть выполняется без заднего угла, т. е. вся поверхность пера охватывает нарезаемый болт. Это является недостатком конструкции плашки, но устранить его, к сожалению, нельзя.

На заборной части плашки обязательно должен быть предусмотрен задний угол. Для этой цели заборная часть плашки затылуется на специальных станках. Задний угол α плашки измеряется в плоскости, перпендикулярной оси плашки, задний угол α_n — в плоскости, перпендикулярной образующей заборного конуса плашки. Между углами α и α_n существует зависимость

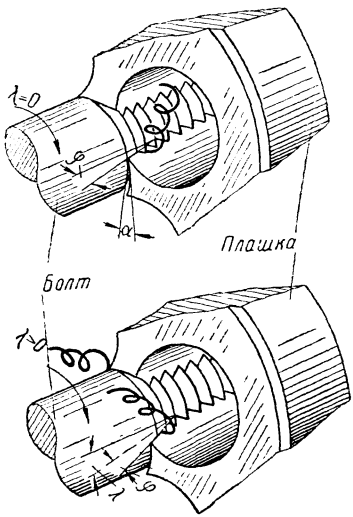
$$\operatorname{tg}\alpha_n = \operatorname{tg}\alpha\cos\varphi.$$

Для расчетов обычно принимают $\alpha = 6°$.

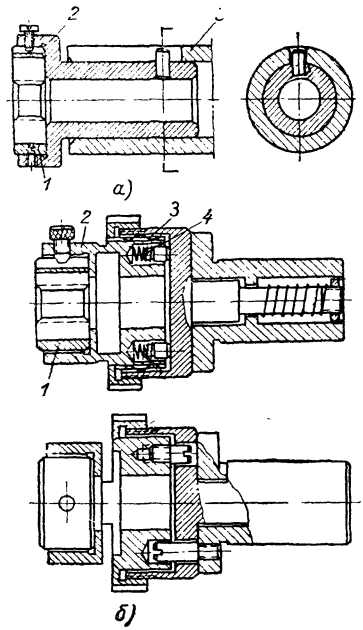
Так как затылование плашек производится по архимедовой спирали, то величина затылования K определяется по формуле

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Направление схода стружки и угол λ. На сход стружки оказывает влияние угол λ наклона режущей грани по отношению к оси. На фиг. 315 показано перо плашки с углом λ, равным нулю, и с углом больше нуля. Если в первом случае стружка остается в отверстии, то во втором случае плашка направляет стружку вперед. Второй случай



Фиг. 315. Угол λ и сход стружки.



Фиг. 316. Типы плашкодержателей.

значительно выгоднее. Поэтому рекомендуется угол λ делать положительным. На этом основана специальная подточка плашек. Однако такая подточка сложна и поэтому не имеет широкого распространения.

Элементы закрепления плашки. Круглая плашка вставляется в гнездо плашкодержателя или воротка. На наружной цилиндрической поверхности плашки имеются боковые гнезда для винтов (см. фиг. 313). Гнезда с углом 60° служат для закрепления плашки в воротке. Ось этих гнезд проходит через центр плашки. Два других гнезда с углом 90°, в которые упираются регулировочные винты, смещаются с оси на величину c. Это делается для того, чтобы винты могли сжать плашку. В центре между последними гнездами профрезерован паз шириной b. Если плашка дает неправильный диаметр резьбы или если она износилась, можно узким шлифовальным кругом разрезать тонкую перемычку e_1. Разрезанная таким образом плашка допускает в небольших пределах регулировку диаметра нарезаемой резьбы. Поскольку плашка

в разрезанном виде менее прочна, разрезку следует производить только у изношенных плашек (с целью компенсации износа по диаметру). Новые плашки не разрезают.

Закрепление плашки на станке не должно быть жестким. Плашка должна иметь возможность качаться и незначительно перемещаться перпендикулярно оси. Только при соблюдении этих условий получается точная и чистая резьба.

На фиг. 316, *а* показан плашкодержатель обычной конструкции. Перемещение плашки *1* осуществляется в нем благодаря зазору между гильзой *2* и корпусом *3*. Лучшие результаты по чистоте нарезаемой резьбы дают качающиеся плашкодержатели (фиг. 316, *б*). При установке плашки *1* в качающемся плашкодержателе неточности установки и несовпадение осей плашки и изделия не оказывают влияния на точность резьбы, так как за счет плоских *3* и спиральных *4* пружин, расположенных как на торцевой, так и на цилиндрической поверхности гильзы *2*, плашка может сдвинуться и установиться во время нарезания точно по оси нарезаемого болта.

Определение элементов резьбы плашки. Обычно в чертеже плашки нет допусков на резьбу. Объясняется это тем, что непосредственный контроль резьбы плашки почти невозможен. Поэтому обычно контролируют резьбу изделий, нарезанных плашкой, и судят по ним о годности плашки.

В чертеже плашки проставляют размеры резьбы маточных метчиков.

При определении размеров резьбы плашечных и маточных метчиков следует учитывать неизбежные деформации резьбы и перьев плашки, которые происходят в результате термической обработки. Чтобы уменьшить влияние погрешностей, получающихся при этом, рекомендуется плашки изготовлять из малодеформирующейся инструментальной стали (например, распространено применение стали 9ХС).

В ГОСТ 2174-43 приводятся рекомендуемые размеры плашечных и маточных метчиков. Эти размеры действительны в том случае, когда плашки изготовляются из стали 9ХС; при изготовлении плашек из другой марки стали необходимо размеры резьбы метчиков корректировать.

В основу расчета допусков на размеры резьбы маточных метчиков положены следующие принципы [1].

Поле допуска резьбы плашки, а также поле допуска резьбы метчика должно лежать внутри поля допуска на болт. Обычно принимают болт 2-го класса точности исходным для расчета допусков.

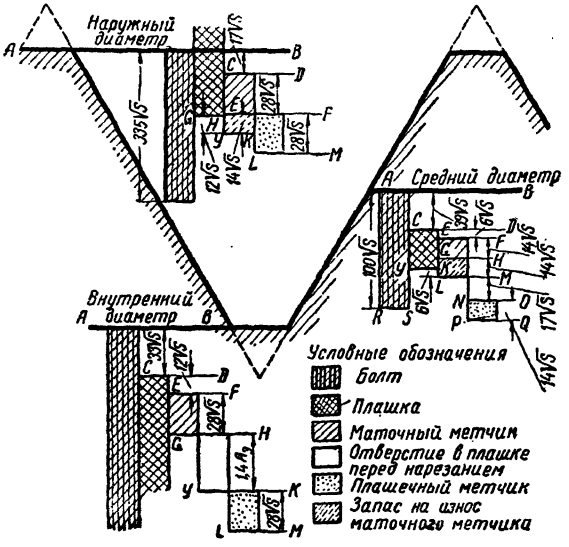
Разберем схему расположения допусков на средний, наружный и внутренний диаметры резьбы.

На фиг. 317 справа показана схема расположения полей допусков на средний диаметр. Линия AB представляет номинальный диаметр болта и в то же время максимальный его размер. Линия CD — верхнее отклонение плашки, которое устанавливается ниже верхнего отклонения болта на величину, равную $39\sqrt{S}$. Это есть гарантированный запас

[1] И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. II, Машгиз, 1948.

на износ резьбы плашки. Линия EF — верхнее отклонение маточного метчи а. Гарантированный запас на разбивку маточного метчика (в процессе работы маточный метчик дает некоторую разбивку — увеличение диаметра резьбы плашки) равен $6\sqrt{S}$. Между линиями EF и GH находится поле допуска маточного метчика, равное $14\sqrt{S}$; между линиями GH и LM — гарантированный запас на износ маточного метчика, равный $14\sqrt{S}$.

С точки зрения увеличения запаса на износ следовало бы поле допуска плашки и маточного метчика установить ближе к нижнему отклонению резьбы болта, однако этого нельзя делать, так как резьба плашек после термической обработки может деформироваться. Поэтому остающееся поле допуска (между линиями YK и RS) является запасом на деформацию плашки. На схеме расположения допусков приведены также допуски на плашечный метчик. Между линиями NO и PQ расположено поле допуска плашечного метчика, равное $14\sqrt{S}$. Верхнее отклонение плашечного метчика отстоит от него на величину $17\sqrt{S}$.



Фиг. 317. Схема расположения полей допусков на плашку и метчик.

На фиг. 317 слева вверху показано расположение допусков на наружный диаметр резьбы плашки. Линия AB — номинал и верхнее отклонение болта. Поле допуска болта равно $335\sqrt{S}$. Верхнее отклонение наружного диаметра плашки не ограничивается совсем. Нижнее отклонение плашки показано линией GH.

Для маточного метчика устанавливается допуск на износ ниже нижнего отклонения плашки на величину разбивки, принимаемой равной $12\sqrt{S}$. Вверх от этой линии YK откладывается допуск на износ (поле этого допуска заштриховано пунктиром), равный $14\sqrt{S}$, и допуск на изготовление маточного метчика, равный $28\sqrt{S}$. Допуск на плашечный метчик, равный $28\sqrt{S}$, устанавливается ниже линии EF.

На фиг. 317 внизу показана схема расположения допусков на внутренний диаметр. Линия AB представляет собой номинал и одновременно верхнее отклонение болта. Нижнее отклонение болта не ограничивается.

При назначении допусков на плашку стараются обеспечить прорезание внутреннего диаметра у болта ниже теоретической линии профиля. Поэтому верхнее отклонение плашки CD устанавливается ниже линии AB на величину $33\sqrt{S}$. Нижнее отклонение плашки не регламентируется. Верхнее отклонение маточного метчика EF устанавливается ниже верхнего отклонения плашки CD на величину разбивки, равную $12\sqrt{S}$. Допуск на маточный метчик равен $28\sqrt{S}$. При нарезании маточный метчик должен только зачищать внутренний диаметр просверленного в плашке отверстия. Поэтому верхнее отклонение отверстия в плашке устанавливается равным нижнему отклонению GH маточного метчика. Отверстие под резьбу круглой плашки должно быть чисто обработано разверткой.

Допуск на отверстие принимается равным $1{,}4\,A_3$ (для метрических и дюймовых резьб).

Плашечный метчик не должен резать по внутреннему диаметру, поэтому верхнее отклонение его $УК$ устанавливается по нижнему отклонению отверстия, а допуск принимается равным $28\sqrt{S}$

Размеры плашечных и маточных метчиков (ГОСТ 2174-43) рассчитаны по этой схеме.

Допуск на половину угла профиля резьбы принимается одинаковым для плашечных и маточных метчиков и устанавливается:

Шаг резьбы S в *мм*	0,35	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
Допуск на половину угла в мин.	±55	±35	±27	±27	±20	±20	±17	±15	±14	±14

Допуск на шаг у плашечных и маточных метчиков устанавливается для всех шагов резьбы $\pm 0{,}01$ *мм* на 10 витков резьбы.

Конструкции других типов круглых плашек. Круглые плашки описанной конструкции имеют много недостатков, поэтому имеется ряд попыток улучшить их конструкцию. К таким плашкам следует отнести *плашки с косопросверленными отверстиями* для стружки; они направляют стружку вперед, облегчая ее отвод и тем самым улучшая условия резания. Плашки иногда изготовляют не круглые, а *шестигранные* или *квадратные*; такие плашки удобны при монтажных работах, так как они позволяют нарезать резьбу с применением гаечного ключа. На автоматах находят применение также *трубчатые плашки* (см. фиг. 311), которые по сравнению с обычными плашками меньше засоряются стружкой, так как выход стружки значительно улучшен. У таких плашек обеспечивается простая заточка и более точно выдерживаются углы режущих перьев, так как перо трубчатой плашки можно заточить кругом большого диаметра на универсально-заточном станке.

Однако они более сложны и дороже в изготовлении.

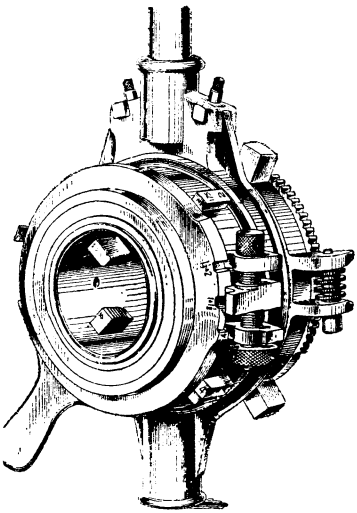
Размеры трубчатых плашек установлены ОСТ НКТП 6313/299 и 6314/300.

Трубчатые плашки, так же как и обычные круглые плашки, вследствие деформации резьбы при термической обработке не могут давать

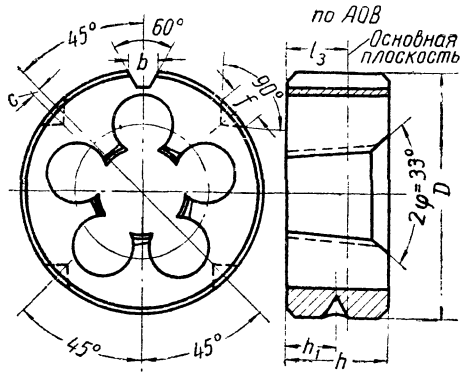
особо точную резьбу. Нарезание резьбы на них производится также плашечными и маточными метчиками.

Необходимость нарезания крупных резьб вручную в несколько проходов потребовала специальных раздвижных плашек, к которым относятся плашки для слесарных клуппов, плашки для трубных клуппов и регулируемые плашки. Такие плашки позволяют в процессе нарезания резьбы путем их регулирования изменять диаметр нарезаемой резьбы и, таким образом, дают возможность производить нарезание в несколько проходов.

Плашки к слесарным косым клуппам простейшей конструкции показаны на фиг. 312, *а*. Плашка состоит из



Фиг. 317а. Клупп для нарезания резьбы на трубах.



Фиг. 317б. Круглая плашка для конической резьбы.

двух частей, которые вставляются в рамку клуппа и сжимаются винтом. Обе половины плашки имеют внутри резьбу с прорезанными канавками, образующими передние режущие грани. Вначале плашка охватывает наружный диаметр болта, затем по мере врезания в тело болта плашки сходятся. Благодаря сжиманию условия резания в начале и в конце нарезания различны.

С целью получения наиболее выгодных условий резания отверстие в плашках нарезают метчиком, диаметр которого больше диаметра болта на две высоты резьбы. Вначале плашки работают с большим трением, так как внутренняя окружность перьев прилегает к окружности заготовки, затем плашки сводятся винтом и по мере врезания начинают резать только гранями, расположенными у краев канавки *А*. В этом случае перья плашки не прилегают полностью, и поэтому уменьшается трение между плашкой и нарезаемой заготовкой.

Плашки к косым клуппам изготовляются из углеродистой инструментальной стали, поскольку нарезание клуппом производится вручную с небольшой скоростью резания. Производительность при ручном нарезании также невысокая, поэтому клуппы применяются только при монтажностроительных и ремонтных работах. Клупп для труб устроен

несколько иначе (фиг. 317а). В корпусе находятся плоские плашки, которые можно сводить и разводить во время работы.

Круглые плашки для конических резьб. Конические резьбы широко применяются в машиностроении для соединения трубопроводов высокого давления. Для нарезания конических резьб можно применять круглые плашки. На фиг. 317б показана такая круглая плашка. Особенности ее конструкции следующие.

1. Плашка работает только в одну сторону, поэтому она имеет заборный конус с одной стороны.

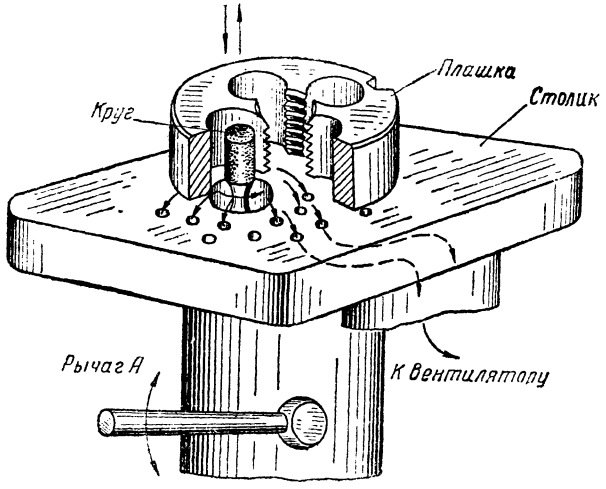
2. Наружный, средний и внутренний диаметр резьбы плашки в плоскости основных размеров (фиг. 317б) должен соответствовать размерам конической резьбы по стандарту.

3. Перья плашки должны выбираться возможно меньшей ширины.

4. Плашка должна быть прочной, так как в конце нарезания плашка работает всей резьбовой частью и крутящий момент резко возрастает. Плашки могут быть использованы при ручной работе или при работе с патроном, который включается при перегрузке (аналогично показанному на фиг. 303).

Заточка круглых плашек. Заточка круглых плашек производится по передней поверхности перьев и по затылочной поверхности заборной части плашки.

Для заточки плашек по передней грани завод „Фрезер" выпускает специальные станки.



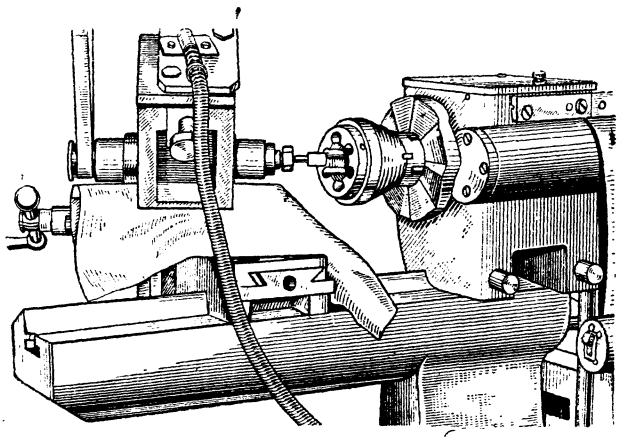
Фиг. 318. Заточка передней грани.

На фиг. 318 показана схема заточки на таком станке. Вертикальный шпиндель с закрепленным в нем маленьким шлифовальным кругом вращается в шариковых подшипниках и делает 15 000 об/мин. Плашка устанавливается на столике и вручную прижимается к нему. Шлифо-

вальный круг вводится в отверстие плашки и получает от ручного рычага A прямолинейное возвратно-поступательное движение вверх и вниз вдоль оси шпинделя круга. В процессе работы плашка перемещается по столику рукой. Таким образом затачивается передняя поверхность перьев плашки. Для отсоса образующейся пыли в столике станка устроен пылеприемник и по шлангу пыль отсасывается вентилятором.

Проверка заточенной плашки по углу γ может быть произведена на проекционном аппарате или на специальном приборе.

Опыт показал, что заточка плашек с прямолинейной формой передней грани осуществляется медленнее, чем заточка плашек с криволинейной формой, так как во втором случае можно взять круг большего диаметра и повысить производительность.



Фиг. 319. Схема заточки плашки по задней грани.

Заточка по задней поверхности. Задняя поверхность заборного конуса плашки должна быть заточена с целью получения лучших результатов как по стойкости плашек, так и по чистоте резьбы.

На фиг. 319 показана схема заточки плашки по задней грани на специальном станке конструкции завода „Фрезер". Плашка зажимается в цанговый патрон и при вращении шпинделя станка совершает вместе с ним затыловочные движения благодаря сменному кулачку, число выступов которого соответствует числу перьев затылуемой плашки, а форма выступов — форме кривой затылования. На супорте станка укреплен шпиндель с небольшим шлифовальным кругом, который вращается с большой скоростью. Шлифовальный круг подводится к плашке и затылует заднюю поверхность заборного конуса с установленной величиной затылования K. Угол заборного конуса φ устанавливается при помощи поворотного супорта станка.

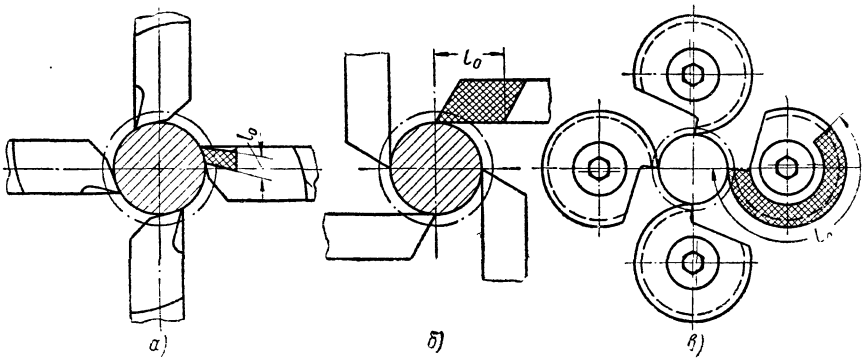
РЕЗЬБОНАРЕЗНЫЕ (ВИНТОРЕЗНЫЕ) ГОЛОВКИ

Основные понятия. В настоящее время широкое распространение для нарезания резьбы получили различные резьбонарезные головки. Их можно разделить на две основные группы:

1) резьбонарезные самооткрывающиеся головки;

2) резьбонарезные регулируемые головки.

Отличительной особенностью самооткрывающихся головок является развод плашек после нарезания резьбы, чем исключается необходимость обратного свинчивания головки с нарезанного изделия. Это позволяет быстро возвратить головку в исходное положение, благодаря чему



Фиг. 320. Схема работы винторезных головок:

а — с плоскими радиальными плашками; *б* — с плоскими тангенциальными плашками; *в* — с круглыми гребенками.

уменьшаются потери вспомогательного времени и резко возрастает производительность.

Резьбонарезные регулируемые головки в отличие от самооткрывающихся обеспечивают только установку и закрепление плашек, а также регулирование их. Открывания головки и отвода плашек по окончании нарезания они не обеспечивают и должны свинчиваться с резьбы. В основном получил распространение первый тип головок (самооткрывающиеся), второй тип головок (регулируемые) распространен меньше.

Самооткрывающиеся винторезные головки. В зависимости от расположения и конструкции плашек самооткрывающиеся головки разделяются на следующие типовые схемы:

1) винторезные головки с плоскими радиальными плашками (фиг. 320, *а*);

2) винторезные головки с плоскими тангенциальными плашками (фиг. 320, *б*);

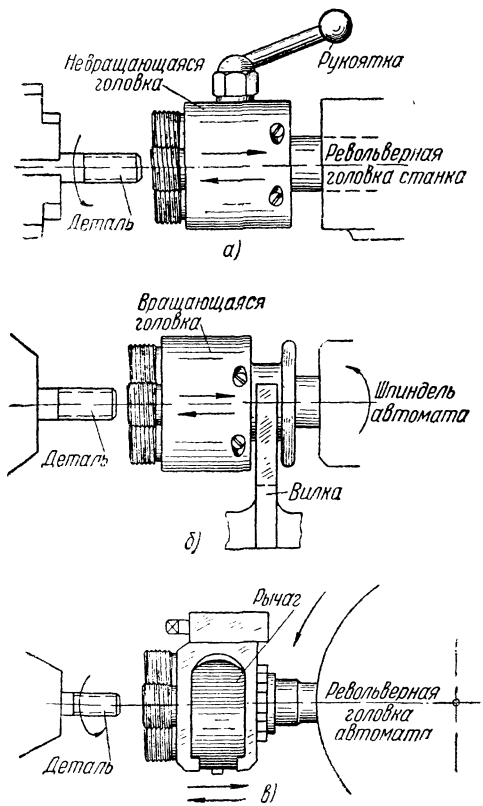
3) винторезные головки с круглыми гребенками (фиг. 320, *в*).

На фиг. 320 штриховкой показан запас на переточки плашек (гребенок).

Головки с плоскими радиальными плашками (фиг. 320, *а*) несколько проще в изготовлении, но плашки к таким головкам допускают небольшое количество переточек, поэтому недолговечны. Эти головки появились раньше всех, но в настоящее время вытесняются другими типами.

Головки с тангенциальными плашками (фиг. 320, *б*) благодаря большой длине плашек допускают большее количество переточек и поэтому получили большее распространение. В настоящее время и эти головки все более и более вытесняются головками с круглыми гребенками (фиг. 320, *в*) как допускающими значительно большее количество возможных переточек.

Винторезной головкой можно нарезать резьбу на токарном и револьверном станках, на многошпиндельном автомате, на болторезном станке и т. д. Следовательно, в одних условиях головка должна вращаться и подаваться, в других — головка неподвижна, а изделие вращается и подается, и т. д. Все разнообразие применения головок можно свести к трем основным способам.



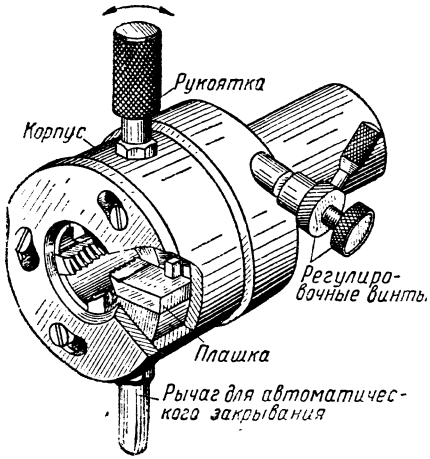
Фиг. 321. Конструкции винторезных головок.

1. Изделие вращается, резьбонарезная головка не вращается, а только подается; раскрывание головки совершается автоматически, а закрывание — вручную. В этом случае требуется невращающаяся головка с рукояткой для ее закрывания. На фиг. 321, *а* показан такой тип головки (с круглыми гребенками). Невращающаяся головка предназначена для работы на револьверных станках или специальных резьбонарезных станках.

2. Головка вращается и подается; изделие не вращается, но может и вращаться; раскрывание и закрывание головки должны происходить автоматически по упору. На фиг. 321, *б* показана схема действия такой головки. Для раскрывания и закрывания головка снабжена кольцевой проточкой, в которую входит вилка, связанная с упорами. Вращающийся тип головки пригоден для использования на многошпиндельных токарных автоматах (поэтому часто такие головки называют автоматными), болторезных и сверлильных станках.

3. Для нарезания резьбы на одношпиндельных токарно-револьверных автоматах типов 1112, 1118, 1124, 1136 и др. применяются головки, показанные на фиг. 321, *в*. Сама головка неподвижна, вращается изделие. Раскрывание головки происходит автоматически. Для закрывания головки имеется изогнутый рычаг, который при повороте револьверной головки скользит по упору, установленному на станке, и сводит плашки в исходное положение.

Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с радиальными плоскими плашками. Резьбонарезные головки с радиальными плоскими плашками появились раньше других типов головок.



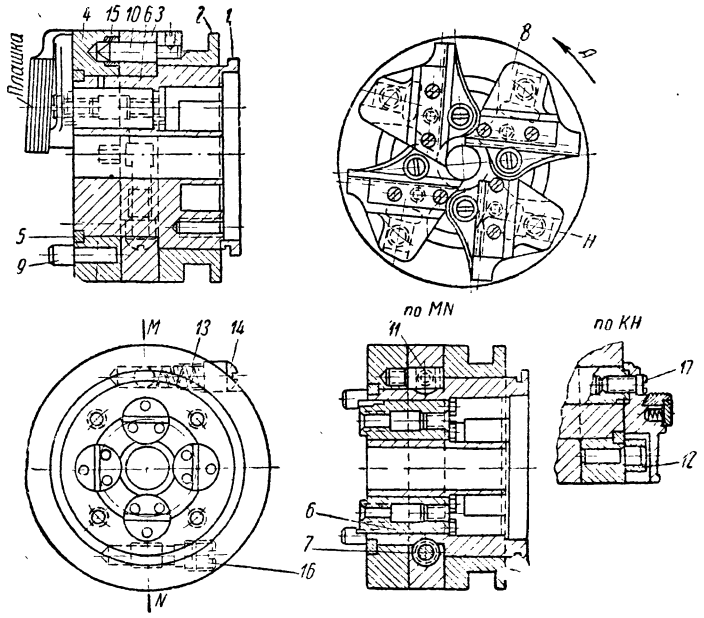
Фиг. 322 Резьбонарезная невращающаяся головка с плоскими радиальными плашками.

На фиг. 322 показана резьбонарезная головка невращающегося типа. Головка предназначена для использования на револьверных станках. В ее корпусе имеется механизм для раскрывания и закрывания плашек. Регулирование диаметра резьбы осуществляется винтами. Головка по окончании нарезания резьбы раскрывается автоматически, закрывание же может осуществляться либо вручную (при помощи рукоятки), либо автоматически по упору (при помощи рычага).

Резьбонарезные головки с радиальными плоскими плашками в настоящее время почти полностью вытеснены более рациональными конструкциями головок—с тангенциальными плашками или круглыми гребенками. Рассмотрим эти типы головок.

Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с тангенциальными плашками. На фиг. 323 показан схематический разрез резьбонарезной головки с тангенциальными плашками завода им. Воскова. Плашки, представляющие собой плоские пластинки, на одной стороне которых нанесены резьбовые нитки, устанавливаются в специальных кулачках *8* по касательной к внутреннему диаметру резьбы. Кулачки *8* привернуты винтами *17* к осям *6*. Все четыре оси кулачков могут поворачиваться в корпусе головки *1*, который закрепляется на шпинделе станка. Для того чтобы плашки приблизились к изделию, достаточно кулачки повернуть вокруг их оси по направлению стрелки *А*. Отвод плашек от изделия происходит при повороте кулачка в обратную сторону. Для осуществления поворота кулачков относительно осей предусмотрено кольцо *4*, закрепленное кольцом *5*. В кольцо *4* запрессованы четыре штифта *9*, на которых насажены сухари *12*, входящие в пазы кулачков. Кольцо *4* сидит на корпусе *1* и может под действием пружины *13* поворачиваться на небольшой, но достаточный для развода кулачков угол. Кроме кольца *4* на корпусе головки имеются регулировочное

кольцо *3* и кольцо переключения *2*. В кольцевой паз кольца переключения *2* входит вилка переключения, которая может передвигать кольцо вдоль корпуса. При этом запрессованный в кольцо *2* штифт переключения *10* проходит через отверстие в регулировочном кольце и заходит своим конусным концом во втулку *15*, запрессованную в кольцо *4*. При перемещении кольца *2* штифт *10* заставляет кольцо *4* повернуться против часовой стрелки. При этом штифты *9*, запрессованные в кольцо *4*,



Фиг. 323. Резьбонарезная головка с тангенциальными плашками.

поворачивают кулачки *8* вокруг осей *6* и устанавливают их в рабочее положение для нарезания резьбы.

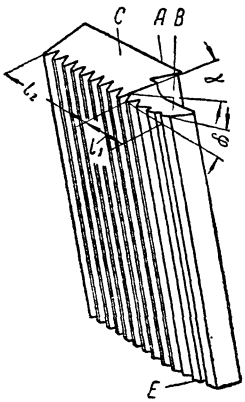
Раскрывание головки в конце нарезания производится в обратном порядке. Кольцо *2* передвигается вилкой вправо, и штифт *10* выходит из отверстия в кольце *4*. Под действием пружины *13*, которая давит на палец *11* (закрепленный в кольце *4*), кольцо *4* поворачивается по часовой стрелке и разводит плашки. Для регулирования и установки на диаметр резьбы предусмотрено регулировочное кольцо *3*. Если кольцо *3* повернуть относительно корпуса *1*, то положение проходящего через него штифта *10* изменится, и кольцо *4* будет фиксироваться в другом месте (плашки будут давать иной диаметр резьбы). Для установки положения кольца *3* относительно корпуса *1* имеется червячный винт *7* с контргайкой *16*, поворотом которого можно установить диаметр резьбы (установить кулачки в нужном положении).

Тангенциальные плашки в головке, так же как и плоские радиальные, играют роль как бы перьев круглой плашки. Резьба на каждой

последующей плашке комплекта имеет смещение против предыдущей на $\frac{S}{z}$ (в нашем случае $z=4$), т. е. на $^1/_4$ шага резьбы.

Кроме описанной конструкции резьбонарезной головки вращающегося типа существуют также головки невращающегося типа с тангенциальными плашками.

Тангенциальная плашка, показанная на фиг. 324, имеет следующие элементы: l_1 — режущая часть; l_2 — калибрующая часть; A — ласточкин хвост для закрепления плашки в кулачке; B — передняя поверхность режущей (заборной) части; C — передняя поверхность калибрующей части. Резьба плашки расположена параллельно ее опорной стороне. Установка плашки под углом α подъема резьбы осуществляется в кулачке.



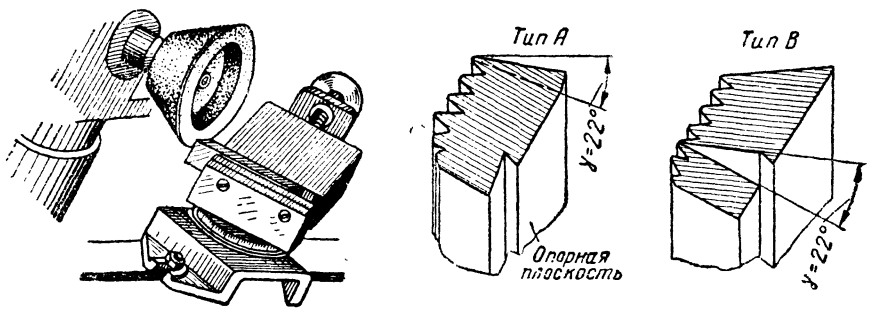
Фиг. 324. Конструкция тангенциальной плашки.

В ГОСТ 2287-43 приводятся размеры тангенциальных плашек с нешлифованным профилем резьбы, предназначенных для обработки крепежных винтов и болтов, с метрической дюймовой и трубной резьбой. Для таких стандартных плашек установлен один и тот же угол γ, равный 22°. Вообще же угол $\gamma°$ необходимо выбирать в зависимости от свойства обрабатываемого материала[1].

Для малоуглеродистой стали .	$\gamma=22\div25°$
„ никелевой стали	$\gamma=18\div20°$
„ латуни литой	$\gamma=0\div5°$
„ латуни катаной	$\gamma=22°$
„ алюминия катаного . . .	$\gamma=28\div33°$
„ бронзы	$\gamma=0\div10°$
„ меди	$\gamma=30°$

Угол φ заборной части плашки принимается 20°.

Заточка плашек. Перед установкой в головку тангенциальные плашки должны быть заточены. Заточка производится на универсально-заточных станках. На фиг. 325 показано два типа заточки плашек.



Фиг. 325. Заточка тангенциальных плашек.

Плашки могут быть заточены для работы самозатягиванием, т. е. без принудительной подачи головки (тип В), и для работы по винту — с прину-

[1] Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

дительной подачей (тип А). При затачивании плашек для работы самозатягиванием необходимо, чтобы калибрующая часть плашки образовала гайку и совершенно не участвовала в резании. Для этого под углом γ затачивается передняя грань только на заборной части плашки; в результате заточки образуется уступ. Если плашка затачивается для работы по винту, то передняя грань может быть заточена под углом γ без уступа (тип А). Лучшие результаты получаются при заточке плашек по типу В. Плашки можно закреплять по одной штуке в универсальные тиски, установленные на столе универсально-заточного станка (фиг. 325). Для заточки применяется тарельчатый или чашечный круг зернистостью 60, твердостью СМ1. Измерение угла γ производится универсальным угломером от опорной плоскости плашки.

Резьбонарезные самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками. Резьбонарезные головки с круглыми гребенками значительно лучше головок с радиальными, а также и с тангенциальными плашками. Основные размеры таких головок предусмотрены ГОСТ 3307-46. Головки имеются трех типов:

1) невращающиеся для нарезания резьб на револьверных и токарных станках;

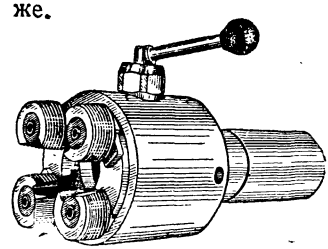
2) вращающиеся для нарезания резьб на автоматах, сверлильных и болторезных станках;

3) головки к автоматам типов 1112, 1118 и др.

В зависимости от размеров нарезаемых резьб головки обозначаются номерами 1К, 2К, 3К и 4К.

На фиг. 321 показаны все основные типы головок. Принципиальная схема всех этих головок одна и та же.

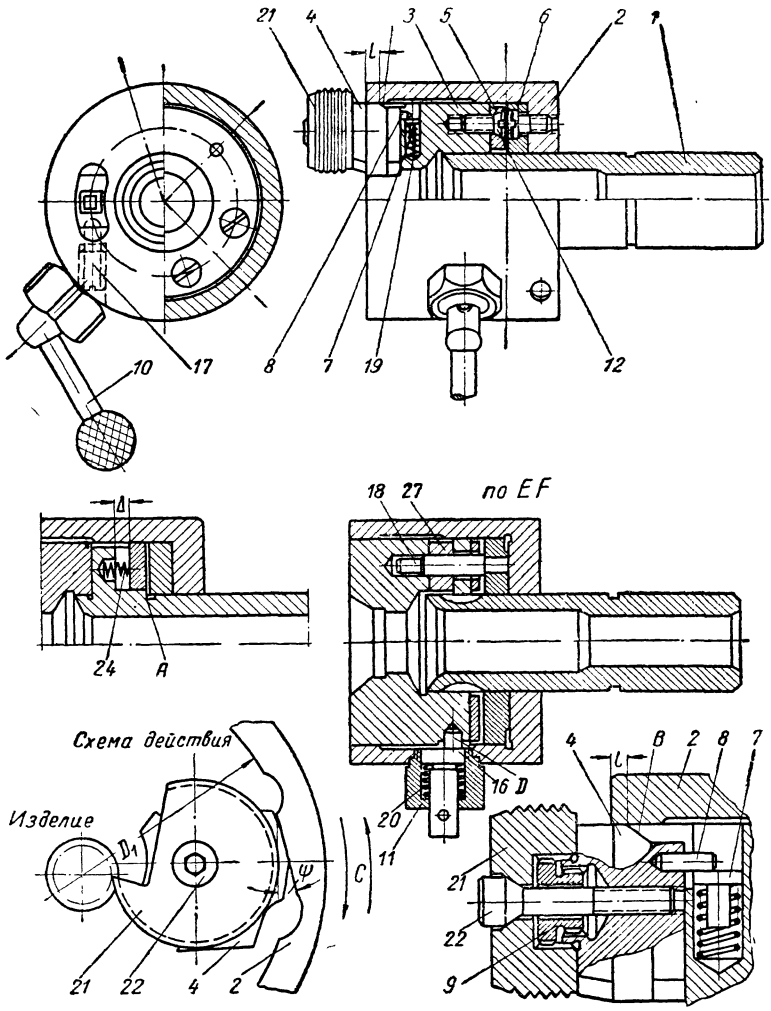
Разберем устройство резьбонарезной головки с круглыми гребенками невращающегося типа. На фиг. 326 показан общий вид такой головки, изготовляемой заводом „Фрезер". Принцип действия головки понятен из схемы, показанной на фиг. 327 (внизу слева). Четыре круглые гребенки *21* с кольцевой резьбой, укрепленные на специальных кулачках *4*, сближаются к центру или разводятся посредством нажимного кольца *2*. Это кольцо имеет два движения. Поступательное движение вдоль оси головки дает возможность благодаря уступу у кулачков *4* (фиг. 327 — внизу справа) сводить их к центру и разводить в конце нарезания резьбы. Другое движение — поворот кольца (показан на схеме стрелками *C*) — позволяет точно регулировать диаметр болта благодаря площадкам, скошенным под углом ψ.



Фиг. 326. Общий вид резьбонарезной головки с круглыми гребенками.

Головка имеет следующее устройство. В плашкодержателе *3* имеется четыре Т-образных паза, в которых могут перемещаться четыре кулачка с привернутыми к ним круглыми гребенками. В выточку с правой стороны плашкодержателя вставлен хвостовик *1*, снабженный

двумя ведущими выступами. Хвостовик служит для закрепления в револьверной головке станка. На плашкодержатель *3* надето нажимное кольцо *2* в виде стакана; внутри нажимного кольца имеется



Фиг. 327. Конструкция резьбонарезной головки с круглыми гребенками невращающегося типа.

регулировочное кольцо *6* с рожками, которое при помощи двух регулировочных винтов *17* может поворачиваться относительно кольца *2* на небольшой угол. В кольцо *6* запрессован штифт *18*, который входит в отверстие сухаря *27*, вставленного в плашкодержатель, и тем самым обеспечивается постоянное положение кольца *6* по отношению

к плашкодержателю. На наружной цилиндрической поверхности нажимного кольца ввернута муфта *11*, внутри которой имеется палец *16* с эксцентрично расположенной цапфой *D*. К другому концу пальца *16* привертывается рукоятка *10* для включения головки. Палец *16* при повороте рукоятки *10* поворачивается и своей эксцентричной цапфой *D* передвигает кольцо *2* вдоль оси относительно плашкодержателя. На фиг. 327 головка изображена в закрытом рабочем положении. Плашки сведены, и головка движется вместе с супортом револьверной головки станка. Как только супорт остановится, вместе с ним остановится и хвостовик *1*. Плашкодержатель *3* может при этом продолжать движение вперед (на величину зазора Δ), сжимая пружины *24* кольцом *5*, привернутым винтами *12*; нажимное кольцо *2* остановится, так как упирается в выступ *A* на хвостовике; при этом происходит „вытягивание" плашкодержателя из кольца *2*. Как только плашкодержатель вместе с кулачками выйдет на величину *l*, кулачки *4*, раздвигаясь под действием пружин *19*, нажимающих на штифты *7* и шпильки *8*, своими скосами *B* отбросят нажимное кольцо назад (вправо), и головка раскрывается. Для закрытия головки необходимо рукоятку *10*, на которую нажимает пружина *20*, повернуть и кольцо *2* возвратить в первоначальное положение. Кольцо *2* заставит кулачки, скользя по скосам *B*, сойтись к центру. В такой головке необходимо правильно установить гребенки относительно оси изделия. Режущие гребенки *21* установлены на кулачках *4* (см. фиг. 327, внизу справа). Для того чтобы зафиксировать определенное положение гребенки на кулачке, она садится на цилиндрический выступ (пуговку) кулачка. Между кулачком и гребенкой устанавливается двухвенцовая звездочка *9*, имеющая зубья на двух разных диаметрах. Одним зубчатым венцом звездочка входит в кулачок, а другим — в гребенку. Гребенка закрепляется на кулачке винтом *22*. Для того чтобы иметь возможность переточить гребенку после того как она износится, необходимо повернуть ее вокруг оси. Звездочка имеет неодинаковое число зубьев на обоих венцах; венец, закладываемый в кулачок, имеет число зубьев на один меньше, чем венец, закладываемый в гребенку (табл. 58).

Таблица 58

Обозначение головок	Число зубьев	
	z	z_1
1К и 2К	19	20
3К	22	23
4К	26	27

z—число зубьев в кулачке;
z_1—число зубьев в гребенке.

Если повернуть звездочку относительно кулачка на один зуб вправо, а относительно плашки — на один зуб влево, то общий поворот *M* плашки относительно кулачка (для головки 2К) определится:

$$M = \frac{1}{z} - \frac{1}{z_1} = \frac{1}{19} - \frac{1}{20} = \frac{20-19}{380} = \frac{1}{380} \text{ окружности.}$$

На фиг. 328 показана конструкция кулачков к головке; конструкция гребенок показана на фиг. 329.

Размеры кулачков и гребенок для резьб нельзя выбирать произвольно, так как каждая резьба имеет определенный диаметр и шаг, а следовательно, и угол подъема τ.

Размеры кулачков характеризуются следующими величинами:

C — расстояние от центра пуговки до опорной поверхности кулачка;

ω — угол наклона опорной плоскости под гребенку должен быть равен углу подъема τ или отличаться от него не более чем на 3 — 4 минуты.

Гребенки характеризуются основными размерами: $D_{ср}$ — средний диаметр резьбы; S — шаг резьбы.

Конструкция круглых гребенок. Гребенки (фиг. 329) представляют собой круглые резцы, снабженные кольцевой резьбой. Поскольку при расположении гребенок в головке необходимо, чтобы резьба соседних гребенок располагалась со смещением, равным шагу, деленному на число гребенок, то каждая из гребенок в комплекте должна иметь определенное расположение резьбы относительно опорного торца. Угол подъема τ резьбы обеспечивается установкой гребенки на наклонную плоскость кулачка под углом ω.

Основные конструктивные элементы гребенки, подлежащие расчету, следующие: 1) наружный диаметр D; 2) средний диаметр $D_{ср}$; 3) угол φ заборной части; 4) длина заборной части l_1; 5) длина калибрующей части l_2; 6) длина гребенки l; 7) передний угол γ; 8) задний угол α; 9) угол λ наклона передней поверхности.

К элементам крепления гребенки на кулачке относятся (фиг. 329): 1) отверстие под головку винта (с левой стороны гребенки); 2) зубчатое отверстие для звездочки (с правой стороны гребенки).

Наружный диаметр D гребенки выбирается таким, чтобы гребенки в раскрытой головке не выходили за габарит нажимного кольца, а в рабочем положении не упирались друг в друга. С другой стороны, наружный диаметр гребенки должен быть достаточно большим и обеспечивать прочность гребенки. В ГОСТ 3307-46 даются диаметры гребенок для метрических резьб.

Диаметр гребенки связан с размером C кулачка. Между средним диаметром резьбы изделия, средним диаметром гребенки, размером C кулачка и внутренним диаметром нажимного кольца существует зависимость

$$D_1 = 2C + D_{ср} + d_{ср} - 2m,$$

где D_1 — внутренний диаметр нажимного кольца;

C — размер кулачка от центра пуговки до опорной поверхности кулачка;

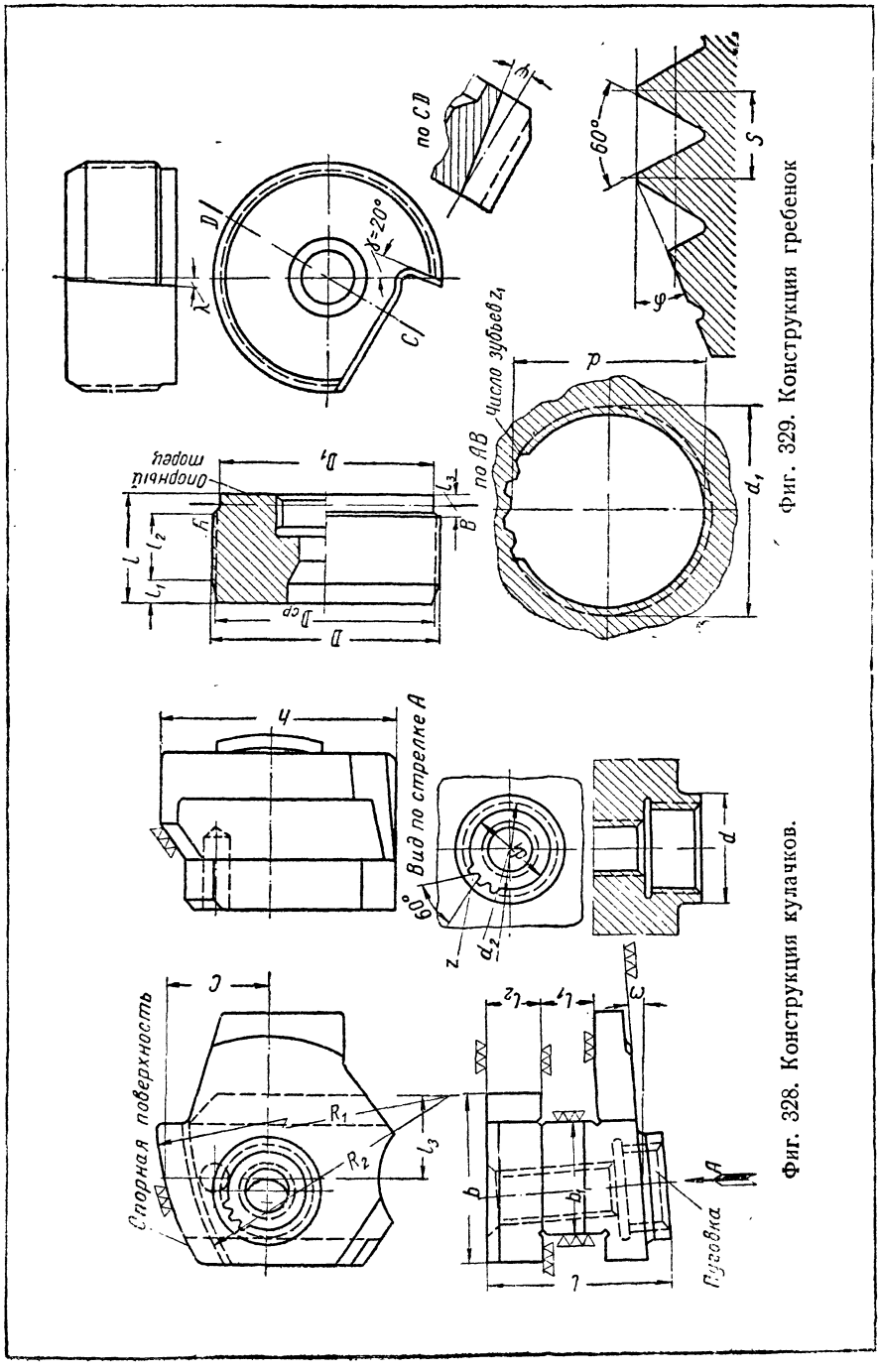
$D_{ср}$ — средний диаметр гребенки;

$d_{ср}$ — средний диаметр резьбы изделия;

m — постоянная величина, зависящая от размера головки.

Величины m и D_1 принимаются у головок завода „Фрезер" следующие:

для головок 1К	m=0,65;	D_1=57
„ „ 2К	m=0,15;	D_1=62
„ „ 3К	m=1,0;	D_1=90
„ „ 4К	m=1,4;	D_1=105



Фиг. 329. Конструкция гребенок

Фиг. 328. Конструкция кулачков.

При конструировании гребенок и кулачков следует использовать приведенные зависимости.

Длина гребенки l выбирается с таким расчетом, чтобы длина калибрующей части l_2 и заборной части l_1 вместе составляла не менее 7—8 шагов резьбы. Диаметр отверстия под винт и диаметр зубчатого отверстия принимаются по стандарту.

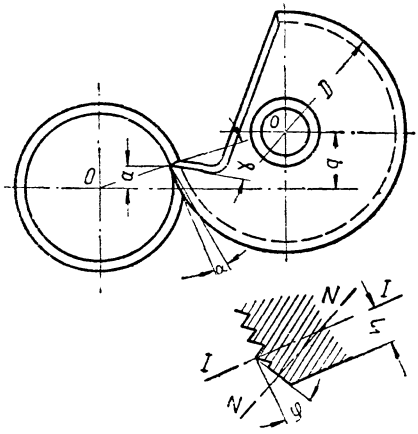
Геометрия гребенки. Угол φ заборной части гребенки принимается обычно равным 20°.

Передний угол γ является важным элементом гребенки. Следует различать передний угол γ в торцевой плоскости (см. фиг. 330) и передний угол γ_n в плоскости NN, перпендикулярной образующей режущей части; последний определяется по формуле [1]

$$\operatorname{tg}\gamma_n = \operatorname{tg}\gamma\cos\varphi - \operatorname{tg}\,(\omega+\lambda)\sin\varphi,$$

где ω — угол наклона опорной плоскости кулачка;

λ — угол наклона передней поверхности гребенки к оси резьбы.



Фиг. 330. Расположение гребенки относительно заготовки.

Задний угол α получается в результате расположения центра гребенки выше центра заготовки на некоторую среднюю величину q (для головок 1К и 2К $q = 1{,}5$ *мм*). На фиг. 330 показано расположение гребенки относительно заготовки в сечении $I-I$, проходящем через первый калибрующий зуб плашки. Задний угол α в этом сечении может быть определен по формуле

$$\sin\alpha = \frac{2(q-a)}{D}.$$

Величина заднего угла α в других сечениях не постоянна по всей длине гребенки.

Гребенки для лучшего отвода стружки и обеспечения работы „самозатягиванием" снабжены углом λ наклона передней грани к оси. При установке гребенки на кулачок к углу λ прибавляется угол ω.

Величины переднего угла γ, сноса a и угла $\lambda_1 = \omega + \lambda$ приведены в табл. 59.

Заточка гребенок. Перед заточкой гребенки должны быть собраны с соответствующими кулачками. Заточка может производиться только в таком собранном виде. Для установки кулачков вместе с гребенками на заточной станок предусмотрено специальное приспособление, показанное на фиг. 331.

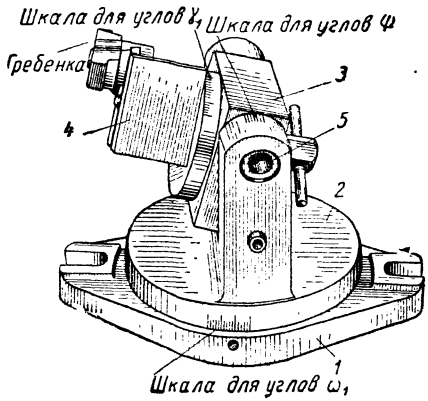
[1] Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

Таблица 59

Значения углов γ и λ_1 и сноса a (по данным завода „Фрезер")

Обрабатываемый материал	Передний угол $\gamma°$	Диаметры резьбы в *мм*						Угол λ_1
		До 8	8—10	11—14	16—20	22—27	30—42	
		Величина a в *мм*						
Алюминий	25							7°
Твердая медь	25	0,03	0,08	0,10	0,15	0,2	0,25	7°
Малоуглеродистая конструкционная сталь .	25							6°30′
Твердые стали . . .	20							6°30′
Хромоникелевые стали	20							6°30′
Молибденовые стали .	20	0,01	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	—
Хромованадиевые стали	20							6°30′
Чугун	10							6°30′
Мягкое железо . . .	20	0,1	0,12	0,14	0,20	0,25	0,30	6°30′

Приспособление состоит из плиты *1*, на которой установлена стойка *2*, имеющая возможность поворачиваться вокруг вертикальной оси. В стойке находится корпус *3*, поворачивающийся вокруг горизонтальной оси *5*. На корпусе *3* установлен плашкодержатель *4*, имеющий возможность поворачиваться относительно корпуса *3*.



Фиг. 331. Приспособление для заточки гребенок.

Корпус *3* устанавливается под некоторым углом ψ (при затачивании гребенок для головок 1К и 2К $\psi = 12°$). Для того чтобы получить на гребенке нужные углы α и λ, необходимо повернуть плашкодержатель на некоторый угол γ_1, отличающийся от угла γ потому, что ось вращения плашкодержателя наклонена к горизонтальной плоскости на угол ψ. Угол γ_1 подсчитывается по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}\gamma_1 = \frac{\operatorname{tg}\gamma\cos\psi}{\cos\omega},$$

где ω — угол наклона опорной плоскости кулачка;

γ — передний угол;

ψ — угол, зависящий от конструкции гребенки.

Одновременно стойку приспособления необходимо повернуть на угол ω_1, определяемый по следующей формуле:

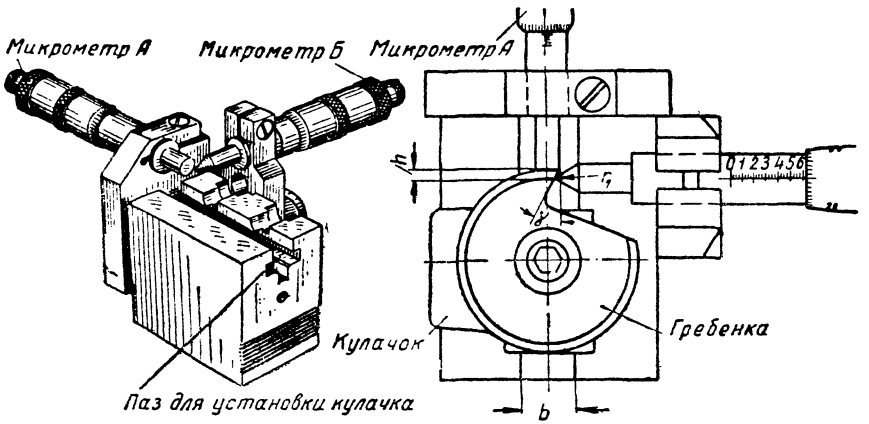
$$\operatorname{tg}\omega_1 = \frac{\operatorname{tg}\lambda_1 \cos\gamma}{\cos\psi} + \sin\gamma \operatorname{tg}\psi,$$

где $\lambda_1 = \lambda + \omega$ и принимается по табл. 59.

Для затачивания режущих гребенок применяются два типа шлифовальных кругов:

а) тарельчатые (ГОСТ 2438-44) твердостью СМ1, зернистостью 46—60;

б) чашечные конические (ГОСТ 2437-44) твердостью М3, зернистостью 46.



Фиг. 332. Приспособление для проверки гребенок после заточки.

Контроль гребенок после затачивания. Для того чтобы все четыре гребенки срезали одинаковые по сечению стружки, необходимо, чтобы углы γ и λ_1 и снос a были одинаковы у всех гребенок. Для проверки правильности заточки гребенок применяется специальное микрометрическое приспособление (фиг. 332). Это приспособление имеет два микрометра, из которых микрометр A упирается в наружный диаметр гребенки, а микрометр $Б$ — в переднюю поверхность. Кулачок с гребенкой устанавливаются в Т-образном пазу. Во время измерения микрометр A отводится от оси микрометра $Б$ на величину h:

$$h = t + (0{,}5 \div 0{,}8) \text{ мм},$$

где t — глубина резьбы.

Величина отсчета по микрометру $Б$ приведена в табл. 60. Показание $K_Б$ микрометра $Б$ будет равно

$$K_Б = \frac{b}{2} + a - h\operatorname{tg}\gamma + r_1 \frac{1-\cos\gamma}{\cos\gamma},$$

где b — ширина паза под кулачок;
h — расстояние от наружного диаметра гребенки до оси микрометра $Б$;
γ — передний угол;
r_1 — радиус закругления конца микрометра $Б$ (обычно 0,5 *мм*).

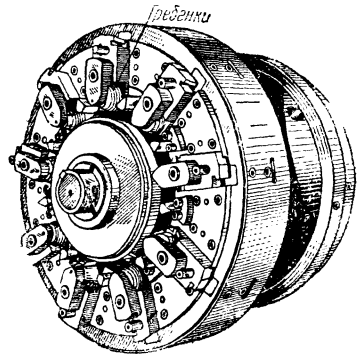
Таблица 60

Величина отсчета $K_Б$ по микрометру $Б$

Обозначение головок	При $\gamma = 15°$	При $\gamma = 20°$	При $\gamma = 25°$
1К и 2К	$6{,}09 + a - 0{,}27h$	$6{,}06 + a - 0{,}36h$	$6{,}09 + a - 0{,}47h$
3К	$7{,}03 + a - 0{,}27h$	$7{,}06 + a - 0{,}36h$	$7{,}09 + a - 0{,}47h$
4К	$8{,}03 + a - 0{,}27h$	$8{,}06 + a - 0{,}36h$	$8{,}09 + a - 0{,}47h$

Промер должен производиться на уровне первого витка калибрующей части (фиг. 330, сечение $I - I$).

Специальные резьбонарезные головки с круглыми гребенками. Кроме описанных резьбонарезных головок для нарезания метрических, дюймовых и трубных резьб в последнее время получили распространение крупные резьбонарезные головки (называемые патронами) с круглыми гребенками для нарезания наружных конических резьб на трубах большого диаметра. На фиг. 333 показан общий вид такого патрона конструкции лауреатов Сталинской премии инженеров Н. С. Дегтяренко, А. И. Либерман и С. П. Карцева.



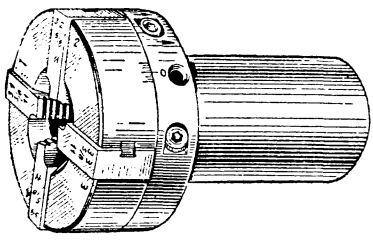
Фиг. 333. Трубонарезной патрон с круглыми гребенками.

Патроны такого типа изготовляются для труб диаметром от $1^1/_2$ до 12″. Количество гребенок в комплекте различное — от 5 до 12. Гребенки при нарезании резьбы постепенно расходятся благодаря специальному механизму, образуя коническую резьбу на трубе. Конструкция гребенок, установка их, заточка аналогичны описанным круглым гребенкам для обычных резьб. Нарезание резьбы патронами производится на специальных станках. Патрон работает как самооткрывающаяся резьбонарезная головка; по окончании нарезания резьбы гребенки расходятся.

Следует отметить, что требования, предъявляемые к чистоте и точности резьбы, а также долговечности инструмента, заставляют промышленность, несмотря на некоторую сложность изготовления круглых гребенок, отказываться от применения как плоских радиальных, так и тангенциальных

плашек. Даже при нарезании крупных конических резьб на трубах новые резьбонарезные патроны с круглыми гребенками вытесняют старые конструкции патронов с плоскими радиальными плашками.

Резьбонарезные регулируемые головки. На фиг. 334 показана регулируемая резьбонарезная головка. Эти головки, так же как и самооткрывающиеся, могут быть с радиальными плоскими плашками, тангенциальными плашками и круглыми гребенками. Регулируемые головки проще в изготовлении, так как механизм для раскрытия плашек у них отсутствует, имеется только механизм для регулировки диаметра резьбы. Нет необходимости подробно разбирать конструкцию этих головок, они аналогичны конструкции самооткрывающихся головок. Производительность при нарезании резьбы такими головками меньше, чем производительность при нарезании самооткрывающимися головками, так как много времени уходит на обратное свинчивание головки после нарезания резьбы. Чистота резьбы вследствие необходимости обратного свинчивания получается также несколько хуже, чем после нарезания самооткрывающимися головками.



Фиг. 334. Регулируемая резьбонарезная головка с радиальными плашками.

Можно рекомендовать применение регулируемых головок в качестве замены круглых плашек. По сравнению с круглыми плашками регулируемые резьбонарезные головки имеют следующие преимущества: а) допускают более высокие режимы резания; б) имеют более высокую стойкость, так как гребенки или плашки в головке изготовляются из быстрорежущей стали: в) обеспечивают получение более чистой резьбы.

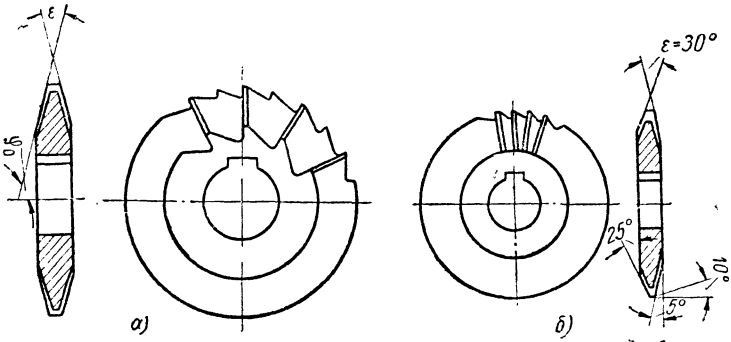
РЕЗЬБОВЫЕ ФРЕЗЫ

В промышленности широко применяется способ получения резьбы путем фрезерования резьбовыми фрезами. Фрезы разделяются на два основных типа: 1) дисковые или однониточные и 2) цилиндрические гребенчатые (многониточные фрезы).

Дисковые резьбовые фрезы. Дисковые резьбовые фрезы применяются при нарезании длинных резьб в основном трапецоидального профиля на различных ходовых винтах и червяках; нарезание остроугольных резьб производится редко. Благодаря вибрациям, сопровождающим процесс фрезерования резьбы, а также местным нагревам и искажениям, получаемым в профиле резьбы, фрезерование применяется только как предварительный метод обработки резьб ходовых винтов. После фрезерования обычно производится чистовое нарезание резьбы резцом или шлифование профильчым кругом.

На фиг. 335 показана дисковая резьбовая фреза двух видов: с симметричным профилем (фиг. 335, *а*) и с несимметричным профилем (фиг. 335, *б*). Применение фрез с симметричным или несимметричным

профилем вызывается конструкцией резьбофрезерного станка. При симметричном профиле приходится делать больший диаметр фрезы, чем

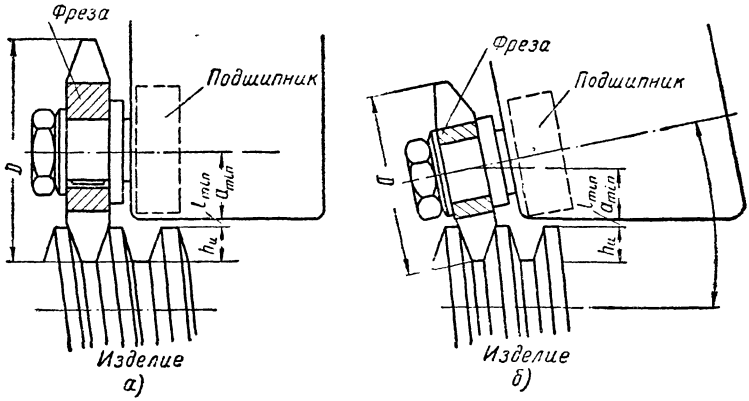


Фиг. 335. Дисковые фрезы для трапецоидальной резьбы:
а — с симметричным профилем; *б* — с несимметричным профилем.

при несимметричном профиле. Диаметр фрезы с симметричным или несимметричным профилем определяется приближенно по формуле (фиг. 336)

$$D \approx 2\ (h_u + l_{\min} + a_{\min}).$$

Как видно из фиг. 336, *а*, у фрезы с симметричным профилем размер $a_{\min}$ вызван необходимостью размещения в шпиндельной головке под-



Фиг. 336. Определение диаметра фрезы при симметричном (*а*) и несимметричном (*б*) профиле.

шипников шпинделя и передающего механизма. В конструкции станка для фрез с несимметричным профилем (фиг. 336, *б*) благодаря наклону шпинделя появляется возможность при тех же габаритах подшипников уменьшить $a_{\min}$, а следовательно, и диаметр фрез.

Ось дисковой резьбовой фрезы устанавливается под углом τ подъема резьбы по отношению к оси нарезаемого винта (фиг. 337). Если профиль

винта дан в осевом сечении, то профиль фрезы должен быть скорректирован с учетом угла подъема резьбы. Кроме того, профиль фрезы должен быть криволинейный. При небольших углах подъема резьбы (меньше 10°) этими условиями обычно пренебрегают и делают фрезы с прямолинейным профилем, но с корректированным углом ε_1 профиля.

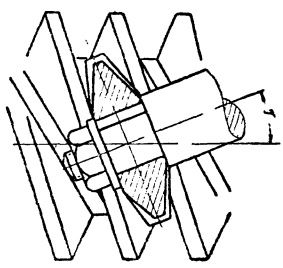
В этом случае угол профиля определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\varepsilon_1 = \operatorname{tg}\varepsilon\cos\tau,$$

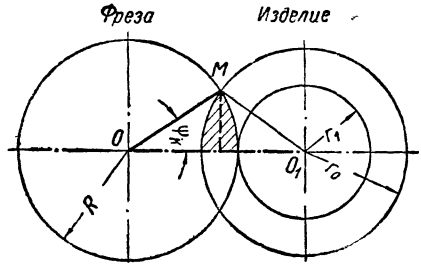
где τ — угол подъема резьбы; ε — угол профиля изделия.

Дисковые резьбовые фрезы для трапецоидальных резьб делаются с остроконечными зубьями. Наружный диаметр и диаметр отверстия фрезы определяются условиями использования фрезы на определенном резьбофрезерном станке.

Число зубьев фрезы определяется из условий равномерного фрезерования. Для этого сначала находим угол контакта $\psi_к$ фрезы. Из



Фиг. 337. Установка дисковой фрезы относительно изделия.



Фиг. 338. Схема расположения фрезы и изделия.

фиг. 338, на которой показано схематическое расположение фрезы и изделия, следует, что для определения угла $\psi_к$ необходимо решить косоугольный треугольник OMO_1, в котором известны три стороны: $MO = R$, $MO_1 = r_0$ и $OO_1 = r_1 + R$.

Из формулы косоугольного треугольника следует

$$r_0^2 = (R + r_1)^2 + R^2 - 2(R + r_1)R\cos\psi_к .$$

После преобразования получим

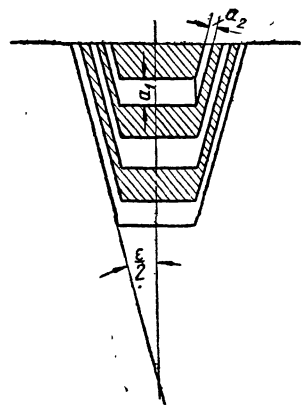
$$\cos\psi_к = 1 - \frac{r_0^2 - r_1^2}{2R(R + r_1)}.$$

Число одновременно работающих зубьев ξ фрезы равно углу контакта $\psi_к$, поделенному на центральный угол $\left(\frac{360°}{z}\right)$ между зубьями фрезы, т. е.

$$\xi = \frac{\psi_к \cdot z}{360}.$$

Для обеспечения условий равномерного фрезерования необходимо, чтобы в работе одновременно участвовало не менее двух зубьев фрезы.

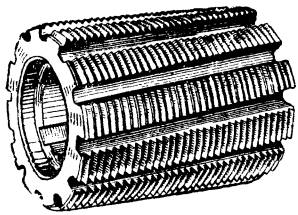
На фиг. 339 показана схема срезания материала впадины. Если вершинами зубьев фрезы срезается стружка толщиной a_1, то боковые стороны профиля срезают стружку, значительно более тонкую, толщиной $a_2 = a_1 \sin\frac{\varepsilon}{2}$. Тонкие стружки срезать менее выгодно, чем толстые, поэтому фрезы конструируют с попеременно срезанными зубьями, благодаря чему стружка с боковой стороны срезается не каждым зубом фрезы, а через зуб, и толщина ее увеличивается вдвое, т. е. $a_2 = 2 \cdot a_1 \sin\frac{\varepsilon}{2}$. Такие фрезы работают значительно лучше и требуют меньшей затраты энергии, так как удельное усилие резания уменьшается с увеличением толщины стружки.

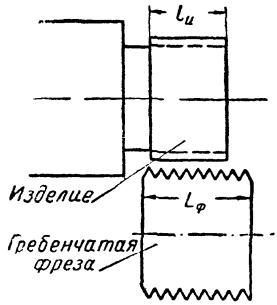


Фиг. 339. Схема срезания материала впадины.

Элементы зуба фрезы — угол зуба η, угол рабочей фрезы ϑ и др. — определяются так же, как для угловых фрез с остроконечными зубьями (см. главу „Фрезы"). У фрезы делается один контрольный зуб, имеющий две боковые стороны. Профиль контрольного зуба проверяется по шаблону.

Гребенчатые резьбовые фрезы для цилиндрических резьб. При фрезеровании остроугольных резьб небольшой длины с небольшим шагом и небольшим углом подъема резьбы можно применять гребенчатые (многониточные) резьбовые фрезы. Процесс фрезерования резьбы такой фрезой происходит за один оборот заготовки, причем для образования винтовой линии резьбы фреза перемещается за это время вдоль оси на


Фиг. 340. Резьбовая гребенчатая фреза.



Фиг. 341. Определение длины фрезы.

один шаг. Резьбовые гребенчатые фрезы изготовляются как насадные, так и концевые. Размеры насадных и концевых фрез для метрических и дюймовых резьб приводятся в ГОСТ 1336-47. На фиг. 340 показана насадная гребенчатая фреза с затылованными зубьями и кольцевой резьбой. Канавки фрез делаются как прямые, так и винтовые с небольшим углом наклона. Фрезы с винтовыми канавками работают более плавно, но изготовление их значительно сложнее.

Определение основных конструктивных элементов гребенчатой фрезы. Диаметр фрезы выбирается по ГОСТ 1336-47. Если фреза предназначена для фрезерования резьбы в отверстии, то диаметр фрезы должен быть не более 0,9 внутреннего диаметра нарезаемой резьбы. При небольших диаметрах резьбы приходится пользоваться концевыми фрезами для нарезания внутренних резьб.

Длина фрезы $L_ф$ в стандарте не задается и зависит от длины нарезаемой резьбы изделия $l_и$ (фиг. 341):

$$L_ф = l_и + (2 \div 3) S,$$

где S — шаг резьбы в *мм*.

Подсчитанная длина округляется в большую сторону до ближайшей большей длины, рекомендуемой по ГОСТ 1336-47.

Для каждого определенного наружного диаметра фрезы по стандарту дается соответствующий диаметр отверстия:

Диаметр фрезы в *мм*	45	55	65	80	90
Диаметр отверстия в *мм* . .	16	22	27	32	32

Концевые фрезы должны иметь соответствующий конусный хвостовик. В целях экономии быстрорежущей стали хвостовик изготовляется из конструкционной углеродистой стали и приваривается.

В целях более спокойной работы фрезы выбирают максимально допустимое число зубьев. Но, как для всяких затылованных фрез, при увеличении числа зубьев уменьшается пространство для выхода затыловочного резца или шлифовального круга. Поэтому рекомендуется принимать число зубьев по практическим данным. Для облегчения промеров число зубьев всегда принимается четным.

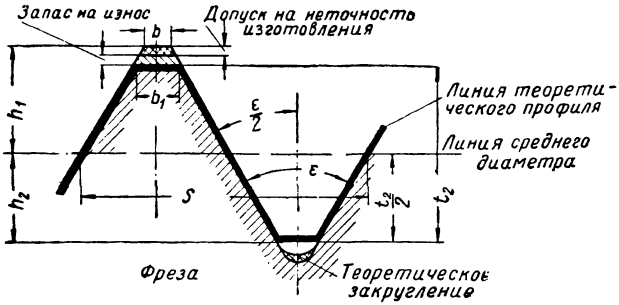
Диаметр фрезы в *мм*	15	20	25	30	35	40	45	55	65	80	90
Число зубьев . .	6	8	8	8	10	10	10—12	12—14	14—16	16—18	16—18

Элементы затылованного зуба и канавки выбираются исходя из тех же соображений, что и для обычных затылованных фрез (см. стр. 295). Так как высота профиля метрической и дюймовой резьбы незначительна, то можно брать канавку более широкую, чем обычно. Угол ϑ делается в пределах 30—45°; радиус закругления $r = 2{,}5 \div 4{,}5$ *мм*. Величина затылования K выбирается из расчета получения заднего угла в пределах 8—12°.

У фрез с нешлифованным профилем следует задний угол брать наибольшим. У фрез со шлифованным профилем приходится задний угол брать меньшим с тем, чтобы шлифовальный круг при затыловании не врезался в следующий зуб фрезы. Фрезы со шлифованным профилем должны иметь двойной затылованный зуб; отношение $\frac{K_1}{K}$ принимается в пределах 1,2—1,5 (см. стр. 295).

Размеры профиля фрезы определяются по заданному профилю резьбы (фиг. 342). Так как во всех резьбах профиль гайки в точности соответствует перевернутому профилю болта, то профиль резьбовой **фрезы для гайки и болта должен быть один и тот же.**

Вершина резьбы на фрезе изнашивается быстрее боковых сторон профиля[1], поэтому по вершинам дается запас на износ. Но с увеличением этого запаса уменьшается площадка b резьбы, затрудняется изготовление фрезы и снижается ее стойкость. Минимальную площадку b принимают равной $^3/_4$ площадки b_1 теоретического профиля резьбы. Для удобства контроля размеры профиля резьбы задаются от линии



Фиг. 342. Схема расположения допусков на профиль фрезы.

среднего диаметра. Размеры h_1 и h_2 для метрической и дюймовой резьбы приводятся в ГОСТ 1336-47.

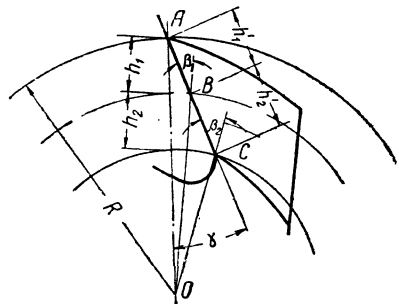
Угол профиля фрезы и размеры профиля h_1 и h_2 при наличии переднего угла γ следует корректировать. Передний угол γ больше нуля позволяет улучшить условия работы, поэтому рекомендуется делать фрезы с углом γ от 5 до 10° (в зависимости от обрабатываемого материала). Необходимое при этом корректирование угла профиля фрезы можно производить по следующим формулам (фиг. 343).

Размеры h_1' и h_2' профиля фрезы (по передней грани) определяются по формулам:

$$h_1' = \frac{(R - h_1)\sin(\beta_1 - \gamma)}{\sin\gamma}$$

и

$$h_2' = \frac{[R - (h_1 + h_2)]\sin(\beta_2 - \beta_1)}{\sin\beta_1}.$$



Фиг. 343. Расчет корректирования профиля при переднем угле γ.

Входящие в эти формулы углы β_1 и β_2 определяем из треугольников AOB и AOC:

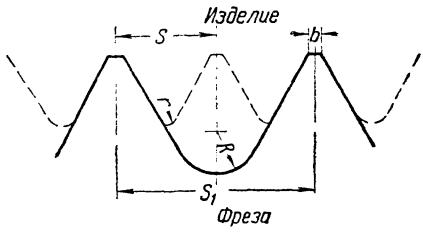
$$\sin\beta_1 = \frac{R\sin\gamma}{R - h_1};\quad \sin\beta_2 = \frac{R\sin\gamma}{R - (h_1 + h_2)}.$$

[1] И. И. Семенченко, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

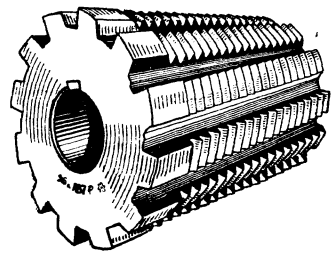
Корректированный угол профиля ε_ϕ фрезы определяем по формуле

$$\operatorname{tg}\frac{\varepsilon_\phi}{2} = \operatorname{tg}\frac{\varepsilon_u}{2}\,\frac{(h_1 + h_2)\sin\gamma}{[R - (h_1 + h_2)]\sin(\beta_2 - \gamma)}.$$

Допуски на резьбовые фрезы даются в ГОСТ 1336-47. Фрезы изготовляются двух степеней точности: фрезы степени точности Е со шлифованным профилем и фрезы степени точности Н, профиль резьбы которых или не шлифуется, или шлифуется широким многониточным кругом.



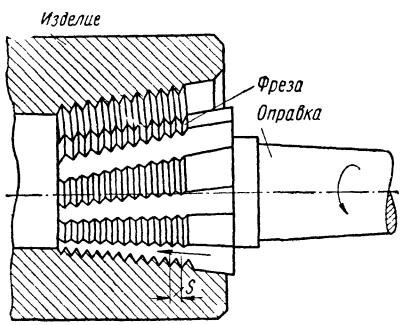
Фиг. 344. Профиль фрезы с удвоенным шагом.



Фиг. 345. Резьбовая фреза для конической резьбы.

Некоторые специальные конструкции резьбовых гребенчатых фрез. Для фрезерования резьб с мелким шагом применяются специальные фрезы с удвоенным шагом и измененным профилем резьбы.

На фиг. 344 пунктирной линией показан профиль обычной резьбовой фрезы. Если шаг резьбы небольшой, то чрезвычайно трудно шлифовальным кругом получить маленький радиус r во впадине профиля фрезы, так как вершина резьбошлифовального круга осыпается. Применение твердых мелкозернистых кругов хотя и дает возможность обеспечить малый радиус во впадине, но малопроизводительно. Поэтому для резьб с мелким шагом широкое распространение получили фрезы, профиль которых выполнен с удвоенным шагом $S_1 = 2S$, но со смещенной (на величину шага S) резьбой на соседних зубьях. Благодаря такой конструкции легче обработать впадину резьбы у фрезы, так как при этом нет необходимости выдерживать маленький радиус во впадине. При работе таких фрез нагрузка на зуб увеличивается, а поэтому подачу на зуб приходится брать меньше.



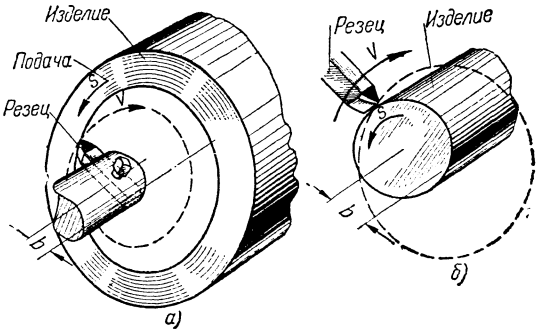
Фиг. 346. Фрезерование конической резьбы.

Резьбовые фрезы для конических резьб. Резьбовые гребенчатые фрезы применяются также и для фрезерования конических резьб. На фиг. 345 показана насадная резьбовая фреза для фрезерова-

ния конической резьбы бурильных замков. Отличительными особенностями конструкции таких фрез являются винтовые канавки постоянного шага, выполненные на конической поверхности фрезы. Канавки приходится делать уширяющимися по направлению к большему диаметру фрезы.

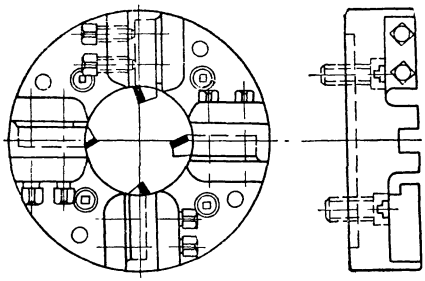
При нарезании резьбы фреза вращается и, кроме того, за каждый оборот изделия она перемещается на один шаг (фиг. 346). Перемещение фрезы должно происходить по направлению образующей конуса, как показано стрелкой на фиг. 346. Получающаяся на детали коническая резьба будет иметь переменный угол подъема.

Резьбовые фрезы для специальных резьб. На практике часто встречается необходимость обработки различных зубчатых гребенчатых профилей, например, фрезерование зубьев напильников, ножовок и т. д. Для этой цели применяются специальные резьбовые фрезы. Если профиль очень острый, применяются фрезы с удвоенным шагом.



Фиг. 347. Скоростной (вихревой) метод нарезания резьбы.

Скоростное нарезание резьбы вращающимися резцовыми головками[1]. Разновидностью фрезерования резьбы можно считать способ скоростного нарезания резьбы специальной вращающейся резцовой головкой. Схема нарезания резьбы в отверстии (диаметром более 50 *мм*) показана на фиг. 347, *а*, наружной резьбы — на фиг. 347, *б*.



Фиг. 348. Резцовая головка для нарезания наружной резьбы.

Скоростное нарезание резьбы производится на токарных станках, оснащенных специальными приспособлениями, или на специальных станках, предназначенных для скоростного нарезания резьбы. Твердосплавной резец (один или несколько), укрепленный в быстровращающемся корпусе головки, подводится к изделию, врезается на полную глубину, и затем включается вращение изделия. Как видно из фиг. 347, ось резцовой головки смещена относительно оси изделия на некоторую величину *b*. Благодаря этому резец в течение одного оборота изделия

[1] Б. Г. Левин и А. М. Фраткин, Скоростной метод нарезания резьбы, Машгиз, 1948.

соприкасается с ним не по всей окружности, а только на небольшой ее части, срезая при этом тонкие стружки. За время одного оборота изделия резцовая головка должна переместиться вдоль оси изделия на один шаг резьбы.

Резцовая головка по принципу работы напоминает резьбовую фрезу с твердосплавными лезвиями.

При таком способе нарезания резьбы благодаря применению твердого сплава скорость резания можно давать очень высокую: при обработке конструкционных и легированных сталей $v = 150 \div 300$ *м/мин*; при обработке цветных сплавов $v = 150 \div 450$ *м/мин*; при обработке чугуна $v = 150 \div 300$ *м/мин*.

Благодаря высокой скорости резания машинное время при скоростном нарезании резьбы сокращается в 3—6 раз по сравнению с обычным фрезерованием резьбы.

На фиг. 348 показана резцовая головка для скоростного нарезания наружной резьбы. В гнезда резцовой головки вставляются четыре резца, оснащенные пластинками твердого сплава. Для стали рекомендуется применение твердого сплава марки Т15К6.

Для точной установки отдельно заточенных и доведенных резцов можно применять специальные установочные шаблоны, позволяющие точно установить все четыре резца. При вращении головки резцы не должны давать радиального или осевого биения более 0,02 *мм*. Резцовая головка позволяет нарезать резьбу 2—3-го класса точности.

Метод скоростного нарезания резьбы еще мало изучен, но он дает возможность получать высокую производительность и высокую точность резьбы, поэтому должен внедряться в производство.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ РЕЗЬБЫ

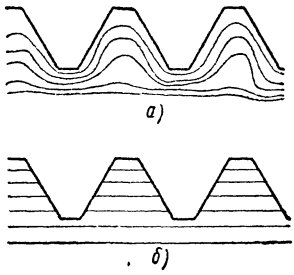
Основные понятия. Мы рассмотрели основные режущие инструменты для обработки резьбы. Перейдем к описанию инструментов для накатывания резьбы.

При накатывании процесс формирования резьбы происходит без снятия стружки: резьба плашки или ролика вдавливается в металл, благодаря чему наружные слои металла деформируются и принимают форму резьбы. Процесс накатывания таким образом представляет собой процесс пластических деформаций. Поэтому накатные плашки и ролики по принципу их действия нельзя отнести к режущим инструментам.

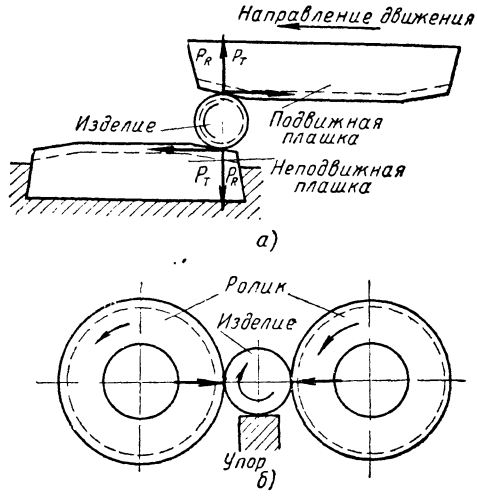
На фиг. 349 показано (для сравнения) расположение волокон металла в накатанной (*а*) и нарезанной (*б*) заготовках болта. При накатывании волокна металла деформируются, но не перерезаются, поэтому прочность накатанных деталей несколько выше, чем прочность нарезанных деталей. По данным инж. А. П. Губина прочность на разрыв увеличивается на 20—30% и на срез — на 5%.

В зависимости от конструкции инструмента существует несколько способов накатывания резьбы. Основными из них являются: 1) способ накатывания резьбы плоскими накатными плашками (фиг. 350, *а*) и 2) способ накатывания резьбы накатными роликами (фиг. 350, *б*).

Плоские накатные плашки. При накатывании резьбы плашками одна из них укрепляется в неподвижном гнезде станка, другая движется вместе с ползуном станка (фиг. 350, *а*). На рабочих сторонах плашек нанесены под углом подъема резьбы резьбовые нитки, которые для образования резьбы болта смещены на половину шага резьбы у подвижной плашки относительно неподвижной.



Фиг. 349. Расположение волокон у накатанного болта (*а*) и у нарезанного болта (*б*).

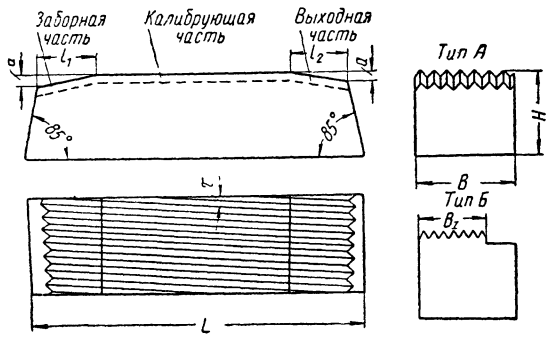


Фиг. 350. Способы накатывания резьбы: *а* — плоскими накатными плашками; *б* — накатными роликами.

При накатывании резьбы плоскими плашками возникают радиальные усилия P_R, стремящиеся раздвинуть плашки, и касательные усилия P_T, преодолеваемые механизмом станка. Величины этих усилий различны и зависят от шага и профиля накатываемой резьбы, а также от свойств обрабатываемого материала.

На фиг. 351 показана накатная плоская плашка для накатывания резьб. Размеры таких плашек рекомендуются ГОСТ 2248-43.

Основными частями плашки являются: а) заборная часть, б) калибрующая часть и в) выходная часть.



Фиг. 351. Накатная плоская плашка (основные элементы).

Конструктивные элементы плашки: 1) длина подвижной плашки — $L_{пд}$; 2) длина неподвижной плашки — $L_{кп}$; 3) угол подъема нитки — τ; 4) длина заборной части — l_1; 5) длина выходной части — l_2; 6) глубина захвата — a; 7) ширина плашки — B; 8) высота плашки — H; 9) профиль резьбы.

Длины подвижной и неподвижной плашек определяются в основном размерами гнезда в станке. Существуют выработанные практикой минимальные длины плашек в зависимости от среднего диаметра нарезаемой резьбы:

$$L_{пд} = k_1 \cdot d_{ср},$$

где k_1 — коэфициент, равный 18—22;

$$L_{нп} = k_2 \cdot d_{ср},$$

где k_2 — коэфициент, равный 16—20.

Из формул следует, что длина подвижной плашки несколько больше длины неподвижной плашки. Это делается в целях освобождения накатанной детали в конце хода плашки; этим же устраняется возможное затягивание детали при обратном ходе станка.

Угол подъема нитки τ. При накатывании резьбы важно, чтобы угол подъема нитки у обеих плашек в комплекте был одинаков и в точности соответствовал углу подъема накатываемой резьбы.

Угол τ определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{S}{\pi d_{ср}},$$

где S — шаг резьбы в *мм*;

$d_{ср}$ — средний диаметр резьбы в *мм*.

Допускаемые отклонения от расчетного угла не должны превышать $\pm 1'$.

Длина l_1 и глубина захвата a заборной части плашки. Заборная часть плашки служит для профилирования резьбы на изделии путем постепенного вдавливания резьбы плашки в материал заготовки.

Прежде чем определить необходимую длину и угол заборной части, представим себе схему образования резьбы. Заготовка, попадая между плашками, захватывается ими и поворачивается: резьба плашек постепенно вдавливается в материал заготовки. Этот материал течет и заполняет впадины резьбы плашки, образуя вершины резьбы изделия.

Интенсивность процесса вдавливания резьбы плашки в материал зависит от длины заборной части плашки. Чем короче заборная часть, тем быстрее должен происходить процесс вдавливания резьбы плашки в материал.

Часто заборная часть делается только на неподвижной плашке, подвижная же плашка заборной части не имеет (так рекомендуется, например, по ГОСТ 2248-43).

Чем длиннее заборная часть плашки, тем более благоприятные условия создаются для получения точного среднего диаметра резьбы. Обычно при накатывании плашками с короткой заборной частью появляется эллиптичность. В тех случаях, когда резьба глубокая и шаг резьбы большой, сделать очень длинную заборную часть невозможно. Поэтому для образования полного профиля глубокой резьбы изделия приходится прибегать к двум проходам.

Приведем рекомендуемые данные по длине заборной части l_1, величине захвата a и длине выходной части l_2 накатных плашек.

Источник	Подвижная плашка			Неподвижная плашка		
	l_1	a	l_2	l_1	a	l_2
ГОСТ 2248-43 . .	—	—	—	$1{,}1\,\pi \cdot d_{cp}$	$1{,}2\,t$	$l_2 = l_1$

Выбор ширины плашки. Ширина плашки B зависит от длины резьбовой части изделия и должна быть согласована с размером гнезда (под плашку) на станке. Если на одном и том же станке приходится накатывать длинные резьбы с крупным шагом и короткие резьбы с мелким шагом, то ширина плашки должна быть выбрана из расчета накатывания длинной резьбы с крупным шагом. Плашка в этом случае выполняется по типу А (фиг. 351).

Для короткой резьбы с мелким шагом в целях облегчения обработки резьбовой части плашки последнюю следует выполнять по типу Б (фиг. 351), т. е. с уменьшенной шириной B_1.

Толщина плашки. При определении толщины H необходимо учитывать не только прочность плашки, но и запас на ее восстановление.

Восстановление плашек производится путем их отжига и повторного фрезерования резьбовой части. Практически принимается следующая толщина плашек (по данным справочника „Машиностроение"):

$$H = (7 \div 4)\, d_0 \text{ для резьб диаметром от 3,5 до 6 } мм$$

и

$$H = (3 \div 2)\, d_0 \text{ для резьб диаметром от 14 до 24 } мм,$$

где d_0 — наружный диаметр резьбы.

Профиль резьбы и допуски на плашки. Размеры профиля резьбы плашки принимаются по ГОСТ 2248-43.

В зависимости от назначения плашек — для накатки обычных болтов и винтов или для накатки точной резьбы метчиков — устанавливаются различные допуски на основные элементы плашек. У плашек для накатки болтов допуск на шаг резьбы берется $\pm 0{,}03$ *мм* на 25 *мм* длины резьбы.

Допуск на половину угла профиля резьбы устанавливается следующий:

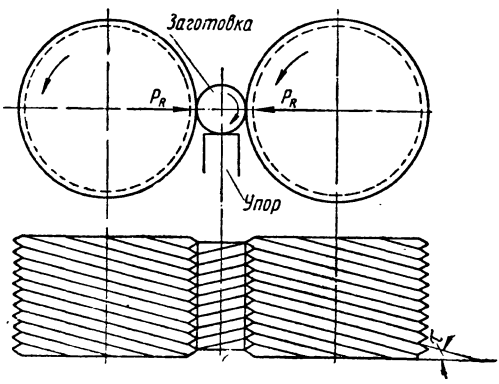
Шаг резьбы в *мм*	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
Допуск в мин. . .	±55	±50	±45	±40	±40	±35	±35	±30	±30	±25	±20	±20	±20

Отклонение тангенса угла τ допускается в пределах $\pm 0{,}02$ *мм* на 100 *мм* длины.

Размеры профиля резьбы устанавливаются аналогично размерам профиля резьбовых фрез; резьба плашек должна быть доведена или шлифована.

Материал накатных плашек — сталь Х12М или Х12АФ, твердость должна быть в пределах $H_{R_C} = 58 \div 60$.

Накатные ролики. Накатывание резьбы роликами производится на специальных накатных станках. Ролики устанавливаются на шпинделях станка, имеющих параллельные оси. Ролики вращаются в одну сторону и постепенно сближаются. Резьба, нанесенная на наружной поверхности роликов, под действием радиальных усилий P_R вдавливается в заготовку (фиг. 352). В процессе накатывания заготовка, помещенная между роликами, поддерживается специальным упором.



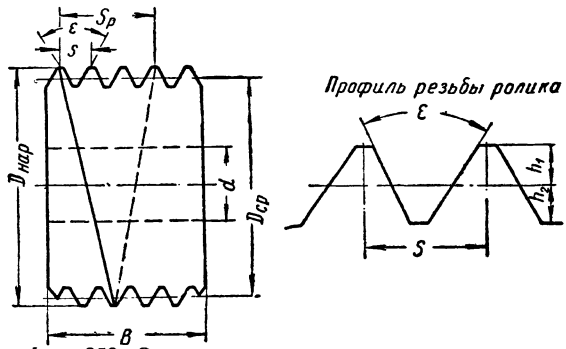
Фиг. 352. Схема накатывания резьбы роликами.

Накатывание резьбы роликами по сравнению с накатыванием плоскими плашками имеет ряд преимуществ.

1. При накатывании плоскими плашками время вдавливания зависит от длины их заборной части и практически не может быть изменено. У накатных роликов время вдавливания зависит от окружной скорости вращения роликов и скорости их сближения. Тот и другой факторы легко поддаются регулировке, благодаря чему, подобрав соответствующие режимы, можно накатывать резьбу даже на твердых малопластичных материалах, например, на быстрорежущей стали.

2. Изготовление роликов на резьбошлифовальных станках обеспечивает получение на них точной резьбы.

3. Усилия при накатывании, зависящие от интенсивности накатывания, могут быть (по сравнению с плоскими плашками) значительно снижены и благодаря этому имеется возможность накатывать даже тонкостенные трубки без риска раздавить их.



Фиг. 353. Основные элементы накатного ролика

Недостаток роликов по сравнению с плоскими плашками — пониженная производительность и повышенная стоимость. Поэтому ролики находят применение при накатывании более точных резьб, а плашки — при накатывании менее точных резьб на крепежных деталях.

Конструкция и расчет накатных роликов. Основные элементы ролика, подлежащие расчету (фиг. 353): 1) число заходов резьбы ролика n и ход резьбы S_p; 2) средний диаметр ролика $D_{ср}$;

3) элементы профиля резьбы: шаг S, угол профиля ε, высота головки h_1 и высота ножки h_2; 4) диаметр отверстия d; 5) ширина ролика B; 6) наружный диаметр ролика $D_{нар}$.

Число заходов ролика и ход резьбы. Основным условием при расчете резьбонакатных роликов является равенство углов подъема резьбы изделия и ролика. Так как диаметры накатных роликов делаются в несколько раз больше, чем диаметры накатываемых изделий, то для выполнения основного условия необходимо, чтобы резьба на ролике была многозаходной.

Угол подъема τ (у болта) можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\tau = \frac{S}{\pi d_{ср}},$$

где S — шаг резьбы болта;

$d_{ср}$ — средний диаметр болта.

Угол подъема $\tau_р$ (у ролика) можно определить по той же формуле

$$\operatorname{tg}\tau_р = \frac{S_р}{\pi D_{ср}},$$

где $S_р$ — ход резьбы ролика;

$D_{ср}$ — средний диаметр ролика.

Приравняв эти выражения, обеспечим основное условие накатывания

$$\frac{S}{\pi d_{ср}} = \frac{S_р}{\pi D_{ср}}.$$

После преобразования получим

$$\frac{S_р}{S} = \frac{\pi D_{ср}}{\pi d_{ср}}.$$

Сократив, получим

$$\frac{S_р}{S} = \frac{D_{ср}}{d_{ср}}.$$

Поскольку резьба многозаходная, то $\frac{S_р}{S} = n$, а следовательно,

$$\frac{D_{ср}}{d_{ср}} = n,$$

т. е. *отношение среднего диаметра резьбы ролика к среднему диаметру резьбы болта должно быть целым числом и должно равняться числу заходов резьбы ролика.*

Средний диаметр ролика $D_{ср}$. Для определения среднего диаметра ролика $D_{ср}$ необходимо знать допустимые диаметры роликов на данном станке. Эти сведения можно взять из паспорта накатного станка. Зная паспортное значение допустимого наружного диаметра $D_д$ ролика, определим предварительно средний диаметр ролика

$$D_{ср} \approx (D_д - t),$$

где t — глубина резьбы. Затем по формуле $\frac{D_{ср}}{d_{ср}} = n$ подсчитаем число заходов n.

Число заходов должно быть целым числом, поэтому округлим полученное значение n до целого числа n_p и снова подсчитаем средний диаметр ролика

$$D_{ср.\,расчетн} = n_p \cdot d_{ср}.$$

Расчетный средний диаметр ролика в чертеж не вносится, так как следует учитывать запас на перешлифование резьбы ролика. По практическим данным допускаемые отклонения среднего диаметра не должны превышать $\pm 0{,}0175 D_{ср.\,расчетн}$.

Таким образом для новых роликов

$$D_{ср.\,нов} = 1{,}0175\, D_{ср.\,расчетн}.$$

Для изношенных роликов

$$D_{ср.\,изн} = 0{,}9825\, D_{ср.\,расчетн}.$$

В чертеже роликов указываются средний диаметр нового ролика и средний диаметр изношенного ролика.

Угол подъема резьбы ролика τ_p при расчетном значении среднего диаметра резьбы ролика $D_{ср.\,расчетн}$ соответствует углу подъема τ резьбы накатываемого изделия.

Так как средний диаметр нового и изношенного ролика изменяется, то изменяется и угол τ_p подъема резьбы ролика, но эти изменения настолько незначительны (≈ 3—5 мин.), что ими на практике пренебрегают.

При установлении допуска на средний диаметр резьбы ролика исходят из того условия, что отклонения среднего диаметра в пределах $\pm 0{,}0175 D_{ср}$ оказывают малое влияние на изменения угла подъема резьбы и связанное с этим искажение профиля резьбы. Однако в комплекте разность средних диаметров у двух роликов не должна превышать 0,05 *мм*. Превышение указанного допуска дает практически ощутимую разницу в величине окружной скорости двух накатывающих роликов, что и приводит к проскальзыванию детали в процессе накатывания резьбы и искажению элементов профиля резьбы. Поэтому устанавливается допуск нового ролика в комплекте, равный 0,03—0,05 *мм*.

Наружный диаметр резьбы роликов — $D_{нар}$. Определив значение среднего диаметра $D_{ср.\,нов}$ резьбы нового ролика, находим наружный диаметр $D_{нар}$ резьбы ролика:

$$D_{нар} = D_{ср.\,нов} + 2h_1,$$

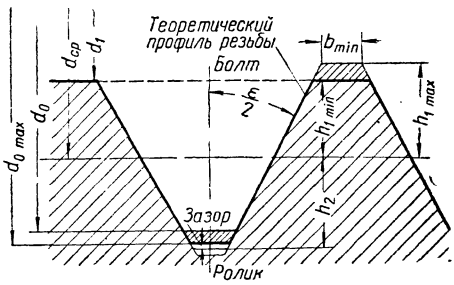
где h_1 — высота головки резьбы ролика. Отклонения наружного диаметра резьбы ролика в довольно значительных пределах, как показала практика накатывания, мало отражаются на качестве накатываемой резьбы. Это позволяет назначить допуск на наружный диаметр $D_{нар}$ ролика в пределах четвертого класса точности C_4.

Ширина ролика. Ширина ролика B должна быть больше длины l_0 накатанной части изделия на 2—3 шага резьбы. Следовательно,

$$B = l_0 + (2 \div 3) S.$$

Диаметр d отверстия ролика принимается по размеру шпинделя станка. Для обеспечения точного вращения допуски на внутренний диаметр d принимаются по 1-му классу точности. Отверстие в ролике должно быть снабжено шпоночной канавкой (по размерам шпонки на шпинделе станка).

Элементы профиля резьбы. На фиг. 354 показаны элементы профиля резьбы накатного ролика (заштрихован) и профиля резьбы изделия. Элементы профиля резьбы роликов для накатки и допуска на них можно принимать аналогично плоским накатным плашкам по ГОСТ 2248-43. Если ролик рассчитывается для накатки специальной резьбы, например, для накатки резьбы метчиков, то расчет производится в следующем порядке.



Фиг. 354. Определение элементов профиля резьбы ролика.

Наименьшая высота $h_{1\,min}$ головки резьбы ролика подсчитывается по формуле

$$h_{1\,min} = \frac{d_{ср\,min} - d_{1\,max}}{2} + \Delta u,$$

где

$d_{ср\,min}$ — наименьший средний диаметр резьбы изделия;

$d_{1\,max}$ — наибольший внутренний диаметр резьбы изделия.

Δu — запас на износ (от 0,02 до 0,06 *мм*).

Наибольшая высота $h_{1\,max}$ устанавливается такой, чтобы наименьшая площадка b_{min} на вершинах резьбы изделия была не меньше 0,75 от площадки теоретического профиля.

Высота h_2 ножки резьбы ролика должна быть больше высоты головки резьбы накатываемого изделия на величину некоторого зазора. Наличие такого зазора весьма важно для получения резьбы повышенной точности, так как практически доказано, что отсутствие зазора по внутреннему диаметру резьбы ролика ведет к бочкообразности и овальности резьбы на детали.

Для обеспечения минимально необходимого зазора расчет высоты $h_{2\,min}$ ножки резьбы ролика производится по формуле

$$h_{2\,min} = \frac{d_{0\,max} - d_{ср\,min}}{2} + \Delta,$$

где $d_{0\,max}$ — наибольший наружный диаметр накатываемого изделия;

$d_{ср\,min}$ — наименьший средний диаметр накатываемого изделия;

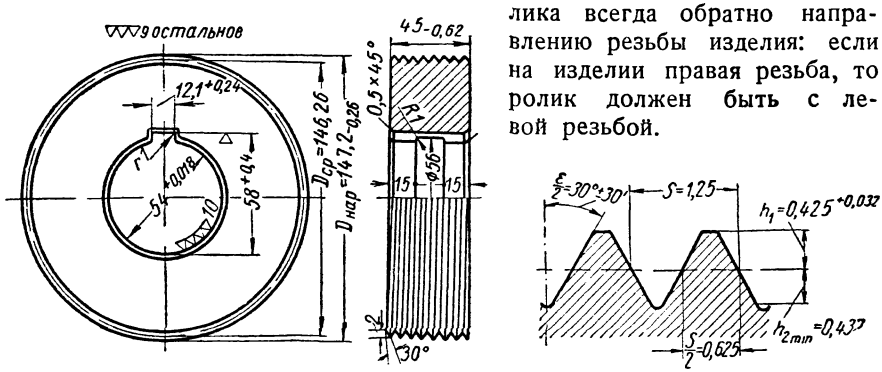
Δ — зазор, равный 0,01—0,02 *мм*.

Угол ε профиля резьбы. Допуск на половину угла ε профиля резьбы резьбонакатных роликов для накатывания шпилек принимаем равным допуску на половину угла профиля резьбы плоских резьбонакатных плашек по ГОСТ 2248-43. Допуск на половину угла профиля резьбы резьбонакатных роликов для накатывания метчиков принимаем

равным 75% от соответствующего допуска на половину угла профиля у шлифованных метчиков по ОСТ 7217.

Шаг резьбы. Допуск на шаг резьбы накатных роликов для накатывания шпилек и винтов устанавливается равным допуску на шаг у плоских резьбонакатных плашек по ГОСТ 2248-43. Допуск на шаг резьбы накатных роликов при накатывании метчиков устанавливается равным допуску на шаг для шлифованных метчиков по ОСТ 7217.

Направление резьбы ролика всегда обратно направлению резьбы изделия: если на изделии правая резьба, то ролик должен быть с левой резьбой.



Резьба левая, число заходов $n = 20$, шаг резьбы $S = 1{,}25$ мм.
Предельные отклонения для шага резьбы $\pm$ 0,03 мм на длине 25 мм.
Ход резьбы $S_p = 25$ мм, угол подъема резьбы болта $\tau = 3°07'$.
Допустимый средний диаметр после перешлифования (округленно) $D_{ср.изн.} = 142$ мм.
Материал — сталь Х12М, калить $H_{R_C} = 58 \div 60$.

Фиг. 355. Рабочий чертеж накатного ролика.

Материал для роликов рекомендуется сталь Х12М, Х12АФ, 5ХНМ; твердость роликов $H_{R_C} = 58 \div 60$.

На фиг. 355 показан рабочий чертеж ролика (со всеми размерами) для болта с резьбой М8 $\times$ 1,25.

ГЛАВА XIII

ЗУБОРЕЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

Зубчатые передачи получили широкое распространение во всех отраслях современного машиностроения. Они применяются: 1) для передачи вращения от одного вала к другому как между параллельными валами, так и валами, оси которых (пересекающиеся или непересекающиеся) расположены под углом (цилиндрические, конические, червячные и другие зубчатые передачи); 2) для преобразования вращательного движения в прямолинейно-поступательное и наоборот (передача зубчатой рейкой и колесом).

Прежде чем приступить к разбору методов обработки зубчатых колес и применяемых при этом конструкций зуборезных инструментов, напомним основные положения из теории зубчатых зацеплений.

Возьмем два вала с параллельными осями (фиг. 356). На осях валов насажены два гладких ролика, соприкасающихся между собой. Если будем вращать один вал с укрепленным на нем роликом, то второй вал благодаря трению поверхности роликов должен будет также приводиться во вращение. Так работает фрикционная передача. Если проскальзывание роликов будет исключено, то передаточное отношение можно найти, полагая в точке соприкосновения P окружную скорость первого ролика равной окружной скорости второго ролика:

$$v_1 = v_2,$$

но

$$v_1 = r_1\omega_1, \text{ а } v_2 = r_2\omega_2,$$

где ω_1 и ω_2 — соответствующие угловые скорости. По условию

$$r_1\omega_1 = r_2\omega_2.$$

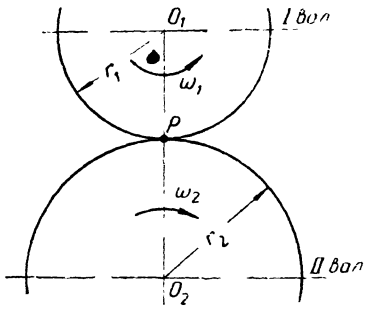
Передаточное отношение равно отношению угловых скоростей

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

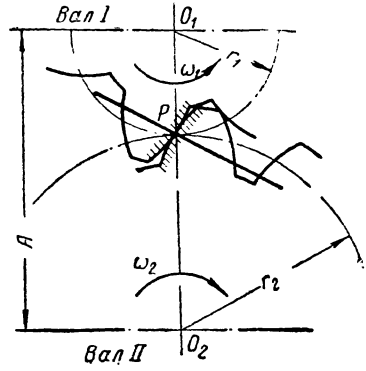
Так обстоит дело с фрикционной передачей трением.

Зубчатая передача отличается от фрикционной тем, что передача усилий происходит не силами трения, а благодаря сцеплению зубьев

первого колеса с зубьями второго колеса. На фиг. 357 показана схема зубчатой передачи. На оси вала *I* закреплено зубчатое колесо, на оси вала *II* закреплено также зубчатое колесо. Число зубьев первого колеса обозначим z_1, второго — z_2.



Фиг. 356. Схема передачи трением (фрикционная).



Фиг. 357. Схема зубчатой передачи.

Так же как и для фрикционной передачи, основным условием будет качение без скольжения окружности радиуса r_1 по окружности радиуса r_2. Окружные скорости в точке P должны быть равны:

$$v_1 = v_2,$$

но

$$v_1 = \omega_1 r_1;$$
$$v_2 = \omega_2 r_2,$$

где ω_1 и ω_2 — угловые скорости или

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2.$$

Передаточное отношение будет

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

В зубчатом зацеплении точка P называется *полюсом зацепления*, в этой точке окружные скорости обоих колес равны. Окружности радиусов r_1 и r_2 называются *начальными окружностями*. Боковые стороны соприкасающихся зубьев называются *сопряженными профилями*.

Из условия качения без скольжения двух окружностей ясно, что окружные шаги первого и второго зубчатых колес, т. е. расстояние по дуге начальной окружности от зуба к зубу, должны быть равны, только тогда будет происходить вращение. Можно найти эти окружные шаги, разделив длину окружности каждого колеса на число зубьев. Окружной шаг первого колеса

$$t_1 = \frac{2\pi r_1}{z_1},$$

шаг второго колеса

$$t_2 = \frac{2\pi r_2}{z_2}.$$

По нашему условию $t_1 = t_2$.

Тогда

$$\frac{2\pi r_1}{z_1} = \frac{2\pi r_2}{z_2}$$

или

$$\frac{r_1}{z_1} = \frac{r_2}{z_2}; \quad \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2}.$$

Следовательно, отношение радиусов равно отношению числа зубьев колес. С другой стороны,

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = i,$$

следовательно, можно написать

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

т. е. *передаточное отношение зубчатой передачи равно обратному отношению числа зубьев зубчатых колес.*

Если необходимо осуществить при помощи зубчатой передачи равномерное вращательное движение, то *угловые скорости* ω_1 и ω_2 *должны оставаться постоянными*, и, следовательно, *передаточное отношение должно оставаться также постоянным.* Это первое необходимое условие зубчатого зацепления для передачи равномерного движения.

Вторым условием правильного зацепления является следующее:

Общая нормаль к сопряженным профилям в точке их соприкосновения всегда должна проходить через полюс зацепления P (см. фиг. 357).

Эти два условия являются основными для правильного зубчатого зацепления.

В качестве сопряженных боковых профилей зуба можно выбрать любые кривые, удовлетворяющие этим условиям, однако на практике в основном применяются две кривые — циклоида и эвольвента.

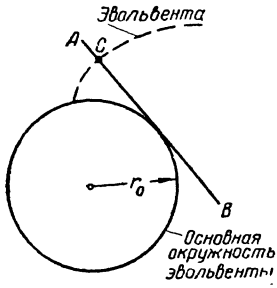
Циклоидальное зацепление не получило широкого распространения и применяется только в точной механике (в часовом производстве). Эвольвентное зацепление получило самое широкое распространение в технике благодаря более простому изготовлению самих колес и режущего инструмента для них и более простому монтажу зубчатой передачи (изменение межцентрового расстояния не ухудшает зацепления).

В настоящей главе разбираются инструменты для эвольвентного зацепления.

Основные свойства эвольвенты. Если по неподвижной окружности радиуса r_0 (фиг. 358) обкатывать без скольжения прямую линию AB, то след точки C, взятой на этой прямой, будет представлять собой эвольвенту. Окружность радиуса r_0, обкатываемая прямой AB для получения эвольвенты, носит название *основной окружности эвольвенты.*

Эвольвенту можно получить также и графическим построением. Такое построение показано на фиг. 359. Проводим окружность радиуса r_0 с центром в точке O_1. Делим окружность на ряд одинаковых дуг. Из полученных точек *1*, *2*, *3*, *4*, *5* проводим в центр O_1 прямые лучи $\overline{1—O_1}$, $\overline{2—O_1}$, $\overline{3—O_1}$ и т. д.

По условию эвольвента представляет собой след точки, расположенной на прямой, катящейся без скольжения по окружности. Проводим ряд прямых линий *I — I*, *II — II*, *III — III* и т. д., касательных к окружности в соответствующих точках *1*, *2*, *3* и т. д. Теперь остается отложить на этих прямых длины дуг: на прямой *I — I* — длину дуги $\overset{\frown}{0—1}$, на прямой *II — II* — длину дуги $\overset{\frown}{0—2} = \overset{\frown}{0—1} + \overset{\frown}{1—2}$ и т. д. Получим точки *1'*, *2'*, *3'*, *4'* и *5'*, которые и будут являться точками искомой эвольвенты. Соединяя их плавной кривой, получим эвольвенту.



Фиг. 358. Образование эвольвенты.

Длину дуг $\overset{\frown}{0—1}$, $\overset{\frown}{1—2}$, $\overset{\frown}{2—3}$ и т. д. рекомендуется брать не более $^1/_{10}$ радиуса. Если взять дуги больше $^1/_{10}$ радиуса, длина их по окружности будет значительно отличаться от длины хорды. Если дуги меньше $^1/_{10}$ радиуса, их длина отличается от хорды незначительно (не более $0{,}02\%$), и поэтому при построении вместо длины дуг можно откладывать длины соответствующих хорд. Построение будет значительно точнее, если длину дуг откладывать не последовательно одну за другой (в этом случае погрешности нарастают), а предварительно подсчитав суммарные длины двух, трех и т. д. дуг, а затем откладывать их из одной и той же начальной точки *O*. В этом случае погрешности не наращиваются.

Графический способ построения эвольвенты, хотя и не требует большой затраты времени, но, как и всякий графический способ, неточен. Поэтому для определения профиля зуборезного инструмента приходится применять аналитические способы.

Наиболее удобной формой уравнения эвольвенты является параметрическое уравнение в полярных координатах. Принимаем центр основной окружности *O* за начало полярных координат (фиг. 360) и выведем уравнение для любой точки *M*, принадлежащей эвольвенте. Обозначим через θ_x эвольвентный угол, т. е. угол между радиусом-вектором в начальной точке *K* эвольвенты и радиусом-вектором в точке *M*, а через r_x — радиус-вектор для точки *M* эвольвенты.

Обозначим через φ_x угол между прямой *KO* и прямой A_2O, а через α_x — угол, равный $(\varphi_x - \theta_x)$.

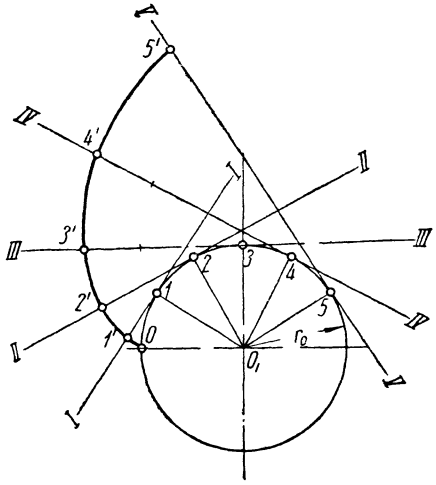
Из треугольника MOA_2 можно написать

$$r_x = \frac{r_0}{\cos \alpha_x}. \qquad (I)$$

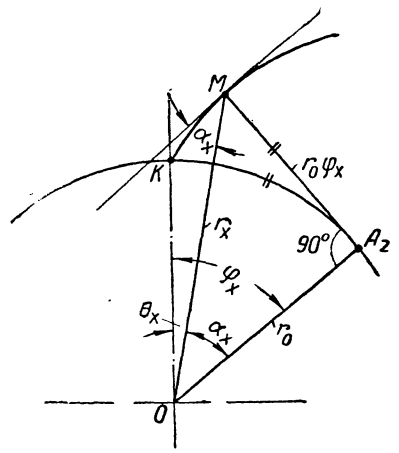
Из того же треугольника очевидно, что

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{MA_2}{r_0}.$$

Из условий образования эвольвенты следует, что длина отрезка MA_2 должна быть равна длине дуги $\overset{\frown}{KA_2}$, которую в свою очередь можно определить по формуле $\overset{\frown}{KA_2} = r_0\varphi_x$, где угол φ_x принимается в радианах.



Фиг. 359. Построение эвольвенты по точкам.



Фиг. 360. К выводу уравнения эвольвенты.

Таким образом, можно написать

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \frac{MA_2}{r_0} = \frac{r_0\varphi_x}{r_0} = \varphi_x.$$

Так как

$$\theta_x = \varphi_x - \alpha_x,$$

то, подставив значение $\varphi_x = \operatorname{tg}\alpha_x$, получим

$$\theta_x = \operatorname{tg}\alpha_x - \alpha_x. \qquad \text{(II)}$$

Выражения (I) и (II) представляют уравнения эвольвенты в полярных координатах.

Второе уравнение $\theta_x = \operatorname{tg}\alpha_x - \alpha_x$ решать трудно. Обозначают его как $\operatorname{inv}\alpha_x$ и называют инволютой или эвольвентной функцией. Существуют специальные таблицы значения

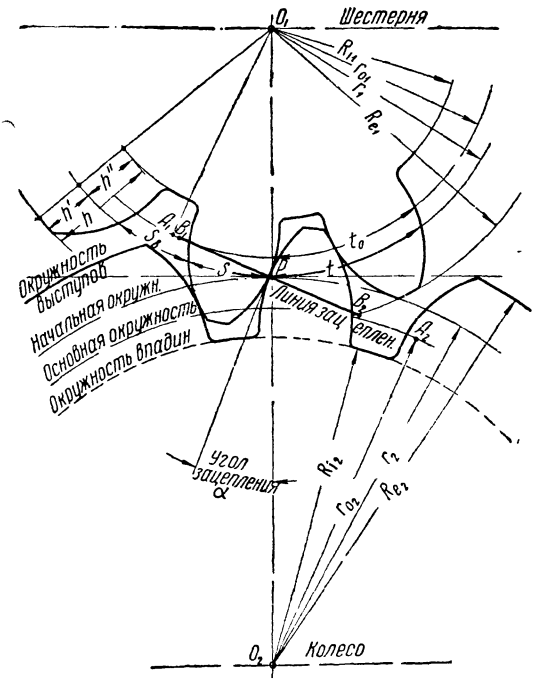
$$\operatorname{tg}\alpha_x - \alpha_x = \operatorname{inv}\alpha_x\ *.$$

По уравнениям (I) и (II) можно, задаваясь значениями θ_x, определить соответствующее значение r_x и построить эвольвенту по точкам.

* См. справочник конструктора „Металлорежущие инструменты", Машгиз, 1947 или „Справочник инструментальщика", т. 1, Машгиз, 1949.

Эвольвентное зубчатое зацепление. Рассмотрим основные понятия и свойства эвольвентного зубчатого зацепления.

На фиг. 361 показаны в зацеплении два эвольвентных зубчатых колеса. Принято называть меньшее колесо шестерней, а большее зубчатое колесо — колесом. Шестерня в дальнейшем всегда будет иметь индекс 1, а колесо — индекс 2.



Фиг. 361. Стандартные обозначения элементов зубчатой передачи.

Приведем основные определения для зубчатого эвольвентного зацепления.

Линией зацепления называется линия A_1A_2, неподвижная относительно линии центров O_1O_2, по которой перемещается в работе точка касания сопряженных профилей; иначе, линия зацепления есть след точки касания профилей зубьев.

Углом зацепления называется угол между линией зацепления и перпендикуляром к линии центров или угол между линией центров и перпендикуляром к линии зацепления. Угол зацепления обозначается через α.

Существуют системы зацепления с различными углами зацепления 14°30′, 15° и, наконец, 20°. Зацепление с углом 20° в Советском Союзе стандартизовано и является основной системой зацепления.

Начальными окружностями колес называются окружности, описанные около центров зубчатых колес. При работе зубчатой пары начальные окружности колес взаимно перекатываются без скольжения.

На фиг. 361 радиусы начальных окружностей обозначены r_1 и r_2.

В отличие от начальной окружности различают делительную окружность.

Делительная окружность есть такая окружность зубчатого колеса, на которой шаг и угол зацепления равны теоретическому шагу и углу зацепления. Делительная окружность может совпадать с начальной окружностью колеса (на фиг. 361 она совпадает) или отличаться от нее (например, в корригированном зацеплении).

Радиусы делительных окружностей шестерни и колеса обозначают соответственно $r_{д1}$ и $r_{д2}$.

Основной окружностью называется окружность, по которой катится прямая, образующая эвольвентный профиль зуба. Радиусы основных окружностей обозначаются r_{01} и r_{02} соответственно для шестерни и колеса. Основная окружность связана с начальной соотношением

$$r_0 = r\cos\alpha,$$

где r_0 — радиус основной окружности, r — радиус начальной окружности.

Окружностью выступов называется окружность, описанная по вершинам зубьев.

Окружностью впадин называется окружность, описанная по впадинам зубьев.

Радиусы окружностей выступов обозначаются R_{e1} и R_{e2}, радиусы окружностей впадин — R_{i1} и R_{i2} (соответственно для шестерни и колеса).

Шагом зацепления t называется окружной шаг между зубьями, измеренный по дуге делительной окружности (или по дуге начальной окружности, если она совпадает с делительной).

Основным шагом t_0 называется окружной шаг между зубьями, измеренный по дуге основной окружности. Шаг зацепления t и основной шаг t_0 связаны между собой соотношением $t_0 = t\cos\alpha$. Как шаги зацепления, так и основные шаги должны быть одинаковы у парных колес, находящихся в зацеплении.

Толщиной зуба S называется длина дуги окружности между двумя сторонами зуба, измеренная по дуге делительной окружности (или по дуге начальной окружности, если последняя совпадает с делительной окружностью).

Шириной впадин $S_в$ называется расстояние между обращенными друг к другу профилями смежных зубьев, измеренное по дуге делительной окружности (или по дуге начальной окружности, если делительная окружность совпадает с начальной).

Модулем называется отношение шага зацепления к величине π. Он определяет все размеры зубчатого колеса и может быть уподоблен масштабу. Модуль m связан с шагом зацепления t следующим соотношением:

$$m = \frac{t}{\pi}.$$

В качестве величины, заменяющей модуль в странах с дюймовой системой мер, применяется другое отношение, называемое питчем. Различают диаметральный и круговой питчи.

Диаметральный питч D_p равен числу зубьев z колеса, деленному на начальный диаметр $D_н$, в дюймах, т. е.

$$D_p = \frac{z}{D_н}.$$

Переводя дюймы в миллиметры, получим соотношение между диаметральным питчем и модулем

$$D_p = \frac{25{,}4\cdot z}{D_н} \text{ или } D_p = \frac{25{,}4\cdot z}{m\cdot z} = \frac{25{,}4}{m}.$$

Круговой (циркулярный) питч C_p представляет собой шаг t по дуге начальной окружности, выраженный в дюймах.

Переводя дюймы в миллиметры, получим соотношение между круговым питчем и модулем

$$C_p = \frac{t}{25{,}4} = \frac{\pi \cdot m}{25{,}4} = \frac{m}{8{,}09}.$$

Диаметральный и круговой питчи связаны между собой соотношением

$$C_p = \frac{\pi}{D_p}.$$

Головкой зуба называется его часть, выступающая за начальную окружность. Высота головки обозначается индексом h' и измеряется как разность между радиусом окружности выступов и радиусом начальной окружности зубчатого колеса.

Ножкой зуба называется его часть, лежащая между начальной окружностью и окружностью впадин. Высота ножки обозначается через h'' и равна разности между радиусом начальной окружности и радиусом окружности впадин зубчатого колеса.

Высотой зуба называется его полная высота от окружности выступов до окружности впадин. Высота зуба h подсчитывается как сумма высоты головки h' и высоты ножки h''.

Участок профиля, на котором происходит фактическое касание сопряженных зубьев при равномерном зацеплении, называется *активным профилем*. Путь, который проходит по начальной окружности профиль зуба за время фактического зацепления, называется *дугой зацепления*. Отношение дуги зацепления к шагу зацепления, измеренному по той же окружности, называется *коэфициентом перекрытия* ε. Этот коэфициент выражает также отношение длины активной части B_1B_2 линии зацепления к шагу по основной окружности.

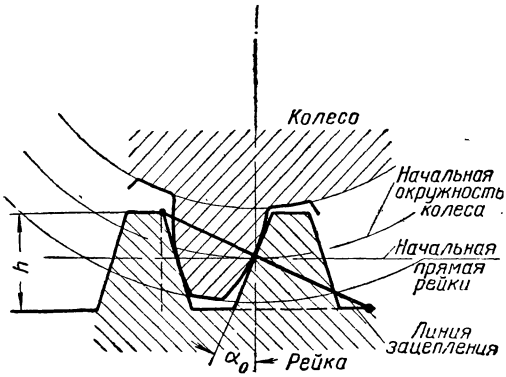
Мы рассмотрели эвольвентное зацепление цилиндрических колес с параллельными осями. Рассмотрим зацепление зубчатого колеса с рейкой (фиг. 362). Картина зацепления в этом случае будет такая же, как и в предыдущем, так как рейку можно рассматривать как колесо бесконечно большого радиуса.

В зацеплении зубчатого колеса с рейкой радиус начальной окружности рейки превращается в бесконечность, а начальная окружность обращается в начальную прямую рейки. Процесс зацепления происходит при обкатывании начальной окружности колеса по начальной прямой рейки. Угол зацепления α становится равным углу профиля α_0 зуба рейки. Изменяя угол профиля рейки, можно изменять угол зацепления колеса и рейки.

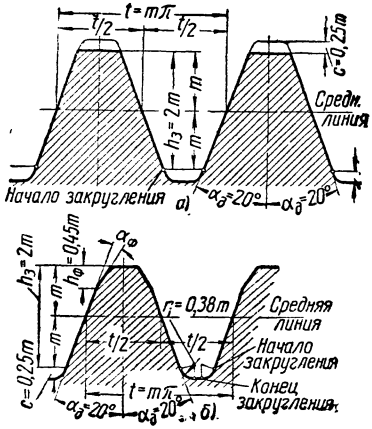
Любое зубчатое эвольвентное колесо зацепляется с рейкой. Отсюда возникла идея обработки зубчатых колес методом обкатки. Если рейку снабдить режущими зубьями и сообщить движение резания, то при обкатке такой рейкой заготовки колеса можно получить эвольвентный профиль зуба колеса. Такой рейкой можно нарезать колесо с любым

числом зубьев. Рейка, которая служит для получения колес, носит название исходной рейки.

Исходный контур зубчатой рейки показан на фиг. 363, *а*; он характеризуется следующими данными (по ГОСТ 3058-45): 1) угол профиля исходного контура $\alpha_д = 20°$; 2) толщина зуба по начальной (средней) прямой равна ширине впадины и равна половине шага зацепления; 3) глубина захода $h_з$ равняется двум модулям ($h_з = 2m$; 4) радиальный зазор $C = 0{,}25m$.



Фиг. 362. Зацепление рейки с колесом.



Фиг. 363. Стандартные контуры зубчатой рейки:
а—исходный контур; *б*—рабочий контур.

Рабочим контуром зубчатой рейки называется профиль рейки для режущего инструмента (фиг. 363, *б*). В рабочем контуре радиальный зазор входит в высоту головки инструмента, а, кроме того, в нем могут предусматриваться различные улучшения зацепления (фланкирование). Рабочий контур рейки дан в ГОСТ 3058-45.

Явление подрезания и способы корригирования колес. На фиг. 361 показано зубчатое зацепление; линия зацепления показана отрезком $\overline{A_1A_2}$. Активная часть линии зацепления, т. е. часть, участвующая в работе колес, ограничена отрезком $\overline{B_1B_2}$ (между точками пересечения окружности выступов одного и другого колеса с линией зацепления). Для эвольвентного зацепления имеет большое значение коэфициент перекрытия ε, т. е. отношение длины активной части линии зацепления к основному шагу:

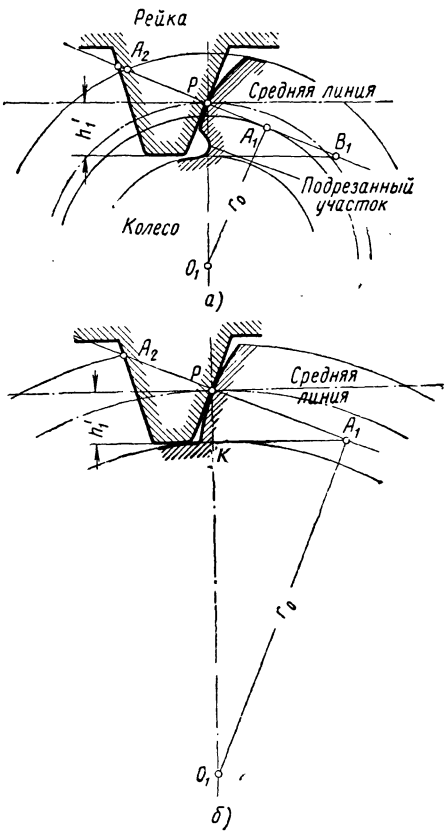
$$\varepsilon = \frac{B_1B_2}{t_0}.$$

Чем больше коэфициент перекрытия, тем большее число зубьев участвует в зацеплении, тем больше продолжительность зацепления. В том случае, когда активная часть линии зацепления $\overline{B_1B_2}$ находится внутри отрезка $\overline{A_1A_2}$, зацепление получается правильным, эвольвентные участки зубьев получаются полными. Если же одна из точек B_1 или B_2 выходит за пределы отрезка A_1A_2, имеет место неправильное зацепление

с подрезкой. В этом случае головка зуба одного колеса подрезает ножку другого колеса. На фиг. 364, *а* показан случай подрезания зубьев шестерни при зацеплении с рейкой (точка B_1 вышла за пределы отрезка A_1A_2).

На фиг. 364, *б* показан случай, когда точка B_1 совпадает с точкой A_1 и подрезание отсутствует.

Можно определить предельные условия, при которых не будет подрезания. В случае зацепления колеса с рейкой (фиг. 364, *б*) такими предельными условиями будет положение, при котором линия выступов рейки будет пересекать линию зацепления в точке A_1. Найдем минимальное число зубьев z_{min} колеса, при котором не будет подрезания ножки зуба. Из треугольника PO_1A_1 найдем



Фиг. 364. Явление подрезания ножки зуба колеса при зацеплении с рейкой.

$$\overline{O_1A_1} = r_0 = r\cos\alpha.$$

Но r в свою очередь можно заменить

$$r = \frac{m \cdot z_{min}}{2}$$

(радиус начальной окружности колеса равен модулю, умноженному на число зубьев колеса и деленному пополам).

Обозначим точку пересечения линии выступов рейки с линией PO_1 через K, тогда

$$O_1K = \overline{O_1A_1}\cos\alpha$$

или, подставив значение $O_1A_1 = r\cos\alpha$ и

$$r = \frac{m \cdot z_{min}}{2},$$

получим

$$O_1K = \frac{m \cdot z_{min}}{2}\cos^2\alpha.$$

С другой стороны, линия O_1K может быть определена: $O_1K = r - h_1'$. Приравняв, получим

$$r - h_1' = \frac{m \cdot z_{min}}{2}\cos^2\alpha, \quad h_1' = K_1 \cdot m \text{ и } r = \frac{m \cdot z_{min}}{2},$$

следовательно,

$$\frac{m \cdot z_{min}}{2} - K_1 m = \frac{m \cdot z_{min}}{2}\cos^2\alpha.$$

После сокращения получим

$$\frac{z_{min}}{2} - K_1 = \frac{z_{min}}{2}\cos^2\alpha$$

или

$$\frac{z_{min}}{2} - \frac{z_{min}}{2}\cos^2\alpha = K_1.$$

После преобразования получим

$$z_{min} = \frac{2K_1}{\sin^2\alpha},$$

где K_1 — коэфициент высоты головки рейки.

Для 20° зацепления с высотой головки h', равной одному модулю, т. е. $K_1 = 1$, получим $z_{min} = 17{,}10$ или, округляя, $z_{min} = 17$ зубьев.

Следовательно, подрезания не будет, если зубчатое колесо, сцепляющееся с рейкой, будет иметь число зубьев больше 17. У колес с числом зубьев меньше 17 будет происходить подрезание ножки зуба.

Подрезанный зуб значительно менее прочен, активная часть линии зацепления сокращается. Поэтому подрезание совершенно недопустимо.

Но можно ли изготовлять колеса 20° зацепления с числом зубьев менее 17 с неподрезанным зубом? Оказывается, можно, но с применением корригирования.

К о р р и г и р о в а н и е (исправление) колес дает возможность улучшить зубчатое зацепление по сравнению с нормальным. Корригированием можно добиться более благоприятных условий в отношении трения и износа, уменьшить подрезание зубьев при малом их числе, сделать зубья большого и малого колеса равнопрочными и т. д.

Рассмотрим приемы корригирования с целью устранения подрезания зуба колеса. Выше было указано, что подрезание происходит тогда, когда точки B_1 и B_2 пересечения линии зацепления с окружностями выступов выходят за пределы линии зацепления $\overline{A_1A_2}$ (см. фиг. 364).

Представим себе линию зацепления рейки и зубчатого колеса. Подрезание начнется тогда, когда точка B_1 будет дальше от полюса зацепления P, чем точка A_1. Из фиг. 365 можно вывести следующее заключение.

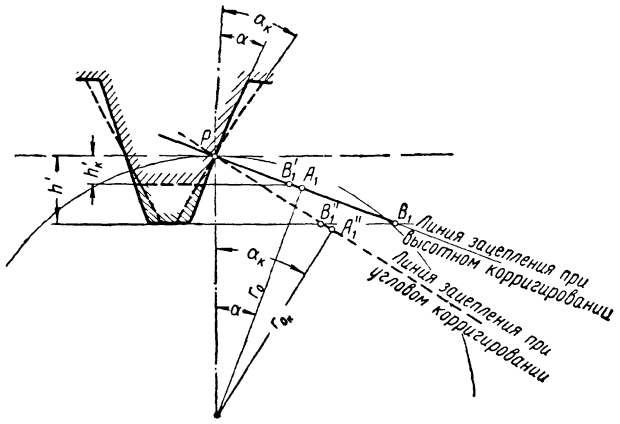
Для исправления зацепления, т. е. устранения подрезания зубьев, необходимо создать такие условия, чтобы точка B_1 пересечения линии зацепления и прямой, проходящей через выступы рейки, была ближе к полюсу зацепления P, чем точка A_1. Зацепление можно исправить следующими путями.

1. Уменьшить высоту головки профиля рейки, т. е. вместо высоты h' принять $h'_к$. Точка B_1 в этом случае приблизится к полюсу зацепления и займет положение B'_1 — подрезание будет исключено. Такое исправление носит название *высотного корригирования*. Существует несколько систем высотного корригирования, но все они основаны на перемещении точки B_1 путем уменьшения высоты головки зуба h'.

2. Увеличить угол зацепления α, принять его равным $\alpha_к$, тогда можно сохранить высоту h' и за счет перемещения точки A_1 в положение A_1'' исключить подрезание зубьев. Такое исправление носит название *углового корригирования*. Существует несколько систем углового корригирования.

3. Можно совместить рассмотренные два метода, т. е. принять смешанное *высотно-угловое корригирование*. Такой метод корригирования является наилучшим. Систем смешанного корригирования существует несколько.

На практике получили распространение основанные на этих принципах различные системы корригирования[1]. Разберем корригирование колес



Фиг. 365. Схема высотного и углового корригирования.

путем смещения рабочего контура рейки при нарезании зубчатого колеса методом обкатки.

Если средняя линия рейки обкатывается с делительной окружностью колеса (фиг. 366), то получается нормальное колесо. Если сместить среднюю линию рейки с делительной окружности колеса, получим корригированный зуб. Величина смещения x может быть положительной (если рейка отодвигается от центра колеса) или отрицательной (если рейка приближается к центру колеса). Смещение x обычно выражается в долях модуля

$$x = \xi \cdot m.$$

Коэфициент ξ носит название коэфициента смещения. При таком корригировании ширина впадины и толщина зуба (по делительной окружности) изменяются. Нарезанное методом обкатки с коэфициентом смещения ξ зубчатое колесо не будет подрезаться также до определенного минимального числа зубьев.

[1] Подробно см. Л. Н. Решетов, Корригирование эвольвентных зацеплений, 1935; И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. III, Машгиз, 1944.

На фиг. 366 показано пунктиром такое положение рейки, когда точка B_1' пересечения линии выступов рейки (фиг. 365) совпадает с точкой A_1, т. е. крайний случай, когда не будет подрезания. Определим наименьшее число зубьев колеса z_{min} (при заданном коэфициенте смещения ξ), при котором не будет подрезания ножки зуба колеса.

Из фиг. 366 следует

$$r_1 = r_{01}\cos\alpha_0 + h' - x,$$

или, заменив соответственно

$$r_1 = \frac{m \cdot z_{min}}{2};$$

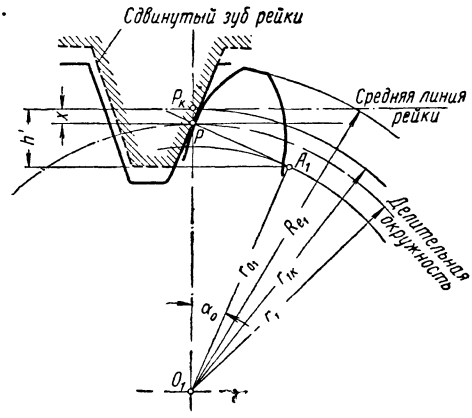
$$r_{01} = r_1\cos\alpha_0;$$

$$h' = m \cdot K_1;$$

$$x = m \cdot \xi,$$

получим

$$\frac{m \cdot z_{min}}{2} = \frac{m \cdot z_{min}}{2}\cos^2\alpha_0 + mK_1 - m\xi.$$



Фиг. 366. Корригирование колеса путем смещения образующей рейки.

После преобразований получим

$$\frac{z_{min}}{2}(1 - \cos^2\alpha_0) = K_1 - \xi;$$

заменив $1 - \cos^2\alpha_0$ через $\sin^2\alpha_0$, получим окончательно

$$z_{min} = \frac{2(K_1 - \xi)}{\sin^2\alpha_0}.$$

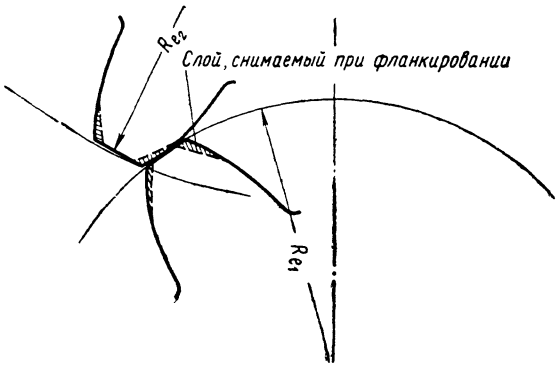
По этой формуле можно определить z_{min}, задаваясь значениями ξ, и, наоборот, задаваясь значением z_{min}, определить ξ.

Нарезание таких корригированных колес при использовании метода обкатки ничем не отличается от нарезания нормальных колес. Наладка совершенно одинаковая; разница заключается лишь в смещении средней линии рейки инструмента относительно делительной окружности. Для сохранения высоты зуба наружный диаметр заготовки колеса увеличивается или уменьшается в зависимости от знака величины x.

Фланкирование зубчатых колес. Одним из наиболее распространенных методов улучшения работы зубчатого зацепления является фланкирование.

При работе двух сопряженных зубчатых колес в результате ошибок исполнения колес, ошибок монтажа, а также в результате деформации зубьев под нагрузкой может возникать так называемое „кромочное зацепление". Под кромочным зацеплением понимается случай, изображенный на фиг. 367, когда зуб одного колеса (при вращении) своей кромкой зацепляет кромку другого колеса. В результате возникают толчки, удары и может быть поломка зубьев. В целях устранения явления кро-

мочного зацепления можно срезать боковые стороны зуба у его вершины (как показано на фиг. 367 пунктиром). Такое срезание достигается при методе обкатки изменением профиля рабочей рейки.



Фиг. 367. Кромочное зацепление.

Начиная с некоторой высоты h_ϕ (см. фиг. 363), прямая профиля рейки изламывается и идет под дополнительным углом α_ϕ к прежнему направлению. Этот угол α_ϕ называется углом фланкирования. Высота фланкирования рекомендуется по ГОСТ 3058-45: $h_\phi = 0{,}45\ m$.

Угол фланкирования α_ϕ в зависимости от класса точности зубчатых колес принимается по табл. 61.

Таблица 61

Таблица рекомендуемых значений α_ϕ

Модуль	Класс точности колес			
	1-й	2-й	3-й	4-й
1—1,75	2°	3°20′	4°30′	Не фланкируется
2—3,75	1°20′	2°	3°20′	
4—20,0	1°	1°20′	2°	

Как видно из табл. 61, чем ниже класс точности, тем больше угол фланкирования.

Колеса 4-го класса не фланкируются потому, что предназначены для работы на низких скоростях.

Точность изготовления зубчатых колес и допуски на зубчатые колеса. Зубчатые колеса в зависимости от их назначения изготовляются с различной точностью. Например, зубчатое колесо турбины должно быть обработано значительно тщательнее, чем зубчатое колесо ручной лебедки, так как окружная скорость турбины несравнимо выше окружной скорости лебедки.

Все цилиндрические колеса разбиваются по точности на 4 класса.

1-й класс (особо точные) — колеса, предназначенные для плавной работы на высоких скоростях; они употребляются в передачах, от которых требуются высокий коэфициент полезного действия и бесшумная передача. Такие колеса применяются в редукторостроении, турбостроении и т. д. Они изготовляются способом обкатки с применением особо точных станков и инструментов.

Окончательная обработка боковой поверхности зубьев производится шлифованием, шевингованием или притиркой. Чистота поверхности зубьев — не ниже 9-го класса.

2-й класс (точные) — зубчатые колеса, работающие при высоких скоростях, умеренных или небольших мощностях, например, зубчатые передачи в станкостроении. Колеса изготовляются способом обкатки на точных станках (зубодолбежных или зубострогальных), могут быть подвергнуты окончательной отделке шлифованием, притиркой или шевингованием. Чистота поверхности зубьев — не ниже 7-го класса.

3-й класс (средней точности) — зубчатые колеса общего машиностроения: колеса станков, грузоподъемных механизмов и т. д. Они изготовляются методом обкатки на зубофрезерных, зубодолбежных, зубострогальных станках, а также в отдельных случаях методом деления с применением инструмента, имеющего профиль, рассчитанный по действительному числу зубьев. Класс чистоты поверхности зубьев — 5-й. При работе таких колес допускается умеренный шум.

4-й класс (пониженной точности) — зубчатые колеса, предназначенные для грубой работы и работающие со скоростью до 3 *м/сек*, например, зубчатые колеса для грузоподъемных механизмов. Колеса 4-го класса могут быть изготовлены как методом обкатки любым инструментом, так и методом деления с применением фасонного инструмента. Класс чистоты боковых поверхностей зубьев — 3-й.

В стандарте ГОСТ 1643-46 для каждого класса колес даются предельные отклонения отдельных элементов зубчатого колеса: отклонение основного шага, накопленная погрешность окружного шага, отклонение профиля от теоретической эвольвенты, отклонение толщины зуба, отклонение межцентрового расстояния и т. д. [1].

При конструировании режущего инструмента допуски на отдельные элементы инструмента следует назначать в зависимости от требуемой точности колес.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ЗУБОРЕЗНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Нарезание зубчатых колес производится двумя основными методами:

1) метод копирования основан на нарезании колеса фасонным инструментом, форма режущей кромки которого соответствует форме впадины зуба;

2) метод обкатки — это метод, при котором зубья колеса образуются в результате относительного движения режущей кромки инструмента, представляющего собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса.

Все инструменты для нарезания зубчатых колес можно разбить, таким образом, на две группы:

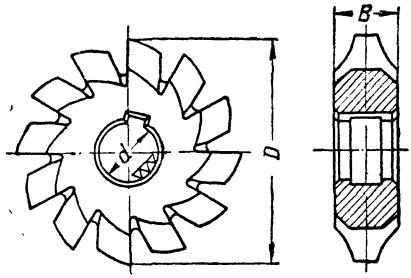
1) фасонные инструменты, работающие методом копирования; к ним относятся фасонные дисковые фрезы, фасонные пальцевые фрезы, фасонные зуборезные головки;

2) инструменты, работающие методом обкатки; к ним относятся зуборезные гребенки, червячные фрезы, долбяки, строгальные резцы и различные резцовые головки (для конических колес).

[1] Допуски на зубчатые колеса см. „Справочник инструментальщика", т. I, Машгиз, 1949.

ДИСКОВЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ФРЕЗЫ

На фиг. 368 изображена дисковая модульная фреза. Она представляет собой фасонную фрезу с затылованным зубом, профиль которого соответствует профилю впадины нарезаемого колеса. В настоящее время применение дисковых фрез ограничено. В массовом и крупносерийном производстве они почти не применяются, так как заменены более производительными и точными инструментами, работающими методами обкатки. Однако дисковые фрезы позволяют нарезать зубчатые колеса на обычных фрезерных станках, поэтому они имеют распространение для индивидуальных и ремонтных работ.

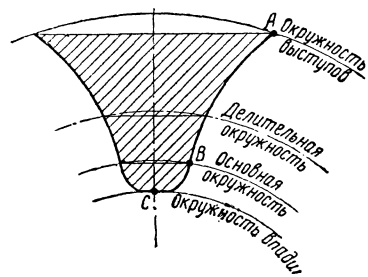


Фиг. 368. Дисковая модульная фреза.

Точность зубчатых колес при нарезании дисковыми модульными фрезами из-за самого метода деления (при помощи делительной головки), а также неточности профиля фрезы и ее установки получается невысокой. Можно фрезеровать только зубчатые колеса 4-го класса точности. Правда, при особо точной установке фрезы и при проектировании специальной фрезы для данного числа зубьев удается получить более высокую точность колес — 3-й класс.

Дисковые модульные фрезы — частный случай фасонных фрез с затылованными зубьями, поэтому разберем только отличные от фасонных фрез элементы конструкции.

Профиль дисковой модульной фрезы для цилиндрических колес с прямым зубом. Профиль зуба дисковой модульной фрезы для фрезерования цилиндрических колес с прямым зубом в точности соответствует профилю впадины колеса (фиг. 369). Следовательно, для определения профиля зуба необходимо определить профиль впадины колеса. Разбиваем профиль впадины на два участка. Рабочий участок зуба AB (фиг. 369) представляет собой отрезок эвольвенты. Нерабочий участок зуба BC — переходная кривая.



Фиг. 369. Профиль впадины цилиндрического зубчатого колеса.

Определим координаты профиля рабочего эвольвентного участка AB. Профиль эвольвентного участка можно определить двумя способами — графическим или аналитическим расчетом. Обычно при конструировании используют и графический, и аналитический способы. Графический способ неточен, но зато нагляден и свободен от грубых ошибок. Аналитический способ позволяет получить координаты профиля с любой заданной точностью, но при большом числе подсчетов могут быть грубые ошибки расчета.

Графический способ построения эвольвенты мы разбирать не будем, так как он подробно разобран выше. Разберем подробно аналитический способ определения профиля эвольвентного участка зуба.

Поместим начало координат в центр зубчатого колеса (фиг. 370). Ось OY совместим с серединой профиля впадины. Найдем координаты x и y любой точки M профиля фрезы:

$$x = r_x \sin \delta_x;$$

$$y = r_x \cos \delta_x,$$

но угол δ_x, как видно из фиг. 370, равен сумме углов δ_0 и θ_x, т. е.

$$\delta_x = \delta_0 + \theta_x.$$

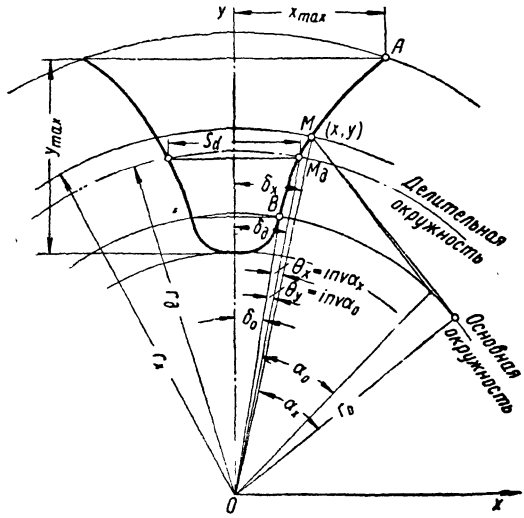
При выводе уравнения эвольвенты (см. стр. 433) мы приняли, что

$$\theta_x = \text{inv}\,\alpha_x.$$

Таким образом,

$$\delta_x = \delta_0 + \text{inv}\,\alpha_x. \qquad (I)$$

Тогда для точки M_∂, лежащей на делительной окружности, можно написать



Фиг. 370. К расчету координат эвольвентной части профиля.

$$\delta_\partial = \delta_0 + \text{inv}\,\alpha_0.$$

Из этого выражения определим

$$\delta_0 = \delta_\partial - \text{inv}\,\alpha_0$$

и подставим в уравнение (I)

$$\delta_x = \delta_\partial - \text{inv}\,\alpha_0 + \text{inv}\,\alpha_x. \qquad (II)$$

Угол δ_∂ (в радианах) будет равен

$$\delta_\partial = \frac{S_\partial}{2r_\partial},$$

но

$$r_\partial = \frac{m \cdot z}{2}.$$

Следовательно,

$$\delta_\partial = \frac{S_\partial}{m \cdot z}.$$

Подставив значение δ_∂ в выражение (II), получим

$$\delta_x = \frac{S_\partial}{m \cdot z} + (\text{inv}\,\alpha_x - \text{inv}\,\alpha_0). \qquad (III)$$

Таким образом, координаты x и y любой точки эвольвенты можно определить, решив уравнения:

$$x = r_x \sin \delta_x;$$
$$y = r_x \cos \delta_x.$$

Угол δ_x в радианах определяется по уравнению (III), а затем для определения тригонометрических функций полученный угол переводится в градусы.

Для получения координат различных точек эвольвенты задаемся рядом значений r_x. Для определения соответствующих им углов α_x используем формулу:

$$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{r_x}.$$

Пример расчета координат одной точки эвольвенты (фиг. 370). Дано: колесо с числом зубьев $z = 30$; модуль $m = 8$; угол $\alpha_0 = 20°$; ширина впадины $S_\partial = \frac{t}{2} = 12{,}566$ *мм*. Требуется определить координаты некоторой точки M, у которой $r_x = 125$ *мм*.

1. Вначале определим радиус основной окружности по формулам:

$$r_0 = \frac{m \cdot z}{2} \cos \alpha;$$

$$r_0 = \frac{8 \cdot 30}{2} \cdot 0{,}9396 = 112{,}752 \text{ мм}.$$

2. Определим $\cos \alpha_x$ для заданного r_x по формуле

$$\cos \alpha_x = \frac{r_0}{r_x} = \frac{112{,}752}{125} = 0{,}902.$$

3. Определим значение α_x в град.:

$$\alpha_x = 25°34'.$$

4. По таблицам[1] найдем значение эвольвентной функции $\text{inv}\,\alpha_x$ и $\text{inv}\,\alpha_0$

$$\text{inv}\,\alpha_x = \text{inv}\,25°34' = 0{,}032182;$$
$$\text{inv}\,\alpha_0 = \text{inv}\,20° = 0{,}014904.$$

5. По формуле (III) определим δ_x:

$$\delta_x = \frac{S_\partial}{m \cdot z} + (\text{inv}\,\alpha_x - \text{inv}\,\alpha_0) = \frac{12{,}566}{8 \cdot 30} + (0{,}032182 - 0{,}014904) = 0{,}069637.$$

Но δ_x по формуле (III) получается в радианах; чтобы перевести в градусы, делим значение δ_x на переводный коэфициент 0,017453:

$$\delta_x \text{ в градусах} = \frac{\delta_x \text{ в радианах}}{0{,}017453} = 3°59'24''.$$

6. Найдем значение $\sin \delta_x$ и $\cos \delta_x$, а затем определим искомые координаты точки M:

$$x = r_x \sin \delta_x = 125 \cdot 0{,}06959 = 8{,}698 \text{ мм};$$
$$y = r_x \cos \delta_x = 125 \cdot 0{,}099757 = 124{,}696 \text{ мм}.$$

---

[1] Таблицы см. Справочник конструктора „Металлорежущие инструменты", Машгиз, 1947.

Для определения профиля зуба фрезы недостаточно найти координаты одной точки, необходимо найти координаты ряда точек. Эти расчеты отнимают много времени.

Для нормальных фрез разработаны таблицы, по которым можно просто и быстро найти координаты точек профиля.

Поскольку число зубьев колеса входит во все расчеты, связанные с определением профиля колеса, постольку для каждого числа зубьев одного и того же модуля необходимо иметь дисковую модульную фрезу определенного профиля. Но такое большое количество фрез иметь очень дорого и нецелесообразно. Поэтому нашли возможным применять одну и ту же фрезу для нарезания колес с разным числом зубьев (в определенных пределах). Неточности профиля, получающиеся при этом, укладываются в допуски колес. По стандарту ОСТ 20181-40 имеется два различных набора дисковых фрез. В одном наборе, который изготовляется только для нарезания зубчатых колес небольшого модуля (до модуля 8 включительно), имеется восемь различных фрез для каждого модуля. Все числа зубьев нарезаемых колес, начиная от 12 и до бесконечности (число зубьев рейки можно считать равным бесконечности), разбиты на 8 групп. Фреза определенного номера нарезает колеса со следующим числом зубьев:

№ фрезы . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев .	12—13	14—16	17—20	21—25	26—34	35—54	55—134	135 и более

Набор из 8 фрез носит название основного набора.

Чем больше модуль колеса, тем сильнее будут сказываться неточности из-за объединения нескольких чисел зубьев в одну группу. Поэтому для больших модулей разбивают все числа зубьев не на 8, а на 15 номеров, а для более точных колес с очень крупными модулями — даже на 26 номеров фрез. Для подсчета профиля фрезы, обслуживающей, например, зубчатые колеса с числом зубьев 26—34 (фреза № 5 из набора в 8 шт.), берут наименьшее число зубьев. Для данного случая профиль фрезы должен быть рассчитан по впадине шестерни, имеющей 26 зубьев. Рассчитывать профиль по среднему или максимальному числу зубьев нельзя, так как ошибки в зацеплении могут привести к заклиниванию колес.

При расчете профилей дисковых модульных фрез (фиг. 371) можно использовать таблицы, разработанные ВНИИ МСС[1]. В табл. 62 для каждого номера фрезы и каждой точки ее профиля даны коэфициенты x и y. Умножая эти коэфициенты на модуль нарезаемого колеса и деля на 100, можно определить координаты точек эвольвентной части профиля.

В табл. 63 указаны коэфициенты для определения координат неэвольвентной части (переходной кривой) впадины зуба.

---

[1] См. Альбом нормалей режущего инструмента, ВНИИ МСС, вып. IV, Машгиз, 1949.

Таблица 62

Таблица значений x и y для определения координат точек эвольвентной части профиля дисковых модульных фрез
(x и y рассчитаны для модуля 100)

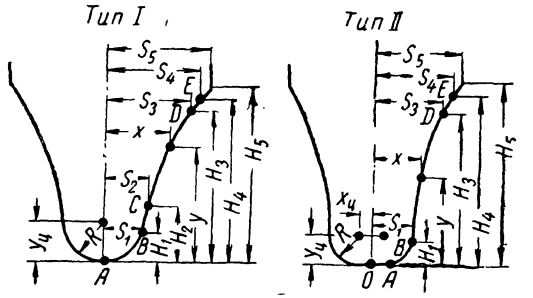
№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5		№ 6		№ 7		№ 8	
y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
90	67,73	80	64,88	70	62,95	60	59,39	50	56,84	50	55,55	40	51,60	30	46,62
100	71,38	90	67,70	80	64,64	70	61,72	60	58,88	60	58,17	50	55,47	40	50,25
110	75,86	100	71 37	90	67,66	80	64,41	70	61,41	70	61,06	60	57,18	50	53,59
120	81,c8	110	75,69	100	71,34	90	67,59	80	64,20	80	63,73	70	60,77	60	57,08
130	86,97	120	80,61	110	75,51	100	71,27	90	67,64	90	67,64	80	64,14	70	60,51
140	93,52	130	86,11	120	80,17	110	75,31	100	71,31	100	71,25	90	67,64	80	64,04
150	100,77	140	92,17	130	85,29	120	79,76	110	75,27	110	75,15	100	71,29	90	67,60
160	108,60	150	98,76	140	90,84	130	84,56	120	79,52	120	79,25	110	75,05	100	71,29
170	117,11	160	105,91	150	96,85	140	89,59	130	84,08	130	83,53	120	78,98	110	74,99
180	126,35	170	113,57	160	103,25	150	95,28	140	88,91	140	88,04	130	83,01	120	78,71
190	136,31	180	121,81	170	110,10	160	101,03	150	94,08	150	92,73	140	87,20	130	82,71
200	147,04	190	130,59	180	117,10	170	107,29	160	99,41	160	97,64	150	91,49	140	86,39
210	158,61	200	139,83	190	125,07	180	113,68	170	105,05	170	102,70	160	95,94	150	90,30
220	171,06	210	149,97	200	133,24	190	120,52	180	110,95	180	108,05	170	100,50	160	94,22
230	184,36	220	160,59	210	141,81	200	127,70	190	117,11	190	113,54	180	105,20	170	98,21
240	198,94	230	171,91	220	150,87	210	135,19	200	123,54	200	119,19	190	109,99	180	102,29
250	214,64	240	183,95	230	160,41	220	143,03	210	130,24	210	125,07	200	114,93	190	105,72
260	231,73	250	196,85	240	170,40	230	151,23	220	137,20	220	131,14	210	119,96	200	110,60
270	250,46	260	210,37	250	180,90	240	159,78	230	144,42	230	137,38	220	125,09	210	114,85
		270	224,35	260	191,90	250	168,87	240	151,90	240	143,80	230	130,40	220	119,07
				270	203,53	260	177,96	250	159,65	250	150,42	240	135,80	230	123,33
						270	187,60	260	167,67	260	157,25	250	141,27	240	127,78
								270	175,97	270	164,22	260	146,94	250	132,13
												270	152,69	260	136,54
														270	141,12

Таблица 63

Таблица значений коэфициентов для определения координат точек неэвольвентной части профиля фрезы (переходные кривые)

№ фрезы	Координаты точек неэвольвентных элементов профиля для модуля 100						Координаты точек D и E эвольвенты для модуля 100			
	Точка B		Точка C		Центр окружности		Точка D		Точка E	
	H_1	S_1	H_2	S_2	$x_ц$	$y_ц = R$	H_3	S_3	H_4	S_4
1	58,78	64,15	85,88	66,52	—	64,39	203,51	151,02	210	158,61
2	57,44	62,28	78,28	64,51	—	62,92	206,49	146,38	210	160,59
3	55,83	60,93	67,26	61,93	0	61,16	209,42	141,41	220	150,87
4	51,51	58,53	57,16	59,25	—	59,01	211,86	136,62	220	151,23
5	47,55	56,42	49,75	56,80	—	57,25	213,69	132,76	220	144,42
6	41,80	53,65	—	—	1,67	53,21	215,54	128,42	220	137,38
7	33,75	49,89	—	—	5,78	45,70	217,31	123,68	230	130,40
8	25,50	45,45	—	—	10,34	36,93	218,97	118,59	230	123,33

Для фрез других модулей табличные координаты необходимо умножить на модуль и разделить на 100.



Фиг. 371. Профиль дисковых модульных фрез.

Тип I соответствует форме профиля для фрез от № 1 до 5. Профиль состоит из дуги окружности AB, отрезка прямой линии BC и эвольвенты CE.

Тип II соответствует форме профиля для фрез от № 6 до 8. Профиль состоит из отрезка прямой линии OA, дуги окружности AB и эвольвенты BE;

S_1, H_1 — координаты точки сопряжения окружности с прямолинейным участком (тип I) или с эвольвентой (тип II);

S_2, H_2 — координаты точки сопряжения прямой с эвольвентой (тип I);

S_3, H_3 — координаты точки эвольвенты, лежащей на окружности выступов;

S_4, H_4 — координаты последней точки эвольвенты точного профиля;

S_5, H_5 — координаты последней точки профиля шаблона для затыловочных резцов;

$x_ц$, $y_ц$ — координаты центра окружности;

R — радиус окружности;

x, y — текущие координаты точек эвольвенты.

По рассчитанным координатам должен быть построен профиль шаблона для зуба фрезы. Но так как практически трудно изготовить шаблон по координатам, то часто заменяют эвольвентный профиль дугами

окружностей, как показано на фиг. 372. Неточности, получающиеся при этом, должны укладываться в допуски колес.

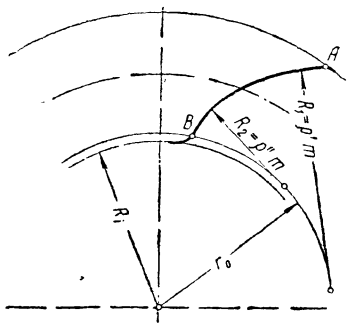
Новокраматорский завод имени Сталина использует следующие данные для замены эвольвентного профиля двумя дугами[1]:

№ фрез	ρ′	ρ″	№ фрез	ρ′	ρ″
1	3,017	1,396	5	5,552	3,561
2	3,391	1,690	6	7,131	5,025
3	3,942	2,144	7	10,598	—
4	4,662	2,767	8	24,334	—

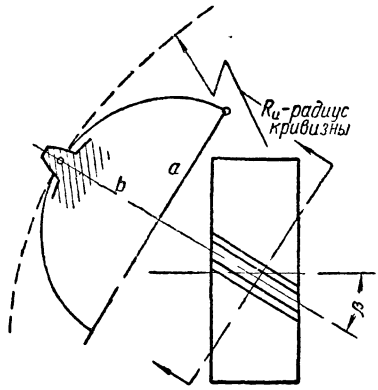
Для определения радиусов R_1 и R_2 (фиг. 372) необходимо умножить коэфициент ρ′ и ρ″ на модуль, т. е. $R_1 = \rho' m$; $R_2 = \rho'' m$.

Таким образом, или по точкам, или по таблицам находим координаты профиля фрезы или, вернее, координаты профиля впадины для цилиндрических колес с прямыми зубьями.

Иногда встречается необходимость нарезать дисковой модульной фрезой цилиндрическое колесо с косыми зубьями (фиг. 373). Строго говоря, нарезать точное колесо с косыми зубьями можно только специально спроектированной фрезой. Но для неточных колес с небольшим углом β можно использовать в этом случае и обычную дисковую модульную фрезу из набора, подобрав ее следующим образом[2].



Фиг. 372. Замена эвольвентного профиля дугами окружности.



Фиг. 373. Колесо с косыми зубьями.

Колесо с косыми зубьями, наклоненными под углом β к оси колеса, в нормальном сечении представляет собой эллипс. Можно подсчитать радиус кривизны эллипса

$$R_и = \frac{a^2}{b},$$

где a — большая полуось эллипса;

b — малая полуось.

---

[1] См. А. Н. Грубин, М. Б. Лихциер и М. С. Полоцкий, Зуборезный инструмент, ч. II, Машгиз, 1946.

[2] См. С. С. Четвериков, Металлорежущие инструменты, Машгиз, 1946.

В данном случае малая полуось $b = \frac{D}{2}$; большая полуось $a = \frac{D}{2\cos\beta}$, где D — диаметр начальной окружности. Подставив эти величины в формулу для радиуса кривизны R_u, получим

$$R_u = \frac{D}{2\cos^2\beta}.$$

Нам известен шаг t_n зубьев воображаемого колеса $t_n = t\cos\beta$. Можно определить теперь число зубьев этого колеса

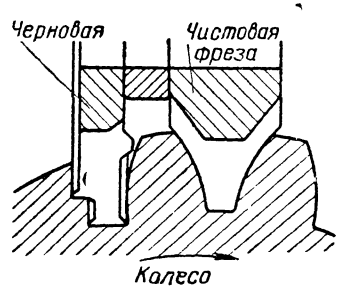
$$z_u = \frac{2\pi \cdot R_u}{t_n}.$$

Подставив значение t_n и R_u, получим

$$z_u = \frac{2\pi D}{2\cos^2\beta t\cos\beta}.$$

Заменив $\frac{\pi D}{t}$ через z, получим

$$z_u = \frac{z}{\cos^3\beta}.$$



Фиг. 374. Схема одновременной работы черновой и чистовой фрезы.

Таким образом, для определения профиля фрезы мы можем воспользоваться нормальным модулем (модулем в нормальном сечении) $m_n = \frac{t_n}{\pi}$, а для подбора соответствующего номера фрезы (из нормального набора дисковых модульных фрез) — числом зубьев z_u.

Дисковые модульные фрезы изготовляются с затылованными зубьями. Заточка производится по передней грани; профиль при переточке, как и у всякого затылованного зуба, сохраняется.

По назначению фрезы подразделяются на черновые для предварительной прорезки зуба и чистовые для окончательного фрезерования впадины зуба. Черновые фрезы часто делаются со ступенчатым профилем. На фиг. 374 показана схема одновременной работы черновой и чистовой фрезами, укрепленными на одной оправке. Черновые фрезы для улучшения условий резания затачиваются с передним углом 8—10°. Часто черновые фрезы делаются с разнонаправленными косыми зубьями. Для обработки колес крупных модулей применяют дисковые модульные фрезы сборной конструкции со вставными ножами. На фиг. 375 показана такая фреза конструкции Новокраматорского завода.

Чистовые фрезы применяются для снятия небольшого припуска. У них важно сохранить точный профиль, поэтому передний угол γ делается равным нулю и фрезы затачиваются радиально.

Основные конструктивные элементы дисковой модульной фрезы показаны на фиг. 376.

Наружный диаметр D, диаметр отверстия d и число зубьев z следует выбирать по ОСТ 20181-40.

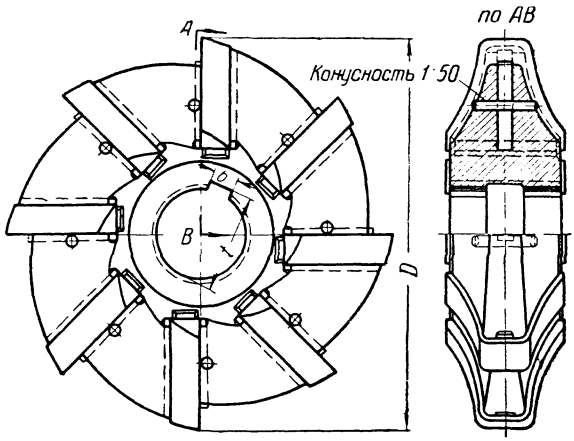
Величина затылования K определяется по формуле

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

Угол α подбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить на боковых сторонах профиля задние углы α_x не менее 3°. Угол α и α_x связаны между собой:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_x}{\sin \varphi}.$$

Угол φ для любой точки можно определить, построив касательную к профилю в этой точке. Он должен быть не меньше 10—16°. Тогда угол α получится в пределах 10—15°.



Фиг. 375. Сборная дисковая модульная фреза.

Зуб дисковой модульной фрезы выполняется двух типов (фиг. 376): тип *а* — без подфрезеровки, тип *б* — с подфрезеровкой (с перемычкой между зубьями). Размер H определяется по формуле

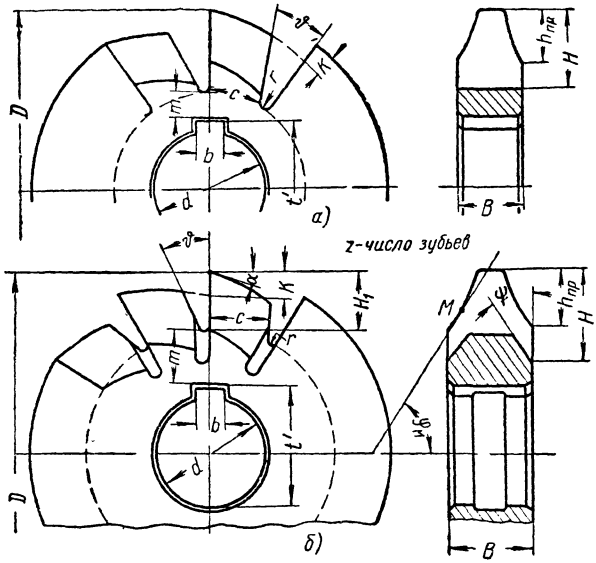
$$H \approx h_{пр} + K + (0{,}5 \div 1{,}5) \text{ мм}.$$

Размер H_1 (для типа *б*) определяется ориентировочно $H_1 \approx h_{пр}$. В эти формулы входит размер высоты профиля $h_{пр}$, который определяется после расчета и построения профиля фрезы. Угол ϑ и радиус r впадины определяются по формулам для обычных затылованных фасонных фрез (см. главу „Фрезы"). Ширина B определяется после расчета профиля фрезы. Можно принимать ширину фрезы по ОСТ 20181-40.

После расчета фрезы производят вычерчивание и проверку фрезы. При проверке должны соблюдаться следующие условия.

1. Толщина m тела фрезы в самом опасном сечении (над шпонкой) должна быть не менее $0{,}35d$, где d — диаметр отверстия.

2. Ширина C зуба у основания должна быть не менее 0,75 H (для фрез типа *а*) и не менее 0,75 H_1 (для фрез типа *б*).



Модуль m	1—1,25	1,5	1,75—2,25	2,5	2,75—3	3,25—3,0	3,75—4
D	50	55	60	65	70	75	80
d	16	22	22	22	27	27	27
z	14	14	12	12	12	12	12

Модуль m	4,25—4,5	5	5,5	6	6,5—7	8	9	10
D	85	90	95	100	105	110	115	120
d	27	32	32	32	32	32	32	32
z	12	11	11	11	11	11	10	10

Фиг. 376. Элементы дисковой модульной фрезы.

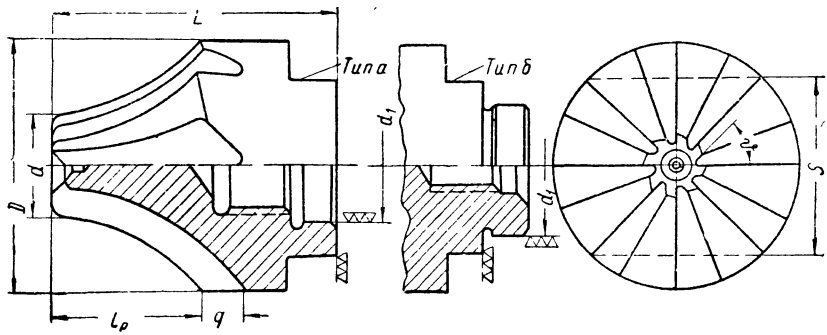
Дисковые модульные чистовые фрезы (цельные) обычно изготовляются из легированной стали 9ХС. Изготовление из быстрорежущей стали производится редко. Черновые модульные фрезы с целью увеличения режимов и производительности при черновой обработке зуба (крупных модулей) изготовляются сборными со вставными ножами из быстрорежущей стали. Черновые фрезы как для мелких, так и крупных модулей снабжаются по боковым сторонам профиля канавками для дробления стружки. Допуски на цельные чистовые дисковые модульные фрезы устанавливаются техническими условиями по ГОСТ В-1678-42.

Дисковые модульные фрезы изготовляются обычно с нешлифованным профилем. При изготовлении фрез из быстрорежущей стали со шлифованным профилем (это делается очень редко) лучше делать зуб с двойным затылком.

ПАЛЬЦЕВЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ФРЕЗЫ

Пальцевые модульные фрезы применяются в тяжелом машиностроении для фрезерования профиля косозубых и прямозубых зубчатых колес крупного модуля (начиная с модуля 20 и выше). На фиг. 377 изображена пальцевая модульная фреза.

Чистовая пальцевая фреза представляет собой затылованную фрезу с радиально заточенной передней гранью. Профиль ее измеряется в осе-



Фиг. 377. Пальцевая модульная фреза.

вом сечении и должен соответствовать профилю впадины колеса, если зубчатое цилиндрическое колесо имеет прямые зубья. Если же чистовая фреза предназначается для фрезерования шевронных или косозубых колес, то профиль не соответствует профилю впадины. Черновая пальцевая модульная фреза в отличие от чистовой в целях улучшения условий резания может иметь передний угол γ до 8° и канавки для дробления стружки. Черновые фрезы могут изготовляться как с затылованным, так и остроконечным зубом.

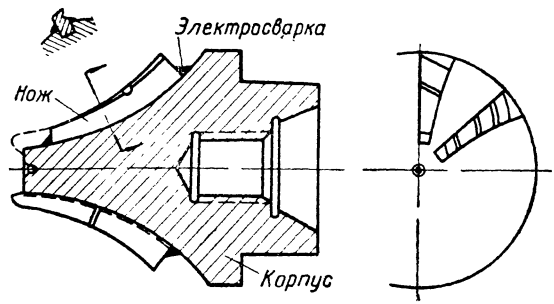
Как черновые, так и чистовые фрезы могут быть изготовлены сборной конструкции. На фиг. 378 показана такая фреза с приваренными ножами (конструкции Уралмашзавода).

Разберем основные конструктивные особенности пальцевых фрез (см. фиг. 377).

Пальцевая модульная фреза навертывается на оправку. Существуют два типа крепления пальцевых фрез на оправке: с внутренней цилиндрической выточкой и резьбой (тип *а*) и с наружной цилиндрической проточкой (тип *б*).

Наибольшее распространение получил первый тип крепления фрез, хотя второй тип, применяемый на Краматорском заводе тяжелого машиностроения, имеет технологические преимущества перед первым. Такие фрезы легче изготовлять без биения по цилиндрическому буртику.

Рассмотрим фрезы типа *а* как наиболее распространенные. Посадочными местами у этих фрез являются торец и отверстие d_1 (см. фиг. 377). Внутренняя резьба делается с гарантированным зазором и служит только для крепления фрезы. Для навертывания фрезы на оправку предусмотрены лыски S под ключ. Основным исходным моментом при конструировании фрезы является определение ее профиля.



Фиг. 378. Пальцевая модульная фреза с приваренными ножами.

Профиль фрез для прямозубых колес рассчитывается так же, как и для дисковых модульных фрез. При профилировании пальцевых фрез для косозубых и шевронных колес приходится производить более сложный расчет. Это вызвано тем обстоятельством, что пальцевая модульная фреза при фрезеровании впадины колеса обрабатывает винтовые эвольвентные боковые поверхности зуба колеса и каждая точка фрезы соприкасается с боковой поверхностью в разных плоскостях.

На фиг. 379 изображена впадина колеса с косыми зубьями. На каждой стороне впадины зуба взято по три точки A, B, C и D, E, F. Впадина косозубого колеса в торцевом его сечении имеет эвольвентный профиль. На нижней проекции показаны соответствующие винтовые линии, проходящие через точки A'', B'', C'' с одной стороны профиля и точки D'', E'', F'' — с другой стороны профиля. Точки A', B', C', D', E', F' касания этих винтовых линий с соответствующими окружностями дают нам истинный профиль пальцевой модульной фрезы в ее осевом сечении. Мы видим, что эти точки не лежат в одной плоскости, следовательно, осевое сечение фрезы не совпадает с нормальным сечением впадины колеса.

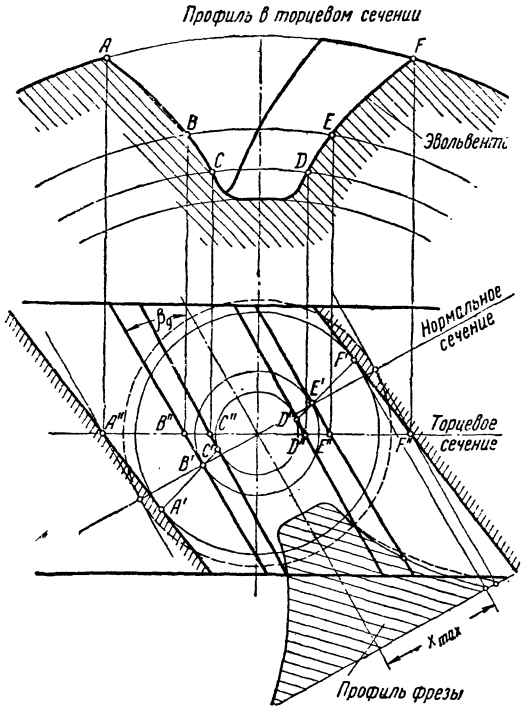
Профиль косозубого колеса в его торцевом сечении должен быть эвольвентным. Фактический же профиль фрезы, как видно из фиг. 379, сильно отличается от профиля колеса в торцевом сечении. Следовательно, для определения профиля пальцевой модульной фрезы, предназначенной для косозубых колес, нельзя применять ранее выведенные

зависимости, пригодные для прямозубых колес. В этих случаях следует или графически по точкам, или более точным и надежным — аналитическим расчетом, приводимым в специальных руководствах[1], определить профиль фрезы.

После того как профиль фрезы получен, можно приступать к конструированию и определению важнейших ее элементов.

Наружный диаметр фрезы D выбирается исходя из размеров рассчитанного профиля с запасом 3—10 *мм* по сравнению с максимальной абсциссой x_{max} профиля (см. фиг. 370), т. е.

$$D = 2x_{max} + (3 \div 10) \text{ мм}.$$



Фиг. 379. Искажение профиля пальцевой модульной фрезы при фрезеровании косого зуба.

Длина режущей части l_p принимается в зависимости от максимальной глубины y_{max} профиля с запасом от 3 до 10 *мм*:

$$l_p = y_{max} + (3 \div 10) \text{ мм}.$$

Общая длина фрезы L принимается

$$L = (1{,}9 \div 2{,}0)\ l_p.$$

Диаметр посадочного отверстия d_1, диаметр резьбы и остальные элементы посадочного отверстия могут быть приняты по нормалям[2].

Основные трудности при конструировании пальцевых фрез возникают при определении профиля стружечных канавок, в особенности у более тонкого конца фрезы (у ее торца). Для того чтобы фреза работала хорошо, необходимо, чтобы канавки были достаточными для помещения стружки. Необходимо также разместить зубья у тонкого конца фрезы, сохраняя прочность зуба. Для определения формы и достаточной глубины канавок рекомендуется при вычерчивании фрезы сделать 2—3 разреза. Угол ϑ впадины принимают обычно в пределах 45—60°. Число зубьев для чистовых фрез рекомендуется с целью облегчения промеров принимать четным. При большой разнице между D

[1] См. А. Н. Грубин, М. Б. Лихциер и М. С. Полоцкий, Зуборезный инструмент, ч. II, Машгиз, 1946.

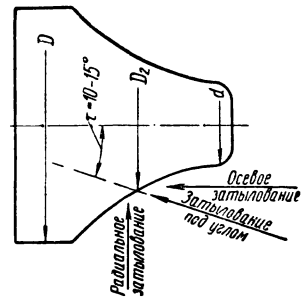
[2] См. Альбом нормалей режущего инструмента, ВНИИ МСС, вып. IV, Машгиз, 1949.

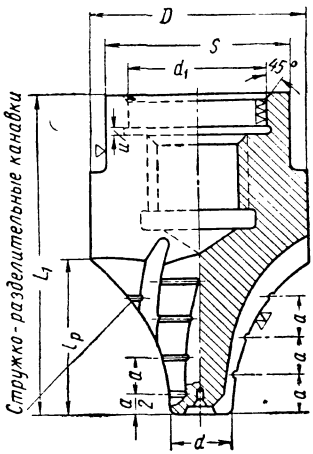
и d с целью увеличения пространства для выхода стружки приходится половину зубьев у торцевой части фрезы срезать через один.

На фиг. 380 показана черновая пальцевая модульная фреза, особенностью которой является большой объем канавок для выхода стружки.

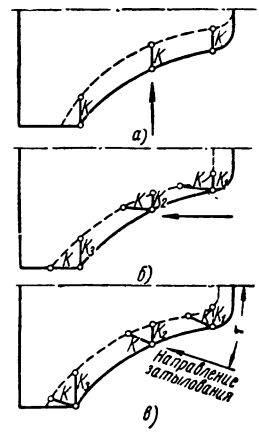
Канавки у черновых фрез могут быть выполнены спиральными. С целью улучшения условий резания передний угол принимается 8—10°. Режущие кромки снабжены стружкоразделительными канавками (расположенными в шахматном порядке), которые затылуются резцом после затылования профиля фрезы.

Затылование пальцевых фрез может производиться в трех различных направлениях: радиальное затылование (фиг. 381, *а*), осевое затылование (фиг. 381, *б*) и затылование под углом (фиг. 381, *в*).





Фиг. 380. Черновая пальцевая модульная фреза.



Фиг. 381. Способы затылования пальцевых модульных фрез.

Выше была выведена формула для определения заднего угла при затыловании по архимедовой спирали

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{K \cdot z}{\pi \cdot D}.$$

В эту формулу входят величина K, число зубьев z и диаметр D. Величина K и число зубьев z постоянны по всей длине рабочей части фрезы; диаметр D в различных точках профиля резко изменяется. Следовательно, задний угол во всех точках пальцевой фрезы различен, а именно: чем больше диаметр, тем меньше задний угол.

Разберем три вида затылования[1].

1. При радиальном затыловании (фиг. 381, *а*) (начальное положение затыловочного резца показано сплошной линией, конечное положение — пунктирной линией) задний угол во всех точках профиля будет резко (в 2—3 раза) изменяться. При переточках такой фрезы резко изменяется также и диаметр, что приводит к большому искажению профиля впадины колеса. Следовательно, радиальное затылование, несмотря на простоту, имеет существенные недостатки, а потому применяется обычно для черновых фрез.

2. Осевое затылование (фиг. 381, *б*) создает несколько лучшие условия в отношении постоянства заднего угла α, так как изменение величин затылования K_1, K_2 и K_3 (измеренных в радиальном направлении) компенсирует до известной степени разницу в диаметрах D и d и создает, таким образом, более постоянный угол α во всех точках режущей кромки. Но осевое затылование в тех местах, где линия профиля параллельна оси фрезы или наклонена к ней под малым углом, создает неблагоприятный (слишком малый) задний угол и поэтому не применяется.

3. Наилучшие результаты получаются при затыловании под углом $\tau = (10 \div 15°)$ к оси фрезы (фиг. 381, *в*). Задний угол α остается в этом случае почти постоянным, так как изменение K_1, K_2 и K_3 компенсирует разницу в диаметрах, а самое главное заключается в том, что изменение диаметра при переточках получается незначительным. Поэтому затылование под углом применяется для чистовых фрез.

Пальцевые модульные фрезы изготовляются из быстрорежущей стали ЭИ262 или легированной стали 9ХС в зависимости от условий работы и материала обрабатываемой детали.

Допуски пальцевых фрез и технические условия на них не оговорены в стандартах. По данным отдельных заводов (завод „Фрезер“) для чистовых фрез устанавливается допуск Δ на просвет от шаблона:

$$\Delta = (0{,}002 \div 0{,}003)\ m,$$

где m — модуль фрезы.

Допуски на биение зубьев принимаются следующие:

Модуль m	10—16	18—30	36—60
Допуск в *мм*	0,04	0,05	0,07

Заточка дисковых и пальцевых модульных фрез с затылованными зубьями производится обычно по передней грани. Дисковые фрезы устанавливаются на оправку; на круглошлифовальном станке производится снятие небольшой узкой ленточки до тех пор, пока круг коснется всех зубьев, затем на универсально-заточном станке производится заточка передней грани. Необходимо при этом следить за тем, чтобы режущая поверхность круга была бы направлена радиально. Заточка производится до снятия ленточки на вершинах зуба. После заточки необхо-

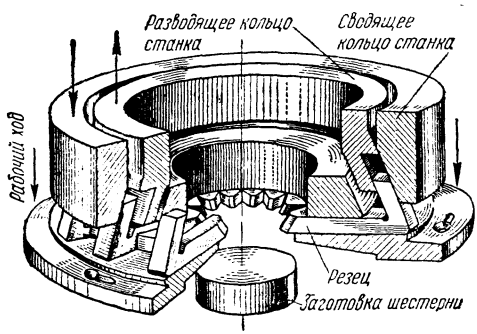
[1] См. З. М. Аронов и А. Б. Аникиенко, Пальцевые модульные фрезы, ЦИТЭИН, 1940.

димо проверить биение режущих кромок фрезы и радиальность передней грани.

С целью получения более чистой поверхности зуба колеса Уральский завод тяжелого машиностроения производит шлифование профиля пальцевых фрез, т. е. заточку по задней грани. Для этой цели имеются специальные приспособления с копирами, позволяющие получать точную заданную форму режущей кромки.

ФАСОННЫЕ ЗУБОРЕЗНЫЕ ГОЛОВКИ

В последнее время начали применять в массовом производстве специальные зуборезные головки конструкции Московского инструментального завода (МИЗ). Принцип действия такой головки состоит в том, что фасонные резцы, укрепленные в головке, производят долбление впадин заготовки (фиг. 382). В головке укреплено столько резцов, сколько впадин имеет зубчатое колесо. Таким образом, каждый резец прорезает только одну впадину. После каждого рабочего хода разводящее кольцо отводит резцы.



Фиг. 382. Схема действия фасонной зуборезной головки.

На фиг. 382 показана головка в разрезе. Применение такой сложной головки оправдывается только при массовом производстве зубчатых колес. После обработки долблением зубчатые колеса обычно подвергаются шевингованию. Производительность станка с головкой очень высокая; она в несколько раз превышает производительность обычного зубодолбежного станка или соответствующего зубофрезерного. Применение головки требует специальных зубодолбежных станков. Такие станки изготовляет станкостроительный завод „Комсомолец".

МЕТОД ОБКАТКИ

Метод обкатки, или просто обкатка, представляет собой метод получения профиля зуба колеса в результате взаимного зацепления инструмента с режущими зубьями в виде рейки или шестерни с нарезаемой заготовкой. По методу обкатки зубом рейки работают червячные фрезы, зуборезные гребенки, зубострогальные резцы, зуборезные резцовые головки, реечные шеверы; по методу обкатки зубчатым колесом работают долбяки и дисковые шеверы.

Метод обкатки имеет перед методом копирования следующие преимущества.

1. В отличие от метода копирования при методе обкатки профиль инструмента не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса. Поэтому

одной и той же червячной фрезой или гребенкой можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев (конечно, того же модуля).

2. Метод обкатки — непрерывный процесс (при этом не требуется производить отдельного деления и отсутствуют холостые движения стола станка), поэтому он значительно более производителен, чем метод копирования.

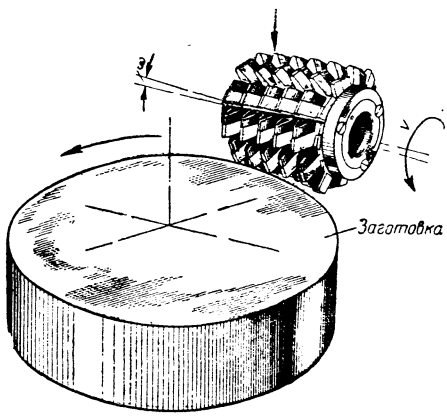
3. Точность зубчатых колес, получаемых при обкатке, значительно выше точности колес при обработке их фасонным инструментом. Это объясняется прежде всего непрерывностью и равномерностью процесса обкатки и отсутствием случайных отклонений в профиле, возможных при установке фасонного зуборезного инструмента.

Указанные преимущества метода обкатки обеспечили быстрое распространение его для нарезания зубчатых колес различных профилей.

ЧЕРВЯЧНЫЕ ЗУБОРЕЗНЫЕ ФРЕЗЫ

К инструментам, работающим по методу обкатки и получившим широкое распространение, относится червячная фреза (фиг. 383).

По типу нарезаемых колес червячные фрезы делятся на: 1) фрезы для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями; 2) фрезы для нарезания червячных колес; 3) фрезы для нарезания конических колес с криволинейными зубьями; 4) фрезы для нарезания глобоидальных колес.



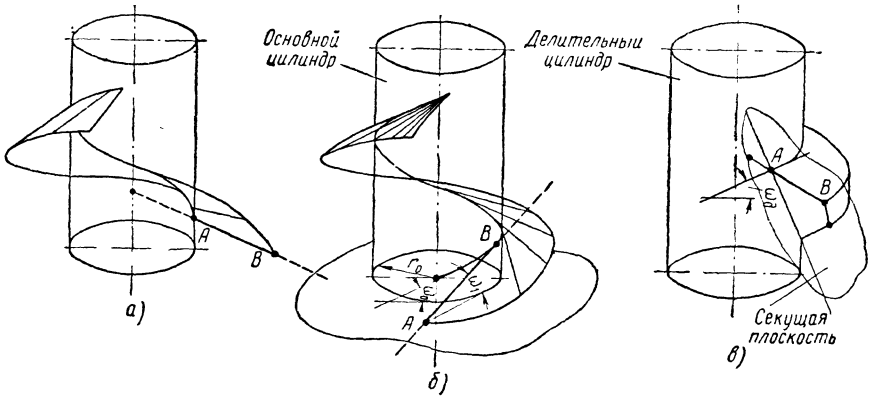
Фиг. 383. Схема обкатки червячной фрезой.

По конструкции крепления фрезы разделяются на насадные (с отверстием для оправки) и хвостовые, по внутреннему устройству — на цельные и сборные.

Любая червячная фреза представляет собой червяк, снабженный канавками.

Прежде чем перейти к описанию отдельных элементов конструкции червячной фрезы, разберем типы червяков, на принципе которых построены профилирование и расчет червячных фрез. Боковая поверхность витка червяка является винтовой поверхностью, образующейся в результате винтового движения некоторой линии в пространстве. Вообще говоря, кривая, которая движется в пространстве по винтовой траектории, может быть любой, но в технике приняты винтовые поверхности, образованные движением отрезка прямой линии. На фиг. 384, *а* изображена винтовая поверхность, которая образуется, если прямую *AB*, проходящую через ось червяка и наклоненную под некоторым углом к оси, вращать вокруг оси и одновременно (за каждый оборот) пере-

мещать равномерно вдоль оси. Червяк, боковые поверхности которого образованы таким образом, носит название архимедова червяка; признаком его является образующая прямая линия, проходящая через ось червяка. Червячные фрезы, в основе конструкции которых лежит архимедов червяк, носят название червячных архимедовых фрез. Такое название они получили потому, что в сечении их боковой поверхности плоскостью, перпендикулярной оси, получается архимедова спираль. Поверхностью червяка может быть и винтовая поверхность, образованная при движении прямой линии AB, не проходящей через ось червяка (фиг. 384, *б*). Представим себе некоторый цилиндр радиуса r_0; линию AB направим по касательной к боковой поверхности цилиндра.



Фиг. 384. Типы винтовых поверхностей.

Угол наклона ω_1 этой линии по отношению к плоскости, перпендикулярной оси цилиндра, возьмем равным углу подъема ω_0 винтовой линии на цилиндре радиуса r_0. Тогда в результате винтового движения линии AB получается винтовая поверхность, которая носит название эвольвентной винтовой поверхности. Это название она получила потому, что в сечении плоскостью, перпендикулярной оси, получается эвольвента. Цилиндр радиуса r_0 называется основным цилиндром винтовой эвольвентной поверхности.

Третья винтовая поверхность, показанная на фиг. 384, *в*, имеет прямолинейный профиль в нормальном сечении, т. е. в сечении витка (или впадины) под углом подъема $\omega_д$ винта к оси на делительном цилиндре. В сечении плоскостью, перпендикулярной оси, третий тип червяка дает удлиненную эвольвенту.

Итак, имеется три типа червяков, образованных движением прямых линий по винтовой поверхности. Каждый из этих типов червяков в зависимости от направления хода может быть как правый, так и левый. Червячная фреза представляет собой тот же червяк, но в отличие от последнего фреза имеет режущие кромки. Червячные фрезы, как и червяки, также могут быть трех типов: архимедовы (с прямолинейным профилем в осевом сечении), эвольвентные и, наконец, фрезы с прямо-

линейным профилем в нормальном сечении (по витку или по впадине)[1]. Архимедовы и эвольвентные червяки фрезы изготовляются в основном для фрезерования червячных колес, причем первые из них — архимедовы червячные фрезы — получили большее распространение, так как их проще изготовлять, чем червячные эвольвентные фрезы.

Червячные фрезы с прямолинейным профилем в нормальном сечении получили широкое распространение для фрезерования цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями, и до настоящего времени они являются основным типом фрез для фрезерования цилиндрических колес. Наряду с этим для фрезерования цилиндрических колес находят применение архимедовы червячные фрезы с прямолинейным профилем в осевом сечении.

Кроме указанных типов цилиндрических червяков и червячных фрез имеют применение конические червяки и конические червячные фрезы, глобоидальные червяки (образованные не на прямом цилиндре, а на глобоиде) и глобоидальные фрезы для их изготовления.

Из большого разнообразия типов червячных фрез разберем два основных типа: 1) для цилиндрических колес, 2) для червячных колес.

Червячные фрезы для цилиндрических зубчатых колес. Червячные фрезы для нарезания цилиндрических зубчатых колес делятся на черновые, чистовые, особо точные (прецизионные) и сборные.

Черновая червячная фреза показана на фиг. 385, *а*. Эти фрезы делаются с пониженной точностью, часто с нешлифованным профилем зуба. Для повышения производительности черновые фрезы иногда делают двухзаходными. При увеличении числа заходов фрезы в определенное число раз во столько же раз должно увеличиваться число оборотов нарезаемого колеса. Следовательно, если сделать фрезу двухзаходной, получим увеличение числа оборотов изделия вдвое. Однако практика фрезерования и исследования процесса показывает, что повышение производительности при применении двухзаходных фрез сравнительно невелико (до 20%), так как благодаря увеличению угла наклона канавок резко ухудшаются условия резания на боковых сторонах профиля и приходится снижать подачу. Применение трехзаходных фрез совершенно не оправдывается.

Чистовые червячные фрезы (фиг. 385, *б*) изготовляются однозаходными с прямолинейным профилем в нормальном (или осевом) сечении. Габариты таких фрез стандартизованы по ГОСТ 3346-46, технические условия на них — по ГОСТ 2973-45.

Особо точные (прецизионные) червячные фрезы отличаются от чистовых особой тщательностью выполнения, жесткими допусками и увеличенным диаметром (увеличение диаметра приводит к повышению точности профиля фрезы).

Сборные червячные фрезы со вставными гребенчатыми ножами (фиг. 385, *б*) изготовляют в целях экономии быстрорежущей стали.

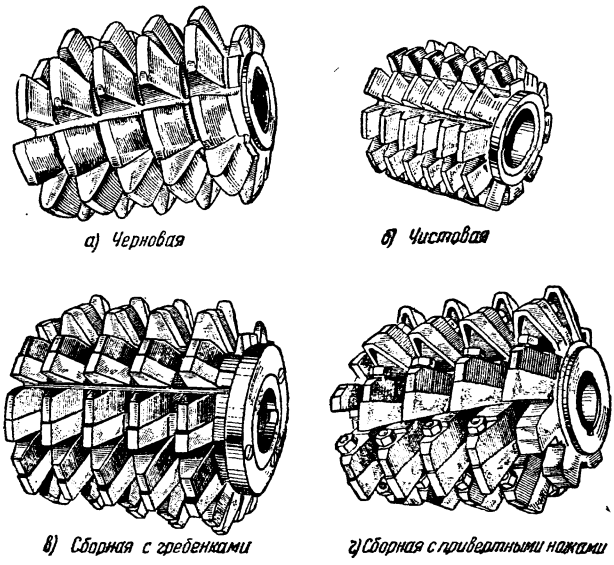
---

[1] Применяются также и червячные фрезы, в основу которых положены другие, так называемые нелинейчатые поверхности.

Корпус этих фрез изготовляется из конструкционной стали, а гребенчатые ножи — из быстрорежущей стали.

Сборные червячные фрезы с привертными отдельными зубьями из быстрорежущей стали (фиг. 385, *г*) позволяют уменьшить расход быстрорежущей стали по сравнению с предыдущим типом, но применяются только для изготовления очень крупных фрез (начиная с модуля 20 и выше).

Конструкция червячной фрезы для цилиндрических колес. На фиг. 386 показан чертеж червячной чистовой однозаходной насадной



Фиг. 385. Типы червячных фрез для цилиндрических колес.

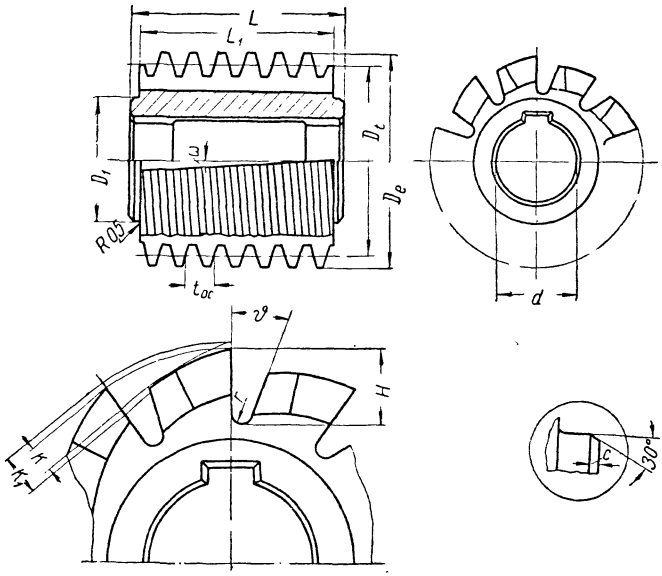
фрезы со всеми конструктивными элементами, а на фиг. 387 — профиль ее зуба в нормальном сечении.

t_n — шаг профиля зуба в нормальном сечении; t_{oc} — шаг профиля в осевом сечении; α_n — угол профиля в нормальном сечении; S_n — толщина зуба в нормальном сечении; h — высота зуба; h_1 и h_2 — соответственно высоты головки и ножки зуба;

D_e — наружный диаметр фрезы; d — диаметр отверстия фрезы; L — общая длина; L_1 — длина рабочей части; z — число зубьев; D_t — расчетный диаметр делительного цилиндра; ω — угол наклона винтовых канавок (обычно равен углу подъема нитки на делительном цилиндре); S_k — шаг винтовых канавок; ϑ — угол канавочной фрезы; r — радиус закругления впадины; H — глубина канавки; α_1 — задний угол; γ — передний угол; K и K_1 — величина затылования; D_1 — диаметр буртиков.

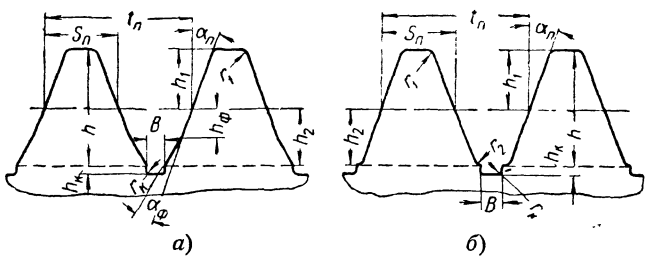
Перейдем к определению основных конструктивных элементов фрезы в том порядке, в каком производится расчет червячных фрез.

Определение профиля в нормальном сечении. Профиль фрезы в нормальном сечении (фиг. 387) должен соответствовать рабочему контуру рейки, которой производится обкатка нарезаемого колеса. Данные, относящиеся к профилю, будут следующие.



Фиг. 386. Червячная фреза для цилиндрических колес.

1. Модуль m является исходной величиной при проектировании червячной фрезы. Если фреза предназначена для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями, модуль будет в точности соответствовать модулю колеса в торцевом сечении. Если фреза предназначена для цилиндрического колеса с косыми зубьями, модуль принимается равным модулю зубчатого колеса в нормальном сечении.



Фиг. 387. Профиль зуба червячной фрезы в нормальном сечении:
а — фланкированный; *б* — нефланкированный.

2. Угол профиля α_n в нормальном сечении может быть принят равным углу α зацепления колеса. Однако это не совсем точно. Тео-

ретические расчеты показывают, что точность фрез увеличивается, если принимать корректированный угол. Канд. техн. наук В. А. Шишков предлагает следующую корректировку угла α_n в зависимости от угла подъема нитки ω на делительном цилиндре (для 20° зацепления):

Угол подъема нитки ω на делительном цилиндре	Корректированный угол α_n	Угол подъема нитки ω на делительном цилиндре	Корректированный угол α_n
2°	20°	5°30′	19°56′30″
3°	19°59′	6°	19°56′
4°	19°58′30″	6°30′	19°55′
4°30′	19°58′	7°	19°54′
5°	19°57′30″		

3. Высота головки зуба h_1 фрезы определяется по формуле $h_1 = 1{,}25\ m$, т. е. берется равной высоте ножки зубчатого колеса.

4. Высота ножки зуба h_2 фрезы принимается (с учетом зазора между наружным диаметром заготовки и впадины червячной фрезы) равной $h_2 = 1{,}25\ m$.

5. Полная высота зуба $h = h_1 + h_2$, таким образом для нормального 20° зацепления по ГОСТ $h = 2{,}5\ m$.

6. Шаг t_n должен быть равен шагу нарезаемого колеса при нарезании колес с прямыми зубьями; для колес с косыми зубьями шаг t_n должен быть равен шагу колеса в нормальном сечении.

7. Толщина S_n зуба в нормальном сечении $S_n = \frac{t_n}{2}$.

Зуб червячной фрезы имеет закругления у вершины и впадины: радиус у вершины $r_1 = (0{,}25 \div 0{,}3)\ m$, радиус у впадины $r_2 = (0{,}2 \div 0{,}3)\ m$. Если профиль должен быть фланкированным, то даются соответствующие элементы фланкирования.

Таким образом определяются все элементы стандартного 20° профиля в нормальном сечении. Если зубчатое колесо имеет специальный профиль, то соответственно должны быть взяты другие элементы профиля; эти элементы обычно указываются в рабочем чертеже зубчатого колеса.

Следует отметить два принципиально различных метода профилирования и измерения профиля фрез — в нормальном сечении (как было описано выше) и осевом сечении. Более точно можно спрофилировать фрезу, измеряя профиль в осевом сечении[1]. В ГОСТ 3346-46 дан такой метод проверки и профилирования наравне с методом проверки и профилирования в нормальном сечении.

Определение диаметра фрезы. Наружный диаметр фрезы D_e сильно влияет на точность нарезаемых колес. Чем больше наружный диаметр, тем меньше будут сказываться ошибки, которые получаются

[1] Интересующихся методом профилирования червячных фрез в осевом сечении отсылаем к работе А. Н. Грубина, М. В. Лихциер и М. С. Полоцкого, Зуборезный инструмент, ч. II, Машгиз, 1947.

при профилировании фрезы в нормальном сечении, тем больше можно принять диаметр оправки и меньше будут вибрации при нарезании. Следовательно, чем выше точность нарезаемых колес, тем больший диаметр должен быть у фрезы. Но, с другой стороны, увеличение диаметра фрезы приводит к излишнему расходу быстрорежущей стали (обычно все фрезы со шлифованным профилем изготовляются из быстрорежущей стали). Увеличение диаметра фрезы (при одинаковой скорости резания) снижает производительность фрезы. Поэтому для червячных фрез в зависимости от их назначения принимают различный наружный диаметр. Для нарезания зубчатых колес 2-го класса необходимы фрезы большего диаметра, чем для колеса 3-го класса, и т. д.

Выбор наружного диаметра фрезы в зависимости от класса точности колес следует производить по табл. 64. В этой таблице приведены минимальные значения наружного диаметра чистовых червячных фрез, обеспечивающие необходимую точность колес.

Таблица 64

Минимальные значения наружного диаметра чистовых червячных фрез (по данным А. Н. Грубина)

Модуль	Класс точности колес			Модуль	Класс точности колес		
	2-й	3-й	4-й		2-й	3-й	4-й
2	45	30	25	6,5	135	100	85
2,25	50	35	30	7	145	110	90
2,5	55	40	35	8	155	120	100
2,75	60	45	35	9	170	135	110
3	65	50	40	10	190	140	120
3,25	70	50	45	11	210	165	135
3,5	75	55	45	12	230	180	145
3,75	80	60	50	13	250	190	160
4,0	85	65	50	14	260	195	165
4,25	90	65	55	15	—	210	175
4,5	95	70	60	16	—	225	190
5,0	105	80	65	18	—	250	200
5,5	115	85	70	20	—	270	230
6	125	95	75				

Наружный диаметр черновых фрез следует принимать наименьшим.

Общая длина L и длина рабочей части L_1 фрез принимаются по ГОСТ 3346-46.

В основу расчета длины рабочей части фрезы положено следующее соображение: длина рабочей части фрезы должна быть не меньше длины проекции линии зацепления на начальную прямую рейки.

Проекция линии зацепления $l_{зац}$ рейки равняется (см. фиг. 362)

$$l_{зац} = h \operatorname{ctg} \alpha_0.$$

На практике считают, что фреза может быть переставлена после небольшого притупления вдоль оси минимум на один шаг. Кроме того,

один крайний виток фрезы не может участвовать в работе. Итак, минимальная длина фрезы составит

$$L_{1\min} = l_{зац} + l_{перестановки} + l_{крайних\ витков}.$$

Для 20° зацепления получим

$$L_{1\min} = h \operatorname{ctg} \alpha_0 + t + t.$$

Подставив значения ctg 20° и округляя, получим

$$L_{1\min} = 13\ m,$$

т. е. длина рабочей части фрезы должна быть не менее 13 m. Чем больше будет длина рабочей части, тем больше перестановок можно будет делать. Поэтому у фрез мелких модулей длина L_1 делается больше $L_{1\min}$, а у фрез крупных модулей близка к минимуму. Общая длина L фрезы увеличивается по сравнению с длиной L_1 рабочей ее части на длину двух буртиков.

Диаметр отверстия. Диаметр d отверстия червячных цельных насадных фрез для колес 3-го и 4-го классов точности принимается по следующим данным:

Модуль m	1—2,75	3—5	5,5—8	9—16	18—20
Наружный диаметр D_e в *мм*	50—65	70—90	100—125	140—195	215—230
Диаметр отверстия d в *мм*.	22	27	32	40	50

У особо точных фрез следует делать диаметр отверстия под оправку по возможности бо́льшим. Точно так же следует делать бо́льший диаметр отверстия у червячных фрез со вставными гребенками или ножами.

Число зубьев. Число зубьев у фрез, предназначенных для обработки колес 3-го и 4-го классов точности, принимается:

m	1—2	2,25—3,75	4—9	10—20
z	12	10	9	8

У фрез, предназначенных для обработки точных зубчатых колес, а также у сборных фрез число зубьев рекомендуется брать по возможности бо́льшим (более 10) с тем, чтобы получить более чистую поверхность.

Величина задних углов и величины затылования K и K_1. Задние углы фрезы по вершине и боковым сторонам профиля различны.

Можно определить задний угол α_x по боковой стороне профиля в нормальном сечении к режущей кромке по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \varphi,$$

где φ — угол наклона режущей кромки к торцевой плоскости фрезы. Применительно к червячной фрезе угол φ есть не что иное, как угол зацепления α. Следовательно, задний угол α_x у червячной фрезы в нормальном сечении может быть определен из формулы

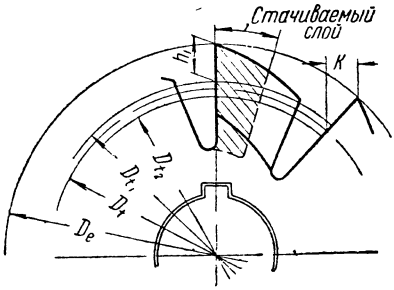
$$\operatorname{tg}\alpha_x = \operatorname{tg}\alpha_1 \sin\alpha.$$

Приняв минимальный задний угол α_x равным 4°, получим необходимый задний угол $\alpha_1 = 11 \div 12°$ (при $\alpha = 20°$). Исходя из этого угла α_1 рассчитывается падение затылка K по формуле

$$K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg}\alpha_1.$$

Если фрезы с нешлифованным профилем, то затылование производят обычное резцом; у фрез со шлифованным профилем для обеспечения выхода шлифовального круга делают двойное затылование. Величина K_1 второго затылования принимается по формуле

$$K_1 = (1{,}2 \div 1{,}7)\ K.$$



Фиг. 388. Определение расчетного делительного диаметра.

Расчетный диаметр D_t. Важным элементом фрезы является расчетный диаметр делительного цилиндра D_t (фиг. 388). Прежде чем определить D_t, представим себе червячную фрезу. В основу ее конструкции положен червяк, и D_t будет соответствовать диаметру делительного цилиндра этого основного червяка. Но новая и переточенная фрезы имеют различный наружный диаметр. Следовательно, новая и переточенная фрезы будут иметь также соответственно разные диаметры делительной окружности D_{t_1} и D_{t_2}.

Для расчета фрезы принимают некоторый средний между D_{t_1} и D_{t_2} делительный диаметр D_t, определяемый по формуле

$$D_t = D_e - 2h_1 - 0{,}25K,$$

т. е.

$$D_t = D_e - 2{,}5m - 0{,}25K.$$

Угол ω. Если винтовую линию на делительном цилиндре развернуть на плоскость, то угол ω подъема винтовой линии на делительном цилиндре может быть рассчитан по формуле

$$\sin\omega = \frac{t_n}{\pi D_t}$$

или

$$\sin\omega = \frac{m}{D_t},$$

где m — модуль зубчатого колеса. У нормальных червячных фрез с целью обеспечения одинаковых передних углов и одинаковых условий резания на обеих сторонах зуба междузубые канавки делают с углом наклона, равным углу подъема винтовой линии, т. е. направление канавок принимают нормальным к направлению резьбы червяка.

Иногда делают так называемые 90-градусные фрезы, у которых канавка прорезается вдоль оси фрезы, однако такие фрезы не получили достаточно широкого распространения.

Опыты советских исследователей (инж. Якиманского и других), а также длительная работа завода ЗИС, показывают полную возможность применения 90-градусных фрез, т. е. фрез с прямыми канавками, направленными вдоль оси, конечно, при небольших углах ω. Однако многие предпочитают делать фрезы с винтовыми канавками, направленными под углом наклона ω. Направление винтовых канавок обратно направлению нарезки червяка: если червяк правый, то канавки левые, и наоборот.

При установке фрезы с винтовыми канавками на зубофрезерном станке важно знать точно угол наклона канавок ω. Поэтому червячные фрезы всегда должны иметь клеймение с указанием угла ω.

Шаг винтовых канавок $S_к$ (или ход винтовых канавок) определяется по формуле

$$S_к = \frac{\pi D_t}{\operatorname{tg} \omega}.$$

Шаг по оси t_{oc}. На чертеже фрезы должен быть обязательно указан шаг по оси, который можно найти по формуле

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \omega}.$$

Определение элементов канавки и угла ϑ канавочной фрезы лучше всего производить после прочерчивания зуба фрезы. Глубина канавки $H = h + K + r$. Угол ϑ канавочной фрезы принимается равным 22—25°.

Определение диаметра буртиков, выточек внутри отверстия, размера шпоночного паза и пр. можно производить аналогично обычным фрезам.

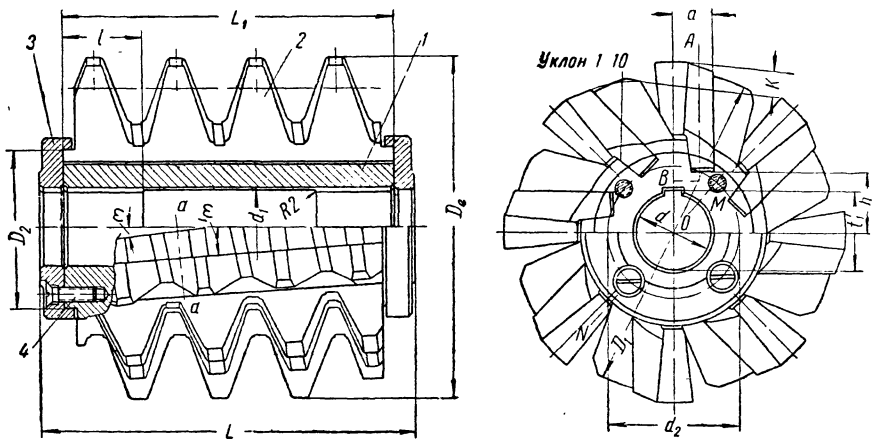
Технические условия на изготовление червячных чистовых фрез для цилиндрических колес предусмотрены ГОСТ 2973-45. Допуски на отдельные элементы фрез (угол профиля, шаг и т. д.) принимаются различные в зависимости от класса точности фрез.

В ГОСТ 2973-45 имеются 3 класса точности фрез — А, В и С, причем фрезы классов А и В, предназначенные для обработки зубчатых колес 3-го и 4-го классов точности, должны изготовляться со шлифованным профилем. Фрезы класса С, предназначенные для обработки колес ниже 4-го класса, могут быть изготовлены как со шлифованным, так и с нешлифованным профилем. Более точные фрезы для колес 2-го класса изготовляются по специальным техническим условиям с наименьшими допусками.

В связи с необходимостью у фрез (классов А и В и более точных) шлифовать профиль и получать высокую точность приходится фрезы изготовлять из быстрорежущей стали РФ1. Сталь ЭИ262 плохо шли-

фуется, поэтому применяется обычно для фрез с нешлифованным профилем.

Особенности конструкции сборных червячных фрез. В целях экономии быстрорежущей стали целесообразно червячные фрезы изготовлять сборными со вставными ножами; особенно целесообразно изготовление таких фрез для цилиндрических зубчатых колес крупного модуля. Червячные фрезы для цилиндрических зубчатых колес, начиная с модуля 10 и выше, как правило, следует изготовлять только сборными. Исключение могут составлять специальные фрезы особой точности и многозаходные фрезы для червячных передач, которые трудно изготовить сборными, а часто, при малом диаметре, вообще невозможно.



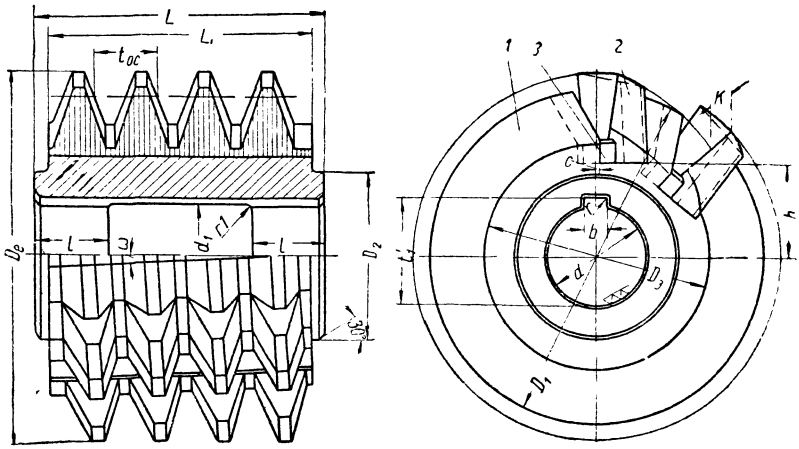
Фиг. 389. Сборная червячная фреза с гребенками и боковыми кольцами, посаженными в нагретом виде.

Причиной изготовления крупных фрез сборными служит также трудность получения крупных качественных поковок из быстрорежущей стали. Обычно поковки крупного размера из быстрорежущей стали имеют дефекты (раковины, трещины и т. д.). В последние годы сборные червячные фрезы получили широкое распространение. Ниже приведены некоторые наиболее распространенные конструкции червячных фрез наших отечественных заводов.

На фиг. 389 показана фреза со вставными гребенками крупного модуля ($m = 10 \div 28$) завода „Фрезер". В корпусе *1* фрезы, изготовленном из конструкционной стали (рекомендуется применение хромистой стали 40Х), профрезерованы клиновидные пазы, суживающиеся к центру (уклон 1 : 10). В пазы запрессованы гребенчатые ножи *2* из быстрорежущей стали. На обоих торцах фрезы проточены буртики, причем концы запрессованных ножей выступают с обеих сторон корпуса и протачиваются совместно с корпусом. На эти буртики насаживаются боковые кольца *3* в нагретом виде (при температуре 300° С). Остывая, кольца сжимаются и наподобие обруча охватывают буртики

с гребенчатыми ножами. После остывания получается монолитная, очень прочная конструкция; фреза по прочности ничем не отличается от цельной фрезы. Винты *4*, которыми кольца привернуты к корпусу, служат для предохранения колец от сдвигания при случайных ударах. Эта конструкция дает надежное хорошее крепление, но не позволяет производить смену ножей.

Другая конструкция сборной червячной фрезы завода „Фрезер" для фрез от модуля 5 до 9 показана на фиг. 390. В этой конструкции гребенчатые ножи *2* и пазы корпуса *1* с одной (задней) стороны снабжены рифлениями, идущими в радиальном направлении. После уста-



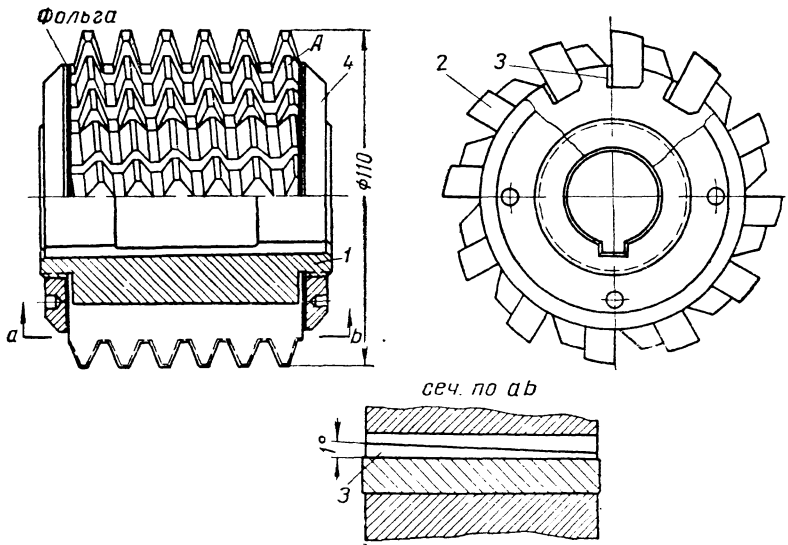
Фиг. 390. Сборная червячная фреза с рифлеными гребенками, закрепленными клиньями.

новки в паз корпуса, ножи заклиниваются гладкими клиньями *3* с углом 2°. Получается прочное и надежное крепление. Смена ножей в этой конструкции фрезы затруднительна, так как ножи окончательно должны быть обработаны совместно с корпусом.

На фиг. 391 показана конструкция червячной фрезы, применяемая на заводах автомобильной и тракторной промышленности. Гладкие гребенки *2* из быстрорежущей стали закрепляются в корпусе *1* клиньями *3* с торцов; от осевого перемещения гребенки удерживаются кольцами *4*. Одно из колец навертывается в корпус до упора, другое опирается только на выступающие торцы ножей и закрепляет их. Между кольцами и корпусом прокладывается фольга. Эта конструкция позволяет производить смену ножей.

На фиг. 392 показана фреза конструкции Кировского завода (модуль от 4 до 12). Клиновидные ножи *2*, скошенные по торцам, зажимаются в корпусе *1* кольцами *4*, имеющими на торце внутреннюю угловую фаску, которая охватывает нож, и гайками *5*. Дополнительно для фрез модуля выше 8 в середине нож закреплен сухариком *3* с винтом *6*

Все перечисленные конструкции червячных фрез имеют механическое крепление гребенчатых ножей. Наряду с таким креплением ВНИИ МСС разработана конструкция фрез (до модуля 10), в которой крепление гребенчатых ножей осуществляется путем припаивания их к корпусу (фиг. 393). Ножи *2* из быстрорежущей стали (предварительно обработанные) вставляются в пазы корпуса *1*. Перед установкой ножей в специальные углубления в пазах закладываются пластинки медно-никелевого припоя, температура плавления которых (1150° С) близка к температуре



Фиг. 391. Сборная червячная фреза с гладкими гребенками, закрепленными клиньями.

закалки быстрорежущих ножей. После установки в корпусе ножи небольшими каплями металла привариваются к корпусу. Затем производится термическая обработка ножей вместе с корпусом. Во время окончательного нагрева под закалку (в соляной ванне) пластинки припоя, находящиеся в пазах под ножами, расплавляются и, затекая благодаря капиллярным свойствам в щели между ножами и корпусом, припаивают ножи к корпусу. После отпуска производится дальнейшая обработка фрез — шлифование отверстий, заточка и шлифование профиля.

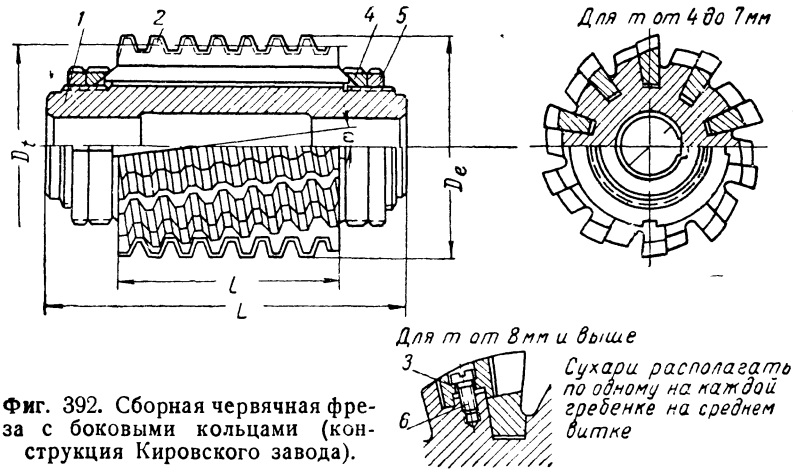
Недостатком фрез этой конструкции является трудность контроля качества пайки.

Фрезы для зубчатых колес модуля выше 20 изготовляются иногда с отдельными вставными ножами. Это вызвано тем, что изготовление таких фрез со вставными гребенками требует значительного увеличения наружного диаметра по сравнению с цельными, а фрезы с отдельными вставными ножами могут быть изготовлены меньшего диаметра. И если зубофрезерный станок не позволяет установить фрезы большого диа-

метра, то приходится идти на изготовление более сложных фрез с отдельными вставными ножами.

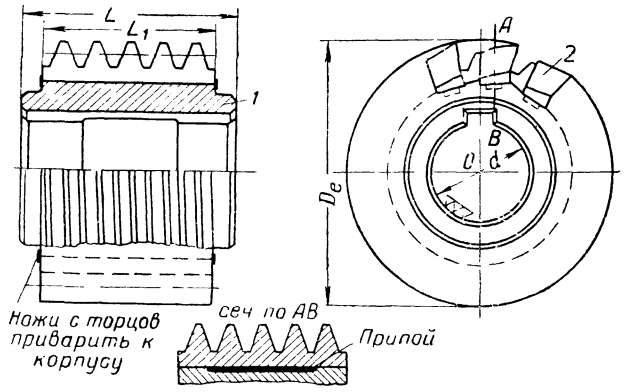
На фиг. 394 и 395 показаны конструкции фрез с отдельными ножами.

У фрезы конструкции инж. Д. Г. Христофорова, показанной на фиг. 394, нож *2*, снабженный на опорной поверхности рифлениями,



Фиг. 392. Сборная червячная фреза с боковыми кольцами (конструкция Кировского завода).

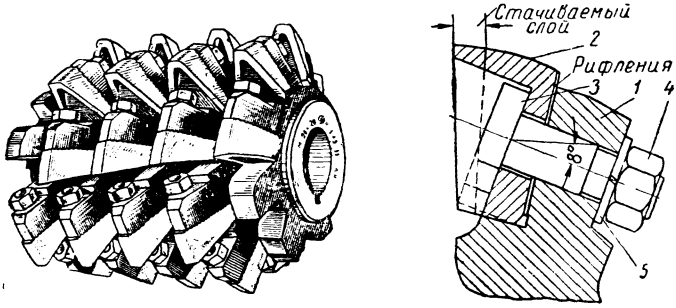
прикрепляется к выступу корпуса *1* болтом *3*. Ось болта по отношению к опорной плоскости ножа наклонена под углом 8°. Таким образом, при затягивании болта гайкой *4* возникает сила, стремящаяся притянуть



Фиг. 393. Червячная фреза с впаянными гребенками из быстрорежущей стали.

нож не только к опорной поверхности, но и к дну паза. С целью предохранения от самоотвинчивания гайки навертываются на резьбу болтов с плотной посадкой, а под гайки ставятся пружинные разрезные шайбы *5*.

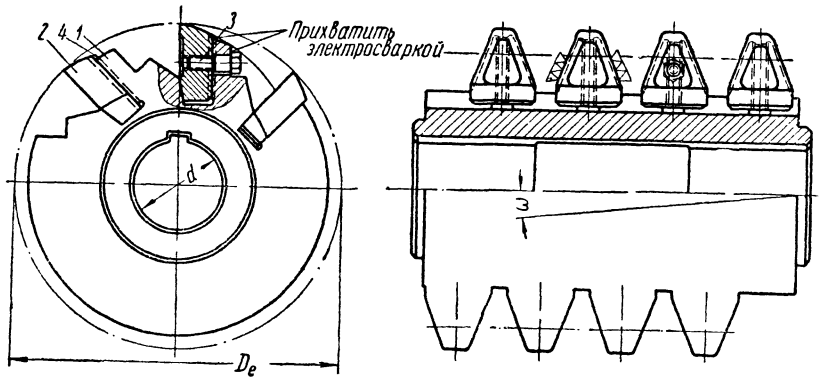
Сборная червячная фреза конструкции Новокраматорского завода показана на фиг. 395. В этой конструкции отдельные ножи *2* входят своим основанием в неглубокие клинообразные пазы. На опорной поверхности ножи своими шпоночными пазами устанавливаются против соответствующих пазов в выступах корпуса. Между ножом и корпусом



Фиг. 394. Сборная червячная фреза с отдельными привернутыми ножами (конструкция инж. Д. Г. Христофорова).

вставляется шпонка *4*. Нож притягивается к опорной поверхности болтом *3*.

При сравнении этих двух конструкций сборных червячных фрез легко установить, что проще в изготовлении фреза, показанная на фиг. 394, но прочнее фреза конструкции Новокраматорского завода.

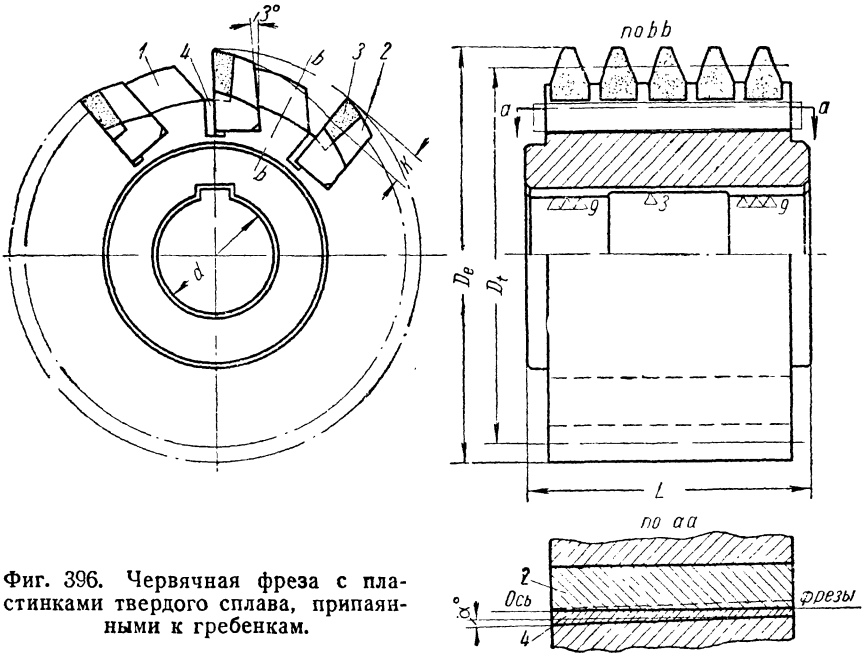


Фиг. 395. Сборная червячная фреза с привернутыми ножами (конструкция Новокраматорского завода).

Червячные фрезы с твердыми сплавами. В последнее время в связи с развитием скоростных методов обработки ведутся экспериментальные научно-исследовательские работы по осуществлению червячных фрез, оснащенных твердыми сплавами. Применение таких фрез может дать большой производственный эффект. Оргавтопромом разработана червячная фреза с цельными твердосплавными гребенками,

закрепляемыми клиньями и кольцами по типу фрезы, показанной на фиг. 391. На фиг. 396 показана опытная конструкция фрезы, разработанная ВНИИ МСС, с литыми гребенками *2*, оснащенными пластинками твердого сплава *3*, закрепляемыми клиньями *4* в корпусе *1*. Однако до сих пор не освоено изготовление таких фрез, и результаты применения их пока неудачны.

Все перечисленные конструкции сборных червячных фрез по своим основным элементам — профилю, делительному диаметру, длине и пр.—



Фиг. 396. Червячная фреза с пластинками твердого сплава, припаянными к гребенкам.

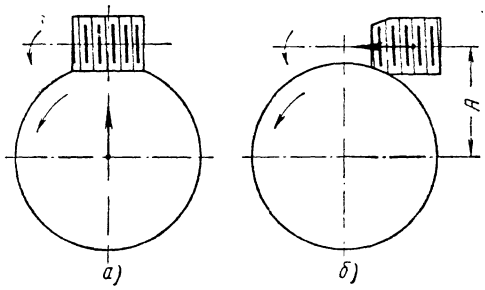
рассчитываются так же, как и цельные фрезы. Необходимо только для определения наружного диаметра, диаметра отверстия и размеров гребенки производить вычерчивание фрезы в натуральную величину.

Червячные фрезы для червячных колес. Выше были разобраны конструкции и расчет червячных фрез для цилиндрических колес. Мы видели, что габаритные размеры фрезы выбирались из соображений точности профиля, прочности фрезы и т. д. Таким образом, диаметр и угол ω фрезы не зависели от конструкции зубчатого колеса.

Иное положение получается при разработке червячных фрез для червячных колес. Фреза для червячного колеса должна быть копией червяка, поэтому диаметр фрезы, шаг и угол ω должны в точности соответствовать тем же элементам червяка.

Для червячной передачи могут быть приняты все три типа червяков (архимедов, эвольвентный и с прямолинейным профилем в нормальном сечении). Выбор типа червячной фрезы зависит от типа червяка, принятого в червячной передаче.

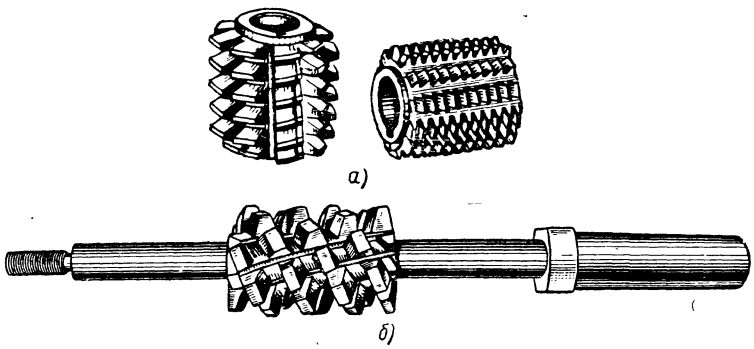
Различают два способа фрезерования червячных колес: фрезерование с радиальной подачей (фиг. 397, *а*) и фрезерование с тангенциальной подачей (фиг. 397, *б*). В первом случае углубление фрезы в изделие происходит в радиальном направлении путем постепенного сближения изделия и фрезы. Во втором случае расстояние *А* между осями червячного колеса и фрезы остается постоянным, а фреза имеет поступательное движение вдоль своей оси. Фрезы, предназначенные для тангенциальной подачи, снабжаются заборным конусом. Второй способ фрезерования является более точным, поэтому первый способ (радиальной подачи) применяется только в тех случаях, когда на станке не имеется возможности сообщить фрезе тангенциальную подачу.



Фиг. 397. Схемы фрезерования червячных колес:

а — с радиальной подачей; *б* — с тангенциальной подачей.

Фрезы для червячных колес выполняются как насадными, так и хвостовыми (это зависит от диаметра и модуля червяка). Хвостовые фрезы употребляются лишь в тех случаях, когда не представляется возможным сделать отверстие во фрезе. На фиг. 398 показаны



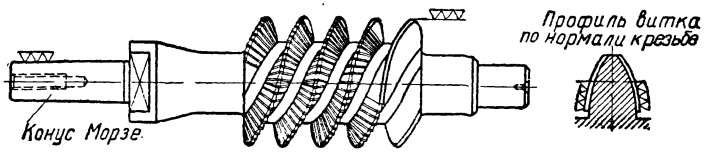
Фиг. 398. Червячные фрезы для нарезания червячных колес.

червячные фрезы для нарезания червячных колес. Насадная фреза (фиг. 398, *а*) имеет отверстие со шпоночным пазом, а хвостовая (фиг. 398, *б*) — конусный хвост и цапфу для закрепления на станке.

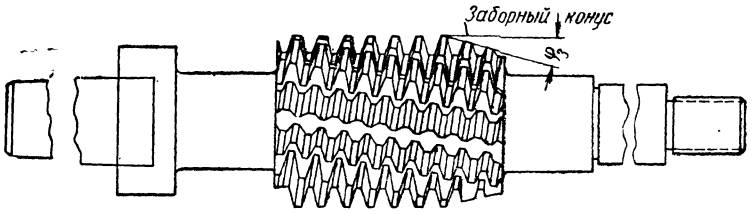
На фиг. 399 показана червячная эвольвентная фреза с насеченными мелкими зубьями. Она представляет собой инструмент для снятия очень мелкой стружки — так называемый „червячный шевер". Зубья такой фрезы срезают тонкие стружки—„скоблят" профиль червячного колеса.

Такие фрезы применяются для окончательной обработки червячных колес для червячной передачи с эвольвентным червяком.

На фиг. 400 изображена фреза, предназначенная для работы с тангенциальной подачей. Она имеет заборный конус с углом $\varphi_з$. Зубья фрезы на заборной части должны быть затылованы по конусу.

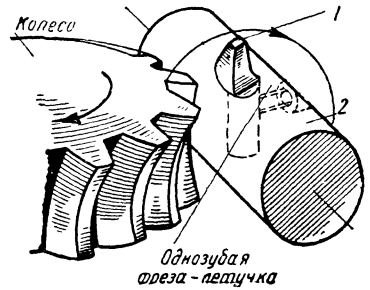


Фиг. 399. Червячный шевер.



Фиг. 400. Червячная фреза с заборным конусом.

Существуют червячные однозубые фрезы-летучки (фиг. 401). Фреза-летучка имеет один режущий зуб *1*, выполненный по профилю рейки и вставленный в оправку *2*. Фреза очень проста в изготовлении, но малопроизводительна и поэтому применяется только в случае крайней необходимости, когда требуется нарезать одно или несколько червячных колес, а обычную червячную фрезу изготовить сложно.



Фиг. 401. Червячная однозубая фреза-летучка.

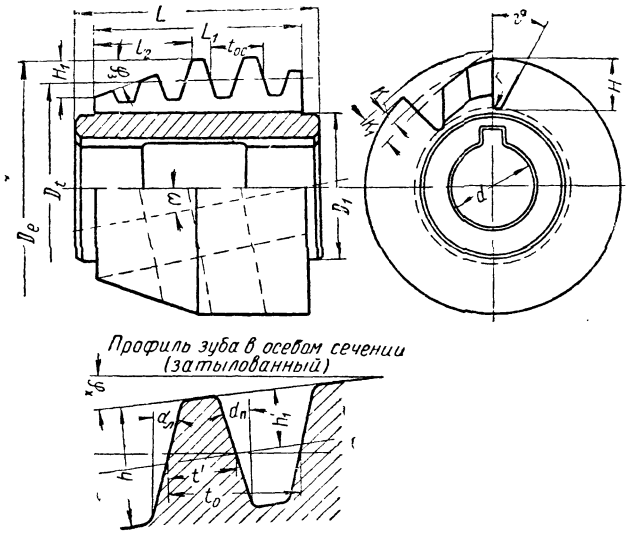
Расчет червячной фрезы для червячного колеса. Широкое распространение получили червячные фрезы, в основу конструкции которых положена архимедова винтовая поверхность. Это объясняется простотой изготовления точного архимедова червяка, так как профиль его в осевом сечении прямолинейный. Кроме того, изготовление эвольвентного червяка сложнее (для этого требуются специальные шлифовальные станки). Применение эвольвентных червяков в машинах массового производства объясняется тем, что передача с эвольвентным червяком имеет высокий к. п. д., более износоустойчива и допускает большую нагрузку, чем передача с архимедовым червяком.

На фиг. 402 изображена червячная фреза, в основу которой положен архимедов червяк, имеющий прямолинейный профиль в осевом сечении.

Исходными данными для проектирования этих фрез являются: 1) модуль m; 2) число заходов червяка n; 3) средний диаметр червяка $D_{ср}$; 4) угол зацепления α_0; 5) максимальное число зубьев червячного колеса; 6) высота ножки зуба червячного колеса h_2''; 7) высота ножки червяка h_1'.

Конструктивные элементы червячной фрезы, подлежащие определению (обозначены буквами на фиг. 402):

1) расчетный делительный диаметр D_t;
2) угол наклона винтовых канавок на делительном диаметре ω;
3) наружный диаметр фрезы D_e.



Фиг. 402. Конструктивные элементы червячной архимедовой фрезы.

Элементы профиля червячной фрезы (незатылованной):

4) высота головки зуба фрезы h_1;
5) высота ножки зуба фрезы h_2;
6) полная высота профиля h;
7) осевой шаг от зуба к зубу t_{oc};
8) осевой ход витка — $t_{oc} \cdot n$;
9) радиусы закругления головки и ножки зуба фрезы r_1 и r_2.

Элементы канавок фрезы:

10) задний угол α_1;
11) число междузубых канавок z;
12) шаг винтовых канавок $S_к$;
13) угол рабочей канавочной фрезы ϑ;
14) величина затылования K и K_1;
15) глубина канавки H;
16) радиус закругления дна канавки r.

Элементы осевого профиля затылованной фрезы:

17) угол наклона верхних участков профиля к оси фрезы $\varphi_к$;

18) углы правой и левой стороны профиля $\alpha_п$ и $\alpha_л$;

19) высота зуба h_1';

20) толщина зуба на начальном диаметре t'.

Элементы заборного конуса:

21) угол заборного конуса $\varphi_з$;

22) длина заборного конуса l_2.

Остальные элементы червячной фрезы — насадной и хвостовой — определяются из условий установки фрезы на станке. К ним относятся диаметр отверстия, размеры шпоночной канавки, элементы конусного хвоста, общая длина, длина и диаметр цапфы и т. д.

Разберем расчет основных элементов червячной фрезы в том порядке, в каком он обычно производится.

1. Определение делительного диаметра D_t.

Нам известен средний диаметр $D_{ср}$ червяка. Необходимо учесть, что фреза должна перетачиваться, поэтому диаметр D_t принимают больше среднего диаметра $D_{ср}$ червяка на величину запаса на переточки. Этот запас устанавливается до $(0{,}1 \div 0{,}05)\,m$, т. е. $D_t = D_{ср} + (0{,}1 \div 0{,}05)\,m$ (чем больше модуль, тем меньше относительный запас)[1].

2. Угол наклона канавок на расчетном диаметре определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{m \cdot n}{D_t},$$

где m — модуль, n — число заходов червяка.

3. Высота головки зуба h_1 фрезы должна быть равна высоте h_2'' ножки зуба червячного колеса.

4. Высота ножки зуба h_2 фрезы должна быть равна высоте h_1'' ножки червяка.

5. Полная высота профиля $h = h_1 + h_2$.

6. Осевой шаг t_{oc} от зуба к зубу должен соответствовать осевому шагу червяка и может быть подсчитан по формуле

$$t_{oc} = \pi \cdot m.$$

7. Если червяк многозаходный, то осевой ход будет равен осевому шагу, умноженному на число заходов, т. е.

$$t = \pi \cdot m \cdot n = t_{oc} \cdot n.$$

8. Радиусы закругления головки r_1 и ножки r_2 зуба фрезы принимаются по профилю исходной рейки для червячной передачи (профиль исходной рейки должен быть задан при проектировании).

9. Наружный диаметр фрезы должен складываться из делительного диаметра и двух высот головки

$$D_e = D_t + 2h_1.$$

[1] См. С. П. Карцев, Инструкция по расчету червячных архимедовых фрез для червячных колес, Станкин, 1944.

10. Задний угол α_1 находим, исходя из минимального угла в нормальном сечении. Можно для этого воспользоваться формулой

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_x}{\sin\alpha_0}.$$

11. Число междузубых канавок определяем по формуле

$$z = \frac{2\pi}{\arccos\left(1 - \frac{4{,}4m}{D}\right)}.$$

После такого предварительного расчета следует вычертить зуб фрезы и убедиться в правильности принятого числа зубьев.

12. Шаг винтовых канавок $S_к$ определяется так же, как у червячных фрез для цилиндрических колес, по формуле

$$S_к = \pi \cdot D_t \operatorname{ctg}\omega.$$

13. Углом канавочной фрезы ϑ вначале задаются, а затем проверяют его пробным вычерчиванием впадины. Обычно угол ϑ колеблется в пределах 22—30°.

14. Величину затылования K можно найти по формуле

$$K = \frac{\pi \cdot D_e}{z} \operatorname{tg}\alpha_1,$$

где α_1 — задний угол (принимается от 8 до 10°).

Если профиль фрез шлифуется, следует делать двойное затылование

$$K_1 = (1{,}2 \div 1{,}3)\,K.$$

15. Глубину H канавки можно определить по формуле

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + (0{,}5 \div 1{,}0)\ мм.$$

16. Радиус закругления r дна канавки фрезы задается из конструктивных соображений. Можно использовать для расчетов формулу

$$r = \frac{\pi\,(D_e - 2H)}{10z},$$

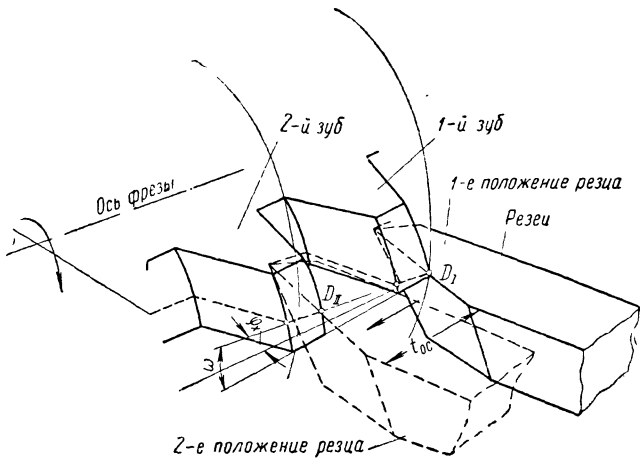
где H — глубина канавки.

17. Угол φ_x наклона верхних участков профиля к оси фрезы рассматривается в осевом сечении (см. фиг. 402, внизу).

Прежде чем перейти к определению этого угла, рассмотрим, какие особенности вносит затылование в построение профиля зуба в осевом сечении. Так как исходным червяком для фрезы принят архимедов червяк, то профиль фрезы в осевом сечении должен быть прямолинейным. Но червячная фреза отличается от червяка наличием междузубых винтовых канавок, идущих под углом ω, а также наличием затылования зубьев по архимедовой спирали.

На фиг. 403 показана схема затылования боковых сторон профиля зуба червячной фрезы. Резец, начинающий затылование I зуба в точке D_1, при вращении фрезы и перемещении затыловочного супорта должен за один оборот фрезы занять положение, показанное пунктиром. При этом точка D_I переместится в положение D_{II}.

На фиг. 403 показана секущая плоскость, проходящая через ось фрезы. Так как каждый зуб фрезы должен быть затылован по архимедовой спирали, то благодаря наличию винтовых канавок с углом ω точка D_{II} ближе к оси фрезы, чем точка D_I. Следовательно, каждый зуб фрезы будет находиться в разных стадиях затылования и в сечении



Фиг. 403. Схема затылования боковой стороны профиля зуба фрезы.

осевой плоскостью вершины зубьев будут наклонены под углом φ_x к оси фрезы.

Для определения угла φ_x пользуемся формулой[1]

$$\operatorname{tg}\varphi_x = \frac{K \cdot z}{S_к},$$

где $S_к$ — шаг канавок фрезы;

K — величина затылования фрезы;

z — число зубьев фрезы.

18. Углы профиля $\alpha_п$ и $\alpha_л$ (правой и левой стороны профиля) определяются следующим образом. На фиг. 404 сплошными линиями показана сторона профиля червяка с углом α_o. Когда площадки зубьев будут наклонены под углом φ_x, исказится и весь профиль. Точка A переместится в положение A_1, точка B — в положение B_1, но осевой шаг t_{oc} как в первом, так и во втором случае останется постоянным.

[1] Вывод формулы см. сноску стр. 479.

Отсюда можно найти следующие соотношения.

1) Для правой стороны профиля:

отрезок

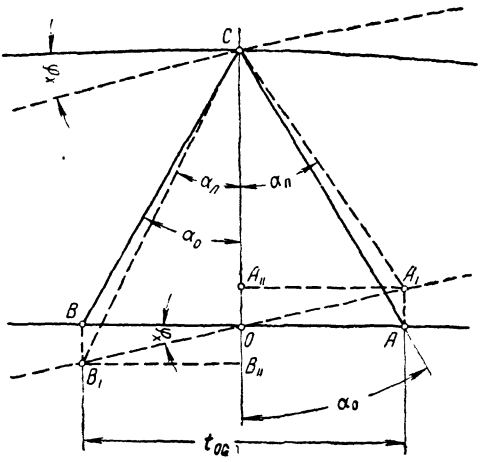
$$A''C = CO - A''O,$$

но

$$CO = \frac{t_{oc}}{2}\operatorname{ctg}\alpha_0; \qquad A''O = \frac{t_{oc}}{2}\operatorname{tg}\varphi_x; \qquad A''C = \frac{t_{oc}}{2}\operatorname{ctg}\alpha_n.$$

Подставив найденные длины отрезков, получим

$$\frac{t_{oc}}{2}\operatorname{ctg}\alpha_n = \frac{t_{oc}}{2}\operatorname{ctg}\alpha_0 - \frac{t_{oc}}{2}\operatorname{tg}\varphi_x.$$



Фиг. 404. Изменения углов профиля в осевом сечении у затылованной червячной фрезы.

После сокращения получим

$$\operatorname{ctg}\alpha_n = \operatorname{ctg}\alpha_0 - \operatorname{tg}\varphi_x.$$

2) Для левой стороны профиля получим соответственно

$$\operatorname{ctg}\alpha_л = \operatorname{ctg}\alpha_0 + \operatorname{tg}\varphi_x.$$

По этим формулам определяются углы α_n и $\alpha_л$. Эти углы должны быть проставлены на чертеже осевого сечения затылованного зуба.

19. Высота h_1' головки зуба в осевом сечении определится по формуле

$$h_1' = h_1\cos\varphi_x.$$

20. Толщина t' зуба на начальном диаметре может быть найдена по формуле

$$t' = \frac{t_{oc}}{2\cos\varphi_x} = \frac{\pi\cdot m}{2\cos\varphi_x}.$$

Определим остальные элементы фрезы.

21. Угол $\varphi_з$ заборного конуса фрезы определим по формуле

$$\cos\varphi_з = \frac{\sqrt{m^2 + 4R^2} - m}{2R},$$

где m — модуль;

R — наружный радиус червячного колеса.

22. Определение длины l_2 заборного конуса производится по формуле

$$l_2 = H_1\operatorname{ctg}\varphi_з,$$

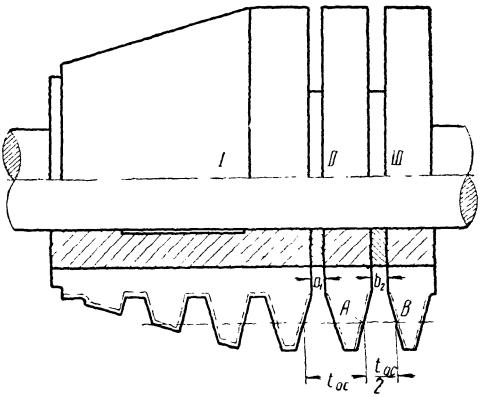
где величина H_1 принимается обычно в пределах $H_1 = (0{,}8 \div 0{,}9)\,h$.

23. Длина L_1 рабочей части фрезы определяется по формуле

$$L_1 = l_2 + h \operatorname{ctg} \alpha_0 + t_{oc}.$$

Остальные элементы фрезы (общая длина, тип крепления, № конуса и т. д.) должны быть увязаны со шпинделем зубофрезерного станка, на котором производится работа. Рекомендуется при этом вычертить в масштабе два положения изделия (в начале и в конце нарезания), вычертить фрезу и графически определить все остальные элементы фрезы.

Во всех случаях конструктор должен стараться проектировать насадные фрезы, так как они дешевле. И только в тех случаях, когда диаметр фрезы мал и не позволяет делать фрезы с отверстием, допускается проектирование хвостовой фрезы. Хвостовые фрезы делаются сварными: рабочая часть их — из быстрорежущей стали, а цапфа и хвост — из конструкционной стали 45 или 40Х.



Фиг. 405. Червячная многозаходная составная фреза.

Особенности конструкции других типов червячных фрез для червячных колес. Червячные эвольвентные фрезы большей частью изготовляются как чистовые с мелкими насеченными зубьями (см. фиг. 399). Вначале изготовляется червяк, затем в определенном направлении наносятся на боковых сторонах профиля мелкие зубья. Если направление движения долбежных резцов совпадает с направлением образующей прямой, тогда получится прямолинейный зуб. Можно насечку делать и радиальную, тогда профиль режущей кромки зуба будет криволинейный.

Червячные эвольвентные фрезы для тангенциальной подачи могут изготовляться комбинированными, т. е. состоящими из двух частей: первая, затылованная часть фрезы — для черновой обработки впадин колеса, вторая часть фрезы (с мелкими зубьями) работает как чистовая фреза.

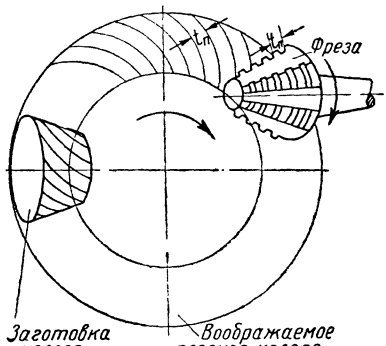
Некоторые особенности имеют фрезы для многозаходных передач. На фиг. 405 показана составная фреза для многозаходной передачи. При такой передаче угол подъема ω червяка очень большой и даже небольшие изменения диаметра фрезы (при заточках) приводят к резким колебаниям угла подъема фрезы.

Для устранения влияния изменения диаметра фрезы при переточках на качество передачи (появляется шум, быстрый износ передачи и другие недостатки) можно применять два способа.

1. Конструировать фрезу с зубом увеличенной ширины и высоты.

Тогда колеса, нарезанные новой фрезой, будут иметь утоненный зуб (конечно, величина утонения должна быть в пределах допуска). Колеса, нарезанные переточенной фрезой (с сохраненным межцентровым расстоянием A), будут иметь утолщенный зуб. При первом способе число переточек фрезы будет определяться допуском на толщину зуба червячного колеса.

2. Второй способ заключается в том, что изготовляется сборная фреза, состоящая из трех частей (см. фиг. 405). Первая часть *I* представляет собой черновую фрезу. После переточки черновая фреза уменьшится в диаметре и профиль ее переместится в положение, показанное пунктиром. На одну оправку с черновой фрезой посажена вторая промежуточная часть *II*. Между первой и второй частью проставлено кольцо определенной ширины b_1. На второй части имеются зубья, затылованные по бокам, а по вершине — незатылованные. Рядом с этой частью, за промежуточным кольцом шириной b_2, помещается третья часть *III* фрезы, в точности совпадающая со второй. На первой части фрезы число зубьев может быть любое, на второй и третьей ее частях число зубьев должно быть равно числу заходов червяка. После переточки зубьев второй и третьей частей из-за наличия затылования с боков они уменьшаются по толщине (на фиг. 405 это показано пунктиром). Для того чтобы сохранить первоначальную толщину зуба колеса, можно кромки A и B поставить в первоначальное положение путем изменения толщины прокладок b_1 и b_2. После изменения толщины прокладок кромка A второй части фрезы и кромка B третьей части фрезы будут давать точный зуб колеса как по высоте, так и по толщине.



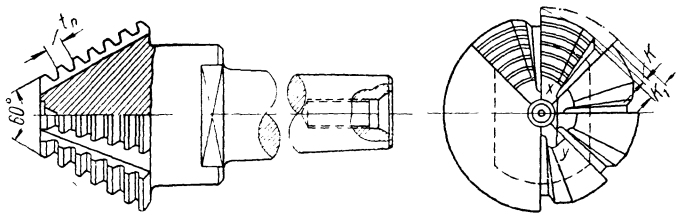
Фиг. 406. Схема работы конической червячной фрезой при фрезеровании конического колеса со спиральными зубьями.

Червячные фрезы для конических колес со спиральным зубом. Для нарезания конических спиральнозубых колес по методу обкатки на специальных станках применяются конические червячные фрезы. Схема процесса показана на фиг. 406. Он заключается в следующем.

Обрабатываемое колесо находится в зацеплении с воображаемым плоским колесом; вместе с плоским колесом совершает движения коническая червячная фреза, обкатывая при этом нарезаемое колесо. В результате обкатки на нарезаемом колесе фрезеруются спиральные зубья, образующая которых представляет собой удлиненную или укороченную эвольвенту.

На фиг. 407 показана червячная фреза для нарезания конических колес со спиральным зубом. Угол конуса фрезы принимается постоянным и равным 60°. На наружной поверхности фрезы профрезерованы прямые канавки, образующие зубья фрезы. Профиль зубьев выполнен в форме рейки. Шаг рейки, измеренный по образующей, равен нор-

мальному шагу t_n — плоского колеса. Угол профиля рейки обычно принимается 20°. С целью уменьшения заклинивания и устранения возможности кромочного зацепления ножка зуба рейки фланкируется под углом 5°. В принципе по всей длине образующей должен быть один шаг $t_n = \pi m$ и одна толщина зуба рейки, равная $\frac{\pi m}{2}$, но практически делают неравномерную толщину зуба, а именно: у переднего конца фрезы толщину зуба берут больше $\left(\frac{\pi m}{2} + 0{,}01m\right)$, на длине $^1/_3$ рабочей части фрезы от переднего конца толщину берут равной $\frac{\pi m}{2}$ и далее толщину равномерно увеличивают к заднему концу до $\left(\frac{\pi m}{2} + 0{,}02m\right)$. Такая фреза в середине будет фрезеровать более толстые зубья колеса, чем у краев. Создается некоторая бочкообразность зубьев нарезаемого



Фиг. 407. Червячная фреза для конических колес.

конического колеса, что обеспечивает пятно контакта в середине колеса и компенсирует до известной степени ошибки установки колес; этим облегчается монтаж колес. Зубья фрезы делают затылованными с двойным затылком, так как профиль зубьев фрезы обычно шлифуется.

Заточка червячных зуборезных фрез. Червячные зуборезные фрезы (кроме насеченных) изготовляются с затылованными зубьями, поэтому заточка их должна производиться по передней поверхности зуба. Заточка червячных фрез — очень ответственная операция и должна производиться способами, обеспечивающими получение заданной геометрии режущей части фрезы.

На фиг. 408 показана принципиальная схема заточки. Заточка должна производиться обязательно конической стороной тарельчатого круга. Заточка плоской стороной круга недопустима, так как при этом получается „развал" канавки. Если форма круга коническая, то касание круга с передней винтовой поверхностью происходит по линии, и канавка фрезы получается по винтовой поверхности без развала.

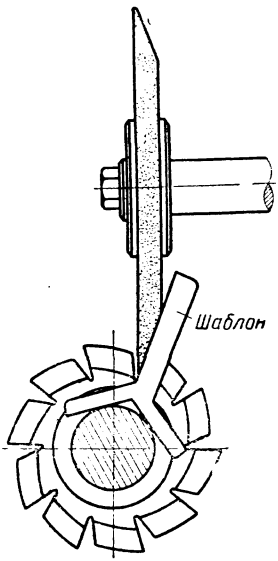
Поскольку передняя поверхность зуба фрезы является винтовой поверхностью с определенным шагом $S_к$, то при заточке должно быть обеспечено относительное перемещение круга по этой винтовой поверхности с тем же шагом $S_к$.

В практике инструментальных и заточных цехов применяются следующие три способа заточки:

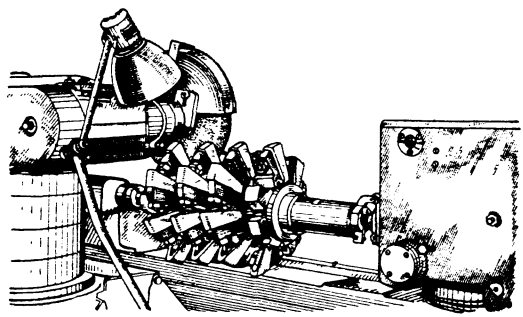
1) заточка на специальном станке;

2) заточка на универсально-заточном станке с применением копира;
3) заточка вручную.

Первый способ, являющийся лучшим из трех, предусматривает использование специального станка. Фреза устанавливается на цилиндрической оправке; последняя вставляется в шпиндель станка (фиг. 409). Станок обеспечивает перемещение круга (в одних моделях) или перемещение изделия (в других моделях) относительно круга по винтовой поверхности. Это достигается кинематической цепью станка. Заточной станок обеспечивает кроме винтового перемещения при заточке автоматическое деление от зуба к зубу. Станок настраивается на определенный указанный в чертеже червячной фрезы шаг винтовых канавок $S_к$. Круг вводится в канавку фрезы. Необходимо при этом обеспечить радиальное направление передней грани. Для этой цели можно применить шаблон, показанный на фиг. 408.



Фиг. 408. Схема установки круга при заточке червячной фрезы по передней грани.



Фиг. 409. Заточка червячной фрезы по передней грани.

Второй способ затачивания (на универсально-заточном станке) следует применять в случае отсутствия специального станка. Фреза насаживается на цилиндрическую оправку. На другом конце оправки закреплен специальный винтовой копир, представляющий собой цилиндр с профрезерованными на нем винтовыми пазами. Шаг винтовых пазов должен быть равен шагу $S_к$ винтовых канавок червячной фрезы. Число винтовых пазов по окружности также должно быть равно числу канавок фрезы. Короче говоря, копир по своим элементам должен полностью соответствовать фрезе.

Оправка вместе с копиром и фрезой вставляется в центры заточного станка. При продольном перемещении стола упорка, имеющаяся на станке, входит в один из пазов копира и заставляет копир вместе с фрезой медленно поворачиваться. Таким образом, относительно круга фреза совершает винтовое движение. Установка круга при этом способе заточки аналогична первому способу.

Заточить фрезу можно и вручную без копира. Но такая заточка неточна и возможна только при высокой квалификации рабочего.

При заточке фрезы могут возникать ошибки в профиле, которые влияют на точность профиля нарезаемого зубчатого колеса. Ошибки эти могут быть сведены к следующим.

1. Неравномерный окружной шаг фрезы. Если деление при заточке неправильное, окружной шаг зубьев будет различный. Это приведет к биению зубьев фрезы и, следовательно, к неточностям колеса.

2. Отклонение от радиальности передней грани в любую сторону приводит к искажению профиля зуба; одна сторона становится вогнутой, другая выпуклой и колесо, нарезанное такой фрезой, также имеет искаженный профиль.

3. Отклонение шага винтовой канавки от теоретического шага $S_к$, заданного на чертеже, приводит к конусности фрезы.

Все перечисленные отклонения недопустимы. Поэтому фрезы после заточки должны строго контролироваться по всем элементам. Допуски на червячные фрезы приводятся в ГОСТ 2973-45.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

Червячная фреза сборной конструкции для цилиндрических зубчатых колес.

Исходные данные:

Модуль $m = 10$.

Угол зацепления — 20°.

Наибольший диаметр червячной фрезы, допускаемый по условиям зуборезного станка, 200 *мм*.

Фреза сборной конструкции со вставными гребенчатыми ножами из быстрорежущей стали: крепление ножей — по типу, изображенному на фиг. 389.

Обрабатываемое зубчатое колесо должно быть изготовлено по 3-му классу точности.

Определение элементов профиля: 1. Определяем шаг по нормали по формуле

$$t_n = \pi m = 31{,}416 \text{ мм}.$$

2. Определяем толщину зуба в нормальном сечении на делительной прямой по формуле

$$S_n = \frac{\pi m}{2} = 15{,}708 \text{ мм}.$$

3. Определяем высоту головки зуба; поскольку шестерня некорригированная, высота головки равна

$$h' = 1{,}25m = 12{,}5 \text{ мм}.$$

4. Определяем высоту ножки зуба по формуле

$$h'' = 1{,}25m = 12{,}5 \text{ мм}.$$

5. Полная высота зуба равна

$$h = 2{,}5m = 25 \text{ мм}.$$

6. Радиус закругления головки зуба определяется по формуле

$$r_1 = 0{,}25m = 2{,}5 \text{ мм}.$$

7. Радиус закругления ножки зуба

$$r_2 = 0{,}3m = 3{,}0 \text{ мм}.$$

8. Толщина зуба на вершине определяется по формуле:

$$S_a = S_n - 2h' \operatorname{tg} \alpha;$$

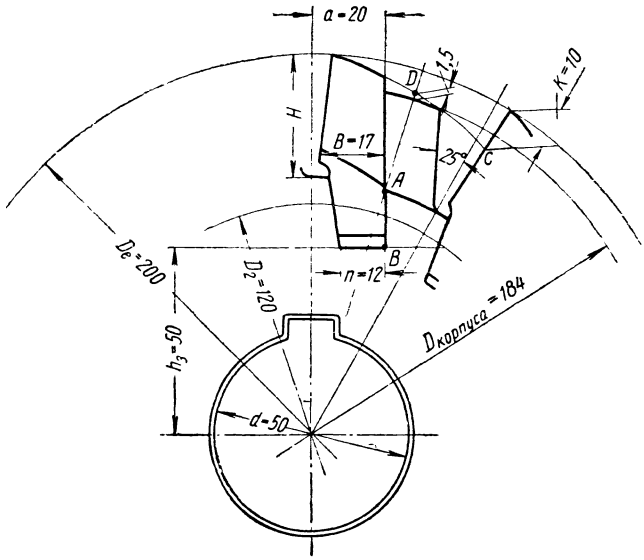
$$S_a = 15{,}708 - 2 \cdot 12{,}5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 6{,}61 \text{ мм}.$$

9. Канавки для облегчения шлифования профиля берем следующих размеров: ширина 5 *мм*, глубина 1 *мм* и радиус 1 *мм*.

10. Принимаем ориентировочно угол

$$\omega \approx 3^\circ.$$

11. Профильный угол правой и левой стороны определяем по таблице, приведенной на стр. 465. Он равен для нашего случая $\approx 19^\circ 59'$ (при $\omega \approx 3^\circ$).



Фиг. 410. Определение элементов конструкции фрезы графическим способом.

Определение элементов режущей части:

12. Передний угол γ выбираем равным 0.

13. Задний угол на вершине зубьев принимаем $\alpha_1 = 10^\circ$.

14. Задний угол на боковых сторонах профиля будет

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_1 \sin \alpha_0 = \operatorname{tg} 10^\circ \cdot \sin 20^\circ = 0{,}06 \text{ или } \alpha_x = 3^\circ 30'.$$

15. Число зубьев фрезы принимаем равным $z = 12$.

16. Проверяем это число зубьев вычерчиванием для принятого максимального диаметра, равного 200 *мм*. Диаметр фрезы D_e мы выбрали 200 *мм* потому, что для колеса 3-го класса необходимо брать максимальный диаметр. В табл. 64 для модуля 10 и колеса 3-го класса точности диаметр рекомендуется брать не менее 140 *мм*. Поскольку наша фреза сборной конструкции, можно диаметр брать больше, так как с увеличением диаметра расход быстрорежущей стали почти не увеличивается.

17. Определяем величину затылования K по формуле

$$K = \frac{\pi D_e}{z} \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\pi \cdot 200}{12} \operatorname{tg} 10^\circ = 9{,}21, \text{ принимаем } K = 10 \text{ мм}.$$

18. Так как фреза сборная и можно уменьшить диаметр корпуса для обеспечения выхода круга, то $K_1 = K$, т. е. нет необходимости в двойном затылковании.

19. Определяем размеры канавки для выхода стружки. Глубина канавки по формуле $H = h + K + r$; для нашего случая сборной фрезы можно глубину H взять равной 30 *мм*.

20. Угол ϑ канавки принимаем равным 25°. Так как фреза сборная, необходимо определить теперь размеры поперечного сечения ножа. Определение их лучше всего производить графически, начертив соответствующий зуб фрезы. Для нашей фрезы размеры указаны на фиг. 410.

21. Определяем диаметр корпуса графически. Для нашего случая диаметр корпуса будет равен 184 *мм*.

22. Определяем длину фрезы по формуле

$$L_1 \geqslant 13m.$$

Для нашего случая принимаем длину L_1 фрезы равной 142 *мм*.

23. Размеры буртиков, боковых колец и винтов определяются графически. При графических построениях необходимо знать диаметр отверстия фрезы d. Для нашего случая принимаем диаметр отверстия равным $d = 50$ *мм*.

24. Продольную шпоночную канавку принимаем по ГОСТ 4020-48.

25. Средний расчетный диаметр D_t определяется по формуле

$$D_t = D_e - 2h' - 0{,}25K = 200 - 25 - 2{,}5 = 172{,}5 \text{ мм}.$$

26. Угол наклона винтовой линии ω канавок определяем окончательно по формуле

$$\sin\omega = \frac{m}{D_t} = \frac{10}{172{,}5} = 0{,}05795, \text{ следовательно } \omega = 3°19'.$$

27. Шаг винтовой линии подсчитывается по формуле

$$S_к = \pi D_t \operatorname{ctg}\omega = 3{,}1416 \cdot 172{,}5 \cdot 17{,}256 = 9406 \text{ мм}.$$

28. Шаг витков по оси t_{oc} подсчитывается по формуле

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos\omega} = \frac{31{,}416}{0{,}99833} = 31{,}466 \text{ мм}.$$

29. Угол наклона паза для ножа принимаем равным углу $\omega = 3°19'$.

30. Допуски на фрезу принимаем по ГОСТ 2973-45. Наша фреза предназначена для нарезания зубчатых колес 3-го класса точности, поэтому допуски устанавливаем по классу А. На фиг. 411 показана рассчитанная червячная фреза со всеми элементами.

Червячная архимедова фреза для червячного колеса. Исходные данные:

Модуль $m = 3$.

Число заходов $n = 3$.

Направление витков — правое.

Средний диаметр червяка 35 *мм*.

Число зубьев червячного колеса $z_к = 62$.

Угол зацепления — 20°.

Высота ножки зуба червячного колеса $h_2'' = 3{,}55$ *мм*.

Высота ножки зуба червяка $h_1'' = 3{,}06$ *мм*.

Фреза должна работать с тангенциальной подачей.

1. Определяем угол ω наклона канавки на среднем диаметре по формуле

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{m \cdot n}{D_{ср}} = \frac{3 \cdot 3}{35} = 0{,}257;$$

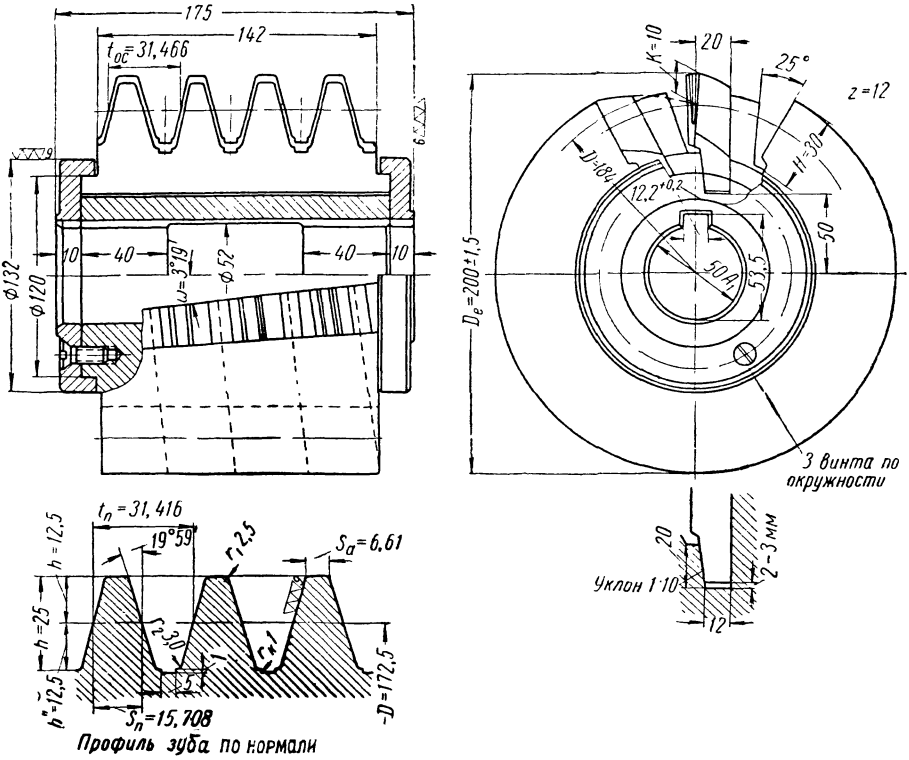
$$\omega = 14°25'15''.$$

2. Высота головки зуба фрезы

$$h_1 = h_2'' = 3{,}55 \text{ мм}.$$

3. Высота ножки зуба фрезы

$$h_2 = h_1'' \quad 3{,}06 \text{ мм}.$$



Модуль $m = 10$, угол зацепления 20°. Материал ножей — сталь РФ1, калить $H_{RC} = 62 \div 65$. Материал корпуса — сталь 40Х, колец и винтов — сталь 45. Клеймить: модуль, угол ω, шаг винтовых канавок. Остальные технические условия — по ГОСТ 2973-45, класс А. Отверстие хромировать. Кольца сажать на корпус горячей посадкой

Фиг. 411. Чертеж червячной сборной фрезы (к примеру на стр. 487)

4. Полная высота профиля

$$h = h_1 + h_2 = 6{,}61 \text{ мм}.$$

5. Осевой шаг от зуба к зубу

$$t_{oc} = \pi \cdot m = 9{,}425 \text{ мм}.$$

6. Осевой шаг витка

$$t = \pi \cdot m \cdot n = 28{,}275 \text{ мм}.$$

7. Радиусы r_1 закругления у головки зуба

$$r_1 = 1{,}25m\cos\omega = 0{,}73;$$

округляем до $r_1 = 0{,}8$ *мм*.

8. Радиус r_2 закругления у ножки зуба принимаем равным r_1, т. е. $r_2 = 0{,}8$ *мм*.

9. Канавки для выхода шлифовального круга не делаем, так как фреза небольшого модуля.

10. Запас a на переточку (по диаметру) принимаем равным 0,28 *мм*.

11. Наружный диаметр D_e фрезы определяем по формуле

$$D_e = D_{cp} + a + 2h_1 = 35 + 0{,}28 + 2\cdot 3{,}55 = 42{,}4 \text{ мм}.$$

12. Задний угол α_x на боковых сторонах профиля принимаем равным 3°.

13. Задний угол α_1 у вершины подсчитываем по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha_x}{\sin\alpha} = \frac{\operatorname{tg}3^\circ}{\sin 20^\circ} = \frac{0{,}0524}{0{,}342} = 0{,}15321.$$

14. Число z междузубых канавок определяем по формуле

$$z = \frac{2\pi}{\arccos\left(1 - \frac{4{,}4m}{D}\right)} = \frac{6{,}28}{\arccos 0{,}68868} = 8.$$

15. Шаг $S_к$ винтовой канавки

$$S_к = \pi\cdot D_{cp}\operatorname{ctg}\omega = \pi\cdot 35\cdot 3{,}8888 = 428 \text{ мм}.$$

16. Величина K затылования

$$K = \frac{\pi D_e}{z}\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{3{,}14\cdot 424}{8}\cdot 0{,}15321 \approx 2{,}5 \text{ мм}.$$

17. Величина K_1 дополнительного затылования принимается по формуле

$K_1 = 1{,}5K = 1{,}5\cdot 2{,}5 = 3{,}75$; округляем до 4 *мм*.

18. Глубину H канавок определяем по формуле

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + 0{,}5 = 6{,}61 + 3{,}25 + 0{,}5 = 10{,}4 \text{ мм}.$$

19. Угол впадины $\vartheta = 25^\circ$.

20. Радиус $r_з$ закругления дна канавки

$$r_з = \frac{\pi(D_e - 2H)}{10z} = \frac{\pi(42{,}4 - 20{,}8)}{80} \approx 1 \text{ мм}.$$

Расчет элементов осевого профиля

21. Угол φ_x наклона верхних участков профиля к оси фрезы определяем по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi_x = \frac{K\cdot z}{S_к} = \frac{2{,}5\cdot 8}{428} = 0{,}046626;$$

угол $\varphi_x = 2^\circ 40'$.

22. Угол α_n правой стороны профиля (в осевом сечении) фрезы определяем по формуле

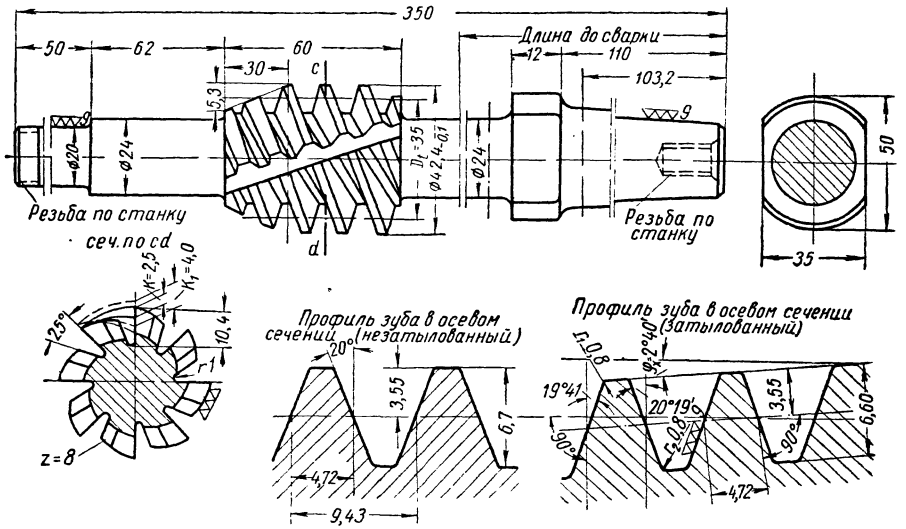
$$\operatorname{ctg}\alpha_n = \operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{tg}\varphi_x = 2{,}7475 - 0{,}04662 = 2{,}7009;$$

угол $\alpha_n = 20^\circ 19'$.

23. Угол $\alpha_л$ левой стороны профиля (в осевом сечении) фрезы определяем по формуле

$$\operatorname{ctg}\alpha_л = \operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{tg}\varphi_x = 2{,}7475 + 0{,}04662 = 2{,}7941;$$

угол $\alpha_л = 19°41'$.



Материал рабочей части — сталь Р6М5, хвостовика — сталь 45.
Твердость рабочей части $H_{RC} = 62 \div 65$, твердость передней направляющей и хвостовика $H_{RC} = 30 \div 40$.

Технические условия — по ГОСТ 2973-45, класс С.
Резьба правая, канавки левые.
Число заходов $n = 3$. Модуль $m = 3$. Клеймить: модуль, угол 10, шаг винтовых канавок 20°, материал, марку завода.

Фиг. 412. Чертеж червячной фрезы для обработки зуба червячного колеса.

24. Высота h_1' головки зуба в осевом сечении

$$h_1' = h_1 \cos\varphi_x = 3{,}55 \cdot 0{,}9989 \approx 3{,}55 \text{ мм}.$$

25. Толщина S_n зуба на начальном диаметре

$$S_n = \frac{\pi m}{2\cos\varphi_x} = \frac{9{,}425}{2 \cdot 0{,}9989} = 4{,}72 \text{ мм}.$$

Определение остальных элементов фрезы

26. Выбираем фрезу хвостовую, так как наружный ее диаметр небольшой и выполнить ее в виде насадной невозможно.

27. Угол $\varphi_з$ заборного конуса фрезы определяем по формуле

$$\cos\varphi_з = \frac{\sqrt{m^2 + 4R^2} - m}{2R} = \frac{\sqrt{9 + 4 \cdot 105^2} - 3}{2 \cdot 105} = 0{,}98581;$$

$\varphi_з = 9°39'$ (округляем до 10°).

28. Высота H_1 конуса

$$H_1 = 0{,}8h = 0{,}8 \cdot 6{,}61 = 5{,}3 \text{ мм}.$$

29. Длина l_2 конуса

$$l_2 = H_1 \operatorname{ctg}\varphi_з = 5{,}3 \cdot 5{,}67 = 30 \text{ мм}.$$

30. Длина L_1 рабочей части фрезы

$$L_1 = l_2 + h \operatorname{ctg} \alpha + \pi \cdot m = 30 + 6{,}61 \cdot 2{,}7475 + 9{,}425 = 57{,}6 \text{ мм};$$

принимаем $L_1 = 60$ *мм*.

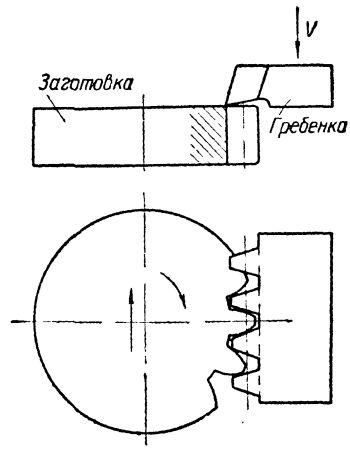
Остальные элементы фрезы определятся из условий работы фрезы на станке. В данном случае (работа на станке завода „Комсомолец") эти элементы можно принять такими, как указано на чертеже фрезы (фиг. 412).

Допуски на основные элементы фрезы принимаем аналогично червячным фрезам для цилиндрических колес по классу С ГОСТ 2973-45.

ЗУБОРЕЗНЫЕ ГРЕБЕНКИ

Зуборезная гребенка представляет собой зубчатую рейку, превращенную в фасонный строгальный резец. Гребенки применяются для обработки зубчатых колес на специальных зубострогальных станках.

На фиг. 413 изображена схема работы зубострогального станка. Заготовка колеса устанавливается на стол и получает медленное вращение вокруг своей оси. С вращением заготовки связано ее продольное перемещение. В результате этих двух движений зубья гребенки, представляющие собой прямолинейные зубья рейки, обкатывают профиль зуба колеса.



Фиг. 413. Схема работы зубо резной гребенки.

Гребенка имеет возвратно-поступательное движение по стрелке *V*. Это движение является главным движением — движением резания. Гребенка, таким образом, производит строгание профиля колеса методом обкатки.

Длина гребенки должна была бы быть равной длине начальной окружности колеса, но для упрощения изготовления гребенку делают короткой. В связи с этим в конструкции станка предусмотрен специальный механизм, позволяющий после нарезания 1—3 зубьев отводить колесо в исходное положение и начинать процесс сначала.

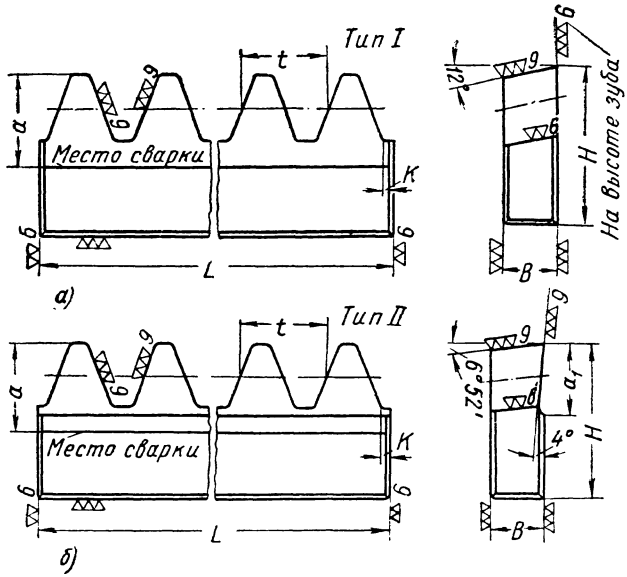
В сравнении с червячной фрезой нарезание гребенкой — более точный, но менее производительный метод. При нарезании червячной фрезой число резов на одну впадину зуба колеса зависит от числа канавок червячной фрезы и не может регулироваться. Число проходов гребенки за время обработки одной впадины колеса легко поддается регулировке путем изменения скорости обкаточного движения. При изготовлении червячной фрезы профиль зуба есть кривая, полученная от пересечения винтовой передней поверхности канавки с винтовой боковой поверхностью зуба, и только с известной степенью приближения может быть принята за прямую линию. Профиль гребенки представляет собой прямую линию без всяких искажений. Гребенка движется возвратно-поступательно относительно заготовки. При рабочем ходе гребенка врезается в заготовку и снимает стружку. При обратном ходе

она отходит от заготовки, чем обеспечивается получение гладкой поверхности обрабатываемой детали и предохраняются от повреждения и излома режущие кромки гребенки.

Гребенки делятся на две основные группы: прямозубые — для нарезания цилиндрических колес и косозубые — для нарезания шевронных колес.

Прямозубые гребенки. Разберем конструкцию прямозубых гребенок, показанных на фиг. 414.

Прямозубые гребенки изготовляются двух типов: гребенки типа I (фиг. 414, *а*) не имеют переднего угла, последний получается в результате наклонной установки гребенки под углом 6°30′ на станке. Гребенка типа II (фиг. 414, *б*) имеет передний угол 4° и устанавливается перпендикулярно направлению резания. Как первый, так и второй типы гребенок могут предназначаться:



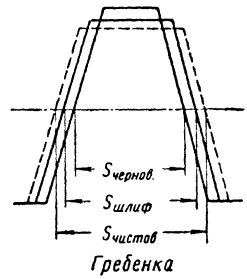
Фиг. 414. Гребенки зуборезные прямозубые.

1) для чистового нарезания колес — они носят название чистовых гребенок и обрабатывают только боковые стороны зуба, не касаясь дна впадины, предварительно обработанной черновой гребенкой или фрезой;

2) для чернового нарезания колес — они носят название черновых гребенок и предназначаются для предварительной обработки впадины колеса; зубья черновой гребенки делаются тоньше зубьев чистовых гребенок на величину припуска;

3) для нарезания колес, подвергающихся термической обработке, а затем шлифуемых по профилю. В размерах толщины зуба такой гребенки должен учитываться припуск на шлифование зуба колеса. Эти

гребенки называются шлифовочными. На фиг. 415 показаны наложенные друг на друга профили зуба черновой, шлифовочной и чистовой гребенки. Наибольшую ширину зуба S имеет чистовая гребенка.



Фиг. 415. Профили черновой, шлифовочной и чистовой гребенок, наложенные друг на друга.

Основные конструктивные элементы гребенки. На фиг. 414 показана прямозубая гребенка со всеми основными конструктивными элементами: z — число зубьев гребенки; L — длина гребенки; H — ширина гребенки; B — толщина гребенки; a — расстояние от вершины зубьев до сварного шва (у сварных гребенок).

К элементам профиля отнесем следующие: t — шаг гребенки, равный шагу зуба колеса на делительной окружности; α_B — угол профиля гребенки в плоскости передней грани; α_0 — угол зацепления зубчатой рейки; r_1 и r_2 — радиусы закругления вершины и впадины зуба; S — толщина зуба; h_1 — высота головки зуба; h — полная высота зуба. Основные размеры гребенок стандартизованы по ГОСТ 4336-48, 4337-48 и 4338-48.

Размеры гребенок в *мм* приведены на фиг. 414 и в табл. 65.

Таблица 65

Модуль m	Длина L	Ширина H	Толщина B	Размер до сварного шва a	Число зубьев гребенки z
1,0	77	50	20	15	24
2,0	82	50	20	16	13
3,0	95	50	20	20	10
4,0	113	50	20	22	9
5,0	126	50	22	26	8
6,0	150	60	22	28	8
8,0	177	60	22	31	7
10,0	188	70	25	37	6
12,0	226	70	25	42	6
16,0	251	80	25	52	5
18,0	281	90	25	56	5
20,0	311	90	25	60	5

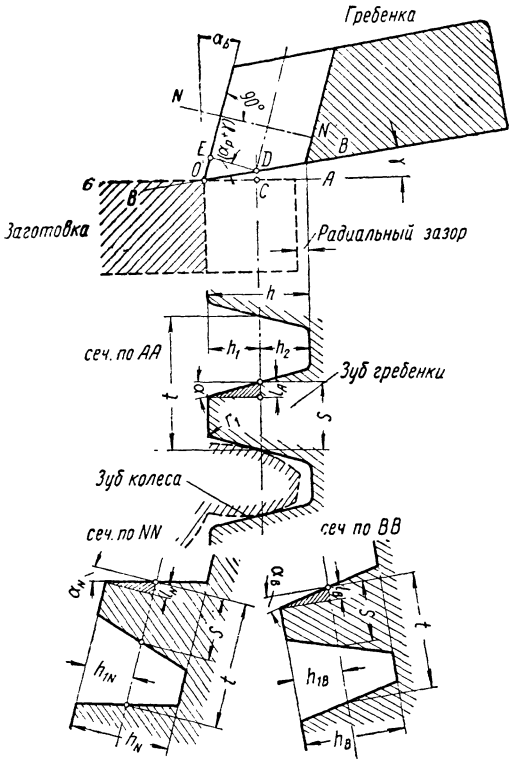
Рабочая часть гребенки изготовляется из быстрорежущей стали, а державка — из стали 45 или 40Х и сварена встык. Габаритные размеры гребенки должны быть согласованы с гнездом станка. Для крепления гребенки на станке имеется специальный паз с прижимом. Под гребенку ставится часто стальная подкладка для обеспечения жесткости крепления.

Определение элементов профиля зуба гребенки. По характеру своей работы зуборезная гребенка — фасонный призматический строгальный резец. Следовательно, все расчеты по искажению профиля, необходимые для проектирования резцов, применимы и для гребенки.

Представим себе зубья гребенки 1-го типа в рабочем положении (фиг. 416). Передняя грань гребенки будет наклонена под углом γ (в гребенках I типа наклон осуществляется на станке, в гребенках II типа угол γ имеется в самой гребенке).

На фиг. 416 показаны три секущие плоскости, в которых необходимо дать все элементы профиля.

1. Плоскость AA является исходной плоскостью. Профиль гребенки в этой плоскости должен соответствовать рабочему контуру рейки.



Фиг. 416. Определение углов профиля гребенки в разных сечениях.

2. Плоскость BB — плоскость передней грани гребенки. Все элементы профиля должны быть определены в этой плоскости (для удобства измерения их при изготовлении гребенки).

3. Плоскость NN направлена перпендикулярно к задней грани гребенки. Размеры профиля гребенки в плоскости NN необходимы для расчета профиля инструмента второго порядка (фреза, шлифовальный круг).

Вначале определим все элементы профиля в плоскости AA. В этой плоскости профиль гребенки должен соответствовать рабочему контуру рейки. Следовательно:

1. Угол профиля α должен равняться углу зацепления (по стандарту угол зацепления $\alpha_0 = 20°$).

2. Высота головки зуба чистовой гребенки h_1 должна быть равна высоте ножки h'' зуба колеса (по стандарту $h'' = 1{,}25m$).

У черновых и шлифовочных гребенок высоту головки зуба увеличивают на величину c; для модуля от 1 до 1,75 $c = 0{,}1\sqrt{m}$; для модуля от 2 до 24 $c = 0{,}2\sqrt{m}$. Увеличение высоты зуба делается с целью прорезки впадины зуба колеса несколько глубже (для свободного выхода шлифовального круга или чистовой гребенки).

3. Высота зуба гребенки h должна быть больше высоты зуба колеса на величину радиального зазора. Для стандартной рейки можно принять $h = 2{,}5m$ (при крупном модуле уменьшают величину радиального зазора).

4. Шаг гребенки t должен быть равен шагу зубьев колеса по делительной окружности

$$t = \pi m.$$

5. Толщина зуба S должна быть равна у чистовых гребенок половине шага, а у черновых и шлифовочных гребенок толщина зуба должна быть меньше на величину припуска. Обычно принимают:

$$S_{черн} = S - 0{,}4\sqrt{m}; \quad S_{шлиф} = S - 0{,}2\sqrt{m}.$$

6. Радиус r_1 закругления вершины зуба чистовой гребенки принимается равным радиусу закругления рабочего контура, т. е. $r_1 = 0{,}38m$.

У черновых и шлифовочных гребенок радиус закругления вершины делается меньше:

$$r_1 = 0{,}25m.$$

На фиг. 416 в сечении AA показан профиль зуба гребенки со всеми этими элементами.

С целью улучшения зацепления профиль зуба чистовых гребенок следовало бы фланкировать аналогично фланкированию профиля червячной фрезы. Однако практически шлифование фланкированного профиля гребенок сложно. Поэтому гребенки в основном изготовляют с нефланкированным профилем (например, гребенки завода МИЗ).

Произведем пересчет элементов профиля в сечение BB. Из прямоугольного треугольника ODC (фиг. 416) видно: сторона OC равна высоте зуба h_1 в плоскости AA. Высота зуба h_{1B} в плоскости BB будет равна гипотенузе OD. Можно написать

$$OD = \frac{OC}{\cos\gamma}$$

или

$$h_{1B} = \frac{h_1}{\cos\gamma}.$$

Общая высота зуба h_B может быть пересчитана аналогично, т. е.

$$h_B = \frac{h}{\cos\gamma}.$$

Для расчета углов α, α_B и α_N профиля во всех трех сечениях AA, BB и NN гребенки строим вспомогательные прямоугольные треугольники, отмеченные перекрестной штриховкой.

Рассматривая эти треугольники в сечениях AA и BB, можно установить: в сечении AA катет $l_A = h_1 \operatorname{tg}\alpha$; в сечении BB катет $l_B = h_{1B} \operatorname{tg}\alpha_B$.

Так как размеры вдоль оси гребенки не изменяются, то $l_A = l_B$ и, следовательно,

$$h_1 \operatorname{tg}\alpha = h_{1B} \operatorname{tg}\alpha_B,$$

или, заменив $h_{1B} = \frac{h_1}{\cos\gamma}$, получим

$$\operatorname{tg}\alpha_B = \operatorname{tg}\alpha \cos\gamma.$$

Все размеры вдоль оси гребенки — шаг t и толщина S — при пересчете в сечении BB остаются постоянными.

Определение элементов профиля в сечении NN. Из прямоугольного треугольника OED, в котором катет ED равен высоте h_{1N} головки зуба (в сечении NN), гипотенуза OD равна высоте h_{1B} головки зуба (в сечении BB) и угол ODE равен $(\alpha_p + \gamma)$.

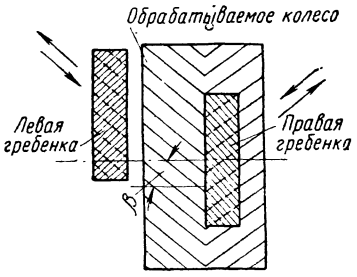
Можно написать

$$h_{1N} = h_{1B} \cos(\alpha_p + \gamma).$$

Подставив значение h_{1B}, получим

$$h_{1N} = \frac{h_1 \cos(\alpha_p + \gamma)}{\cos\gamma}.$$

Нетрудно убедиться, что пересчет высоты зуба производится так же. Для определения угла α_N можно написать:



Фиг. 417. Схема работы двух косозубых гребенок.

$$l_N = h_{1N} \operatorname{tg}\alpha_N; \quad l_A = h_1 \operatorname{tg}\alpha.$$

Но величина $l_A = l_N$ (размеры вдоль оси остаются без изменения). Приравняв почленно, получим

$$h_{1N} \operatorname{tg}\alpha_N = h_1 \operatorname{tg}\alpha$$

или

$$\operatorname{tg}\alpha_N = \frac{h_1}{h_{1N}} \operatorname{tg}\alpha.$$

Подставив значение h_{1N}, получим

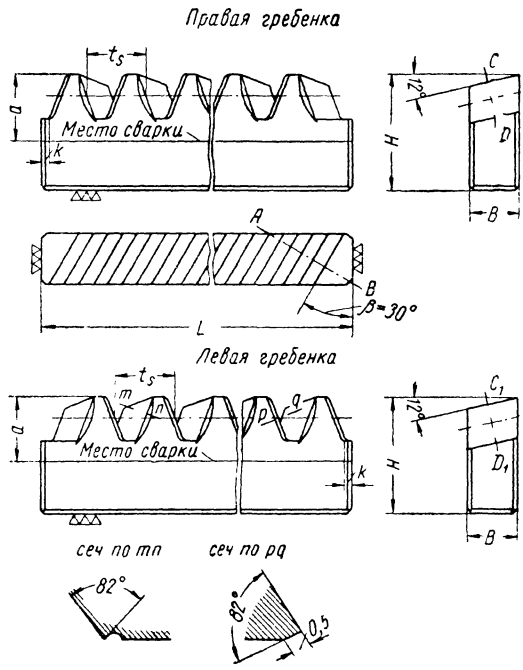
$$\operatorname{tg}\alpha_N = \frac{\cos\gamma \operatorname{tg}\alpha}{\cos(\alpha_p + \gamma)}.$$

Размеры шага и толщины зуба остаются также без изменения.

Углы резания гребенки. В рабочем положении для гребенок I типа (фиг. 414, *а*) задний угол $\alpha_p = 5°30'$, передний угол $\gamma = 6°30'$, для гребенок II типа (фиг. 414, *б*) задний угол $\alpha_p = 6°52'$, передний угол $\gamma = 4°$. Эти углы даются в плоскости, перпендикулярной линии вершин гребенки. Но боковые режущие грани гребенки наклонены под углом, поэтому в сечении, перпендикулярном боковым режущим граням, задний и передний углы изменяются. При пересчете задний боковой угол получается в пределах 1°54′—2°, передний угол также получается около 2°. Так как эти углы (особенно передний угол) совершенно недостаточны, применяют специальную заточку с целью увеличения переднего угла.

Косозубые гребенки. Косозубые гребенки служат для нарезания шевронных колес. Они имеют наклонные зубья и применяются на специальных зубострогальных станках. На фиг. 417 показана схема работы косозубых гребенок. Гребенки работают в паре: левая гребенка строгает зубья с одной стороны шеврона, правая — с другой стороны. Движение совершается попеременно. Таким методом можно получить шевронное зубчатое колесо без канавки.

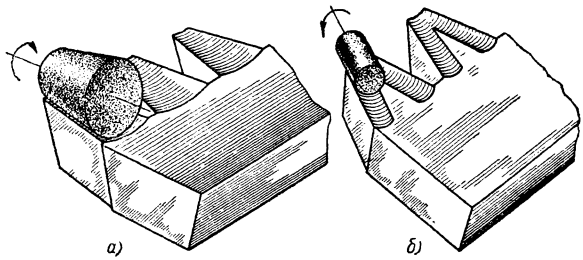
На фиг. 418 изображены косозубые гребенки со всеми элементами. В ГОСТ 4336-48 приведены их размеры. Угол β в косозубых гребенках принят 30°. В держателе станка гребенка закрепляется без переднего угла. Поэтому в плоскости передней грани режущая кромка гребенки имеет угол профиля, равный углу зацепления. Поскольку гребенки работают попарно, они должны изготовляться комплектами. С целью улучшения условий резания делается специальная заточка переднего угла с обеих сторон.



Фиг. 418. Косозубая гребенка.

Заточка гребенок. Заточка прямозубых гребенок I и II типа производится на плоскошлифовальном станке. Гребенка устанавливается на магнитной плите (или в специальном приспособлении) и шлифуется по передней грани. Гребенки II типа шлифуются на магнитной плите, наклоненной под углом.

Для улучшения условий резания прямозубых гребенок рекомендуется производить заточку передней грани небольшим шлифовальным кругом. Такую заточку можно производить двумя способами. На фиг. 419 показаны оба способа заточки передней грани гребенок.

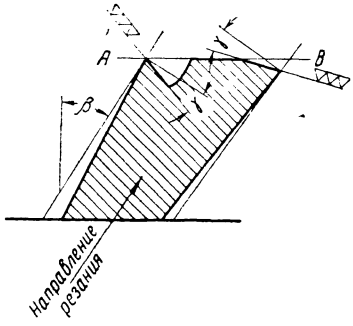


Фиг. 419. Способы заточки прямозубых гребенок.

Как при первом, так и при втором способе заточки шлифовальный круг небольшого диаметра затачивает вогнутую поверхность передней грани. При первом способе (фиг. 419, *а*), который применяется для гребенок до модуля 10, вся передняя грань получается вогнутой. При

втором способе (фиг. 419, *б*), который применяется у гребенок крупного модуля, начиная с модуля 10 и выше, на передней грани вышлифовываются желобки.

Косозубые гребенки также затачиваются по передней грани. Гребенка устанавливается в приспособлении. Заточка производится небольшим шлифовальным кругом. Схема заточки показана на фиг. 420. Поскольку зуб гребенки наклонен, сторона зуба *А* имеет отрицательный передний угол. Для получения положительного переднего угла γ на этой стороне гребенки делается подточка. На стороне профиля *В*, где передний угол очень большой (равняется 30°), производится уменьшение этого угла путем сошлифовки узкой ленточки под углом γ. Допуски на зуборезные гребенки устанавливаются по техническим условиям (ГОСТ 4335-48).

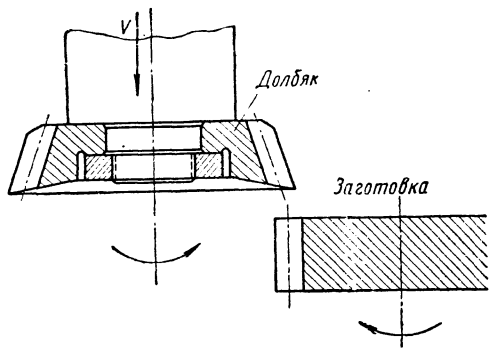


Фиг. 420. Схема заточки зуба косозубой гребенки.

Гребенки по точности изготовления разделяются на два класса — *А* и *Б*. Для нарезания зубчатых колес 2-го класса применяются гребенки класса *А*; для нарезания колес 3-го и 4-го класса применяются гребенки класса *Б*.

ДОЛБЯКИ

Долбяк представляет собой режущий инструмент, выполненный в виде зубчатого колеса, имеющего режущие кромки. Обработка зубчатого колеса долбяком производится на зубодолбежном станке. Долбяк и обрабатываемая заготовка обкатываются по начальным окружностям без скольжения. Кроме движения обкатки долбяк имеет возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки, которое и является главным движением — движением резания. На фиг. 421 показана схема работы долбяка. Двигаясь вниз, долбяк своими режущими кромками срезает стружку, при движении вверх заготовка отводится от долбяка и резание прерывается. Движение обкатки долбяка и заготовки обеспечивается кинематической цепью станка. В зависимости от скорости движения обкатки изменяется число двойных ходов долбяка за время прорезания одной впадины зуба и тем самым меняется толщина стружки.



Фиг. 421. Схема работы долбяка.

Долбяк — точный режущий инструмент, дающий возможность получать зубчатые колеса 2-го и 3-го класса точности.

Долбяки разделяются на:

1) долбяки для прямозубых колес;

2) долбяки для косозубых и шевронных колес.

По конструкции долбяки делятся на:

1) дисковые долбяки (фиг. 422, *а*);

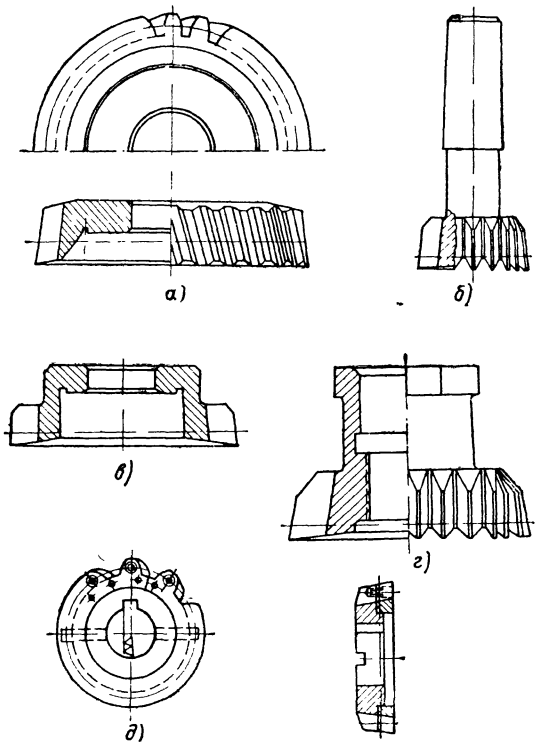
2) хвостовые долбяки (фиг. 422, *б*);

3) чашечные долбяки (фиг. 422, *в*);

4) втулочные долбяки (фиг. 422, *г*);

5) сборные долбяки с привернутыми зубьями (фиг. 422, *д*);

6) комбинированные долбяки.



Фиг. 422. Типы долбяков:
а — дисковый; *б* — хвостовой; *в* — чашечный; *г* — втулочный; *д* — сборный.

Все перечисленные типы долбяков, несмотря на различие в отдельных элементах, имеют общие основные элементы. Разберем конструкцию дискового долбяка для прямозубых колес.

На фиг. 423 изображен дисковый долбяк и показаны части и основные элементы конструкции долбяка.

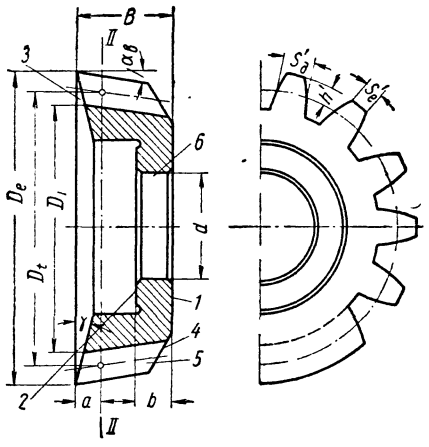
Части долбяка: внешняя опорная плоскость—*1*; внутренняя опорная плоскость — *2*; передняя грань — *3*; скос или фаска — *4*; режущая часть долбяка с зубьями — *5*; отверстие для крепления долбяка — *6*; хвостовик (только у хвостового долбяка); крепежная резьба (только у втулочного долбяка); шейка долбяка (только у хвостовых и втулочных долбяков).

К элементам долбяка, которые определяются расчетом, относятся: m — модуль; $\alpha_д$ — угол зацепления (на делительной окружности долбяка); z — число зубьев долбяка; D_t — диаметр делительной окружности (в расчетном сечении); a — расстояние до расчетного сечения; $\alpha_в$ — задний угол на вершинах зубьев; S'_e — толщина зуба долбяка по окружности выступов; $S'_д$ — толщина зуба по дуге делительной окружности; D_e — диаметр окружности выступов; D_i — диаметр окружности впадин;

d — диаметр отверстия; b — ширина ступицы; γ — передний угол; h' — высота головки зуба.

Долбяк представляет собой зубчатое колесо, но в отличие от последнего он имеет задний угол $\alpha_в$, и поэтому диаметры долбяка в сечениях на различном расстоянии от торца различны (см. фиг. 423).

В любом сечении профиль зуба эвольвентного долбяка должен быть очерчен по эвольвенте. Для расчета долбяка принимается определенное сечение $II-II$, отстоящее от торца на расстоянии a. В этом сечении $II-II$ элементы долбяка в точности соответствуют элементам зуба колеса. Но долбяк по мере затупления его кромок необходимо перетачивать по передней грани, а эвольвентный профиль не должен изменяться в любом его (долбяка) сечении. Неизменности эвольвентного профиля долбяка можно достичь только тогда, когда боковые поверхности зубьев долбяка будут представлять собой винтовые эвольвентные поверхности. Если в сечении $II-II$ долбяк соответствует колесу и эвольвента профиля зуба его образована от определенной основной окружности D_o (фиг. 424), то переточенный долбяк в сечении $III-III$ должен также иметь эвольвентный профиль зуба, причем во избежание искажений эвольвента должна быть образована от той же основной окружности D_o. Чтобы выдержать это условие, зуб в сечении $III-III$ должен быть тоньше зуба в сечении $II-II$.



Фиг. 423. Дисковый долбяк.

Долбяк в различных сечениях можно рассматривать как корригированное колесо с определенным смещением $x = \xi \cdot m$ исходного контура. Рассматривая долбяк как корригированное колесо, можно считать, что при неизменном расстоянии между осями заготовки и долбяка переточенный долбяк нарезает колесо с правильным эвольвентным профилем зуба, но толщина зуба по начальной (делительной) окружности будет больше. Сближая оси долбяка и нарезаемой заготовки, можно добиться получения правильной толщины зуба колеса. Однако смещение x исходного контура допустимо в сравнительно небольших пределах, и поэтому долбяки рассчитываются обычно на такое количество переточек, при котором величина x будет небольшая.

Расчет долбяков и конструкция их для прямозубых и косозубых колес несколько различны, хотя в принципе и в том и в другом случае долбяк представляет собой колесо, рассчитанное в определенном исходном (расчетном) сечении.

На фиг. 424 изображен долбяк в разрезе. В сечении $II-II$ все размеры долбяка соответствуют размерам зубчатого колеса. В этом

сечении шаг по делительной окружности долбяка равен шагу обрабатываемого зубчатого колеса, т. е. $t = \pi \cdot m$. Диаметр D_o основной окружности эвольвенты может быть рассчитан по формуле

$$D_o = D_t \cos \alpha_д,$$

где D_o — диаметр основной окружности долбяка;

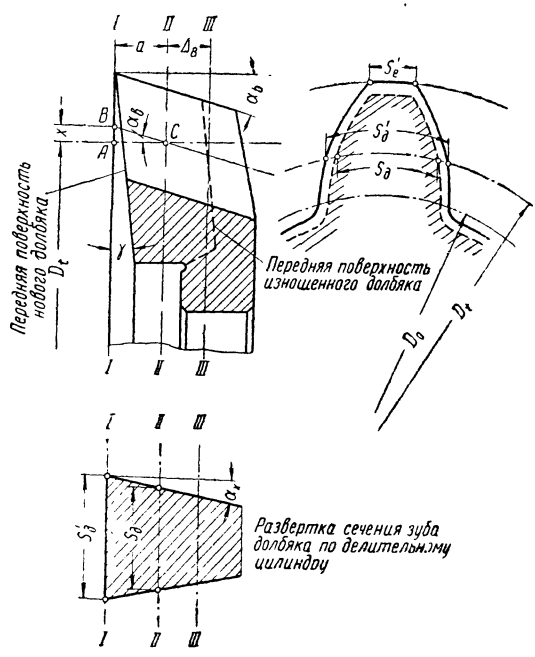
D_t — диаметр начальной (делительной) окружности долбяка;

$\alpha_д$ — угол зацепления долбяка (равен углу зацепления α колеса).

Толщина зуба $S_д$, измеренная по дуге делительной окружности, в сечении $II — II$ будет такая же, как и у зубчатого колеса:

$$S_д = \frac{t}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}.$$

Сечение $I — I$ отстоит от сечения $II — II$ на величину a, и благодаря наличию заднего угла $\alpha_в$ долбяк приобретает коническую форму. Это равносильно тому, что в сечении $I — I$ исходный контур образующей рейки смещен на величину x, т. е. в сечении $I — I$ колесо будет корригированным (см. расчет корригирования, стр. 438—441).



Фиг. 424. Определение элементов зуба долбяка.

Величина смещения x определяется по формуле

$$x = \xi_и \cdot m.$$

Если построить прямоугольный треугольник ABC (фиг. 424), в котором гипотенуза BC параллельна задней грани долбяка, а катет $AB = x$, катет $AC = a$, тогда можно определить (пренебрегая при этом наличием угла γ, который обычно равен 5°) величину a:

$$a = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha_в} = \frac{\xi_и \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в}.$$

На фиг. 424 внизу показана развертка сечения зуба долбяка по делительному цилиндру. Из этой развертки можно определить толщину $S'_д$ зуба долбяка по дуге делительной окружности, измеренную в плоскости передней грани (сечение $I — I$):

$$S'_д = S_д + 2a \operatorname{tg} \alpha_x.$$

но

$$S_д = \frac{\pi \cdot m}{2}; \qquad a = \frac{\xi_и \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в}.$$

Угол α_x бокового зазора можно определить, зная задний угол $\alpha_в$ по вершинам зубьев долбяка и угол зацепления α, по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha_в \operatorname{tg} \alpha.$$

Подставив, получим

$$S'_д = \frac{\pi \cdot m}{2} + \frac{2\xi_и \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в} \operatorname{tg} \alpha_в \operatorname{tg} \alpha$$

или окончательно

$$S'_д = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_и \operatorname{tg} \alpha\right),$$

где $\xi_и$ — коэфициент смещения;

m — модуль;

α — угол зацепления.

Зная эти основные зависимости, можно приступить к расчету основных элементов долбяка.

Определение диаметра D_t делительной окружности долбяка и выбор числа зубьев. Диаметр делительной окружности D_t долбяка необходимо делать возможно меньшим, так как чем меньше этот диаметр, тем меньше вылет режущих кромок относительно оси штосселя, тем более жестко и устойчиво будет закреплен долбяк. Но, с другой стороны, чем меньше диаметр делительной окружности, тем больше возможны искажения в эвольвенте, и поэтому необходимо выбирать такой диаметр делительной окружности, который обеспечивал бы как устойчивую работу долбяка, так и достаточную точность эвольвенты профиля зуба нарезаемого колеса.

В практике получили распространение следующие размеры делительного диаметра, положенные в основу ГОСТ 321-41 и ГОСТ 324-41 для зуборезных долбяков. Делительный диаметр выбирается 25, 50, 75 и 100 *мм*. Могут быть долбяки и с большим делительным диаметром, но для применения таких долбяков необходимы крупные станки. Выбирая один из приведенных делительных диаметров, намечают затем число зубьев и шаг долбяка. Если, например, выбирается долбяк с делительным диаметром 75 *мм* и необходимо нарезать колесо с модулем, равным 2, то, безусловно, придется пересчитать делительный диаметр и принять долбяк с делительным диаметром, равным $D_t = m \cdot z = 2 \cdot 38 = 76$ *мм*, и с числом зубьев, равным 38.

При проектировании долбяка необходимо придерживаться также следующих практических соотношений между диаметром делительной окружности долбяка и его модулем [1]:

Диаметр D_t в *мм*	75	100	150	360
Модуль m	1—4,5	1—8	2—12	6—36

[1] М. С. Полоцкий, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

Долбяки с делительным диаметром свыше 300 *мм* изготовляются обычно сборными.

Определение расстояния a от передней плоскости до исходного сечения. Наметив делительный диаметр D_t долбяка, определим расстояние a от передней плоскости долбяка до исходного сечения. Поскольку долбяк можно рассматривать в исходном сечении как корригированное зубчатое колесо, расстояние a определится по формуле

$$a = \frac{\xi_{u\,max} \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в},$$

где $\xi_{u\,max}$ — максимальный коэфициент смещения на долбяке;

$\alpha_в$ — задний угол на вершине долбяка; этот задний угол принимается обычно 6° (при 20° зацеплении).

По исследованиям канд. техн. наук В. М. Матюшина задний угол $\alpha_в$ следует увеличить до 9°, а передний угол γ увеличить до 12—17°, тогда стойкость долбяков возрастает.

Максимальный коэфициент смещения можно определить, зная минимальную допустимую толщину S'_e зуба долбяка на окружности выступов (см. фиг. 424).

Если толщина зуба на окружности выступов будет меньше допустимой величины, то такой долбяк будет быстро притупляться, так как зуб будет слишком тонкий. Поэтому стараются выбирать такой коэфициент смещения ξ_u, который бы давал возможность получить еще достаточную толщину зуба S'_e на окружности выступов.

По данным МИЗ допустимыми минимальными значениями толщины зуба S'_e являются следующие:

Модуль m долбяка	Допустимая минимальная толщина зуба S'_e
От 1 до 1,5	(0,46—0,41)m
„ 1,75 до 2,75	(0,40—0,31)m
„ 3,00 „ 4,0	(0,30—0,25)m
„ 4,25 „ 6,0	(0,25—0,20)m
„ 6,5 „ 8,0	(0,20—0,10)m

Толщину S'_e зуба по окружности выступов можно определить по формуле

$$S'_e = D_e\left(\frac{S_\partial}{m \cdot z} + \frac{2\xi_u \operatorname{tg} \alpha}{z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_e\right)^*,$$

где α — угол зацепления;

α_e — угол давления эвольвенты у вершины зуба.

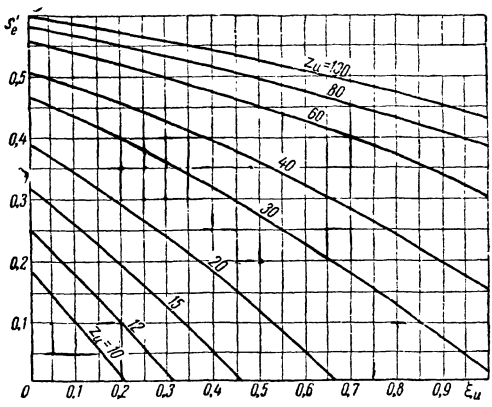
Практически удобнее для определения максимального коэфициента смещения $\xi_{u\,max}$ пользоваться графиками, изображенными на фиг. 425. Задавшись значением минимальной допустимой толщины S'_e зуба и числом зубьев долбяка, находим по графику соответствующее значение $\xi_{u\,max}$.

* М. С. Подоцкий, Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

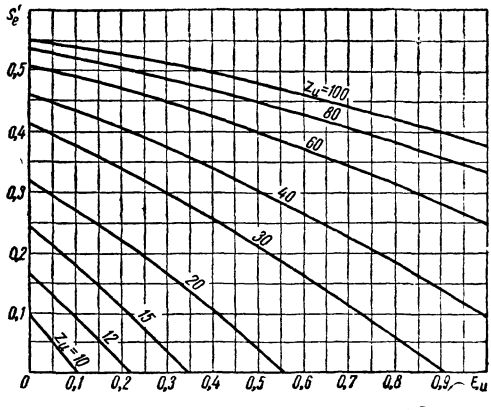
Найдя по формуле или по графику максимальный коэфициент смещения, можно определить расстояние a по формуле

$$a = \frac{\xi_{u\,max} \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_s}.$$

Чем больше величина a, тем дальше относим мы исходное расчетное сечение долбяка и, следовательно, идем на большее изменение толщины зуба. Если смещение $\xi_{u\,max}$ очень большое, появляется опасность подрезания долбяком зубьев колеса. В зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса подрезание появляется при различных значениях $\xi_{u\,max}$.



а)



б)

Фиг. 425. Графики для определения максимального коэфициента смещения (по М. С. Полоцкому):

а — высота головки зуба долбяка в расчетном сечении равна 1,25 m;
б — высота головки зуба долбяка равна 1,3 m (графики рассчитаны для m=1 и угла зацепления 20°).

В графике (фиг. 426) даны кривые, по которым можно определить, будет ли иметь место подрезание при соответствующем коэфициенте $\xi_{u\,max}$ смещения исходного контура. Например, для числа зубьев долбяка $z_1 = 19$ и коэфициента смещения исходного контура $\xi_{u\,max} = 0{,}158$ находим $z_2 = 65$. Это значение числа z_2 зубьев будет максимальным числом зубьев колеса, которое еще может быть обработано данным долбяком. Если мы будем обрабатывать данным долбяком колесо с числом зубьев, большим чем 65, то у нас будет происходить подрезание. Отсюда можно сделать очень важный вывод, что долбяк не дает возможности производить обработку колеса с любым числом зубьев, и имеются некоторые пределы использования долбяка для определенного числа зубьев.

Часто приходится для возможности обработки определенного колеса, особенно при малых значениях числа зубьев долбяка, несколько изменять окружности впадин и окружности выступов колеса. Если долбяк подвергается переточкам, то расстояние a уменьшается, и когда

сточенный слой будет настолько большим, что долбяк будет иметь форму, показанную на фиг. 424 пунктиром, также наступает опасность подрезания этим долбяком нарезаемого колеса с малым числом зубьев.

Максимально допустимое уменьшение длины зуба долбяка может быть определено по формуле

$$\Delta_B = \frac{\xi_{u\,\min} \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_B}.$$

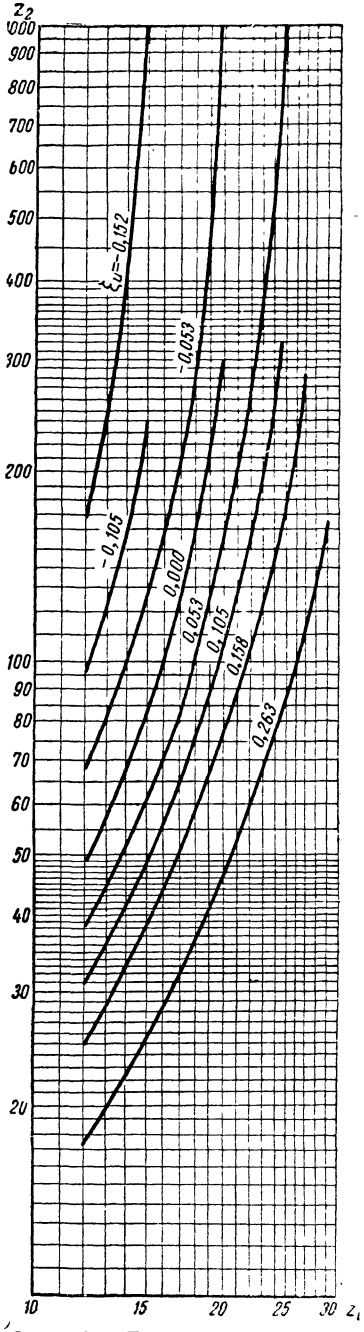
В этой формуле $\xi_{u\,\min}$ — минимальный коэфициент смещения, выбранный из условия допустимого срезания кромок и отсутствия подрезания.

Таблица 66

Минимальное число зубьев колеса, свободное от подрезания[1]
(по данным М. С. Полоцкого)

$z_{долбяка}$ \ $\xi_{u\,min}$	0,315	0,210	0,105	0,052	0,000	−0,052	−0,105	−0,158	−0,21	−0,263	−0,315	−0,525
12	—	—	—	15	16	16	16	17	—	18	—	—
13	—	—	15	15	16	16	17	17	—	18	—	—
15	—	—	16	16	16	17	17	18	—	19	—	—
16	—	—	16	16	16	17	17	18	—	19	—	—
17	—	—	16	16	17	17	18	18	—	19	—	—
18	—	—	16	16	17	17	18	18	—	19	—	—
19	—	—	16	17	17	17	18	18	—	19	—	—
20	—	—	17	17	17	18	18	18	—	19	—	—
22	—	—	17	17	17	18	18	19	—	20	—	—
24	—	—	17	17	18	18	19	19	—	20	—	—
25	—	—	17	18	18	18	19	19	—	20	—	—
27	—	—	17	18	18	18	19	19	—	20	—	—
28	—	—	18	18	18	18	19	19	—	20	—	—
30	—	—	18	18	18	18	19	19	—	—	—	—
31	17	17	17	—	18	—	19	—	19	—	20	—
34	17	17	18	—	18	—	19	—	19	—	20	—
36	17	17	18	—	18	—	19	—	19	—	20	—
38	17	18	18	—	18	—	19	—	20	—	20	—
40	18	18	18	—	19	—	19	—	20	—	20	—
43	18	18	18	—	19	—	19	—	20	—	20	—
45	18	18	18	—	19	—	19	—	20	—	20	—
50	18	18	19	—	19	—	19	—	20	—	20	—
58	18	18	19	—	19	—	19	—	20	—	20	—
60	18	19	19	—	19	—	20	—	20	—	21	—
68	19	19	19	—	20	—	20	—	20	—	21	—
76	—	19	20	—	20	—	20	—	20	—	21	22

[1] Таблица составлена для числа зубьев долбяка более 30, если высота головки $h' = 1{,}25\ m$, и равно или менее 30, если высота головки равна $1{,}3\ m$.



Фиг. 426. График для определения условий подрезания (по М. С. Полоцкому).

Для определения минимальных чисел зубьев шестерен, свободных от подрезания, при некотором коэфициенте $\xi_{u\,min}$ смещения долбяка можно воспользоваться табл. 66, в которой приводится минимальное число зубьев колеса, свободное от подрезания (в зависимости от $\xi_{u\,min}$).

Если после проверки по таблице окажется, что колеса будут подрезаться, то необходимо увеличить коэфициент ξ_u смещения исходного контура и, следовательно, уменьшить величину Δ_B.

Определение остальных конструктивных элементов долбяка. Для вычерчивания долбяка необходимо определить еще ряд конструктивных элементов. К ним относятся: диаметр отверстия d, глубина выточки, общая толщина долбяка B. Эти элементы следует брать по ГОСТ 321-41 и 324-41.

В рабочем чертеже долбяка кроме рассчитанных нами элементов должны быть приведены элементы, по которым производится контролирование долбяка.

Толщина зуба долбяка в торцевом сечении по делительной окружности, обозначенная на фиг. 424 через S'_∂, определяется по формуле, указанной на стр. 504. Эта толщина зуба долбяка должна быть проставлена в чертеже долбяка (для контроля зуба при изготовлении долбяка).

Диаметр D_e окружности выступов можно определить по формуле

$$D_e = D_t + 2h' + 2C + 2x,$$

где h' — высота головки зуба (в расчетном сечении);

C — радиальный зазор (в расчетном сечении);

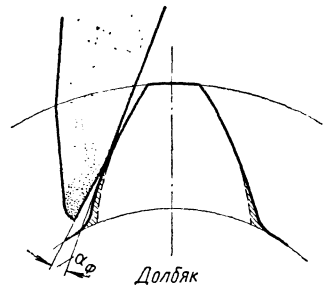
x — смещение исходного контура.

Высоту h' зуба передней грани можно определить

$$h' = \frac{D_e - D_t}{2}.$$

Для улучшения условий зацепления и работы зубчатых передач можно производить фланкирование зуба долбяка.

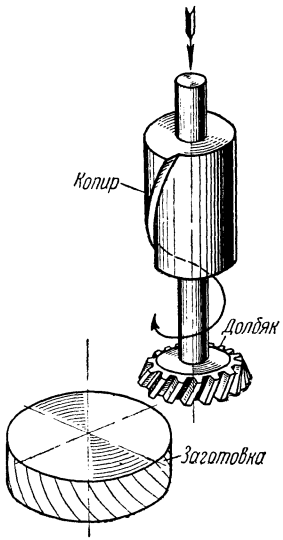
На фиг. 427 показан зуб фланкированного долбяка. Фланкирование производится путем изменения формы образующей шлифовального круга. Оно может производиться со стороны ножки зуба долбяка; в этом случае фланкирование дает некоторый дополнительный срез головки зуба колеса и дает возможность избежать кромочного зацепления. Но можно производить также фланкирование головки зуба долбяка, что дает возможность усилить ножку зуба нарезаемого колеса.



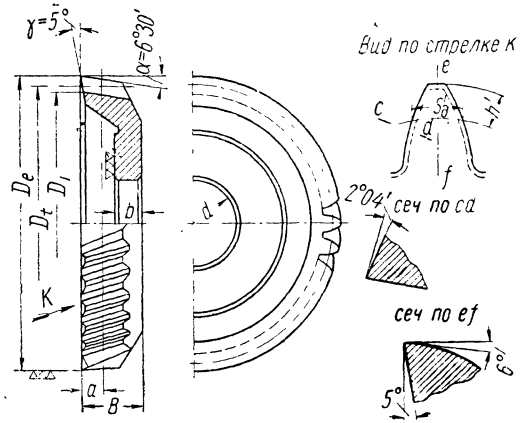
Фиг. 427. Фланкирование ножки зуба долбяка.

Выбор конструктивных элементов долбяка для косозубых и шевронных колес. Долбяком можно нарезать не только прямозубое колесо внешнего или внутреннего зацепления, но также и косозубое колесо внешнего и внутреннего зацепления. Рассмотрим основные элементы и конструктивные особенности долбяков для нарезания зубчатых колес с косым зубом внешнего зацепления.

В зависимости от направления зуба долбяки могут быть для правых и левых косых зубьев. Долбяк для косого зуба отличается от долбяка для прямого тем, что имеет не прямые, а косо направленные зубья. Схема работы долбяка для колеса с косыми зубьями показана на фиг. 428. Долбяк закреплен на штосселе зубо-



Фиг. 428. Схема работы долбяка для косозубых колес.

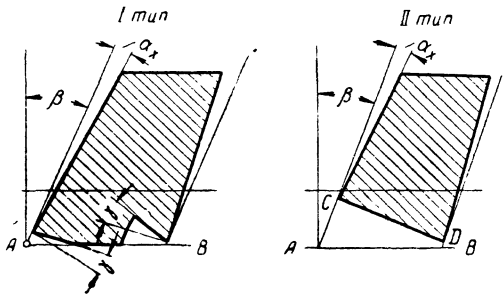


Фиг. 429. Дисковый долбяк для косозубых колес.

долбежного станка и движется вместе с ним возвратно-поступательно. Для того чтобы обеспечить винтовое движение долбяка, на станке устанавливается специальный копир, который служит для придания штосселю вращательного движения дополнительно к поступательному дви-

жению вдоль оси. Этот копир обеспечивает движение долбяка по винтовой линии.

Долбяк для косозубых колес аналогично долбяку для колес с прямыми зубьями имеет передний и задний углы. На фиг. 429 показан долбяк для косозубых колес. Боковые поверхности зубьев этого долбяка, точно так же как и боковые поверхности зубьев для долбяка с прямыми зубьями, представляют собой эвольвентные винтовые поверхности. Долбяк для косозубых колес имеет также расчетное сечение, в котором все элементы долбяка соответствуют зубчатому колесу. Это расчетное сечение проходит на некотором расстоянии a от торца долбяка. Но у косозубого долбяка следует различать два сечения — торцевое сечение, перпендикулярное оси долбяка, и нормальное сечение, перпендикулярное винтовой линии, производящей поверхности долбяка на его делительном цилиндре. На фиг. 430 показаны оба эти сечения. Буквами AB отмечено торцевое сечение, буквами CD отмечено нормальное сечение.



Фиг. 430. Типы зубьев косозубых долбяков.

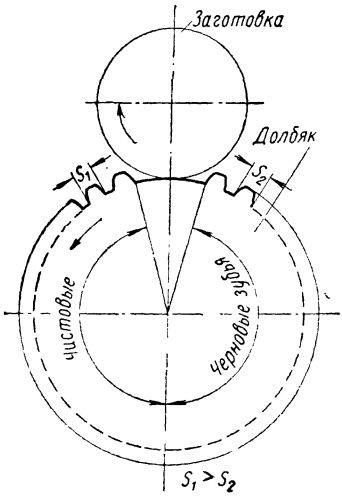
Существуют две конструкции долбяков для косозубых колес, которые отличаются формой зуба. На фиг. 430 показана форма зубьев обоих типов. У долбяков I типа все расчеты производятся в торцевом сечении AB, но поскольку для улучшения условий резания необходимо создать соответствующие углы, то у этих долбяков делается заточка переднего угла с правой стороны и некоторое притупление — с левой стороны. Если колесо, для которого рассчитывается такой долбяк, имеет определенный модуль m_n в нормальном сечении, то необходимо этот модуль пересчитать на модуль m_T в торцевом сечении по формуле

$$m_T = \frac{m_n}{\cos\beta}.$$

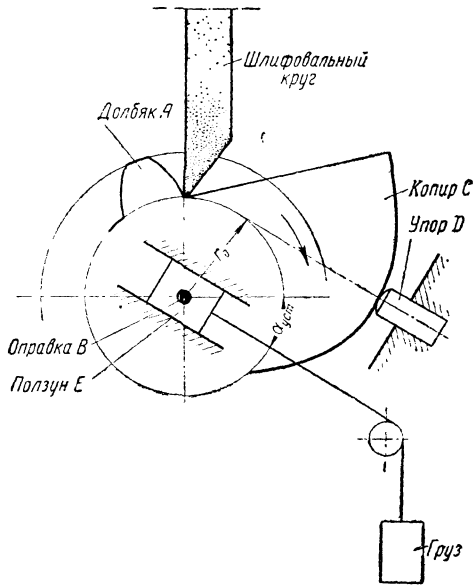
После определения m_T можно рассчитать долбяк (по торцевому модулю) по тем же формулам, которые были приведены для прямозубого долбяка.

Долбяк II типа (фиг. 430 справа) имеет заточку в плоскости, нормальной к винтовой линии производящей поверхности. Это нормальное сечение (у такого долбяка) называется исходным нормальным сечением. Передняя грань зуба долбяка в данном случае затачивается отдельно у каждого зуба и углы резания создаются на обеих сторонах зуба одинаковые. Для расчета долбяка II типа также необходимо определить модуль m_T в торцевом сечении, а затем производить все расчеты как для долбяка I типа.

Комбинированные долбяки. Для того чтобы повысить производительность труда при обработке зубчатых колес малых модулей и уменьшить нагрузку на зубья долбяка, предназначенные для чистовой обработки, изготовляют комбинированные долбяки, в которых часть зубьев является черновыми, а часть — чистовыми. Черновые зубья имеют несколько уменьшенную толщину по делительной окружности, а чистовые зубья имеют расчетную толщину зуба. Схема работы такого комбинированного долбяка изображена на фиг. 431. За один оборот долбяка полу-



Фиг. 431. Схема работы комбинированного долбяка.



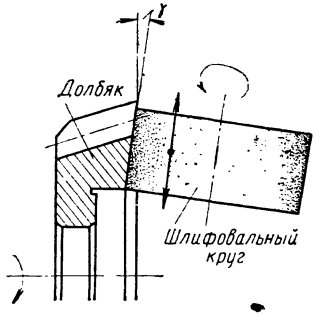
Фиг. 432. Схема шлифования профиля зуба долбяка на специальном станке.

чается окончательно готовое зубчатое колесо. Применение комбинированных долбяков возможно только в том случае, когда диаметр делительной окружности долбяка позволяет производить обработку колеса за один оборот, т. е. когда длина окружности долбяка в два с лишним раза больше длины окружности нарезаемого колеса.

Образование боковой поверхности зуба долбяка. Чтобы ясно представить себе конструкцию долбяка, следует коснуться основной технологической операции изготовления долбяка — шлифования боковой поверхности зуба.

Боковая поверхность долбяка должна быть прошлифована по эвольвенте. Для этой цели устанавливают долбяк на оправку зубошлифовального станка и производят шлифование боковой поверхности зуба. На фиг. 432 схематически показана наиболее распространенная установка долбяка при шлифовании профиля на зубошлифовальном станке. Долбяк A устанавливается на оправку B, на которой жестко закреплен копир C с эвольвентным профилем. Если начать поворачивать копир вместе с оправкой в направлении, указанном стрелкой, то копир,

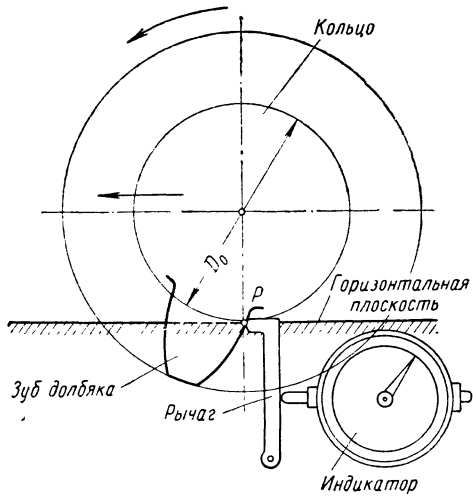
опираясь на неподвижный упор D, будет передвигать центр долбяка (так как на оправка вращается в подвижном ползуне); в результате этого долбяк будет поворачиваться, и точки круга, которые соприкасаются с боковой поверхностью долбяка, будут описывать на боковой поверхности последнего эвольвенты. В станке предусмотрен также механизм деления, который позволяет после окончания прохода по одной стороне первого зуба перевести шлифование на 2-й, 3-й и т. д. зубья долбяка. После того как отшлифована одна сторона всех зубьев, долбяк поворачивается на оправке, и производится шлифование другой стороны зубьев.



Фиг. 433. Схема заточки долбяка по передней грани.

Заточка зубьев. Долбяк затачивается по передней грани. Схема установки долбяка по отношению к шлифовальному кругу показана на фиг. 433. Заточка производится или на универсальном круглошлифовальном станке, или на плоскошлифовальном станке с круглым патроном и горизонтальной осью вращения патрона. Для получения достаточно чистой передней поверхности долбяка шлифовальный круг должен кроме вращения вокруг своей оси иметь также возвратно-поступательное движение в направлении, показанном стрелками. Передний угол γ принимается обычно равным 5°—у чистовых, 10° — у черновых долбяков.

Для заточки косозубых долбяков можно применять универсальный заточной станок с соответствующим приспособлением, позволяющим установить долбяк по отношению к шлифовальному кругу.



Фиг. 434. Схема контроля эвольвенты долбяка.

После шлифования и заточки долбяки должны быть проверены по всем элементам. Различают долбяки трех классов точности: А, В, С. Допуски на элементы долбяков установлены в ГОСТ 331-41, причем для чистовой обработки применяются долбяки классов А и В, для предварительной обработки — долбяки класса С. В технических условиях на долбяки указываются все необходимые допуски и в том числе допуски на отклонения по шагу и отклонения эвольвенты.

Контроль отклонений по эвольвенте производится эвольвентомером. Схема контроля этим прибором показана на фиг. 434. Долбяк уста-

навливается на оправку, на другой конец которой насаживаются кольца, диаметр которых равен диаметру основной окружности долбяка. При качении без скольжения диаметра основной окружности по прямой можно получить эвольвенту. В этом приборе и используется это свойство эвольвенты. Если оправку с кольцами катить без скольжения по горизонтальной плоскости и установить в точке P ножку индикатора, то стрелка индикатора не будет показывать никаких отклонений в том случае, когда эвольвента боковой поверхности зуба правильная.

В заключение приведем пример расчета долбяка для нарезания прямозубого колеса.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДОЛБЯКА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ПРЯМОЗУБОГО КОЛЕСА

Исходные данные для расчета: рассчитать долбяк для нарезания зубчатых колес с числом зубьев от 40 до 100, модуль $m = 3$.

Угол α зацепления равен 20°.

Диаметр D_t делительной окружности долбяка (номинальный) 100 *мм*.

Долбяк дисковый.

Класс точности долбяка по ГОСТ 331-41 принимаем В.

Материал долбяка — быстрорежущая сталь РΦ1. Зацепление внешнее.

1. Определяем число зубьев долбяка по формуле

$$z_u = \frac{D_t}{m} = \frac{100}{3} = 33{,}3.$$

2. Выбираем число зубьев $z_u = 34$, пересчитываем диаметр делительной окружности долбяка на принятое число зубьев. Определяем диаметр по формуле $D_t = m \cdot z_u = 3 \cdot 34 = 102$ *мм*.

3. Определяем допустимое смещение a передней плоскости от исходного сечения.

В формулу $a = \frac{\xi_{u\,max} \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в}$ входит величина $\xi_{u\,max}$ допустимого максимального коэфициента смещения на долбяке. Вначале находим минимальную величину толщины зуба S'_e на окружности выступов. На стр. 505 рекомендуется для данного модуля принимать величину $S'_e = (0{,}3 \div 0{,}25)\ m$. Принимаем $S'_e = 0{,}3$ модуля. Можно определить по графику фиг. 425 внизу коэфициент смещения $\xi_{u\,max}$ на долбяке. Для нашего случая этот коэфициент при $S'_e = 0{,}3 \cdot m$, $z_u = 34$ и высоте головки долбяка 1,3 m принимается равным 0,33. Теперь можно определить расстояние долбяка от исходного сечения, пользуясь формулой $a = \frac{\xi_{u\,max} \cdot m}{\operatorname{tg} \alpha_в}$.

Задний угол на вершине долбяка принимаем равным 6°, тогда окончательно получим величину a, равную

$$a = \frac{0{,}33 \cdot m}{\operatorname{tg} 6°} = \frac{0{,}33 \cdot 3}{0{,}105} = 9{,}5 \text{ мм}.$$

Принимаем $a = 9{,}6$ *мм*.

4. Определяем размеры зуба долбяка. Высота h' головки зуба будет равна $1{,}3\,m = 3{,}9$ *мм*, высота ножки зуба также равна 1,3 m. Все эти размеры относятся к расчетному сечению.

5. Определяем диаметр окружности выступов долбяка. Для этой цели воспользуемся формулой

$$D_e = D_t + 2h' + 2a \operatorname{tg} \alpha_в = 102 + 2 \cdot 3{,}9 + 2 \cdot 9{,}6 \cdot 0{,}105 = 111{,}82 \text{ мм}.$$

6. Определяем диаметр окружности впадин долбяка по формуле

$$D_i = D_e - 2h = 111{,}82 - 2 \cdot 2{,}6 \cdot m = 111{,}82 - 15{,}6 = 96{,}22 \text{ мм}$$

7. Определяем толщину зуба S'_∂ по дуге делительной окружности на расстоянии $a = 9{,}6$ от расчетного сечения по формуле, приведенной на стр. 504:

$$S'_\partial = m\left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_u \operatorname{tg}\alpha\right) = 3\left(\frac{3{,}1416}{2} + 2 \cdot 0{,}33 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ\right) = 5{,}433 \text{ мм}.$$

8. Проверяем выбранный коэфициент смещения $\xi_u = 0{,}33$ по графику (фиг. 426) на подрезание и видим, что при $z_2 = 100$ подрезания нет.

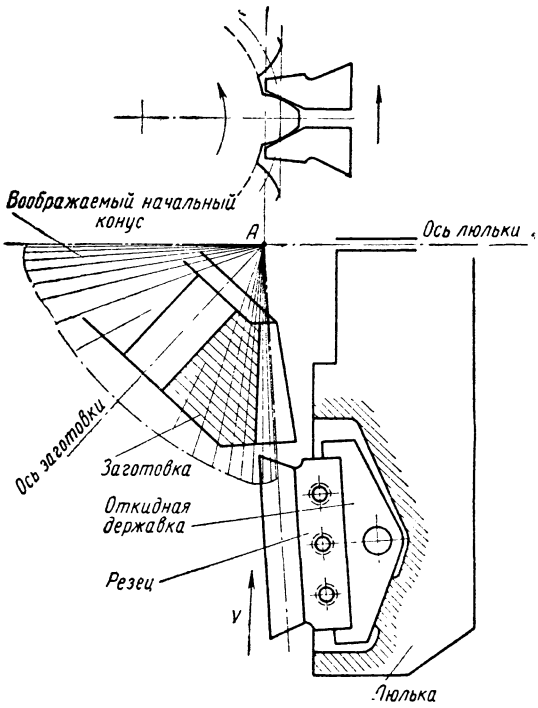
9. Из условий прочности принимаем общую толщину дискового долбяка $B = 20$ *мм*, учитывая при этом необходимую прочность зуба переточенного долбяка.

10. По ГОСТ 322-41 принимаем остальные элементы долбяка: диаметр отверстия 31,743 *мм*; диаметр выточки 70 *мм*; размер ступицы 10 *мм*.

11. По условиям долбяк чистовой класса В.

РЕЗЦЫ И РЕЗЦОВЫЕ ГОЛОВКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

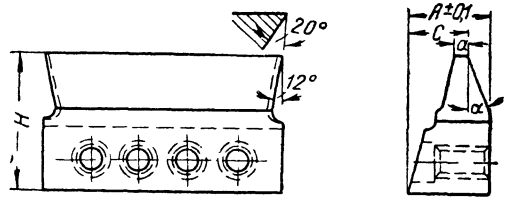
Для обработки конических колес применяются зубострогальные резцы (для прямозубых конических колес) и резцовые головки (для конических колес с криволинейными зубьями).



Фиг. 435. Схема работы зубострогального станка для конических колес.

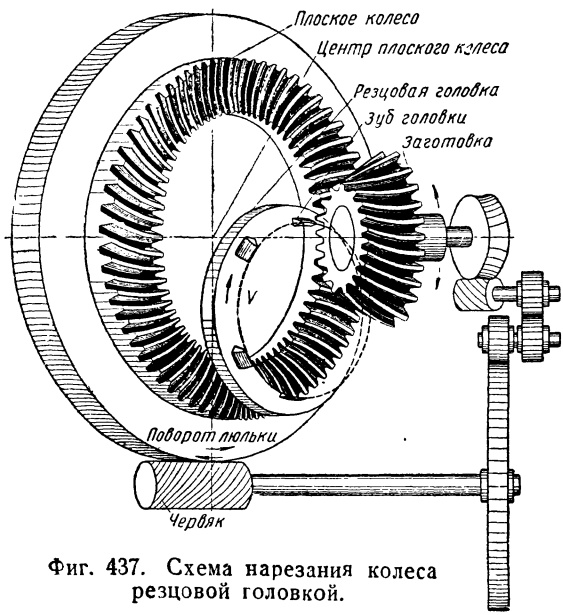
Зубострогальные резцы. На фиг. 435 показана схема обработки прямозубого конического колеса строгальными резцами на специальном зубострогальном станке. Зуб нарезаемого колеса обрабатывается двумя резцами. Люлька, в которой помещаются резцы, представляет собой некоторую часть плоского (воображаемого) колеса, а попарно движущиеся резцы представляют собой как бы впадину зуба этого колеса. Резцы двигаются возвратно-поступательно (по стрелке v) взад и вперед и каждый из них обрабатывает одну сторону зуба колеса; движение резцов совершается попеременно. Если один из резцов движется по направлению к точке A, другой резец в это время движется в обратном направлении. Плоское колесо и обрабатываемая заготовка свя-

заны между собой кинематически и обкатываются без скольжения по начальной плоскости и начальному конусу. В результате этого обкаточного движения прямолинейная кромка резца обрабатывает боковую поверхность зуба колеса. После обработки одного зуба делительный механизм станка поворачивает заготовку на следующий зуб и, таким образом, производится обработка всех зубьев шестерни.



Фиг. 436. Резец для нарезания конических прямозубых колес.

Практически обработка производится в 2 приема. Вначале прорезается впадина черновыми резцами, причем при черновом нарезании можно не производить движения обкатки, а затем устанавливаются чистовые резцы и производится чистовая обработка колеса.



Фиг. 437. Схема нарезания колеса резцовой головкой.

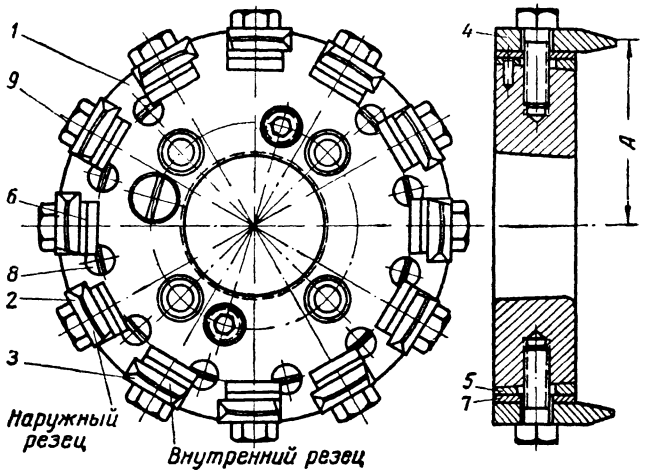
Резцы представляют собой призматическое тело с определенными углами. На фиг. 436 показан зуборезный резец. Этот резец снабжен отверстиями с резьбой для крепления его на держателе зубострогального станка. Рабочая часть резца представляет собой плоскость, срезанную под углом α. При работе, для того чтобы создать задний угол, резец устанавливается на специальной откидной державке (см. фиг. 435), которая для устранения трения откидывается при обратном ходе. Передний угол на резце получается благодаря заточке передней грани под углами 12° и 20°. В зависимости от размера зубострогального станка применяются различные размеры резцов [1].

Заточка резцов должна производиться только по передней грани; отступления от углов при заточке приводят к неправильности профиля нарезаемого колеса и совершенно недопустимы.

[1] Размеры резцов см. „Альбом нормалей режущего инструмента", ВНИИ МСС, ч. IV, Машгиз, 1948.

Резцовые головки. Резцовые головки применяются для нарезания конических зубчатых колес с криволинейными зубьями на специальных зуборезных станках. На фиг. 437 показана схема работы резцовой головки.

Резцовая головка представляет собой как бы отдельный криволинейный зуб плоского колеса. Это колесо обкатывается по начальному конусу нарезаемого колеса, в то же время резцовая головка вращается вокруг своей оси по стрелке v и резцы вырезают материал из впадин колеса. Резцовая головка выполняется в виде диска, в который вставлены



Фиг. 438. Зуборезная резцовая головка.

по периферии отдельные резцы. Половина этих резцов обрабатывает профиль одной стороны зуба, другая половина — другой стороны зуба колеса.

На фиг. 438 показана резцовая головка. В корпусе *1* головки прорезаны пазы, в которые вставляются резцы наружные *2* и внутренние *3* и привертываются к корпусу головки винтами *9*.

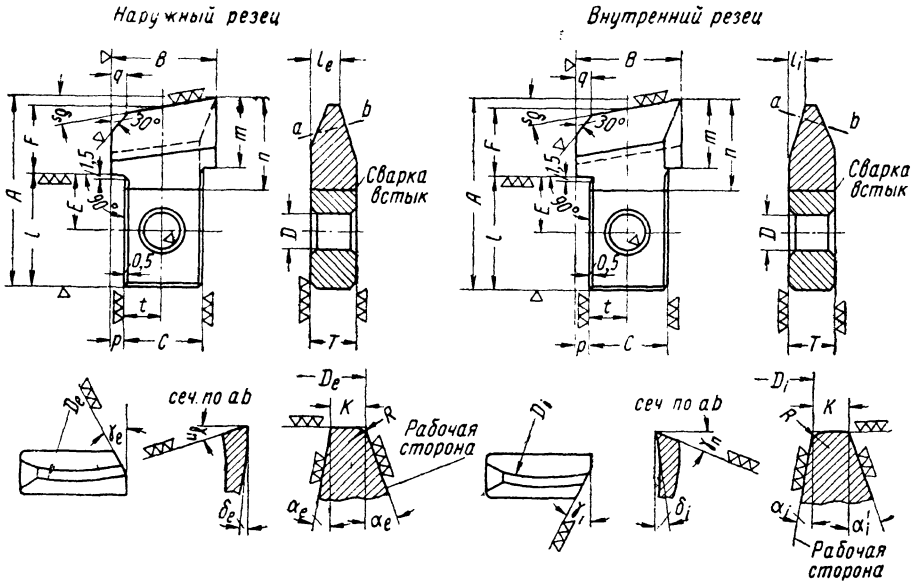
Для того чтобы обеспечить регулировку расположения каждого резца относительно центра резцовой головки, в пазах под каждым резцом имеются специальные регулировочные клинья *4* и *5* и прокладки *6* и *7*. Регулировка клиньев производится винтами *8*. При ввинчивании винта *8* клин передвигается, а резец в зависимости от направления перемещения клина или приближается, или удаляется от центра резцовой головки. После регулировки необходимого расстояния *A* резец закрепляется винтом *9*.

В зависимости от размера станка и модуля нарезаемого колеса размеры головок принимаются различные [1]. Изготовляются головки $3^1/_2$,

[1] См. „Альбом нормалей режущего инструмента", ВНИИ МСС, ч. IV, Машгиз, 1948.

6, 9 и 12″. Число резцов в головках делается от 4 до 20. Для самых маленьких размеров колес применяется цельная зуборезная головка диаметром 2″.

Резцы для резцовой головки показаны на фиг. 439. Они разделяются на наружные и внутренние; ставятся они в головку, попеременно (см. фиг. 438). Режущая кромка резца должна по отношению к оси головки находиться под строго определенным углом, поэтому базовые плоскости резца и пазы в головке должны быть обработаны тщательно. Своей базовой плоскостью резец опирается на дно паза корпуса головки.



Фиг. 439. Резцы к резцовой головке.

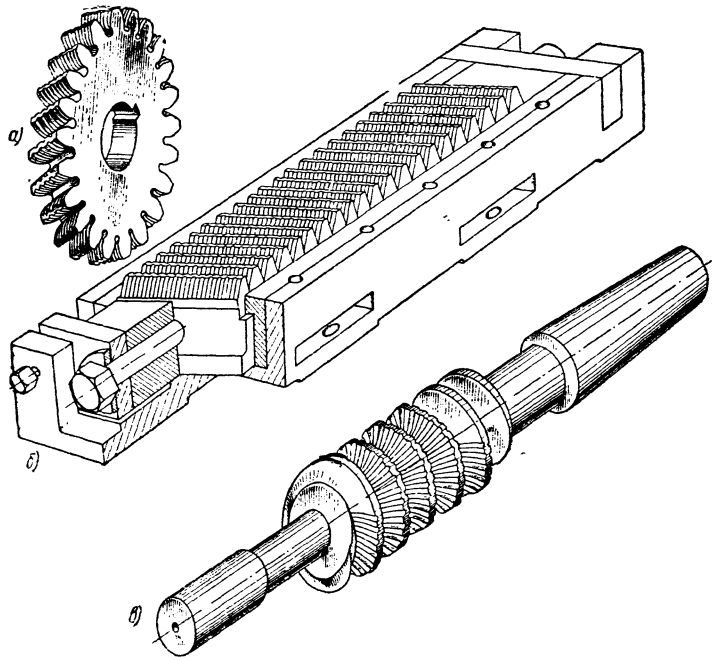
Заточка резцов производится по передней грани; при переточках должно быть выдержано правильное расположение режущей кромки. Резцы должны иметь задний угол. Это обеспечивается тем, что при обработке задней поверхности резцов производится затылование с определенным рассчитанным в зависимости от заднего угла кулачком. Задние поверхности резцов получаются в результате обработки их в приспособлениях, напоминающих корпус головки.

ШЕВЕРЫ

Шеверами называют инструменты, предназначенные для окончательной обработки боковых сторон зуба шестерен путем срезания очень тонких стружек. Этот процесс напоминает скорее скобление или шабрение. Шевингование производится на специальных станках.

Шевер представляет собой закаленное зубчатое колесо (дисковый шевер) (фиг. 440, *а*) или закаленную зубчатую рейку (шевер-рейка)

(фиг. 440, *б*) или, наконец, закаленный червяк с насечкой (червячный шевер). На фиг. 440 показаны все три типа шеверов. Для того чтобы обеспечить относительное скольжение профилей, у шевера-колеса и шевера-рейки делаются наклонные зубья. Процесс работы шевера-червяка несколько отличается от процесса работы шевера-колеса и шевера-рейки. На фиг. 441 показана схема работы дискового шевера.



Фиг. 440. Типы шеверов:

а — дисковый шевер; *б* — шевер-рейка; *в* — червячный шевер.

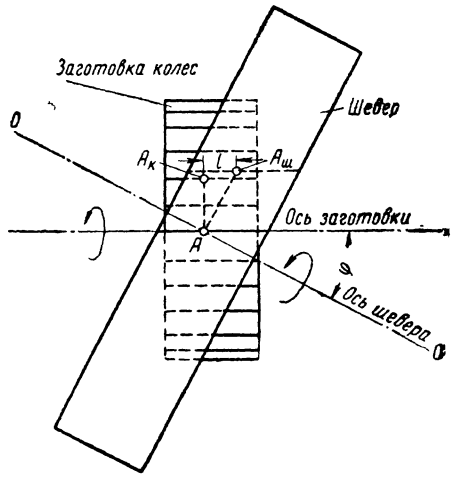
Шевер, представляющий собой корригированное зубчатое колесо, зубья которого снабжены канавками, образующими режущие кромки, вращается вокруг оси *OO*, наклоненной по отношению к оси заготовки на некоторый угол φ. При сближении оси шевера, имеющего косые зубья, и оси заготовки, имеющей прямые зубья, получается зубчатое зацепление шевера и заготовки. Если взять точку на профиле зуба шевера, лежащую на оси *OO*, и соответствующую ей точку на профиле зуба колеса, то при повороте шевера и колеса на некоторый угол при взаимном зацеплении их точка, лежащая на профиле шевера, из положения A переместится в положение $A_ш$. Точка же A, лежащая на профиле зуба колеса, переместится при этом в положение $A_к$. Из фиг. 441 видно, что точки $A_ш$ и $A_к$ разойдутся между собой на некоторое расстояние l. Поскольку в процессе зацепления шевера и колеса будет происходить то же самое с каждой точкой профиля, то возникает не-

которое относительное скольжение профиля зуба шевера относительно профиля заготовки. Скорость этого относительного скольжения и является скоростью резания при шевинговании. Эта скорость переменна и абсолютная величина ее зависит от угла скрещивания осей заготовки и шевера. Обычно этот угол скрещивания осей φ выбирается в пределах 10—15°. Для того чтобы получить относительное скольжение при обработке прямозубых колес, необходимо делать шевер с косыми зубьями, а при обработке косозубых колес — шевер с прямыми зубьями.

Аналогично происходит работа шевера-рейки, только зацепление в этом случае обеспечивается не между двумя колесами, а между рейкой и колесом.

Червячный шевер, представляющий собой червяк с мелкими насеченными зубьями, работает как червячная фреза только с той разницей, что стружка при этом из-за большого числа часто расположенных зубьев может быть очень мелкой и благодаря этому получается чистая поверхность обрабатываемого червячного колеса.

Шевингование позволяет производить окончательную обработку зубьев колес с большой точностью по шагу, профилю, эксцентричности делительной окружности и форме зуба. Если даже предварительно обработанное колесо имеет некоторые ошибки по шагу и профилю, то при шевинговании можно исправить все эти погрешности и получить точное колесо.



Фиг. 441. Схема работы дискового шевера.

Шеверы применяются преимущественно в крупносерийном и массовом производстве для обработки незакаленных зубчатых колес после зубофрезерования и зубодолбления.

Конструкция шеверов. Дисковый шевер, представляющий собой зубчатое колесо, изготовляется обычно из быстрорежущей стали. Основные конструктивные элементы дискового шевера показаны на фиг. 442. К этим основным элементам относятся: диаметр делительной окружности по торцу D_t; диаметр основной окружности по торцу D_o; модуль по торцу m_T; число зубьев шевера z; ширина шевера B.

Элементы стружечной канавки, к которым относятся шаг канавок, ширина выступов, глубина канавок.

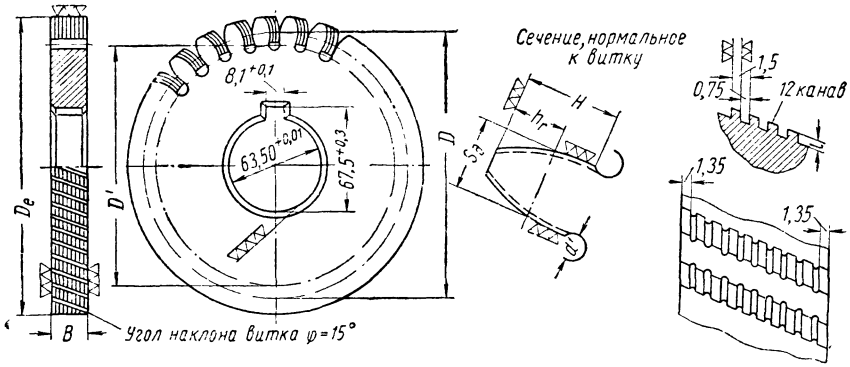
Наружный диаметр D_e шевера и т. д.

Все эти конструктивные элементы должны быть определены по соответствующим формулам [1].

[1] Формулы для расчета см. Энциклопедический справочник „Машиностроение", т. 7, Машгиз, 1948.

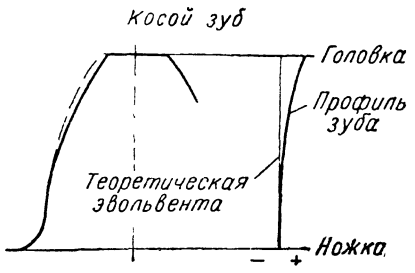
На фиг. 442 показан чертеж дискового шевера для прямозубых колес с углом зацепления 20°.

Дисковые шеверы благодаря их небольшим габаритам получили более широкое распространение, чем остальные виды шеверов. Шеверы изготовляются для шевингования колес с модулем до 8 (в отдельных случаях и выше).



Фиг. 442. Дисковый шевер для цилиндрических прямозубых колес.

Для улучшения работы шевера применяют иногда корректированный профиль зуба, при котором получаются меньшие искажения профиля зуба колеса. Дело в том, что профиль зуба колеса при шевинговании несколько отличается от профиля теоретической эвольвенты благодаря тому, что скорость скольжения и направления скорости резания в разных точках профиля различны и углы резания режущих кромок шевера также не везде одинаковы. Эти искажения профиля зуба колеса могут быть установлены путем введения некоторых исправлений в профиль зуба шевера. На фиг. 443 показано искажение профиля зуба косозубого колеса при обработке его шевером. Для того чтобы избежать этих искажений, в профиль зуба шевера вводятся заранее некоторые отклонения, определяемые опытным путем [1]:



Фиг. 443. Искажение профиля шевера.

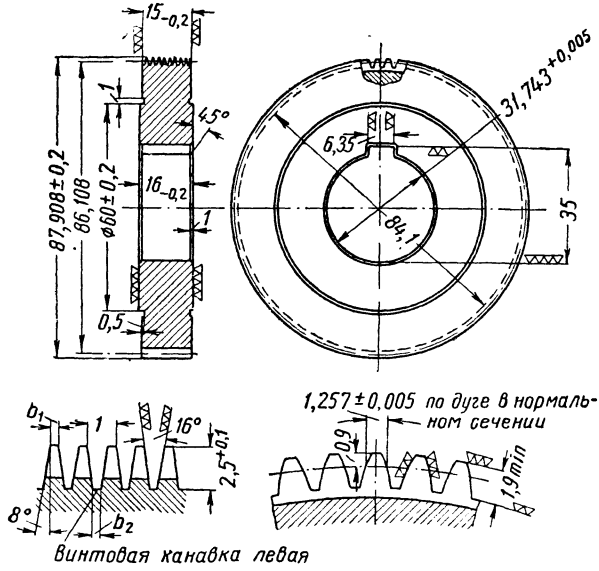
Число зубьев заготовки	20	35	50
Отклонения в *мм*	0,020—0,025	0,015—0,020	0,010—0,015

Эти отклонения представляют собой отклонения от теоретической эвольвенты. Они получаются путем специальной правки шлифовального круга при шлифовании зуба шевера. Кроме того, с целью улучшения

[1] См. И. И. Семенченко, Режущий инструмент, т. IV, Машгиз, 1944.

работы зубчатой передачи можно рекомендовать бочкообразный зуб зубчатого колеса. Колеса с бочкообразными зубьями менее чувствительны к перекосу осей, дают меньший шум при работе. Бочкообразность зуба колеса при шевинговании достигается с помощью специального приспособления.

Особую группу составляют шеверы для мелкомодульных (модуль от 0,4 до 1,75) зубчатых колес. Московский инструментальный завод (МИЗ) изготовляет такие шеверы конструкции лауреатов Сталинской премии канд. техн. наук Г. Н. Сахарова и инж. Г. Г. Ильвер. На



Фиг. 444. Дисковый шевер для мелкомодульных колес.

фиг. 444 показан дисковый шевер для мелкомодульных колес. При небольшом модуле невозможно изготовить даже неглубокие канавки на боковых сторонах зубьев, поэтому вместо канавок у шевера имеются кольцевые выточки, прорезающие зуб до основания. Профиль этих выточек угловой. Шлифование профиля зуба мелкомодульного шевера производится на специальном шлифовальном станке конструкции лауреата Сталинской премии инж. М. С. Васильчука. Станок имеет шлифовальный круг в виде абразивного червяка. Шлифование профиля производится по методу обкатки.

На фиг. 440, *б* показан шевер, представляющий собой рейку. С целью облегчения обработки, а также эксплоатации шевер-рейку обычно делают сборным, отдельные зубья собираются на общей стальной колодке и затягиваются планками. Для того чтобы обеспечить процесс шевингования, шевер-рейка должен быть достаточных размеров. Длина рейки должна быть больше развернутой длины начальной окружности заготовки.

Шевер-рейка для прямозубых колес имеет наклонные зубья; шевер-рейка для косозубых колес изготовляется с прямыми зубьями.

Несмотря на высокую стойкость шевер-рейки и бо́льшую точность, чем шевер-колесо, шевер-рейка не нашел широкого применения из-за сложности изготовления и сборки.

Показанный на фиг. 440, *в* червячный шевер для обработки зуба червячных шестерен по своей конструкции представляет червячную фрезу с мелкими зубьями. Так как червячный шевер можно изготовить по всем элементам, в точности соответствующим червяку, который будет работать в паре с червячной шестерней, и так как влияния затылования, которое вносит дополнительные искажения в профиль фрезы, в червячном шевере можно избежать, то червячный шевер может быть совершенно точной копией червяка и может обработать впадину червячного колеса с необходимой точностью. Канавки для стружки, которые образуют режущие кромки червячного шевера на боковых профилях витков, делаются обычно небольшие. Направлением канавок можно регулировать характер образования стружки, а следовательно, и чистоту обрабатываемого колеса.

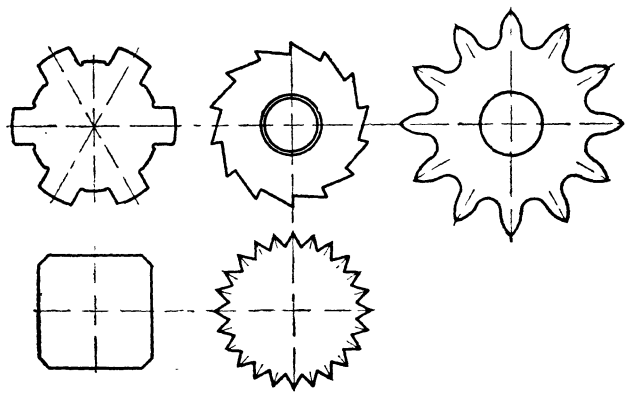
Червячный шевер может иметь профиль архимедова червяка, профиль эвольвентного червяка или прямолинейный профиль в нормальном сечении. Эта возможность изготовить червячный шевер для любого типа червяка используется в машиностроении, и в точных червячных парах рекомендуется окончательную обработку колеса производить червячным шевером. Профиль зуба червячного шевера шлифуется в зависимости от типа червяка на различных шлифовальных станках для червяков.

ГЛАВА XIV

ИНСТРУМЕНТЫ, РАБОТАЮЩИЕ МЕТОДОМ ОБКАТКИ, ДЛЯ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

В настоящее время в массовом и крупносерийном производстве получили широкое распространение инструменты, работающие методом обкатки, предназначенные для обработки зубчатых изделий с различной формой профиля зуба. К таким изделиям относятся многошлицевые валики с прямолинейными сторонами шлицев, храповые колеса, много-



Фиг. 445. Изделия различной формы, обрабатываемые методом обкатки.

гранные изделия, мелкозубчатые шлицевые валики, звездочки для цепей и т. д. На фиг. 445 показано несколько типов изделий, обработка которых может производиться инструментами, работающими методом обкатки. Все эти инструменты можно подразделить на три основных вида: 1) червячные фрезы; 2) долбяки; 3) обкаточные резцы.

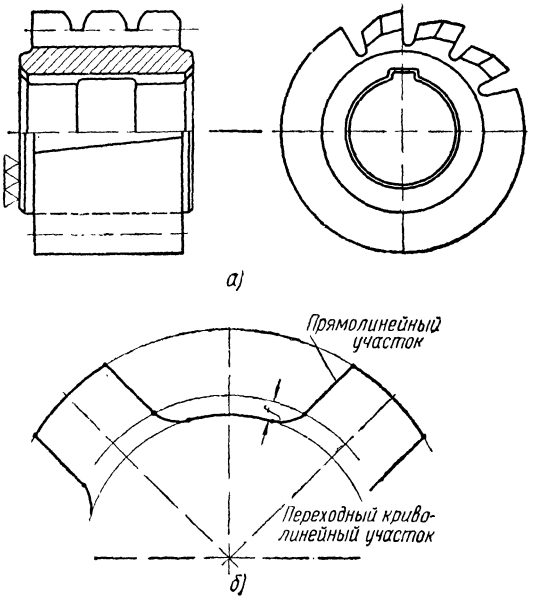
Червячные фрезы. Наибольшее распространение получили червячные шлицевые фрезы, предназначенные для обработки различных шлицевых валиков, имеющих прямолинейный профиль. Эти фрезы можно подразделить по конструкции и по методу получения профиля на несколько основных видов: 1) червячные фрезы без усиков; 2) червячные фрезы с усиками; 3) червячные фрезы с удлиненным зубом; 4) фрезы определенной установки; 5) фрезы-улитки.

В основе конструкции всех перечисленных червячных фрез лежит обычная червячная фреза, работающая методом обкатки. Червячная фреза и нарезаемый валик находятся в зацеплении. Профиль червячной фрезы представляет собой профиль рейки, а профиль нарезаемого валика — профиль зубчатого колеса, находящегося в зацеплении с рейкой. При относительном движении валика последний своей начальной окружностью катится по начальной прямой рейки без скольжения. Резание осуществляется за счет вращения фрезы. Таким образом, аналогично нарезанию зубчатого колеса с эвольвентным профилем в данном случае мы имеем обкатку.

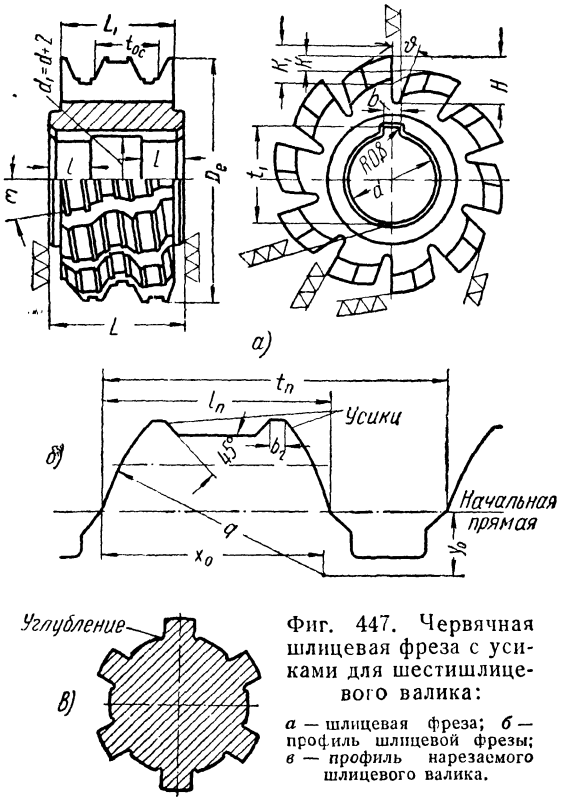
Обыкновенные шлицевые червячные фрезы без усиков, показанные на фиг. 446, *а*, обеспечивают прямолинейный профиль стороны выступа валика, причем, как это видно на фиг. 446, *б*, прямолинейный профиль обеспечивается не на всей глубине выступа. У основания шлица имеется некоторый переходный участок *f*, ограниченный не прямой, а некоторой кривой. Наличие этого переходного криволинейного участка нежелательно. Он получается в результате движения обкатки. Переходного участка, получающегося у основания шпоночных выступов, при применении обыкновенной червячной фрезы (без усиков) избежать нельзя. Чтобы обеспечить прямолинейный выступ валика, применяются шлицевые червячные фрезы с усиками (фиг. 447, *а*). Зуб такой фрезы (фиг. 447, *б*) имеет небольшие выступы (усики) на углах, которые при фрезеровании валика врезаются глубже, чем вершина зуба фрезы, и тем самым обеспечивают в углах, у основания шлицев, небольшие углубления (фиг. 447, *в*). Если глубина такой канавки будет больше глубины *f* переходной кривой, то сторона шлица до пересечения ее с окружностью внутреннего диаметра шлицевого валика будет прямолинейной. Фрезы с усиками, обеспечивая правильную геометрию (прямолинейность стороны шлица), однако, не дают возможности применять высокие скорости резания и большие подачи, так как усики фрезы являются слабым местом и быстро изнашиваются в работе. Кроме того, шлицевый валик, обработанный фрезой с усиками, благодаря углублениям у основания шлица имеет меньшую прочность, чем валик без этих углублений. Поэтому следует применять червячные фрезы с усиками по возможности реже.

Задачу получения прямолинейного шлица по всей глубине (до основания) можно решить, применяя червячную фрезу с удлиненным зубом. На фиг. 448, *а* показана такая фреза. Боковые стороны профиля зубьев этой фрезы работают по методу обкатки, как боковые стороны обычной шлицевой червячной фрезы. Но в отличие от обычной фрезы вершины зубьев такой фрезы обработаны по внутреннему диаметру валика и обрабатывают профиль впадины копированием профиля фрезы.

Фрезы с удлиненным зубом применяются для шлицевых валиков, у которых требуется сохранить прямолинейный профиль до внутреннего диаметра. Такая фреза должна быть установлена в определенном положении относительно оси нарезаемого валика. При установке фрезы ось изделия должна совпадать с центром окружности R вершин зубьев. Если у червячной фрезы с усиками или без усиков перемещение фрезы вдоль оси не изменяет профиля валика, то фреза с удлиненным зубом



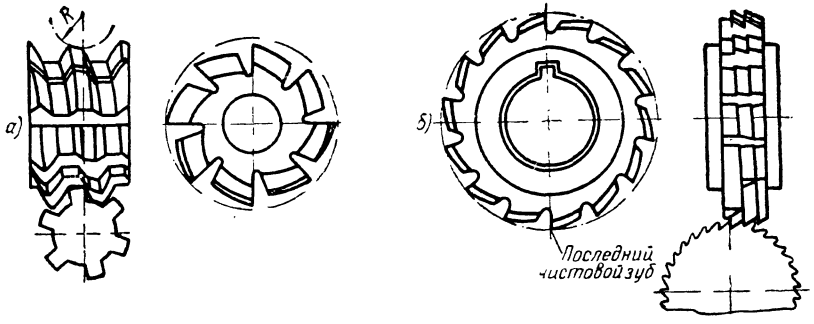
Фиг. 446. Червячная шлицевая фреза без усиков (*а*) и обрабатываемый шлицевой валик (*б*).

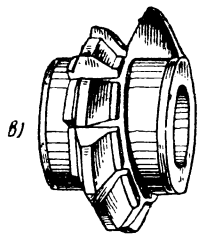


Фиг. 447. Червячная шлицевая фреза с усиками для шестишлицевого валика:

а — шлицевая фреза; *б* — профиль шлицевой фрезы; *в* — профиль нарезаемого шлицевого валика.

при перемещении вдоль своей оси и при неправильной установке будет обязательно искажать профиль валика.



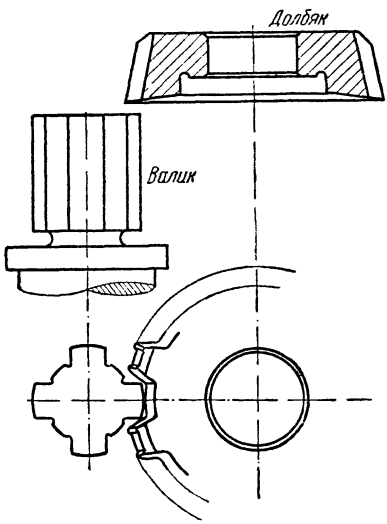


Фиг. 448. Червячные фрезы:

а — с удлиненным зубом; *б* — определенной установки; *в* — фреза-улитка.

Червячные фрезы определенной установки, изображенные на фиг. 448, *б*, представляют собой, строго говоря, режущий инструмент, не работающий по методу обкатки.

Такую фрезу необходимо также установить на оправке в определенном положении относительно оси фрезеруемого валика. Зубья ее будут обрабатывать изделие путем постепенного врезания в материал. При этом фреза, имеющая винтовой зуб, связана с вращением изделия так же, как и червячная фреза. Все зубья фрезы определенной установки производят предварительную обработку впадины, и только последний зуб, имеющий профиль, в точности соответствующий профилю впадины, окончательно обрабатывает впадину. Фрезы определенной установки могут применяться и применяются в тех случаях, когда профиль изделия не может быть обкатан обычной фрезой. Примером таких изделий служат храповые колеса с остроугольной впадиной, шлицевые валики с сужающимися шлицами и т. д.



Фиг. 449. Долбяк для шлицевого валика (схема работы).

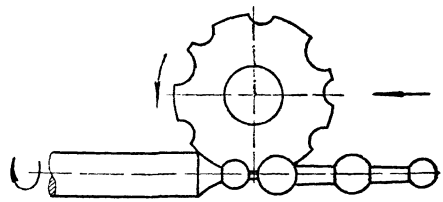
Недостатком фрез определенной установки является сложность их изготовления.

Имеются также конструкции червячных фрез короткой длины (фиг. 448, *в*), имеющих всего навсего один или два витка. У этих фрез работа распределена между отдельными зубьями, имеющими

разную высоту. Они несколько напоминают завиток панцыря улитки и поэтому носят название фрез-улиток. Фрезы-улитки получили распространение при фрезеровании эвольвентных колес или различных неэвольвентных профилей и применяются большей частью при фрезеровании крупных изделий.

Фреза-улитка представляет собой как бы винтовую протяжку. Каждый зуб фрезы срезает определенный слой металла и только последний зуб, в точности соответствующий профилю требуемой впадины, обрабатывает впадину окончательно.

Долбяки. Для обработки неэвольвентных профилей применяются также специальные долбяки (фиг. 449), по своей конструкции напоминающие обычные долбяки для зубчатых колес, но имеющие другой профиль зуба. Такими долбяками можно обработать те же изделия, что и червячными фрезами, а, кроме того, изделия, имеющие внутренние выступы или буртики, которые не могут быть обработаны червячной фрезой. В массовом производстве применяют долбяки для нарезания как наружных, так и внутренних шлицев, причем долбяки допускают обработку в несквозных отверстиях.



Фиг. 450. Схема обработки рукоятки обкаточным фасонным резцом.

Обкаточные резцы. Обкаточным резцом называют фасонный дисковый резец, режущие кромки которого в результате движения обкатки образуют профиль детали. На фиг. 450 изображена схема обработки рукоятки обкаточным резцом. К преимуществам данного метода можно отнести высокую точность обработки и значительную производительность.

Однако сложность изготовления обкаточных резцов и специальных приспособлений к токарным станкам не дала возможности широко распространить этот метод обработки.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ШЛИЦЕВЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПРОФИЛЕЙ ШЛИЦЕВ

Особенность конструирования шлицевых червячных фрез заключается в определении профиля зуба такой фрезы.

На фиг. 451 показана схема образования профиля изделия. Фреза, совершая обкаточное движение, катится без скольжения по начальной окружности и образует при этом профиль изделия.

Необходимый профиль фрезы можно определить следующими способами:

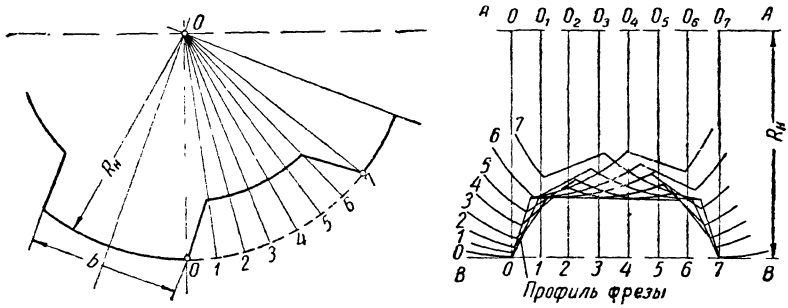
1) графическим способом, т. е. путем построения профиля фрезы по точкам;

2) аналитическим способом, т. е. путем расчета координат кривой профиля фрезы;

3) возможен также способ получения профиля фрезы механическим путем, при котором необходимый профиль фрезы обеспечивается специальным обкаточным механизмом затыловочного станка.

В практике конструирования фрез имеют распространение два первых способа. Графический способ дает возможность наглядно представить себе обкатку. Однако к недостаткам его относится то, что при графических построениях всегда возможны неточности, вызванные неточностями инструмента (циркуль, линейка) и различной толщиной проводимых линий.

Аналитический (расчетный) способ позволяет с любой точностью вычислить координаты кривой профиля фрезы, но благодаря большому объему вычислений возможны ошибки в расчетах. Поэтому практически



Фиг. 451. Графическое построение профиля инструмента (копированием последовательных положений).

применяют оба способа, причем графическим способом проверяется наличие грубых ошибок в расчете профиля.

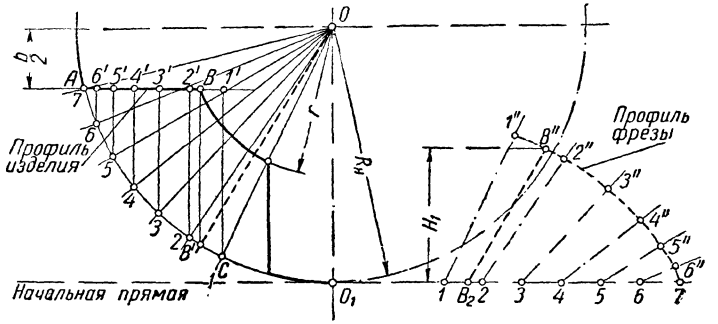
Из всех разновидностей графического построения можно рекомендовать следующие[1].

Графическое построение профиля инструмента копированием последовательных положений. Для построения профиля инструмента достаточно вычертить на бумаге в большом масштабе профиль изделия. На фиг. 451 слева вычерчены выступ и впадина шлицевого валика с прямолинейными сторонами шлицев. Окружность радиуса $R_и$ представляет собой начальную окружность изделия.

Разделим эту окружность на несколько частей. Для этого следует из крайних точек профиля изделия провести радиусы и ограниченный этими радиусами сектор разделить на определенное число равных отрезков. Для обкатывания изделия без скольжения необходимо, так же как и при построении эвольвенты (стр. 432), спрямлять дуги. Если дуга меньше $^1/_{15}$ радиуса, ее можно без особой погрешности заменить длиной хорды. Таким образом, мы получили на начальной окружности ряд точек *1*, *2*, *3*, *4* и т. д., расположенных на равном

[1] См. И. А. Фрайфельд, Инструменты, работающие методом обкатки, Машгиз, 1948.

расстоянии друг от друга. Полученные дуги $\overset{\frown}{0-1}$, $\overset{\frown}{1-2}$, $\overset{\frown}{2-3}$ приравняем к длине соответствующих хорд $0-1$, $1-2$, $2-3$. Проведем касательную к начальной окружности (удобнее это сделать на отдельном листке кальки). На кальке проводим линию $A-A$ (см. фиг. 451 справа). По этой линии будет перемещаться центр нашего валика при обкатке его по начальной прямой. На расстоянии $R_н$ проводим параллельную линию $B-B$. Эта линия будет являться начальной прямой инструмента (фрезы). Отложим на прямой $B-B$ дуги $\overset{\frown}{0-1}$, $\overset{\frown}{1-2}$, $\overset{\frown}{2-3}$ и т. д. Для этой цели раствором измерителя, соответствующим длине отрезков $0-1$, $1-2$, $2-3$ и т. д., наносим ряд точек 0, 1, 2, 3 и т. д. Проведем ряд прямых 0_1-1, 0_2-2, 0_3-3, перпендикулярных линии $B-B$. При движении обкатки изделие будет занимать последовательно ряд поло-



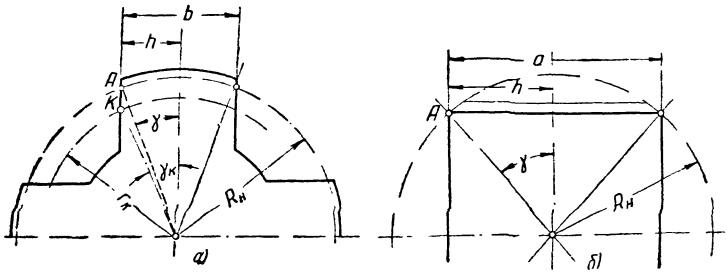
Фиг. 452. Графическое построение профиля инструмента (второй вариант).

жений 1, 2, 3, 4 и т. д. Накладывая кальку (фиг. 451 справа) на вычерченный профиль изделия (фиг. 451 слева) и совмещая при этом соответствующие линии 0_1-1, 0_2-2 с соответствующими радиусами $1-0$, $2-0$ и т. д., можно, очерчивая профиль изделия на кальке в каждом определенном положении, получить целый ряд линий, изображающих профиль изделия в различных положениях 1, 2, 3, 4 и т. д. Проведя плавную кривую, огибающую полученные профили, можно получить *искомый профиль фрезы*.

Этот графический способ очень наглядно изображает сущность обкатки.

Графическое построение профиля инструмента (второй вариант). Такой способ построения профиля показан на фиг. 452. Вычерчиваем начальную окружность и начальную прямую; проводим прямую профиля $A-B$. Откладываем от точки C ряд одинаковых дуг $\overset{\frown}{1-2}$, $\overset{\frown}{2-3}$, $\overset{\frown}{3-4}$ и т. д. Проводим из полученных точек радиусы до центра изделия. Для удобства профиль фрезы строим в правой части чертежа. Отрезки $1-2$, $2-3$, $3-4$ и т. д. соответствуют дугам $\overset{\frown}{1-2}$, $\overset{\frown}{2-3}$, $\overset{\frown}{3-4}$ и откладываются по начальной прямой вправо от точки 0_1. Из точек 1, 2, 3 и т. д. на начальной прямой строим прямые $1-1''$,

2—2″, *3—3″* и т. д., параллельные соответствующим радиусам *1—0*, *2—0*, *3—0* и т. д. Например, из конца отрезка *5* (точка *5* на начальной прямой) проводим линию *5—5″*, параллельную радиусу *5—0*. На этой линии откладываем отрезок *5—5″*, равный длине перпендикуляра *5—5′*, восстановленного из точки *5* на начальной окружности до пересечения с прямой *A — B* профиля изделия. На других отрезках, параллельных соответствующим радиусам, также откладываем длины соответствующих перпендикуляров. Через полученные точки *1″*, *2″*, *3″* и т. д. проводим плавную кривую. Она будет представлять собой профиль инструмента. При построении можно определить также крайнюю точку профиля фрезы и соответствующую высоту H_1 профиля зуба. Для этой цели из точки *B* опускаем перпендикуляр до пересечения с начальной окружностью, проводим в полученную точку *B′* радиус *B′—0*



Фиг. 453. Основные элементы прямолинейного профиля:
а — шлицевого валика; *б* — квадрата.

из центра окружности изделия. Находим для этой точки соответствующее положение B_2 на начальной прямой и, проведя из полученной точки B_2 в направлении, параллельном радиусу, отрезок B_2B'', равный перпендикуляру $B'B_2$, получим точку *B″*. Высота H_1 профиля фрезы до начальной прямой показана на фиг. 452 справа.

Аналитический способ определения профиля фрезы. Существует несколько способов расчета профиля фрезы. Разберем наиболее простой из них, предложенный канд. техн. наук Г. Н. Сахаровым. Для каждого прямолинейного профиля изделия (шлицевый валик, квадрат и т. д.) основными элементами, определяющими профиль фрезы, будут радиус $R_н$ начальной окружности и угол γ. На фиг. 453 показаны два профиля изделий — шлицевый валик и квадрат. В обоих случаях определяющими являются радиус $R_н$ и угол γ. Как видно из фиг. 453, *а*, радиус $r_к$ в любой точке *K* профиля изделия можно найти из формулы

$$r_к = \frac{h}{\sin \gamma_к}$$

или для любой точки

$$h = r_к \sin \gamma_к ,$$

причем величина h остается постоянной.

Для валика с прямолинейными шлицами

$$h = \frac{b}{2},$$

где b — ширина шлица.

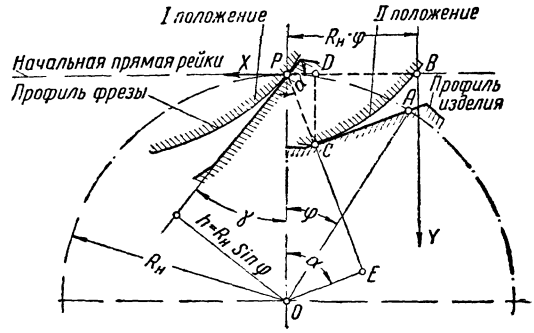
Для квадрата (фиг. 453, *б*)

$$h = \frac{a}{2},$$

где a — сторона квадрата.

У любого прямолинейного профиля можно найти величину h. Для точки A, лежащей на начальной окружности (фиг. 453, *а* и *б*), справедливо выражение

$$h = R_н \sin \gamma.$$



Фиг. 454. Схема обкатки прямолинейного профиля шлицевого валика.

Вывод уравнения профиля фрезы. Представим себе процесс обкатки шлицевого валика рейкой, профиль которой нам требуется найти.

На фиг. 454 показаны два положения такой обкатки. В первом положении профиль рейки и профиль изделия касаются друг друга в точке P — полюсе зацепления. Во втором положении рейка переместилась вправо на некоторый отрезок $\overline{PB}$. Точкой касания профилей рейки и изделия будет уже точка C. Основным условием любого зубчатого зацепления рейки с колесом является качение без скольжения начальной прямой рейки по начальной окружности колеса. В нашем случае рейкой будет являться профиль фрезы, а колесом — профиль изделия. Следовательно, за время перемещения рейки на отрезок $\overline{PB}$ изделие должно повернуться на некоторый угол φ, равный (в радианах) отрезку $\overline{PB}$, деленному на радиус $R_н$ начальной окружности:

$$\varphi = \frac{\overline{PB}}{R_н} \text{ или } \overline{PB} = R_н \cdot \varphi \text{ (угол } \varphi \text{ в радианах).}$$

Из основных условий зубчатой передачи мы знаем также, что общая нормаль к сопряженным профилям в точке касания их должна проходить через полюс P зацепления.

Следовательно, линия CP (см. фиг. 454) должна быть перпендикулярна к прямой профиля в точке C и должна обязательно проходить через полюс зацепления P.

Проведем оси координат, причем начало координат возьмем в точке B, ось X направим по начальной прямой рейки. При продольном перемещении рейки начало координат будет двигаться вместе с ней.

Г. Н. Сахаров предлагает для нахождения кривой профиля использовать следующую теорему: сумма проекций замкнутой ломаной линии на ось всегда равна нулю.

В нашем случае такой ломаной замкнутой линией будет линия $PCDBP$ (на фиг. 454 эта линия проведена пунктиром). Спроектируем ломаную линию по частям на ось X:

1) проекция отрезка $\overline{PC}$ на ось X равна $\overline{PC}\cos\alpha$, где угол $\alpha = \gamma + \varphi$;

2) проекция отрезка $\overline{CD}$ на ось X равна 0;

3) проекция отрезка $\overline{DB}$ на ось X равна X;

4) проекция отрезка $\overline{BP}$ на ось X равна $-R_н \cdot \varphi$ (знак минус показывает, что отрезок $\overline{BP}$ направлен в обратную сторону и должен при сложении вычитаться).

Складываем все проекции и их сумму (алгебраическую) приравниваем нулю

$$\overline{PC}\cos\alpha + O + X - R_н \cdot \varphi = 0.$$

Но отрезок $\overline{PC}$ из фиг. 454 равен

$$\overline{PC} = \overline{PE} - \overline{CE}$$

или

$$\overline{PC} = R_н \sin\alpha - R_н \sin\gamma.$$

Подставив, получим

$$X = R_н\varphi - R_н[\sin\alpha - \sin\gamma]\cos\alpha,$$

но угол

$$\varphi = \alpha - \gamma$$

и окончательно

$$\boxed{X = R_н[(\alpha - \gamma) - (\sin\alpha - \sin\gamma)\cos\alpha].} \qquad (I)$$

Для определения Y спроектируем ломаную линию $PCDBP$ на ось Y:

1) проекция отрезка $\overline{PC}$ на ось Y равна $\overline{PC}\sin\alpha$;

2) проекция отрезка $\overline{CD}$ на ось Y равна $-Y$ (знак минус показывает, что проекция направлена в обратную сторону и должна вычитаться);

3) проекция отрезка $\overline{DB}$ на ось Y равна нулю;

4) проекция отрезка $\overline{BP}$ на ось Y также равна нулю. Складывая проекции, получим

$$\overline{PC}\sin\alpha - Y = 0$$

или

$$Y = \overline{PC}\sin\alpha.$$

Подставив значение

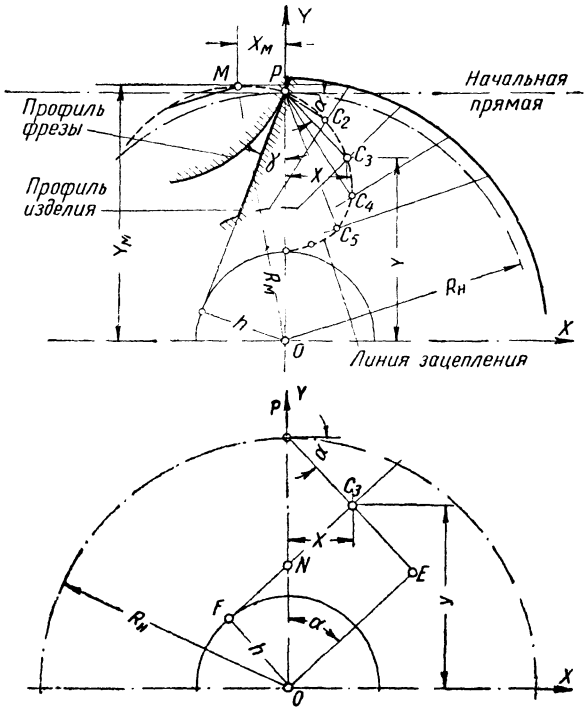
$$\overline{PC} = R_н(\sin\alpha - \sin\gamma),$$

получим

$$\boxed{Y = R_н(\sin\alpha - \sin\gamma)\sin\alpha.} \qquad (II)$$

Уравнения (I) и (II) и есть искомые уравнения профиля фрезы. Задаваясь значениями Y, можно по ним найти соответствующие значения X и построить кривую профиля фрезы по точкам.

Определение радиуса $R_н$ начальной окружности. В полученных уравнениях профиля имеется радиус $R_н$ начальной окружности. Этот радиус не может быть задан произвольно, так как от принятого радиуса зависит величина f переходной кривой (см. фиг. 446).



Фиг. 455. Нахождение линии зацепления и радиуса $R_н$ начальной окружности.

Для определения наивыгоднейшего радиуса $R_н$ начальной окружности рассмотрим линию зацепления нашей рейки и валика.

На фиг. 455 показано построение линии зацепления. Линией зацепления называется линия, каждая точка которой является точкой касания сопряженных профилей. Следовательно, точки C_2, C_3, C_4 касания профилей в различных положениях будут являться точками линии зацепления. Из фиг. 455 нетрудно найти уравнение линии зацепления. Рассмотрим одну из точек линии зацепления — точку C_3. Для этого проведем оси координат XOY с началом в точке O.

Из фиг. 455 внизу видно, что

$$X = \overline{PC_3}\cos\alpha;$$

$$Y = R_н - \overline{PC_3}\sin\alpha.$$

Но

$$\overline{PC_3} = \overline{PE} - \overline{C_3E}$$

или

$$\overline{PC_3} = R_н \sin\alpha - h.$$

Подставив, получим:

$$\boxed{X = (R_н \sin\alpha - h)\cos\alpha;} \qquad \text{(III)}$$

$$\boxed{Y = R_н - R_н \sin^2\alpha + h\sin\alpha.} \qquad \text{(IV)}$$

Это и есть уравнения линии зацепления, по которым можно вычислить координаты отдельных точек и построить линию зацепления. Она имеет форму, показанную на фиг. 455 вверху. Если наружный радиус валика будет больше радиуса $R_н$, валик по вершинам будет срезаться. Следовательно, необходимо выбрать радиус $R_н$ начальной окружности таким, чтобы радиус $R_м$ был равен наружному радиусу изделия (валика).

Найдем координаты точки M (фиг 455 вверху). Эта точка является наивысшей точкой линии зацепления. Следовательно, в этой точке значение Y будет максимальным.

Для того чтобы определить максимальное значение Y, следует найти производную от функции $Y = f(\alpha)$:

$$\frac{dY}{d\alpha} = -2R_н \cos\alpha \sin\alpha + h\cos\alpha.$$

Приравняв $\frac{dY}{d\alpha}$ нулю, получим для точки M

$$-2R_н \cos\alpha_м \sin\alpha_м + h\cos\alpha_м = 0$$

или

$$\sin\alpha_м = \frac{h}{2R_н}.$$

Подставив в уравнение (IV), получим

$$Y_м = R_н - R_н\frac{h^2}{4R_н^2} + \frac{h^2}{2R_н}$$

или, сократив, получим

$$Y_м = R_н + \frac{h^2}{4R_н}.$$

Подставив в уравнение (III), получим

$$X_м = \left(R_н\frac{h}{2R_н} - h\right)\sqrt{1 - \frac{h^2}{4R_н^2}}$$

или, сократив, получим

$$X_м = -\frac{h}{2}\sqrt{1 - \frac{h^2}{4R_н^2}}.$$

Максимальный радиус $R_м$ наружной окружности в точке M будет

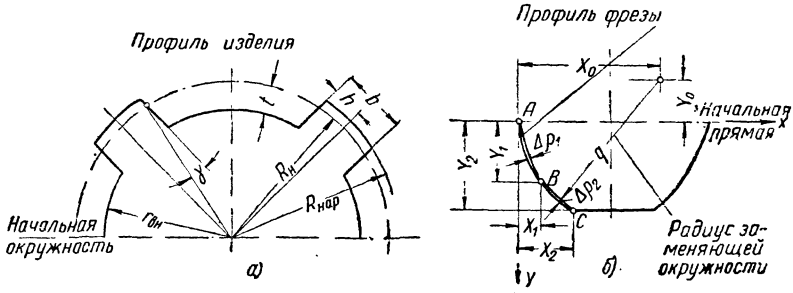
$$R_м^2 = X_м^2 + Y_м^2.$$

Подставляя значения $X_м$ и $Y_м$ и решая относительно $R_н$, получим

$$R_н = \sqrt{R_м^2 - 0{,}75h^2}.$$

По этой формуле, зная наружный радиус $R_{нар}$ и полагая его равным $R_м$, можно найти $R_н$.

Замена кривой профиля фрезы дугами окружности. Изготовление шаблона для фрезы с криволинейным профилем затруднительно. Поэтому часто прибегают к замене кривой профиля зуба фрезы дугами окружности (фиг. 456, *б*). Для этой цели можно найти коорди-



Фиг. 456. Замена профиля фрезы дугами окружности:

а — профиль валика; *б* — профиль фрезы.

наты трех точек A, B и C профиля и по ним построить соответствующую окружность[1]. При замене кривой профиля окружностью мы допускаем некоторую ошибку. Величину этой ошибки $\Delta\rho_1$ и $\Delta\rho_2$ можно определить по соответствующим формулам, приводимым И. А. Фрайфельдом.

Эти расчеты по формулам очень громоздки и для упрощения их можно пользоваться табл. 67.

Данные этой таблицы действительны только в том случае, когда глубина t впадины, измеренная по радиусу, не превышает 0,12 радиуса, т. е. когда $t \leqslant 0{,}12R_н$ (фиг. 456, *а*).

В табл. 68 приводятся коэфициенты, которые нужно умножать на $R_н$, так как данные таблицы рассчитаны для $R_н = 1$.

Для пользования таблицей необходимо вначале найти радиус начальной окружности изделия по формуле

$$R_н = \sqrt{R_{нар}^2 - 0{,}75h^2},$$

[1] См. Фрайфельд, Инструменты, работающие методом обкатки, Машгиз, 1948.

Таблица 67

Таблица координат общих точек центра и радиуса заменяющей окружности для $R_н=1$ (см. фиг. 456, *в*)
(по данным канд. техн. наук И. А. Фрайфельда)

Относительные размеры изделия		Общие координаты точек профиля фрезы и заменяющей окружности				Координаты центра и радиус заменяющей окружности			Максимальное отклонение окружности от теоретического профиля		Угол шлица
Угол шлица γ°	sin γ	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_0	Y_0	q	$\Delta\rho_1$	$\Delta\rho_2$	γ°
5°	0,08716	0,02142	0,08474	0,05987	0,17189	0,53730	0,09076	0,54491	+0,00075	−0,00065	5°
5°10′	0,09005	0,02153	0,08456	0,05975	0,17038	0,53665	0,09161	0,54441	0,00074	0,00065	5°10′
5°20′	0,09293	0,02164	0,08438	0,05964	0,17008	0,53631	0,09255	0,54424	0,00073	0,00064	5°20′
5°30′	0,09585	0,02174	0,08420	0,05952	0,16917	0,53576	0,09344	0,54385	0,00073	0,00064	5°30′
5°40′	0,09874	0,02184	0,08401	0,05940	0,16826	0,53521	0,09432	0,54346	0,00072	0,00063	5°40′
5°50′	0,10163	0,02194	0,08382	0,05928	0,16734	0,53465	0,09522	0,54306	0,00071	0,00063	5°50′
6°	0,10453	0,02211	0,08378	0,05915	0,16643	0,53342	0,09622	0,54301	0,00070	0,00063	6°
6°10′	0,10742	0,02227	0,08374	0,05914	0,16572	0,53430	0,09726	0,54308	0,00069	0,00062	6°10′
6°20′	0,11031	0,02243	0,08369	0,05913	0,16501	0,53423	0,09832	0,54320	0,00068	0,00062	6°20′
6°30′	0,11320	0,02259	0,08364	0,05911	0,16430	0,53402	0,09933	0,54318	0,00068	0,00061	6°30′
6°40′	0,11609	0,02274	0,08359	0,05909	0,16358	0,53390	0,10039	0,54326	0,00067	0,00061	6°40′
6°50′	0,11898	0,02290	0,08353	0,05907	0,16286	0,53378	0,10145	0,54334	0,00066	0,00060	6°50′
7°	0,12187	0,02312	0,08363	0,05904	0,16214	0,53396	0,10261	0,54373	+0,00065	−0,00060	7°
7°10′	0,12476	0,02334	0,08372	0,05902	0,16142	0,53415	0,10379	0,54414	0,00064	0,00059	7°10′
7°20′	0,12764	0,02355	0,08381	0,05899	0,16069	0,53413	0,10491	0,54434	0,00063	0,00058	7°20′
7°30′	0,13053	0,02371	0,08373	0,05896	0,15996	0,53410	0,10602	0,54452	0,00063	0,00058	7°30′
7°40′	0,13341	0,02393	0,08381	0,05893	0,15922	0,53421	0,10719	0,54486	0,00062	0,00057	7°40′
7°50′	0,13629	0,02414	0,08389	0,05889	0,15848	0,53422	0,10834	0,54510	0,00061	0,00056	7°50′
8°	0,13917	0,02436	0,08396	0,05885	0,15774	0,53429	0,10950	0,54540	0,00060	0,00055	8°
8°10′	0,14205	0,02458	0,08403	0,05882	0,15700	0,53456	0,11074	0,54591	0,00059	0,00054	8°10′
8°20′	0,14493	0,02486	0,08425	0,05878	0,15626	0,53475	0,11196	0,54635	0,00058	0,00053	8°20′
8°30′	0,14781	0,02514	0,08447	0,05873	0,15551	0,53512	0,11326	0,54697	0,00058	0,00053	8°30′
8°40′	0,15069	0,02542	0,08469	0,05880	0,15496	0,53557	0,11458	0,54769	0,00057	0,00052	8°40′
8°50′	0,15356	0,02570	0,08490	0,05886	0,15441	0,53608	0,11593	0,54847	0,00056	0,00051	8°50′

9°	0,15643	0,02598	0,08511	0,05892	0,15385	0,53660	0,11729	0,54927	+0,00055	—0,00050	9°
9°10′	0,15931	0,02627	0,08532	0,05898	0,15330	0,53704	0,11863	0,54999	0,00055	0,00050	9°10′
9°20′	0,16218	0,02655	0,08552	0,05903	0,15273	0,53754	0,12000	0,55077	0,00055	0,00050	9°20′
9°30′	0,16505	0,02683	0,08572	0,05909	0,15217	0,53806	0,12138	0,55158	0,00055	0,00050	9°30′
9°40′	0,16592	0,02712	0,08591	0,05914	0,15160	0,53848	0,12273	0,55229	0,00055	0,00050	9°40′
9°50′	0,17078	0,02740	0,08610	0,05919	0,15103	0,53906	0,12415	0,55317	0,00055	0,00050	9°50′
10°	0,17365	0,02776	0,08646	0,05923	0,15045	0,53973	0,12561	0,55415	0,00055	0,00050	10°
10°10′	0,17651	0,02812	0,08680	0,05928	0,14987	0,54028	0,12705	0,55502	0,00055	0,00050	10°10′
10°20′	0,17937	0,02848	0,08715	0,05932	0,14929	0,54107	0,12858	0,55608	0,00055	0,00050	10°20′
10°30′	0,18224	0,02884	0,08749	0,05936	0,14870	0,54170	0,13005	0,55709	0,00055	0,00050	10°30′
10°40′	0,18509	0,02920	0,08782	0,05940	0,14811	0,54235	0,13154	0,55807	0,00055	0,00050	10°40′
10°50′	0,18795	0,02956	0,08816	0,05943	0,14751	0,54295	0,13302	0,55901	0,00055	0,00050	10°50′
11°	0,19081	0,02993	0,08849	0,05946	0,14692	0,54376	0,13459	0,56017	+0,00055	—0,00050	11°
11°10′	0,19366	0,03029	0,08882	0,05949	0,14632	0,54447	0,13613	0,56123	0,00055	0,00050	11°10′
11°20′	0,19652	0,03066	0,08914	0,05952	0,14571	0,54486	0,13756	0,56196	0,00055	0,00050	11°20′
11°30′	0,19937	0,03103	0,08946	0,05966	0,14530	0,54580	0,13919	0,56327	0,00055	0,00050	11°30′
11°40′	0,20222	0,03140	0,08978	0,05979	0,14489	0,54671	0,14083	0,56456	0,00055	0,00050	11°40′
11°50′	0,20506	0,03177	0,09009	0,05992	0,14447	0,54746	0,14241	0,56568	0,00055	0,00050	11°50′
12°	0,20791	0,03214	0,09040	0,06005	0,14405	0,54827	0,14402	0,56687	0,00055	0,00050	12°
12°10′	0,21076	0 03252	0,09071	0,06018	0,14363	0,54905	0,14563	0,56804	0,00053	0,00050	12°10′
12°20′	0,21360	0,03289	0,09102	0,06031	0,14320	0,54983	0,14725	0,56921	0,00051	0,00050	12°20′
12°30′	0,21644	0,03327	0,09132	0,06043	0,14277	0,55079	0,14896	0,57058	0,00050	0,00050	12°30′
12°40′	0,21928	0,03365	0,09162	0,06055	0,14233	0,55157	0,15060	0,57176	0,00048	0,00050	12°40′
12°50′	0,22212	0,03403	0,09191	0,06067	0,14189	0,55234	0,15224	0,57294	0,00016	0,00050	12°50′
13°	0,22495	0,03441	0,09220	0,06078	0,14145	0,55313	0,15391	0,57414	+0,00045	—0,00050	13°
13°10′	0,22778	0,03479	0,09249	0,06089	0,14100	0,55390	0,15556	0,57533	0,00044	0,00050	13°10′
13°20′	0,23062	0,03517	0,09277	0,06101	0,14055	0,55475	0,15723	0,57660	0,00043	0,00051	13°20′
13°30′	0,23345	0,03564	0,09322	0,06111	0,14009	0,55557	0,15898	0,57787	0,00043	0,00051	13°30′
13°40′	0,23627	0,03611	0,09367	0,06122	0,13963	0,55658	0,16078	0,57934	0,00042	0,00052	13°40′
13°50′	0,23910	0,03658	0,09411	0,06132	0,13917	0,55754	0,16256	0,58076	0,00041	0,00052	13°50′
14°	0,24192	0,03706	0,09456	0,06142	0,13871	0,55858	0,16439	0,58227	0,00040	0,00052	14°
14°10′	0,24474	0,03754	0,09500	0,06152	0,13823	0,55944	0,16616	0,58359	0,00039	0,00053	14°10′
14°20′	0,24756	0,03802	0,09543	0,06161	0,13776	0,56039	0,16797	0,58502	0,00038	0,00053	14°20′

Продолжение табл. 67

Относительные размеры изделия		Общие координаты точек профиля фрезы и заменяющей окружности				Координаты центра и радиус заменяющей окружности			Максимальное отклонение окружности от теоретического профиля		Угол шлица
Угол шлица $\gamma°$	$\sin\gamma$	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_0	Y_0	q	$\Delta\rho_1$	$\Delta\rho_2$	γ_0
14°30′	0,25038	0,03851	0,09587	0,06182	0,13748	0,56146	0,16985	0,58659	0,00038	0,00054	14°30′
14°40′	0,25320	0,03899	0,09622	0 06203	0,13719	0,56239	0,17166	0,58801	0,00037	0,00054	14°40′
14°50′	0,25601	0,03948	0,09673	0,06223	0,13690	0,56353	0,17358	0,58966	0,00036	0,00055	14°50′
15°	0,25882	0,03997	0,09715	0,06244	0,13660	0,56457	0,17552	0,59122	+0,00035	—0,00055	15°
15°10′	0,26163	0,04047	0,09758	0,06264	0,13631	0,56570	0,17742	0,59287	0,00035	0,00056	15°10′
15°20′	0,26443	0,04106	0,09817	0,06284	0,13600	0,56705	0,17947	0,59477	0,00034	0,00057	15°20′
15°30′	0,26724	0,04165	0,09876	0,06303	0,13570	0,56824	0,18147	0,59651	0,00034	0,00057	15°30′
15°40′	0,27004	0,04225	0,09935	0,06322	0,13538	0,56961	0,18352	0,59844	0,00033	0,00058	15°40′
15°50′	0,27284	0,04294	0,10012	0,06342	0,13507	0,57064	0,18550	0,60003	0,00033	0,00059	15°50′
16°	0,27564	0 04365	0,10088	0 06361	0,13475	0,57204	0,18763	0,60203	0,00033	0,00060	16°
16°10′	0,27843	0,04436	0,10164	0,06379	0,13443	0,57345	0,18977	0,60403	0,00032	0,00061	16°10′
16°20′	0,28123	0,04508	0,10240	0,06398	0,13410	0,57471	0,19187	0,60589	0,00032	0,00062	16°20′
16°30′	0,28402	0,04580	0,10316	0,06416	0,13377	0,57602	0,19400	0,60781	0,00031	0,00062	16°30′
16°40′	0,28680	0,04653	0,10392	0,06434	0,13343	0 57733	0,19614	0,60974	0,00031	0,00063	16°40′
16°50′	0,28959	0,04727	0,10467	0,06451	0,13310	0,57875	0,19834	0,61179	0,00030	0,00064	16°50′
17°	0,29237	0,04801	0,10542	0,06469	0,13275	0,57999	0,20048	0,61366	+0,00030	—0,00065	17°
17°10′	0,29515	0,04876	0,10617	0,06486	0,13241	0,58179	0,20266	0,61561	0,00030	0,00066	17°10′
17°20′	0,29793	0,04951	0,10692	0,06503	0,13206	0,58263	0,20481	0,61758	0,00029	0,00067	17°20′
17°30′	0,30071	0,05027	0,10767	0,06520	0,13170	0,58377	0,20699	0,61938	0,00029	0,00067	17°30′
17°40′	0,30348	0,05104	0,10842	0 06536	0,13135	0,58545	0,20939	0,62177	0,00028	0,00068	17°40′
17°50′	0,30625	0,05181	0,10916	0,06564	0,13118	0,58682	0,21165	0,62382	0,00028	0,00069	17°50′
18°	0,30903	0,05259	0,10991	0,06593	0,13100	0,58802	0,21384	0,62570	0,00028	0,00070	18°

где $R_{нар}$ — радиус окружности выступов изделия. Затем определяем угол γ по формуле

$$\sin\gamma = \frac{h}{R_н},$$

где h — половина ширины шпоночного выступа $\left(h = \frac{b}{2}\right)$;

$R_н$ — радиус начальной окружности.

По подсчитанным значениям γ отыскиваем в табл. 67 соответствующие коэфициенты, причем нужно брать ближайшее меньшее значение $\sin\gamma$. Поскольку при выборе $\sin\gamma$ изменяется радиус начальной окружности, необходимо пересчитать этот радиус на новое принятое значение $\sin\gamma$. Это производится по формуле

$$R_н = \frac{h}{\sin\gamma}.$$

Если окажется, что таблицей пользоваться невозможно, то приходится производить подробный расчет профиля фрезы по формулам, а затем заменять его дугами окружности[1].

Выбор конструктивных элементов фрез. Наружный диаметр D_e червячной шлицевой фрезы выбирается с учетом достаточной жесткости оправки и прочности зуба фрезы.

Можно пользоваться следующей приближенной формулой для проверки выбранного диаметра D_e фрезы:

$$D_e = 2\left(t_1' + m + \frac{d}{2} + H\right),$$

где m — толщина тела фрезы;

t_1' — глубина шпоночной канавки;

H — полная высота зуба с учетом величины затылования;

d — диаметр оправки (отверстия).

Диаметр d отверстия принимается: для фрез диаметром $D_e = 65 \div 80$ *мм* — равным 27 *мм*; для фрез диаметром D_e от 80 до 100 *мм* — 32 *мм*.

Величина затылования K определяется по формуле

$$K = \frac{\pi D_e}{z}\operatorname{tg}\alpha_в,$$

где $\alpha_в$ — задний угол, который следует брать не менее 10°;

z — число зубьев фрезы, принимается обычно для фрез диаметром 55—80 *мм* равным 12, для фрез диаметром 80—100 *мм* — равным 14. Следует по возможности брать большее число зубьев, так как такие фрезы работают чище.

Фрезы следует изготовлять со шлифованным профилем и с двойным затылованием. Величину K_1 второго затылования принимают по формуле

$$K_1 = (1{,}2 \div 1{,}6)\,K.$$

[1] См. Справочник конструктора „Металлорежущие инструменты", Машгиз, 1947.

Угол наклона ω винтовых канавок определяется по формуле

$$\sin\omega = \frac{t_n}{\pi \cdot D_t}.$$

В эту формулу входит t_n — шаг по нормали, определяемый из выражения

$$t_n = \frac{2\pi \cdot R_н}{n},$$

где $R_н$ — радиус начальной окружности;

n — число шлицев шлицевого валика.

Средний диаметр D_t определяется по формуле

$$D_t = D_e - 2h_1 - 0{,}35K,$$

где D_t — средний диаметр фрезы;

D_e — наружный диаметр фрезы;

h_1 — высота профиля зуба до начальной прямой (т. е. координата у крайней точки профиля).

Высоту h_1 можно определить по формуле

$$h_1 = R_н \sin\alpha_к (\sin\alpha_к - \sin\gamma_k)$$

причем угол $\alpha_к$ в этой формуле может быть определен для крайней точки по формулам:

$$\cos\alpha_к = \frac{R_{нар}\cos\gamma_к}{R_н};$$

$$\sin\gamma_к = \frac{b}{2R_{нар}},$$

где $R_{нар}$ — расчетный наружный диаметр шлицевого валика;

b — ширина шлица.

Шаг $S_к$ винтовых канавок определяется по формуле

$$S_к = \frac{\pi \cdot D_t}{\operatorname{tg}\omega}.$$

После подсчета шага необходимо проверить его по станку. Если полученный шаг на станке нарезать нельзя, то следует изменить диаметр или угол наклона канавок.

Угол δ канавки принимается обычно в пределах 20—25°.

Впадина должна быть закруглена. Радиус закругления r принимается в пределах 1,5—2 *мм*.

Остальные элементы рассчитываются аналогично червячным зуборезным фрезам.

Червячные шлицевые фрезы изготовляются из быстрорежущей стали цельными, сборными по типу червячных зуборезных фрез. Сборные фрезы изготовляет Московский инструментальный завод (МИЗ).

Допуски на отдельные элементы фрезы можно устанавливать по данным, приведенным в табл. 68.

Таблица 68

Допуски на основные элементы червячных шлицевых фрез

Проверяемые элементы фрез	Класс фрез	Допускаемые отклонения (в *мк*) при шаге фрезы			
		до 10 *мм*	свыше 10 до 20 *мм*	свыше 20 до 30 *мм*	свыше 30 *мм*
Осевой шаг	А	±10	±10	±15	±15
	Б	±15	±20	±25	±30
Суммарная ошибка на длине трех шагов	А	±20	±20	±30	±30
	Б	±30	±40	±50	±60
Конусность по наружному диаметру	А	15	20	25	30
	Б	25	30	35	45
Биение по наружному диаметру	А	20	25	30	35
	Б	30	40	50	60
Биение по диаметру буртиков	А	15	20	20	20
	Б	20	25	30	30
Неравномерность окружного шага	А, Б	100	120	150	180
Радиальность передней грани	А	30′	Допускается отклонение от радиальности только в сторону поднутрения		
	Б	1°			

ПРИМЕР РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНОЙ ШЛИЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

Изображенный на фиг. 457 внизу профиль валика должен быть обработан червячной шлицевой фрезой, причем допускается применение фрезы с усиками. Профиль валика имеет следующие элементы:

Наружный диаметр $D = 40$ *мм*.

Внутренний диаметр $d = 34{,}6$ *мм*.

Ширина шлица $b = 10$ *мм*. Число шлицев $n = 6$.

Фаска у наружного диаметра $C = 0{,}2$ *мм*.

Допуск наружного диаметра $E_n = 0{,}05$ *мм*.

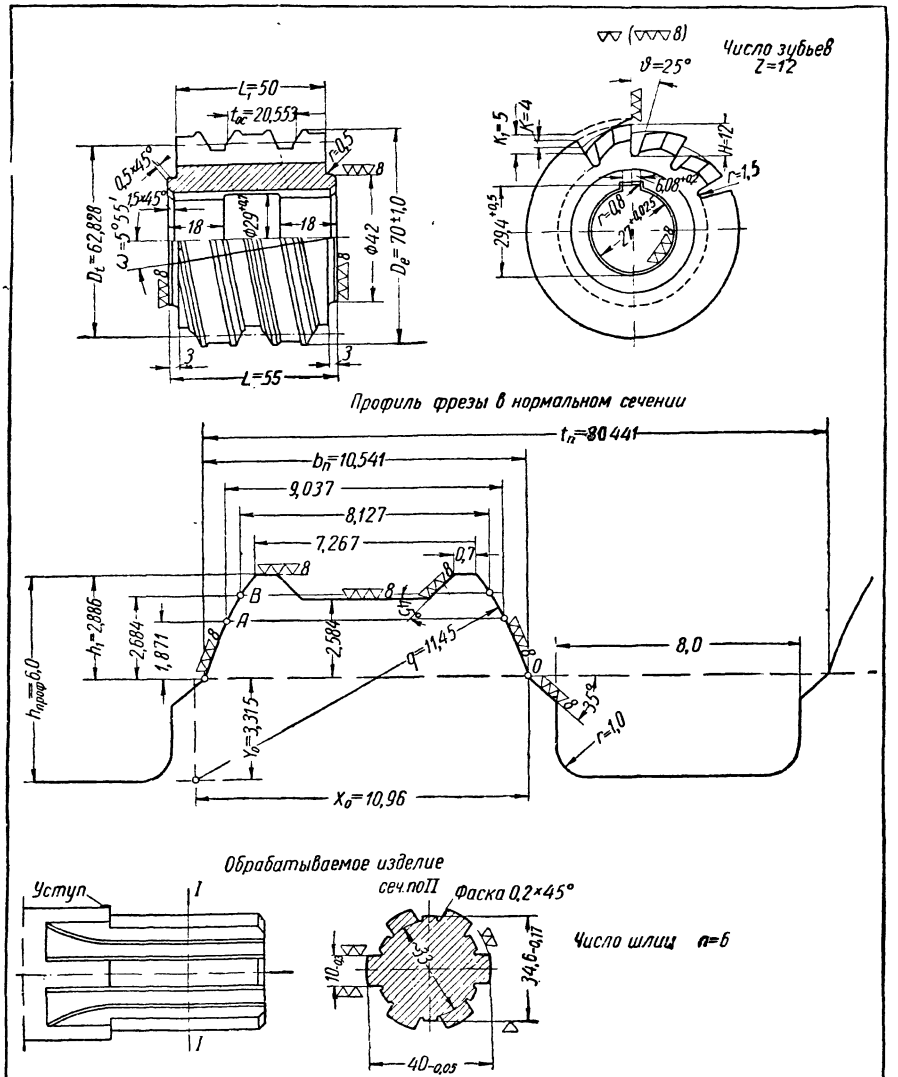
Допуск внутреннего диаметра $E_1 = 0{,}17$ *мм*.

Допуск ширины шлица $E = 0{,}3$ *мм*.

Требуется определить вначале элементы профиля фрезы, а затем рассчитать и сконструировать фрезу для обработки этого валика.

1. Определяем расчетный наружный диаметр валика по формуле

$$D_{расч} = D_{max} - 2C_{min} = 40{,}0 - 2 \cdot 0{,}2 = 39{,}6 \text{ мм}; \quad R_{нар} = \frac{D_{расч}}{2} = 19{,}8 \text{ мм}.$$



Материал — сталь РФ1. Твердость $H_{RC} = 62 \div 65$.

Резьба правая однозаходная; винтовые канавки левые.
Шаг винтовых канавок $S_K = 1904$ *мм.*

Допускаемые отклонения на элементы фрезы (по классу Б): допуск на осевой шаг $\pm 0{,}025$ *мм; суммарная накопленная ошибка на длине трех шагов* $\pm 0{,}05$ *мм; конусность по наружному диаметру 0,035 мм; биение по наружному диаметру ру 0,05 мм; биение по диаметру буртиков 0,030 мм; неравномерность окружного шага между зубьями 0,15 мм; допускаемое отклонение от радиальности передней грани (в сторону подрезания) — 1°.*

Размеры толщины зубьев и правильность формы профиля определяются по нарезанным контрольным кольцам.

Клеймить: № чертежа, марку стали, марку завода, угол ω, *шаг* t_n.

Фиг. 457. Чертеж червячной шлицевой фрезы.

2. Внутренний расчетный диаметр с учетом допусков можно определить по формуле

$$d_{расч} = d_{\min} + 0{,}25E_1 = 34{,}43 + 0{,}25 \cdot 0{,}17 = 34{,}472 \text{ мм}.$$

3. Расчетную ширину шлицев принимаем (с учетом допусков на ширину шлица) по формуле

$$b_{расч} = b_{\min} + 0{,}25E = 9{,}7 + 0{,}25 \cdot 0{,}3 = 9{,}775 \text{ мм}.$$

4. Находим радиус $R_н$ начальной окружности изделия по формуле

$$R_н = \sqrt{R^2_{нар} - 0{,}75\frac{b^2}{4}} = \sqrt{19{,}8^2 - 0{,}75\frac{9{,}775^2}{4}} = \sqrt{374{,}12} = 19{,}342 \text{ мм}.$$

5. Определяем угол γ шлица по формуле

$$\sin\gamma = \frac{b}{2R_н} = \frac{9{,}775}{2 \cdot 19{,}342} = 0{,}25268; \quad \gamma = 14°38'.$$

Для расчета профиля воспользуемся вначале табличными данными. Для этой цели выбираем по табл. 67 ближайшее меньшее значение $\sin\gamma = 0{,}25038$ и соответствующий ему угол $\gamma = 14°30'$.

6. Поскольку принятый нами угол γ отличается от точного расчетного угла, корректируем величину радиуса начальной окружности на принятое значение угла γ:

$$R_н = \frac{b}{2\sin\gamma} = \frac{9{,}775}{2 \cdot 0{,}25038} = 19{,}52 \text{ мм}.$$

7. Определяем возможность пользования табл. 67. Для этой цели пользуемся формулой

$$t \leqslant 0{,}12R_н;$$

глубину шлица t определим из выражения

$$t = R_н - r_{вн} = 19{,}52 - 17{,}235 = 2{,}295 \text{ мм}.$$

Таким образом, глубина шлица равна приблизительно $0{,}12R_н$. Значит, таблицей пользоваться можно.

8. Находим по табл. 67 соответствующие координаты точек профиля фрезы. Координаты точки A будут равны:

$$X_1 = 0{,}03851 \cdot R_н = 0{,}752 \text{ мм};$$

$$Y_1 = 0{,}09587 \cdot R_н = 1{,}871 \text{ мм}.$$

Для точки B координаты будут равны:

$$X_2 = 0{,}06182 \cdot R_н = 1{,}207 \text{ мм};$$

$$Y_2 = 0{,}13748 \cdot R_н = 2{,}684 \text{ мм}.$$

В этих расчетах величина $R_н = 19{,}52$ мм.

Координаты центра заменяющей окружности находим по той же таблице

$$X_0 = 0{,}56146 \cdot R_н = 10{,}96 \text{ мм};$$

$$Y_0 = 0{,}16985 \cdot R_н = 3{,}315 \text{ мм}.$$

Радиус заменяющей окружности

$$q = 0{,}58659 \cdot R_н = 11{,}45 \text{ мм}.$$

По последним двум графам таблицы находим максимальные отклонения профиля при замене его окружностью:

$$\Delta\rho_1 = +0{,}00038 \cdot R_н = 0{,}007 \text{ мм};$$

$$\Delta\rho_2 = -0{,}00054 \cdot R_н = -0{,}01 \text{ мм}.$$

Для нашего валика эти отклонения допустимы.

Таким образом, мы получили все координаты профиля. Можно построить теперь профиль зуба фрезы. На фиг. 457 показан полученный профиль. Шаг витков по нормали определяем по формуле

$$t_n = \frac{2\pi \cdot R_н}{n} = \frac{2\pi \cdot 19{,}52}{6} = 20{,}441 \text{ мм}.$$

Для построения профиля нам также нужна величина b_n — толщина зуба фрезы по начальной прямой. Ее можно определить по формуле

$$b_n = 2R_н\left(\frac{\pi}{n} - \gamma\right) = 39{,}04\,(0{,}523 - 14°30' \cdot 0{,}017453) = 10{,}541 \text{ мм}$$

(коэфициент 0,017453 введен для перевода угла γ в радианы). Полученный профиль фрезы имеет высоту h_1 (для крайней точки профиля валика, расположенной на расчетном внутреннем диаметре — $d_{расч}$)

$$h_1 = R_н \sin\alpha_к\,(\sin\alpha_к - \sin\gamma),$$

где

$$\cos\alpha_к = \frac{d_{расч}\cos\gamma_к}{2R_н};$$

но

$$\sin\gamma_к = \frac{b_{расч}}{d_{расч}}.$$

Подставив цифровые значения, получим

$$\sin\gamma_к = \frac{9{,}775}{34{,}472} = 0{,}2836;\ \text{угол}\ \gamma_к = 16°28';\ \cos\gamma_к = 0{,}958.$$

Таким образом,

$$\cos\alpha_к = \frac{d_{расч}\cos\gamma_к}{2R_н} = \frac{34{,}472 \cdot 0{,}958}{2 \cdot 19{,}52} = 0{,}8458;$$

по таблицам находим

$$\alpha_к = 32°14';\ \sin\alpha_к = 0{,}53337$$

и тогда

$$h_1 = 19{,}52 \cdot 0{,}53337\,(0{,}53337 - 0{,}25038) = 2{,}886 \text{ мм}.$$

Но мы знаем, что в заданном шлицевом валике разница между начальным диаметром и внутренним диаметром составляет $2R_н - \frac{d_{расч}}{2} = 2{,}684$ *мм*. Таким образом, зуб фрезы будет врезаться в изделие глубже внутреннего диаметра на 0,202 *мм* и для получения правильного шлица необходимо сделать у фрезы усики. Размеры усиков показаны на чертеже.

9. Наружный диаметр D_e фрезы можно выбирать близким к наружному диаметру червячных фрез для зубчатых колес. Для нашего случая выбираем наружный диаметр, равный 70 *мм*.

10. Выбираем число зубьев фрезы $z = 12$. Выбранное число зубьев необходимо затем проверить вычерчиванием.

11. Зная наружный диаметр D_e фрезы и число зубьев и задаваясь углом $\alpha_в = 10°$, определяем величину затылования K шлифованной части зуба по формуле

$$K = \frac{\pi D_e}{z}\operatorname{tg}\alpha_в,$$

т. е.

$$K = \frac{\pi \cdot 70}{12}\operatorname{tg} 10° \approx 4 \text{ мм}.$$

12. Принимаем зуб с двойным затылованием. Величина K_1 затылования нешлифованной части зуба определится по формуле

$$K_1 = 1{,}2K = 1{,}2 \cdot 4 = 4{,}8 \text{ мм}.$$

Принимаем

$$K_1 = 5 \text{ мм}.$$

13. Находим средний расчетный диаметр фрезы по формуле

$$D_t = D_e - 2h_1 - 0{,}35K = 70 - 2 \cdot 2{,}886 - 0{,}35 \cdot 4 = 62{,}828 \text{ мм}.$$

14. Определяем угол наклона винтовой линии по формуле

$$\sin \omega = \frac{t_n}{\pi \cdot D_t} = \frac{20{,}441}{3{,}14159 \cdot 62{,}828} = 0{,}1031.$$

Угол ω будет равен 5°55′.

15. Определяем шаг винтовой канавки по формуле

$$S_к = \pi \cdot D_t \operatorname{ctg} \omega = 3{,}14159 \cdot 62{,}828 \cdot 9{,}649 = 1904 \text{ мм}.$$

16. Шаг витков по оси определится по формуле

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \omega} = \frac{20{,}441}{0{,}99452} = 20{,}553 \text{ мм}.$$

17. Определяем длину рабочей части фрезы по формуле

$$L_1 = 2{,}5t_{oc} \approx 50 \text{ мм}.$$

Общую длину фрезы (с буртиками) принимаем

$$L = 55 \text{ мм}.$$

Остальные элементы фрезы — диаметр отверстия, размеры шпоночной канавки, диаметр буртиков — принимаем по нормалям [1].

18. Глубину H канавки определяем по формуле

$$H = h_{проф} + \frac{K + K_1}{2} + r.$$

Высоту $h_{проф}$ в данном случае следует брать увеличенной, так как валик имеет уступ. Принимаем $h_{проф} = 6$ мм.

Радиус дна впадины принимаем равным 1,5 мм.

Тогда

$$H = 6 + \frac{4 + 5}{2} + 1{,}5 = 12 \text{ мм}.$$

19. Угол ϑ впадины принимаем равным 25°.

На фиг. 457 приведен полный чертеж фрезы со всеми элементами. Допуски на основные элементы фрезы назначаем по табл. 68.

---

[1] См. Нормали режущего инструмента, ВНИИ МСС, вып. III, Машгиз, 1948.

ГЛАВА XV

КОМБИНИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Комбинированным называют такой инструмент, который предназначен для одновременной обработки нескольких поверхностей. В комбинированном инструменте соединяются два или несколько однотипных или различных режущих инструментов. В массовом и серийном производстве применение комбинированного инструмента позволяет резко увеличить производительность за счет совмещения нескольких операций в одну. Например, совмещая сверление и зенкерование, можно значительно быстрее обработать отверстие. Совмещая фрезерование нескольких деталей в один проход, можно значительно быстрее обработать изделие на фрезерном станке.

Преимущества комбинированного инструмента совершенно очевидны и заключаются в увеличении производительности за счет уменьшения машинного и вспомогательного времени на обработку детали, удешевлении операций за счет применения более простых станков, возможности удаления значительных припусков за счет совмещения работы нескольких режущих кромок.

В настоящее время применение комбинированного инструмента резко расширяется и может служить показателем высокой культуры производства. Наиболее передовые отрасли машиностроения — автомобильная, тракторная, станкостроительная промышленность — давно в широких масштабах применяют комбинированный инструмент разнообразных форм и конструкций для обработки большого количества различных деталей.

Принято подразделять все комбинированные инструменты на две основные группы.

1. Комбинированные инструменты, применяемые для одновременного получения одной или нескольких деталей одним методом обработки. К таким инструментам можно отнести ступенчатые комбинированные зенкеры, комплектные фрезы, различные комбинированные расточные оправки, предназначенные для расточки ступенчатых отверстий, комбинированные протяжки, предназначенные для одновременной обработки одной или нескольких деталей, и т. д.

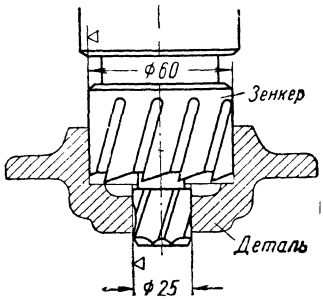
2. Комбинированные инструменты, в которых совмещается одновременно несколько методов обработки, например, инструменты, предназначенные для одновременного сверления и зенкерования, сверления и развертывания, зенкерования и развертывания, растачивания и развертывания, сверления и фрезерования, растачивания и нарезания резьбы и т. д.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОДНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ

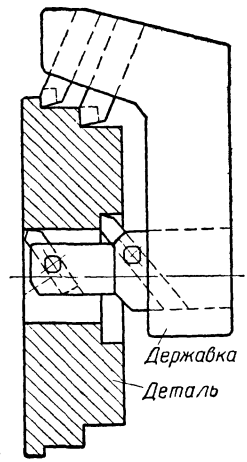
Все инструменты этой группы характеризуются совмещением двух или нескольких инструментов, работающих одним методом, в один инструмент.

На фиг. 458 показан пример обработки детали (фланца) комбинированным инструментом. В этом примере участвуют два инструмента, соединенные в один, а именно два зенкера. Один зенкер диаметром 25 *мм* обрабатывает меньшее отверстие, другой диаметром 60 *мм* обрабатывает выемку на фланце.

Примером конструкции комбинированного инструмента может служить изображенная схематически на фиг. 459 державка с несколькими



Фиг. 458. Пример работы комбинированного зенкера.



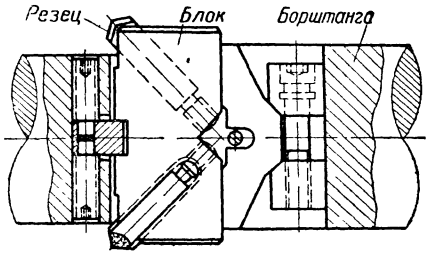
Фиг. 459. Державка с резцами.

резцами для одновременной обточки и расточки изделия. Наружные резцы ее служат для обточки наружных ступеней детали; внутренние резцы растачивают внутренние ступени в отверстии детали. Инструменты подобного типа широко применяются при выполнении всевозможных револьверных работ и позволяют резко увеличить производительность. Резцы для подобных державок могут выполняться различной конструкции. Если между отдельными диаметрами детали большая разница, то целесообразно применение резцов из различных материалов: резцы для обработки отверстия можно изготовить из быстрорежущей стали, резцы, обрабатывающие наружную поверхность детали, работающие с более высокой скоростью резания, — из твердого сплава.

Весьма распространен комбинированный инструмент для расточки ступенчатых отверстий. В расточной оправке, имеющей прямоугольные сквозные пазы, укреплено несколько так называемых расточных блоков (фиг. 460). В каждом блоке имеются два резца, которые могут регулироваться по диаметру винтами. Такая расточная оправка (борштанга) позволяет обработать одновременно несколько ступеней отверстия или несколько ступенчатых отверстий. Каждый из блоков будет снимать определенный слой металла.

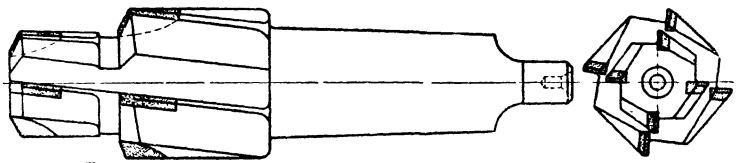
На фиг. 461 показан весьма распространенный комбинированный ступенчатый зенкер, оснащенный пластинками твердого сплава. Канавки зенкера должны быть достаточными для отвода стружки от первой и второй ступени зенкера.

С целью облегчения заточки ступенчатые зенкеры часто делают сборными, состоящими из двух зенкеров; первая ступень зенкера выполняется в виде отдельного зенкера, снабженного коническим хвостом и входящего в соответствующее коническое отверстие зенкера, предназначенного для обработки второй ступени.



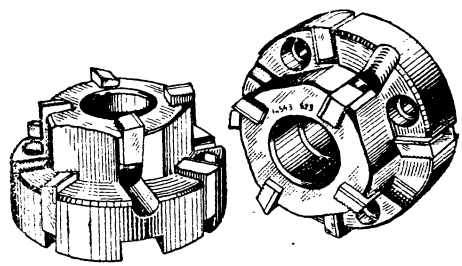
Фиг. 460. Расточной блок.

Распространены ступенчатые сборные зенкеры со вставными ножами. На фиг. 462 показан ступенчатый зенкер для одновременной обработки двух ступеней. Как первая, так и вторая ступень зенкера снабжены клиновидными рифлеными ножами. Преимущество ступенчатых зенкеров со вставными ножами состоит в том, что они позволяют производить регулировку размера. В конструкции, показанной на фиг. 462, регулировка по диаметрам осуществляется путем перестановки ножей на одно или несколько рифлений в радиальном направлении. Существуют конструкции, позволяющие производить более тонкую регулировку ножей зенкера.



Фиг. 461. Двухступенчатый зенкер с пластинками твердого сплава.

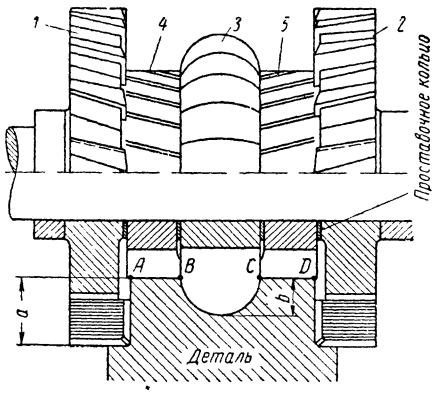
Примером комбинированного инструмента для одного метода обработки может служить набор различных фрез для одновременного фрезерования нескольких поверхностей (фиг. 463). Комплект состоит из пяти фрез. Для обработки торцов изделия служат две сборные двухсторонние фрезы (*1* и *2*) с правым и левым направлением канавок. Для обработки полукруглой выемки служит полукруглая выпуклая фасонная фреза *3*. Плоские поверхности детали *AB* и *CD* обрабатываются двумя дисковыми фрезами *4* и *5*. Режущие кромки каждой из фрез должны перекрывать в месте стыка режущие кромки соседней сопряженной фрезы.



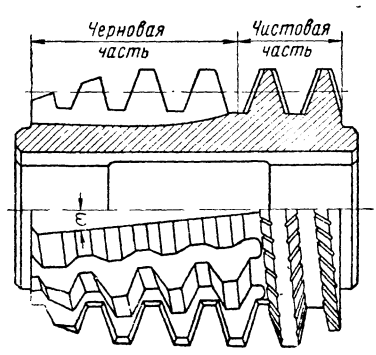
Фиг. 462. Двухступенчатый сборный зенкер со вставными ножами.

По диаметру комплектные фрезы должны затачиваться так, чтобы номинальная разница диаметров отдельных входящих в комплект фрез, а следовательно, и размеры a и b, показанные на фиг. 463, оставались постоянными после переточки комплекта по диаметру. Регулирование размеров вдоль оси оправки может производиться изменением ширины проставочных колец.

Распространен также комбинированный инструмент для протягивания. Комбинированная протяжка может обрабатывать последовательно своей первой ступенью, например, круглое отверстие, второй ступенью вырезать в этом круглом отверстии шлицы. На стр. 328 описана такая комбинированная протяжка для одновременной обработки шлицевого отверстия по внутреннему диаметру и по шлицам.



Фиг. 463. Комплектные фрезы.



Фиг. 464. Комбинированная червячная фреза.

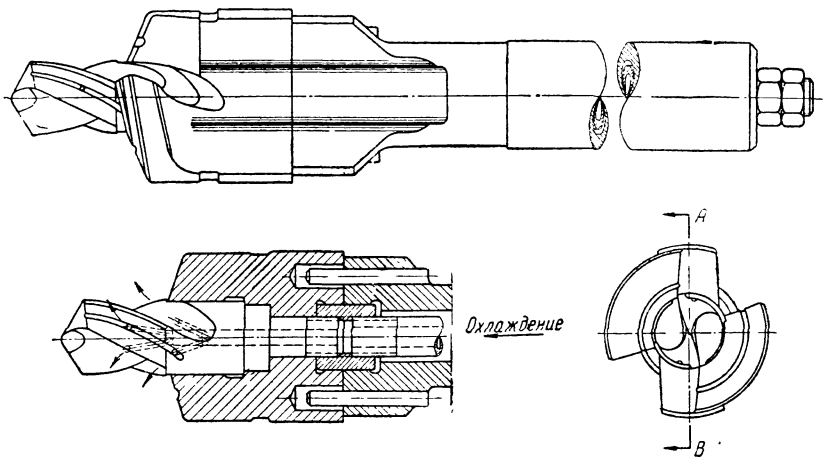
На фиг. 464 показана комбинированная червячная фреза. Эта фреза позволяет обрабатывать зубчатое колесо, одновременно совмещая черновой и чистовой проход. Она состоит из двух частей: первая часть предназначена для черновой обработки впадины колеса и снабжена глубокими канавками для выхода большого количества образующейся стружки; вторая часть представляет собой чистовой инструмент, и поскольку при чистовой обработке образуется очень мелкая стружка и в небольшом количестве, зубья второй части невысокие. Объем междузубых канавок очень малый, количество междузубых канавок значительное. Изображенный на фиг. 374 набор дисковых модульных фрез из 2 шт. обеспечивает черновую и чистовую обработку впадины зубчатого колеса.

Все перечисленные комбинированные инструменты далеко не исчерпывают даже основных типов комбинированных инструментов, работающих по одному методу обработки. Разнообразие форм деталей и разнообразие условий обработки дает обширное поле деятельности конструктору.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, СОВМЕЩАЮЩИЕ РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Разберем несколько основных типов инструментов, относящихся к этой обширной группе комбинированных инструментов.

Комбинированный зенкер-сверло (см. фиг. 142) конструкции завода „Фрезер" позволяет сверлить и одновременно зенкеровать отверстие. В двузубый зенкер *1* вставляется специальное сверло *3*, которое имеет лапку на цилиндрическом хвосте, входящую в отверстие оправки *2*. Закрепление сверла в корпусе осуществляется винтом *4* с конусным

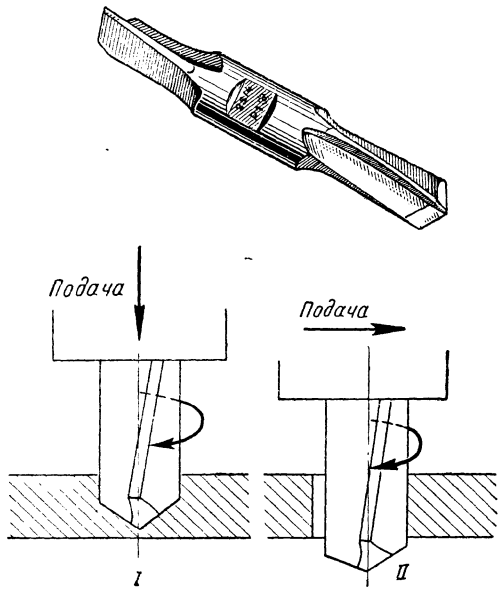


Фиг. 465. Комбинированный зенкер-сверло для глубокого отверстия.

концом. Крутящий момент от оправки передается на сверло лапкой, на зенкер — выступом на торце.

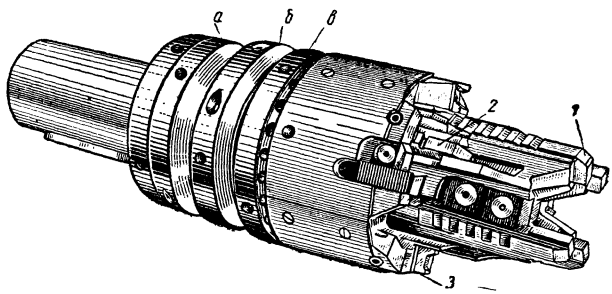
На фиг. 465 показан комбинированный зенкер-сверло, позволяющий производить одновременно сверление и зенкерование глубокого отверстия. Поскольку глубина отверстия большая, затрудняется выход стружки. Стружка, образующаяся на режущих кромках сверла, должна свободно выходить и не сталкиваться со стружкой, образующейся на режущих кромках зенкера. Инструмент для успешной его работы должен иметь стружкоразделительные канавки, дробящие стружку. Геометрия режущей части сверла и особенно зенкера должна предусматривать завивание раздробленной стружки в отдельные мелкие спирали. С этой целью у зенкера передняя грань имеет узкие (1—1,5 *мм*) ленточки, заточенные под небольшим передним углом. Для обеспечения выхода стружки используется струя охлаждающей жидкости. С этой целью предусмотрены отверстия, через которые поступает охлаждающая *жидкость под высоким давлением к режущим кромкам* сверла. Обратный ток охлаждающей жидкости захватывает образующуюся стружку, гонит ее по каналу, образованному между стенками отверстия и стеблем инструмента, и выбрасывает наружу.

Применяется также комбинированный инструмент, совмещающий в себе сверло и развертку. Передняя часть его представляет собой сверло, следующая за ней часть снабжена режущими кромками, которые развертывают полученное отверстие, придают ему определенные точные размеры. С целью обеспечения хорошего отвода стружки сверло - развертка работает последовательно. Вначале сверлится отверстие, и только тогда, когда отверстие просверлено, вступает в работу развертка.



Фиг. 466. Комбинированная фреза-сверло и схема ее работы.

На фиг. 466 показан комбинированный инструмент для обработки овальных отверстий в рельсах. Он представляет собой двухстороннюю концевую фрезу-сверло. При сверлении отверстия работают режущие кромки сверла, инструмент движется вдоль оси и вращается (позиция *I*). После того как отверстие просверлено насквозь, переключается направление подачи стола: подача происходит уже не в вертикальном направлении, а в горизонтальном, перпендикулярном оси сверла (позиция *II*). С этого момента вступают в работу кромки, расположенные на цилиндрической части инструмента, и инструмент работает как фреза. Благодаря такому совмещению операций резко повышается производительность.

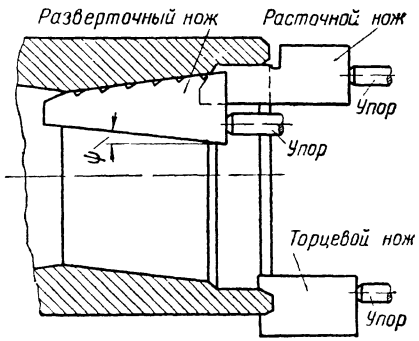


Фиг. 467. Муфторасточной патрон.

Широкое распространение при обработке муфт с конической резьбой получил показанный на фиг. 467 муфторасточной комбинированный

патрон. В конструкции патрона предусмотрено совмещение обточки торца, обточки фасок, расточки выточки, развертывания внутреннего конического отверстия муфты в одну операцию.

Патрон применяется на специальных муфторасточных станках, которые обеспечивают вращение муфты с определенной скоростью. При продвижении патрона вначале в работу вступают разверточные ножи *1*, которые предназначены для развертывания внутреннего конуса муфты. По мере продвижения разверточных ножей в глубь муфты вступают в работу расточные ножи *2*. Они предназначены для расточки выточки у конца муфты. Самыми последними вступают в работу торцевые ножи *3*, представляющие собой фасонные резцы для расточки внутренней и наружной фаски и подрезки торца муфты. На фиг. 468 схематически показано расположение ножей в конце обработки муфты.



Фиг. 468. Схема расположения ножей муфторасточного патрона.

Во время работы патрон получает обильное охлаждение через внутреннюю полость. В корпусе патрона просверлено большое количество отверстий, которые подводят охлаждающую жидкость непосредственно к режущим кромкам разверточных, расточных и торцевых ножей. Вместе со струей охлаждающей жидкости уносится стружка.

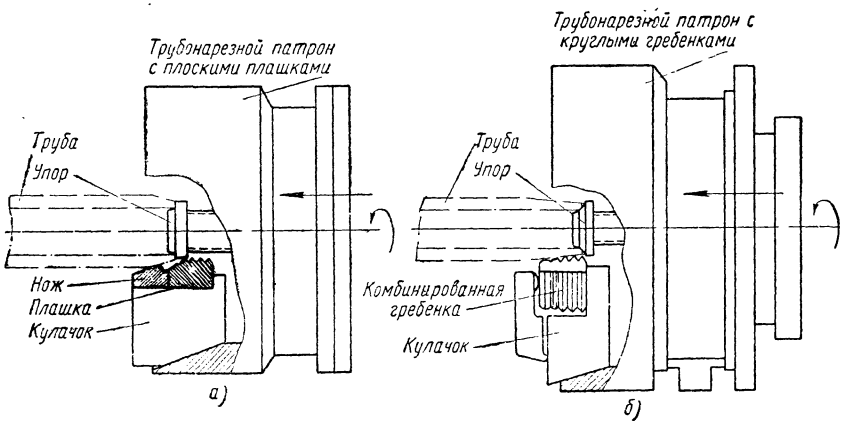
Муфторасточной патрон позволяет производить удобную смену ножей, регулировку их на соответствующий размер изделия. В показанной на фиг. 467 модели патрона регулировка разверточных ножей производится специальным регулировочным кольцом *а*, которое передвигает упоры и тем самым разверточные ножи вдоль оси патрона. Ножи находятся в наклонных пазах; по мере их передвижения благодаря углу ψ дна пазов (фиг. 468) увеличивается диаметр развертываемого отверстия. Для установки расточных ножей предусмотрено второе кольцо *б*. При повороте этого кольца вторая группа упоров перемещает вдоль оси расточные ножи. Наконец, для торцевых ножей существует третье регулировочное кольцо *в*, передвигающее упоры, которые в свою очередь выдвигают торцевые ножи из корпуса.

Все три типа ножей — разверточные, расточные и торцевые — изготовляются и затачиваются отдельно. После установки в корпус патрона регулируется размер для каждого ножа, его расположение и затем ножи закрепляются в определенном положении специальными зажимами.

Примером совмещения обточки и нарезания резьбы одним комбинированным инструментом может служить имеющая применение на трубопрокатных заводах трубонарезная головка. На фиг. 469, *а* показана схема действия трубонарезного патрона (головки). Эта головка имеет несколько специальных кулачков, в которых закреплены ножи для обточки конца трубы и плашки для нарезки резьбы.

Устройство головки довольно сложное. Принцип действия ее состоит в следующем.

Трубонарезная головка, укрепленная на шпинделе трубонарезного станка, вращается с определенной скоростью. Конец трубы подводится к головке. Своим торцом труба по мере продвижения головки вдоль оси давит на упор, который связан с механизмом, постепенно раздвигающим кулачки с укрепленными на них ножами и плашками. Таким образом, в результате двух движений — движения вдоль оси и более медленного движения в радиальном направлении — кулачок головки движется по образующей конуса. Нож, находящийся впереди плашки, обтачивает конец трубы по конусу. Следующая за ножом нарезная плашка нарезает одновременно на обработанной части конуса резьбу.



Фиг. 469. Схема действия трубонарезного патрона.

Геометрия режущей части ножа такова, что позволяет производить обточку конца трубы с подачей, равной шагу нарезаемой резьбы. Если, например, нарезается резьба $11^1/_2$ ниток на 1 дюйм, то за один оборот ножи и плашки продвинутся вдоль оси на 2,2 *мм*. Безусловно, один нож не снял бы такой стружки, но поскольку работа распределяется между несколькими ножами, на долю каждого ножа приходится немного.

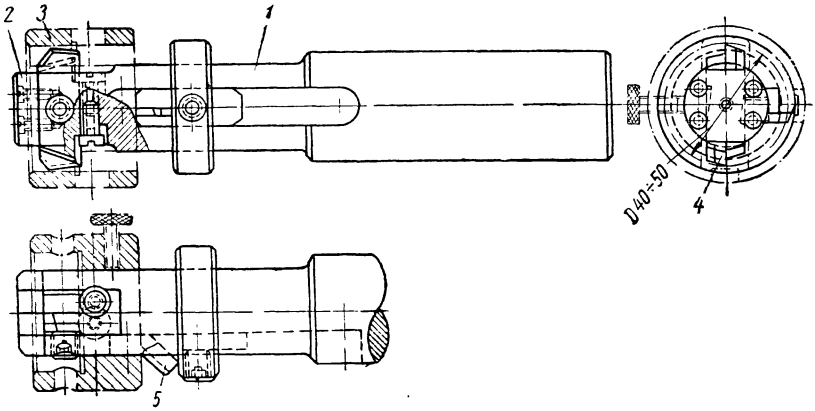
Благодаря большому количеству ножей становится возможным совместить нарезание резьбы с обтачиванием конца трубы.

В последнее время появились работающие по такому же принципу трубонарезные комбинированные патроны, в которых ножи и плоские плашки заменены комбинированными круглыми гребенками, например, трубонарезной патрон, выпускаемый заводом МИЗ (фиг. 469, *б*).

Существует ряд комбинированных инструментов, предназначенных для обработки различных деталей сложной формы, в которых совмещается сверление с расточкой, сверление с зенкерованием, сверление с развертыванием обточки или расточки с нарезанием резьбы, черновые методы обработки с чистовыми.

Применением комбинированного инструмента достигается высокая производительность труда. В нашей стране стахановцы, новаторы производства, часто применяют комбинированные инструменты оригинальной конструкции, позволяющие резко сократить как машинное, так и вспомогательное время, причем хорошая продуманная конструкция комбинированного инструмента не обязательно ведет к резкому усложнению инструмента. В качестве примера можно привести оригинальный комбинированный расточной инструмент, предложенный стахановцем Поляковым.

На фиг. 470 показана схема такого расточного инструмента. Благодаря своей простоте (инструмент состоит всего из трех расточных пла-



Фиг. 470. Комбинированный расточной инструмент Полякова:

1 — оправка; *2* — крышка; *3* — установочное кольцо; *4* — ножи; *5* — фасонный резец.

стин, укрепленных в державке) расточной инструмент т. Полякова вполне доступен при серийном и мелкосерийном производстве. Простые расточные ножи оснащены пластинками твердого сплава, благодаря этому достигается резкое увеличение скорости резания по сравнению с быстрорежущими развертками и зенкерами. Работая таким инструментом, т. Поляков повысил производительность до 4 раз. Для ускорения установки ножей на размер предусмотрено съемное установочное кольцо.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА

При конструировании комбинированного инструмента конструктору приходится решать те же самые вопросы, что и при конструировании любого режущего инструмента. К ним относятся: выбор типа инструмента и кинематической схемы резания, выбор схемы распределения нагрузки, выбор материала, назначение углов режущей части, определение схемы заточки, расчет размеров и формы режущих кромок, обеспечение достаточного пространства для отвода стружки, отвода тепла от режущих кромок, прочность и жесткость и т. д.

В отличие от обычного режущего инструмента при конструировании комбинированного инструмента некоторые из этих вопросов приобретают первостепенное значение.

Разберем вкратце наиболее важные вопросы при конструировании комбинированного инструмента.

Схема распределения нагрузки между отдельными режущими кромками инструмента. На фиг. 463 показан пример комбинированного инструмента — набора фрез для фрезерования сложной поверхности. Весь снимаемый припуск детали разбивается на отдельные участки, снимаемые отдельными режущими кромками фрез. Необходимо, чтобы в процессе работы режущие кромки инструмента перекрывали бы друг друга в местах стыка. Следовательно, режущие кромки дисковых фрез должны быть длиннее участка *CD* детали. Если не сделать такого перекрытия в местах стыка, возможна неполная обработка поверхности детали, появление заусенцев, защемление стружки между режущими кромками, соприкасающимися между собой. Отсюда вывод: при конструировании любого комбинированного инструмента режущие кромки обязательно должны перекрывать соответствующие обработанные участки, и схема распределения нагрузки должна быть построена с учетом этого важного обстоятельства.

Отвод стружки. Отвод стружки от режущих кромок инструмента приобретает особо важное значение при конструировании комбинированного инструмента для обработки внутренних поверхностей. Здесь приходится учитывать не только достаточный объем канавок или каналов для выхода стружки, но и придавать определенное направление сходу стружки, избегать появления встречных, сталкивающихся стружек. В качестве примера разберем с этой точки зрения конструкцию комбинированного зенкера-сверла (см. фиг. 465).

При работе такого комбинированного инструмента в сплошном материале от режущих кромок той части инструмента, которая представляет собой сверло, отделяется стружка. Если происходит обработка вязкого материала, дающего сливную стружку, то отделяющаяся стружка завивается в спираль и должна направляться к выходу из отверстия. В этом месте находится другая часть комбинированного инструмента — режущие кромки зенкера. От них также отделяется стружка. Если направление отхода стружки от сверла и от зенкера совпадает, то две стружки встречаются, вследствие чего задерживается их отвод из отверстия, может возникнуть спутывание стружек, сминание их в один общий пакет, который задерживает все вновь отделяющиеся стружки и приводит обязательно к поломке инструмента. Как избежать такого явления?

Существует несколько путей для разрешения этой задачи. Самым радикальным является разделение каналов для отвода стружки, т. е. необходимо так построить совместное расположение режущих кромок инструмента, чтобы стружка, отделяющаяся от сверла, шла по одному определенному направлению, а стружка, отделяющаяся от зенкера, шла по другому каналу. Можно использовать один канал, но так, чтобы стружка шла по разным сторонам этого канала. В приведенном примере

имеется один канал, но стружка, отделяющаяся от зенкера, всегда прижимается к одной стенке, а стружка, отделяющаяся от сверла, проходит в середине канала.

Существует второй путь, который также приводит к хорошим результатам. Этот путь состоит в придании стружке такой формы, чтобы она легко удалялась из отверстия. Режущие кромки инструмента снабжаются стружкоразделительными канавками, благодаря чему отделяющаяся широкая стружка разбивается на ряд узких полосок. Если остановиться только на разделении стружки на более узкие и длинные полоски, то это не приведет к желаемым результатам, так как такие стружки спутываются в клубок и опасность поломки инструмента не устраняется. Следовательно, кроме разделения стружки на узкие полоски следует обеспечить завивание этих узких полосок в короткие спирали.

Если на передней грани инструмента заточить фаску с меньшим передним углом, можно при определенных условиях заставить стружку завиваться в мелкие спирали. Можно на передней грани сделать лунку (аналогично лунке на резцах) или порожек, которые также приводят в определенных условиях к завиванию стружки.

Необходимо помнить, что эти мероприятия дают эффект только в определенных условиях, т. е. при определенной подаче и глубине резания. Для улучшения отвода стружки положительную роль играет струя охлаждающей жидкости. Направление струи охлаждающей жидкости должно выбираться таким, чтобы помогать выходу стружки из отверстия, а не забивать ее глубже в отверстие. В примере, изображенном на фиг. 465, направление струи охлаждающей жидкости обеспечивает выход стружки. Если пустить охлаждающую жидкость только на режущие кромки зенкера, то стружка будет забиваться и охлаждающая жидкость не будет доходить до сверла.

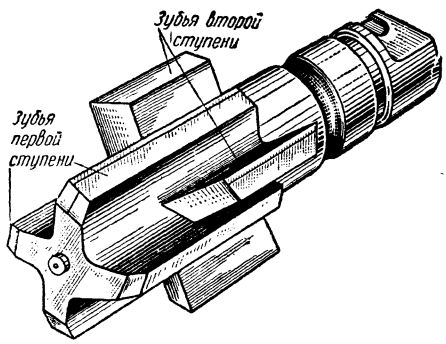
Удобство заточки. При конструировании комбинированных инструментов часто возникает необходимость в целях удобства заточки делать инструмент разъемным из отдельных частей. На фиг. 461 изображен комбинированный зенкер, предназначенный для обработки двухступенчатого отверстия. Заточка такого двухступенчатого зенкера сложна. В самом деле, если производить заточку режущей кромки, расположенной на второй ступени зенкера, то выход шлифовального круга чрезвычайно неудобен, так как шлифовальный круг при работе будет врезаться в шейку между первой и второй ступенью зенкера. Если же сделать зенкер разъемным из двух частей, то, разъединяя их, можно в отдельности заточить зенкер меньшего диаметра и зенкер большего диаметра. Заточка не будет представлять никаких трудностей и будет производиться как заточка обычного нормального зенкера.

Можно решить это другим путем.

На фиг. 471 показан двухступенчатый зенкер с чередующимся зубом. Зубья первой ступени зенкера размещены в середине междузубых канавок второй ступени зенкера. Такой зенкер при переточках не изменяет своей формы, допускает гораздо большее количество переточек, обеспечивает раздельные каналы для отвода стружки от каждой ступени.

Чередующиеся зубья у комбинированного инструмента следует применять всегда, когда размеры отверстия позволяют разместить их.

Точно так же при конструировании наборных фрез для обработки фасонных поверхностей приходится идти на разделение набора на несколько фрез исключительно из-за условий заточки. Изображенный на фиг. 463 набор фрез мог бы быть, безусловно, заменен одной фасонной фрезой, если бы не сложность изготовления и заточки такой фрезы. Разбивая этот набор на ряд отдельных фрез, мы получаем инструменты простой конфигурации, поддающиеся заточке на обычных приспособлениях. Двухсторонние фрезы, расположенные с обеих сторон набора, легко затачиваются как по наружному диаметру, так и по торцу. Дисковые фрезы затачиваются по диаметру. Полукругло-выпуклая фреза затачивается как обычная затылованная фреза по передней грани. Сложность заточки этих комплектных фрез состоит в том, что все фрезы, входящие в набор, приходится затачивать с учетом необходимости сохранения определенной заданной разницы в диаметрах фрез.

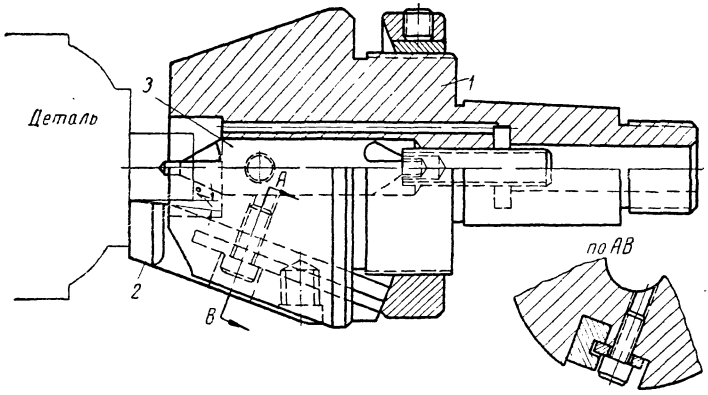


Фиг. 471. Ступенчатый зенкер с чередующимся зубом.

Установка на размер и регулирование. Если в обычных режущих инструментах сборной конструкции установка на размер и регулирование имеет большое значение, то в комбинированных инструментах значение регулирования резко возрастает. Можно считать мало пригодной для практики такую конструкцию комбинированного инструмента, которая занимает много времени на установку и регулирование размеров. И, наоборот, конструкция инструмента, допускающая резкое снижение времени на установку и регулирование, будет передовой конструкцией. В качестве примера можно привести две конструкции муфторасточного патрона. Конструкция муфторасточного патрона (см. фиг. 467), в которой регулирование разверточ ных ножей, расточных ножей и торцевых ножей производится сразу группами, значительно лучше, чем конструкция муфторасточного патрона, в которой регулирование ножей осуществляется не группами, а по отдельности, т. е. каждый нож регулируется специальным винтом. Бесспорно, что такое регулирование отнимет значительно больше времени, чем регулирование группы ножей сразу. Практика показала, что муфторасточные патроны с независимым регулированием ножей требуют больше времени на регулирование, чем патроны с групповым регулированием.

Условия работы отдельных ступеней комбинированного инструмента и выбор материала для них. В комбинированных инструментах, предназначенных для обработки нескольких поверхностей различных диаметров (например, отверстия небольшого диаметра и наружной поверхности большого диаметра), получаются различные скорости резания

для отдельных режущих кромок инструмента. Изображенная на фиг. 472 специальная головка для обработки по наружному диаметру и центрования цилиндрического выступа детали может служить примером инструмента, в котором скорости резания на режущих кромках ножей *2* значительно больше скорости резания на режущих кромках центровочного сверла *3*. Можно на резцы для такой головки использовать быстрорежущую сталь, а центровое сверло изготовить из легированной стали; корпус *1* изготовляется из конструкционной стали.



Фиг. 472. Комбинированная головка для обточки и центрования.

Прочность комбинированного инструмента. Важным вопросом при конструировании комбинированного инструмента является вопрос прочности его отдельных частей. Комбинированный инструмент, особенно для внутренних поверхностей, должен быть достаточно прочным, так как ему приходится передавать большой суммарный крутящий момент.

Все особенности конструирования комбинированного инструмента можно выявить только в каждом конкретном случае при проектировании инструмента.

ГЛАВА XVI

МЕТОДЫ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙ ИНСТРУМЕНТОВ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

После правильной термической обработки режущее лезвие приобретает высокую твердость и высокую износоустойчивость. Однако существуют методы, позволяющие еще значительно увеличить срок службы и производительность режущего инструмента. Такие методы обработки иногда объединяют общим термином „облагораживание" режущих лезвий.

Облагораживание режущих лезвий начало применяться лишь за последние двадцать лет, но значительное повышение стойкости и производительности инструментов, приобретаемое при процессах облагораживания лезвий, все более расширяет применение этих операций. Это позволяет сокращать расход режущего инструмента на выполнение определенной работы.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Химико-термическая обработка представляет собой такой вид обработки, при котором совмещается обыкновенная термическая обработка с изменением химического состава поверхностных слоев стали.

К важнейшим видам химико-термической обработки инструментов относятся цианирование и хромирование.

Цианирование. Цианированием называется такой процесс химико-термической обработки, при котором происходит одновременная диффузия в сталь углерода и азота (название процесса цианирование — от группы CN — циан). Промышленное применение имеют три вида цианирования:

1) жидкое цианирование;
2) газовое цианирование;
3) сухое цианирование.

Целью этих процессов является улучшение свойств поверхностного слоя изделий без изменения свойств сердцевины. В инструментальном производстве находит широкое применение жидкое и газовое цианирование. Цианированию подвергаются различные инструменты из быстрорежущей стали. Инструмент поступает на операцию цианирования после всех операций механической обработки в окончательно готовом виде.

Инструмент до цианирования должен быть тщательно очищен от масла и грязи. При транспортировке и цианировании заточенного инструмента должны приниматься меры для предохранения от забоин и выкрашивания.

Жидкое цианирование. Существует два вида жидкого цианирования:

1) низкотемпературное цианирование при 550—560° С;

2) высокотемпературное цианирование при температуре 800—840° С.

Из этих способов для обработки режущего инструмента имеет практическое значение первый способ.

Цианирование инструмента из быстрорежущей стали производится в жидкой ванне, содержащей расплавленный NaCN и продукты его разложения при температуре, соответствующей температуре отпуска быстрорежущей стали, т. е. при 550—560° С. Более высокие температуры цианирования не могут быть применены во избежание понижения твердости сердцевины изделий.

Процесс насыщения стали углеродом и азотом при низкотемпературном цианировании сводится к следующему.

Цианистая соль натрия NaCN при нормальной температуре представляет собой прочное кристаллическое вещество. При расплавлении NaCN и в процессе работы при воздействии кислорода ванны на поверхность расплавленной соли происходит окисление NaCN с образованием NaCNO.

Реакция идет следующим образом:

$$1)\ 2NaCN + O_2 = 2NaCNO.$$

Образовавшийся в результате первой реакции цианат NaCNO реагирует далее с кислородом воздуха:

$$2)\ 2NaCNO + O_2 = Na_2CO_3 + CO + N_2.$$

Образующаяся в результате второй реакции окись углерода реагирует с железом

$$3)\ 2CO + 3Fe = Fe_3C + CO_2,$$

а выделяющийся атомарный азот реагирует с железом и легирующими элементами, образуя нитриды. В глубине ванны идет процесс восстановления цианида

$$4)\ 4NaCNO = Na_2CO_3 + 2NaCN + CO + N_2.$$

Первоначальная загрузка ванны производится высокопроцентным цианистым натрием (96—98% NaCN), но в процессе работы за счет распада цианистых соединений и образования Na_2CO_3 содержание в ванне NaCN понижается до 30—50%. Вместе с истощением ванны понижается температура ее плавления, достигая 460—480° С, что дает возможность вести процесс цианирования при 550—560°. Но по мере истощения ванны падает интенсивность цианирования, поэтому не рекомендуется понижать содержание NaCN в ванне ниже 40%. В процессе цианирования довольно значительное количество соли выносится с изделиями и теряется за счет угара, поэтому приходится ежедневно добавлять в ванну высокопроцентный NaCN.

Крупный инструмент из быстрорежущей стали перед погружением в цианистую ванну подогревается в газовой печи при 300—400° С. Подогрев предохраняет закаленный инструмент от возникновения трещин при быстром нагреве и уменьшает деформацию инструмента. Кроме того, подогрев ускоряет процесс нагрева в жидкой ванне, предотвращает падение температуры в ванне при загрузке инструмента, предохраняет от выбрасывания соли из горячей ванны, повышает производительность.

Результат цианирования в значительной степени зависит и от продолжительности цианирования. При определении продолжительности процесса цианирования необходимо учитывать конструктивные особенности инструмента и его размеры. Чем тоньше режущие грани, чем, например, меньше шаг резьбы у резьбового инструмента, тем меньше должна быть выдержка при цианировании. Практически время выдержки при цианировании режущего инструмента колеблется в пределах от 5 до 30 мин. (при условии предварительного подогрева до 300—400° С).

По окончании выдержки инструмент охлаждается под вытяжным колпаком и затем промывается в специальных выварных баках, после чего промывается проточной водой. Процесс насыщения стали углеродом и азотом в значительной мере зависит от применяемых температур.

Так как цианирование быстрорежущей стали производится при низких температурах 550—560° С, то здесь происходит главным образом насыщение поверхности стали азотом и в малой степени углеродом.

В результате цианирования природа поверхностного слоя инструмента существенно изменяется, приобретая новые свойства, в частности, твердость повышается до $H_{R_C} = 68 \div 70$. Эти новые свойства обеспечивают значительное увеличение стойкости инструмента в работе (до 2—3 раз).

Значительно изменяются и условия скольжения стружки по инструменту. Уменьшается коэфициент трения стружки по цианированной поверхности. Это в свою очередь увеличивает износоустойчивость инструмента. Кроме того, уменьшение нагрева режущей кромки позволяет увеличить скорости резания до таких пределов, когда обычный нецианированный инструмент уже выходит из строя. Таким образом, практически повышается и красностойкость инструмента.

Недостатком цианированного слоя является его хрупкость. Поэтому целесообразно иметь глубину цианированного слоя в пределах 0,01—0,03 *мм*.

Для инструментов с малыми углами заострения режущих граней, где диффузия с двух сторон угла дает интенсивное насыщение острия, нужно иметь небольшой цианированный слой во избежание выкрашивания.

Для инструментов, у которых затачивается только одна грань, высокие свойства цианированного слоя сохраняются и после переточек. Инструменты, затачиваемые по нескольким граням, необходимо повторно цианировать после каждой переточки.

Газовое цианирование. Цианирование в жидких цианистых ваннах имеет ряд существенных недостатков, к которым относится

в первую очередь ядовитость цианистых солей, что требует проведения целого ряда предохранительных мер по транспортировке, хранению, развеске цианистых солей и т. д. Большинство этих недостатков устраняется при замене жидкого цианирования газовым цианированием.

Различают два вида газового цианирования — низкотемпературное газовое цианирование при температурах 550—560° и высокотемпературное газовое цианирование при температуре 800—900° С. Оба способа находят применение в инструментальном производстве, при этом для режущего инструмента из быстрорежущей стали применяется низкотемпературное газовое цианирование, часто называемое процессом нитроцементации, для измерительных инструментов применяется высокотемпературное цианирование, соединяемое с закалкой. Процесс нитроцементации находит применение при облагораживании лезвий режущего инструмента, изготовленного из быстрорежущих сталей различных марок. Инструменты, предназначенные для нитроцементации, в готовом виде поступают на операцию нитроцементации.

Процесс нитроцементации осуществляется в муфельных электрических печах. Муфель закрывается крышкой с уплотняющими прокладками, что предохраняет от подсоса воздуха в муфель из атмосферы. В одну из стенок муфеля вставлены две трубки, по которым в муфель поступают цианирующие газы. Отработанные газы удаляются через коленчатую трубку в крышке муфеля и сжигаются на воздухе.

Сущность процесса нитроцементации сводится к обработке изделий в газовой смеси, состоящей из цементирующего газа и аммиака, при температуре 550—560° С в продолжение 1—1,5 часа. В печи происходит ряд реакций с образованием и разложением циана. Газовая смесь быстро насыщает поверхность инструментов азотом и углеродом.

Для выполнения процесса нитроцементации необходимо иметь источник цементирующего газа и баллоны с аммиаком. Для осуществления процесса можно применять различные цементирующие газы, содержащие окись углерода, естественный газ, нефтяной газ, пиролизный газ, генераторный газ.

Аммиак из баллона и цементирующий газ поступают к печи. При помощи двух реометров измеряется скорость подачи в печь того и другого газа.

Режущий инструмент, подвергаемый нитроцементации, укладывается на специальные полочки с отверстиями, изготовленные из жаропрочной стали, которые по направляющим угольникам вдвигаются в печь. После этого крышка печи герметически закрывается, и начинается процесс нитроцементации. Продолжительность нагрева, как и при жидкой цементации, зависит от толщины режущих граней. Изделия после нитроцементации охлаждаются на воздухе.

Метод нитроцементации можно применять ко всем цельным изделиям из быстрорежущей стали, но его не удается применить к сварным изделиям в том случае, если необходима повышенная твердость хвостовой части ($H_{R_C} = 30 \div 40$). Так как при нитроцементации изделия целиком загружаются в печь, то в ходе процесса при 550—560° С происходит понижение твердости хвостовой части инструмента. В этом случае

выгоднее применять жидкое цианирование с частичным погружением изделий.

Сухое цианирование. Сухое цианирование инструментов осуществляется при нагреве закаленных инструментов в твердой среде. Изделия, подлежащие сухому цианированию, подвергаются очистке и просушиванию. Затем они упаковываются в железные сварные ящики, наполненные твердыми цианирующими смесями. В качестве твердых цианирующих смесей применяются такие вещества, как древесный уголь, кокс, желтая кровяная соль, обожженные вещества животного происхождения, как кожа, рога, кость, копыта с добавкой углекислых солей. Применяются, например, такие составы:

1) 30% животных веществ, 50% древесного угля, 20% соды;

2) 60—80% древесного угля и 40—20% желтой кровяной соли.

Имеется также целый ряд других смесей с различным соотношением составляющих веществ. Все составные части смеси берутся в измельченном виде и тщательно перемешиваются.

Процесс сухого цианирования обычно производят в вертикальных электровоздушных отпускных печах при температуре 550—560° С с выдержкой от 1 до 3 час. Сухому цианированию подвергают инструмент из быстрорежущей стали, прошедшей предварительно нормальную термическую обработку. Способ сухого цианирования имеет ряд существенных недостатков и применяется лишь на предприятиях при изготовлении мелких партий инструмента для собственных нужд.

Наиболее серьезным недостатком процесса является трудность регулирования процесса цианирования, происходящего в закрытых ящиках, и большое разнообразие получаемых результатов не только в различных коробках, но и в одной и той же коробке. Иногда поверхность изделий приобретает чрезвычайно большую хрупкость. Отсутствие стабильности результатов процесса, а также ряд других недостатков исключает применение этого способа при массовом производстве инструментов.

Цементация хромом. Поверхность стали может быть насыщена не только углеродом и азотом, но и некоторыми металлами, такими, как хром, кремний, алюминий и др. Процессы насыщения поверхности стали различными металлами носят название цементации металлами.

Для инструментального производства практическое значение из этих методов имеет цементация стали хромом. Поверхностное насыщение стали хромом значительно повышает твердость и износоустойчивость изделий, сообщает им высокую коррозионную стойкость в таких средах, как вода и азотная кислота, хорошую устойчивость против газовой коррозии.

Цементация стали хромом при непосредственном контакте поверхности обрабатываемого изделия с порошкообразным хромом сопряжена с большими трудностями, так как при таком процессе необходим нагрев до высоких температур при длительных выдержках. В настоящее время вместо цементации твердым хромом применяется более простой и легко осуществимый процесс диффузионного газового хромирования. Газовое хромирование производят в атмосфере хлоридов хрома. Способ

газовой цементации хромом заключается в нагреве изделий при 950—1050° С, в атмосфере паров хлорида хрома.

При контакте газообразного хлорида хрома с поверхностью изделий процесс идет по уравнению

$$Fe + CrCl_2 = FeCl_2 + Cr.$$

Выделяющийся в результате реакции хром диффундирует в железо. В результате процесса поверхностный слой стали насыщается хромом до 50%. Хлорид хрома $CrCl_2$, необходимый для реакции, получают путем пропускания хлористого водорода через феррохром или чистый хром.

Одновременно с диффузией хрома в сталь происходит движение атомов углерода из внутренних слоев к поверхности навстречу хрому. При этом на поверхности создается концентрация углерода более высокая, чем среднее содержание углерода в стали. За счет встречной диффузии углерода и хрома образуется сплошной слой хромистого карбида. Создание на поверхности изделия карбидной корки создает высокую поверхностную твердость, достигающую $H_{RC} = 70$ и выше.

Таким образом, газовая цементация хромом высокоуглеродистых сталей дает возможность получать износоустойчивый поверхностный слой и имеет большие перспективы применения для получения высокопроизводительного инструмента. После хромирования изделия имеют матовую или блестящую поверхность. Свойства хромированного слоя сохраняются при нагреве до 700° С, т. е. он обладает красностойкостью.

В инструментальном производстве цементация хромом применяется для повышения стойкости и производительности инструментов, изготовленных из высокоуглеродистых сталей. Газовая цементация хромом представляет собой эффективный способ поверхностного упрочнения стали. При этом на инструментах различной конфигурации получается твердый, равномерный по толщине хромированный слой глубиной 0,02—0,10 *мм*.

В качестве цементатора при цементации порошком хрома применяется такой состав: хром или феррохром — 60%; глинозем (или его заменители) — 37%; соляная кислота или хлористый аммоний — 3%.

Из глинозема предварительно удаляют влагу и летучие вещества путем предварительного прокаливания их. Все составные части измельчают в порошок в шаровой мельнице.

Порошкообразный хром обрабатывают соляной кислотой, добавляют глинозем и смесь размалывают, после чего цементатор готов к употреблению.

Цементацию инструментов хромом в такой смеси производят в железных сварных ящиках или трубках с заваренным дном. Цементатор насыпается на дно ящика слоем толщиной 25—30 *мм*, затем укладываются инструменты с промежутками, засыпаемыми смесью. Процесс цементации хромом в такой смеси производится при температуре 950—1050° С с выдержкой до 15 час. После цементации инструменты проходят иногда нормальную термическую обработку. Такой способ цементации хромом применяется главным образом при изготовлении напильников, предназначенных для обработки материалов с высокой твердостью $R_C \geqslant 55$.

ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Одним из методов облагораживания режущих лезвий инструментов после заточки является химико-механическая обработка их. Процесс заточки инструмента сопровождается нагревом режущих лезвий и даже при правильном проведении заточки всегда возможны прижоги различной интенсивности, часто заметные невооруженным глазом. При массовом производстве эти прижоги бывают еще более значительны, распространяясь на глубину до 2—3 *мм*. Поджоги при заточке представляют собой местный отпуск закаленного лезвия и сопровождаются превращением мартенсита в этих местах в троостит или сорбит; твердость в месте поджога значительно понижается, инструмент не работает.

Для удаления испорченного поверхностного слоя применяется или механическая доводка, или специальная химико-механическая обработка.

Химико-механический метод обработки основан на соединении двух процессов — химического воздействия на поверхность металла и механического удаления продуктов реакции нетвердым абразивом. При этом необходимо непрерывное механическое удаление продуктов растворения. Химико-механическая обработка применима как для чистовых, так и для обдирочных инструментов.

Известны два метода химико-механической обработки: доводка специальными пастами и полировка в растворах электролитов.

Доводка с помощью паст для окончательной обработки режущих граней применяется в первую очередь к резцам, разверткам и другим инструментам. Доводку инструментов из быстрорежущих и углеродистых сталей производят с помощью пасты ГОИ и наждачной пасты.

Доводку инструментов осуществляют при помощи грубой пасты ГОИ, приготовленной в виде стержней (карандашей). Наждачные пасты бывают сухие и жидкие, их приготовляют тоже в виде карандашей.

Доводку инструментов осуществляют обычно сухими пастами, имеющими следующий состав в %: наждак — 80; стеарин — 15; керосин — 2; вазелин — 3 [1].

Процесс доводки различных инструментов производят различным образом. Например, доводку резцов производят с помощью отполированного чугунного диска средней твердости. Пасту (в форме карандаша) наносят на вращающийся диск. Лучшей пастой для доводки инструментов с твердыми сплавами является паста, состоящая из 65—75% абразива и 35—25% парафина [2]. Абразивом могут служить карборунд, карбид бора, алмаз и др.

Для шлифования и доводки пластинок твердых сплавов разработан новый химико-механический метод, который носит название шлифования в растворах электролитов. Этот метод не требует применения сверхтвердых абразивов и значительно ускоряет процесс шлифования твердого сплава.

---

[1] См. С. С. Четвериков, Металлорежущие инструменты, Машгиз 1945.

[2] См. там же.

Метод шлифования в растворах электролитов основан на химическом воздействии сернокислой меди на кобальт, являющийся связующим веществом карбидов в твердых сплавах. На пластинке твердого сплава, помещенной в раствор $CuSO_4$, происходит реакция обмена: кобальт занимает место меди, образует соединение $CoSO_4$, а вытесненная из раствора медь образует тонкий поверхностный слой на пластинке. Удаление кобальтовой связки из поверхностного слоя твердого сплава приводит к потере связи между карбидами, к нарушению его сплошности и механической прочности. Этот слой легко разрушается и снимается наждачным порошком, после чего процесс повторяется.

Так как шлифование производится наждачными порошками, то пластинка твердого сплава при этом не нагревается. Это исключает опасность растрескивания пластинки, что часто имеет место при шлифовании камнями.

ХИМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ

Удаление испорченного шлифованием слоя производят и другими методами. В последнее время для этой цели вместо доводки начинают применять химическую и электрохимическую обработку режущих лезвий инструментов. Эти методы заключаются в стравливании кислотами или солями дефектного слоя.

Предварительно инструмент обезжиривают. Первоначально толстый жировой слой удаляется с изделий при помощи бензина. Окончательное обезжиривание производят в 10—15%-ном растворе едкого натра NaOH. При этом инструменты погружают в ванну, в которую подведен постоянный ток низкого напряжения (2—6 *в*). Плотность тока в обезжиривающей ванне не превышает 10—15 *а/дм*^{2}, время обезжиривания составляет несколько минут. Обезжириваемый инструмент при этом служит анодом. Химическое травление производят в растворе, содержащем 100 *см*^{3} серной кислоты H_2SO_4, 50 *см*^{3} азотной кислоты HNO_3, 50 *г* медного купороса $CuSO_4$ и 1000 *см*^{3} воды.

Недостатком этого способа является неравномерность стравливания режущей кромки, что увеличивает износ инструментов.

Поэтому более целесообразным методом является электрохимическое травление инструментов. В этом случае обработка производится постоянным током низкого напряжения. Инструмент подвешивается в ванне и, присоединяясь к отрицательному полюсу, является катодом. С обеих сторон обрабатываемого инструмента подвешиваются свинцовые проволоки диаметром 6—12 *мм*, которые служат анодом. Процесс ведется при напряжении от 2 до 6 *в* при плотности тока 10—15 *а/дм*^{2}. Время выдержки в ванне составляет 5—10 мин. в зависимости от степени точности инструмента. Поверхностный слой снимается при этом в пределах 0,01—0,02 *мм* *.

Недостаток этого способа состоит в том, что действие крепких кислот приводит к неравномерному и энергичному стравливанию угле-

* См. С. С. Четвериков, Металлорежущие инструменты, Машгиз, 1945.

родистых и легированных сталей; более хорошие результаты получаются на инструментах из быстрорежущей стали. В то же время кислоты способствуют коррозии инструмента. Все же практика показывает, что процессы стравливания поверхностных слоев режущих граней увеличивают стойкость и производительность инструментов. Необходимо и возможно изыскание еще более рациональных методов электрохимической обработки инструментов с применением других солей и кислот. Вполне целесообразно, кроме того, после травления производить еще цианирование.

Химическая и электрохимическая обработка улучшает качество режущих граней инструмента лишь на первый период его работы, так как по мере изнашивания поверхности режущих граней в работу вступают нижележащие слои.

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Повышение твердости и износоустойчивости режущих граней инструментов может быть достигнуто двумя принципиально различными методами. Первый метод заключается в насыщении поверхностного слоя путем диффузии углеродом, азотом или хромом. Второй способ заключается в отложении на поверхности режущих граней хрома без диффузии его в сталь. При этом не требуется применение высоких температур, характерных для диффузионных процессов.

Процесс покрытия поверхности инструментов хромом производится путем электролиза, т. е. он основан на прохождении электрического тока через какой-либо жидкий раствор электролита, разлагающегося при этом на ионы.

Гальваническое хромирование инструмента. Качество хромирования режущих инструментов зависит от подготовки их к процессу гальванического покрытия хромом, от правильного состава ванн и правильного режима процесса. При этом необходимо принимать меры против отслаивания хромового покрытия и выкрашивания хромированной кромки. Правильное проведение процесса хромирования предусматривает ряд операций: подготовительных, непосредственного хромирования и последующих операций.

Инструменты, предназначенные для хромирования, предварительно тщательно шлифуются и полируются с целью получения максимально гладкой поверхности на режущих гранях. В специальном растворе производят обезжиривание инструмента. Для того чтобы создать лучшее сцепление хромового слоя с поверхностью инструмента, после полировки производят гальваническое травление инструмента. Нормальный состав хромовых ванн следующий: хромовый ангидрид CrO_3 — 250 *г*; серная кислота H_2SO_4 — 2,5 *г*; вода — 1 *л*.

Температура ванны 55—65°, плотность тока — от 14 до 22 *а/дм*^{2}. Инструмент служит катодом, а в качестве анода применяется свинец или нержавеющая сталь.

При этом площадь анода должна приблизительно равняться площади изделий.

Сущность протекающих при хромировании электрохимических процессов сводится к осаждению хрома из хромовой кислоты в присутствии ионов SO''_4.

Чтобы обеспечить отложение хрома в выемках, необходимо придавать анодам соответствующую форму, выгибая аноды или добавляя к ним выгнутые по форме выемок куски свинцовой полосы или проволоки.

Инструменты погружаются в электролит таким образом, чтобы режущая кромка находилась на расстоянии 10 *мм* от поверхности электролита. Время выдержки в ванне зависит от величины покрываемой хромом поверхности. Толщина хромового слоя достигает 0,025 *мм*.

Наиболее серьезное значение имеет предохранение от таких дефектов, как отслаивание и хрупкость хромового слоя. Отслаивание является следствием плохой подготовки опорной поверхности (подслоя) под покрытие. Необходимо иметь в виду, что хромовый слой хорошо сопротивляется истиранию и сжатию, но плохо противостоит растяжению. Поэтому после термической обработки и размерной доводки подслой должен быть очень гладко отделан оселком или полирован. Ввиду разной толщины хромового отложения передний и задний углы инструментов нужно делать несколько меньше нормы.

В процессе электролиза из раствора хромовой кислоты выделяется много водорода, который поглощается металлическим хромом. Водород вызывает внутренние напряжения в осадке хрома, поэтому хромировочный слой покрывается тончайшими трещинами и порами. Хрупкость хромового слоя зависит от содержания в нем водорода, поэтому необходимо предусмотреть в процессе обработки удаление водорода из поверхностного слоя.

Так как острые выступающие части инструмента хромируются быстрее, то необходимо предупредить образование более толстого слоя на режущих кромках. Для этой цели на расстоянии 6—8 *мм* от режущих кромок укрепляют тонкие проволоки из мягкой стали. Эти проволоки соединены с катодом и снимают на себя часть отлагаемого хрома.

Хромированный слой имеет высокую твердость и износоустойчивость и хорошо противостоит налипанию обрабатываемого материала на рабочие грани. Затупление хромированных инструментов медленное и незначительное.

Термическая обработка перед хромированием должна предусматривать снятие внутренних напряжений в изделии. Температура отпуска должна быть не ниже той температуры, при которой впоследствии, после хромирования, производится удаление водорода из поверхностного слоя (обезводороживание).

Электрохимическая подготовка инструмента под хромирование состоит из обезжиривания и декапирования. Обезжиривание производят обычно электролитическим способом в щелочном растворе.

Катодное электролитическое обезжиривание производится обычно в смеси фосфорнокислого натрия и соды. Температура ванны удерживается в пределах 70—80° С при плотности тока 2—6 *а/дм*^{2}. Декапирование заключается в стравливании испорченного шлифованием слоя

в специальной ванне, имеющей состав: 100 *г* хромового ангидрида, 2—3 *г* серной кислоты и 1 *л* воды при плотности тока 5 *а/дм*^{2} и температуре 18—20° С. При этом электрический ток пропускается в обратном направлении. Продолжительность процесса — 2—5 мин. После этого инструмент немедленно погружается в хромовую ванну для покрытия. После хромирования инструмент отпускают при температуре 180° С в течение 2 час. для удаления водорода из хромового слоя. Удаление водорода можно производить в электрической печи или в селитровой ванне, но при этом необходимо учитывать марку стали инструмента и нормальный режим термической обработки с тем, чтобы не снизить при обезводороживании твердость инструмента, т. е. нельзя превышать температуру его отпуска.

Хромирование находит в инструментальном производстве все более широкое применение. Срок службы измерительных инструментов увеличивается в десятки раз. В производстве режущих инструментов хромирование применяется в широких размерах для углеродистых и легированных инструментальных сталей. Для инструментов из быстрорежущих сталей хромирование служит средством дополнительного повышения их износоустойчивости после цианирования. Практика показывает, что на многих режущих инструментах быстрорежущая сталь может быть заменена углеродистыми или легированными инструментальными сталями с последующим хромированием. Например, хромированные углеродистые калибрующие протяжки по стойкости не уступают быстрорежущим. Хромирование сверл значительно повышает их стойкость, улучшает выход стружки и уменьшает ее прилипание к канавке. У крупных сверл хромируются канавки и ленточки, а у мелких сверл, кроме того, хромируется и затылочная грань. Таким образом, электролитическое хромирование режущего инструмента имеет громадные перспективы. Твердость хромового покрытия достигает $H_B = 900$.

ЭЛЕКТРОИСКРОВОЕ ПОКРЫТИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ТВЕРДЫМИ СПЛАВАМИ

В последние годы в области облагораживания режущих лезвий инструментов приобрел значение процесс поверхностного упрочнения твердыми сплавами при помощи электрических разрядов.

Этот процесс представляет собой одну из разновидностей электроискровой обработки, открытой советскими учеными (Б. Р. и Н. И. Лазаренко), детально разработанной и широко внедряемой в нашу промышленность. Электроискровое покрытие инструментов твердыми сплавами обычно производится при помощи постоянного тока напряжением 220 *в*. В процессе покрытия, осуществляемого на воздухе, наносимый твердый сплав и обрабатываемый инструмент являются электродами, при этом инструмент подключается к катоду, а твердый сплав — к аноду электроискровой установки.

При сближении электродов (инструмент — твердый сплав) происходят мгновенный нагрев и местное оплавление поверхности за счет передачи энергии конденсаторной батареи, и в моменты соприкосновения

твердого сплава и инструмента в месте их контакта происходит сваривание и перенос части материала одного электрода на другой. При этом температура анода несколько выше, чем температура катода. Так как перенос материала электродов может происходить в обоих направлениях как с анода на катод, так и обратно в зависимости от физических свойств электродов, то направление переноса материала в нужную сторону, т. е. от твердого сплава к инструменту, зависит от правильного выбора материала электродов и соответствующих электрических режимов. Практика работы показывает, что лучшие результаты дает применение в качестве электрода покрытия твердого сплава марки Т15К6 *.

Пластинка твердого сплава вставляется в специальное приспособление — так называемый вибратор, который обеспечивает очень быстрые и частые возвратно-поступательные движения пластинке твердого сплава, благодаря которым происходят очень частые соприкосновения вибрирующей пластинки с инструментом, неподвижно закрепленным в приспособлении, которое присоединено к аноду установки.

Вибратор представляет собой электромагнит, который питается от сети переменного тока или от понижающего трансформатора. Пластинка твердого сплава закреплена в подвижной части вибратора, делающей около 100 движений в секунду; величина хода составляет несколько десятых долей миллиметра и легко регулируется. Пластинка подключена к катоду электроискровой установки и изолирована от частей вибратора, питающихся переменным током. Вибратор снабжен деревянной ручкой, при помощи которой вибратор вручную передвигается по поверхности обрабатываемого инструмента сначала вдоль его, а затем поперек. Продолжительность покрытия определяется по виду поверхности, но она не должна быть излишней, так как это приводит к разрушению карбидов упрочненного слоя. Рабочее движение вибратора может также осуществляться при помощи любого механического приспособления. Иногда вместо вибратора в качестве контактной головки применяется дисковый аппарат.

Необходимо иметь в виду, что благодаря покрытию инструмента твердым сплавом методом многократного контактирования, при котором частицы твердого сплава переносятся в пластичном или жидком состоянии, затрудняется получение гладкой поверхности и всегда имеется небольшая шероховатость поверхности после нанесения твердого сплава. Однако путем тщательного подбора соответствующих режимов удается получить достаточную чистоту поверхности, при которой неровности не превышают допустимой величины.

Сцепление твердосплавного покрытия с металлом получается весьма плотное и надежное. Толщина твердосплавного покрытия невелика, она зависит от электрического режима, но не превышает максимальной величины 0,1 *мм*. После упрочнения механическая обработка очень трудна и может заключаться лишь в доводке чугунным притиром шаржиро-

* См. Е. Я. Улицкий, Нанесение покрытий твердыми сплавами на режущий инструмент, ВНИИ, 1949.

ванным карбидом бора или она вовсе отсутствует. В зависимости от материала электродов и от формы изделий применяются различные электрические режимы обработки, которые отличаются величиной тока короткого замыкания и величиной емкости, а иногда меняется и напряжение тока. Обычно величина тока короткого замыкания не превышает 4 *а*, а величина емкости колеблется от 20 до 400 *мкф*. Различные электрические режимы обработки определяют собой как степень упрочнения, так и чистоту поверхности изделий. Электрические режимы разделяются на грубые, средние и чистовые, применяемые в зависимости от вида и материала инструмента. Иногда вместо постоянного тока пользуются для нанесения твердосплавных покрытий переменным током, но для инструментов применение постоянного тока дает лучшие результаты. Большое внимание уделяется подготовке поверхности изделий к покрытию. Поверхность инструмента, подвергаемого упрочнению электроискровым способом, должна быть чистой, без окалины, ржавчины и грязи; рекомендуется протирка изделий перед операцией щетками и концами.

Электроискровое покрытие твердыми сплавами осуществляется на режущих инструментах различного вида; такой обработке могут подвергаться резцы, фрезы, сверла, зенкеры, протяжки и пр.

В результате покрытия твердыми сплавами достигается повышение стойкости режущего инструмента от 2 до 4 раз; в некоторых случаях повышение достигает 6 раз.

Этой обработке обычно подвергаются режущие инструменты из быстрорежущей стали марок РФ1 и ЭИ262 после термической обработки, шлифования и заточки.

Однако следует иметь в виду, что повышение стойкости наблюдается не во всех случаях. Эффект повышения стойкости в результате электроискрового покрытия твердыми сплавами зависит от режимов резания и свойств обрабатываемого материала. Обычно при чистовых режимах резания не наблюдается повышения стойкости в результате твердосплавных покрытий, следовательно, здесь эта обработка нецелесообразна.

Наоборот, большой эффект повышения стойкости наблюдается при обработке легированных сталей, при высоком пределе прочности или при значительной вязкости обрабатываемого материала. Так, например, значительное повышение стойкости наблюдается при обработке сталей марок РФ1, ЭИ262, ШХ15, 18ХНМА, сталей аустенитного класса и чугунов высокой твердости.

Большое значение имеет также и способ нанесения твердых сплавов на поверхность инструментов, например, фрезы, протяжки и зенкеры следует покрывать твердым сплавом по задней поверхности, покрытие резцов следует производить лишь по передней поверхности.

Правильное проведение процесса электроискрового покрытия твердыми сплавами обеспечивает большой эффект в народном хозяйстве. Этот процесс является одним из новейших и многообещающих способов облагораживания режущих лезвий инструментов.

ГЛАВА XVII

АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В обработке металлов резанием широко применяются абразивные материалы. Эти материалы получаются из минералов, горных пород, а также из карбидов вольфрама, бора и других соединений высокой твердости.

Все абразивные материалы разделяются на естественные и искусственные.

Естественными абразивными материалами являются: 1) алмаз, 2) корунд, 3) наждак, 4) кремень, 5) кварц, 6) гранат, 7) пемза.

Алмаз — одна из разновидностей кристаллического углерода. Он является наиболее твердым материалом, редко встречающимся в природе. Будучи самым твердым, алмаз в то же время очень хрупок, а потому плохо выносит ударную нагрузку.

Для технических целей применяются три вида алмазов: бортсы, баллассы и карбонады. Алмазы применяются для изготовления специальных алмазных резцов, служащих для тонкого точения, правки и обточки шлифовальных кругов. Для этого применяются алмазы продолговатой формы. Кроме цельных алмазов применяются алмазные крошки и пыль, служащие для заточки алмазных резцов. Такие крошки, заделанные зачеканкой или пайкой в специальные державки, применяются также и для правки шлифовальных кругов. Широкое распространение для правки кругов находят и алмазно-металлические карандаши, имеющие форму цилиндриков из специального сплава, в который впрессована алмазная крошка.

Корунд — минерал, состоящий из окиси алюминия (глинозема) и небольшого количества разнообразных примесей. Его твердость — от 6 до 8 по шкале Мооса. За последнее время естественный корунд применяется редко, так как более качественным является искусственный корунд.

Наждаки по своему составу относятся к корунду. Они менее тверды и имеют больше посторонних примесей. Наждаки находят применение для изготовления абразивных шкурок, а также порошков для полирования.

Кремень встречается в природе в виде породы, гальки и песка. Имея твердость 7—8-го класса по шкале Мооса, он применяется для изготовления абразивных шкурок.

Кварц — чистый кремнезем (SiO_2), встречается в природе в виде больших массивов и песка. Имея твердость, близкую к 8-му классу по шкале Мооса, он применяется для изготовления ведущих кругов при бесцентровом шлифовании, заменяя более дорогой абразивный материал — алунд. Кварц применяется также для изготовления брусочков и оселков.

Гранат — минерал, имеющий твердость 7—8-го класса по шкале Мооса. Применяется редко и в основном для изготовления абразивных шкурок.

Пемза — пористое вулканическое стекло, имеющее твердость 6-го класса. Применяется в основном для изготовления притирочных абразивов.

Искусственными абразивными материалами являются: 1) искусственный корунд, 2) карборунд, 3) карбиды бора и других металлов.

Искусственный корунд (электрокорунд — Э, алунд, алоксит) получается путем электроплавки бокситов. Бокситы (глины) состоят в основном из окиси алюминия (Al_2O_3) и некоторых примесей. При плавке (температура 2200—2400° С) из бокситов выделяются примеси, а окись алюминия кристаллизуется, образуя корунд, называемый часто алундом. Такой корунд отличается от естественного большей однородностью и большим содержанием окиси алюминия (до 99%). Твердость и вязкость корунда зависят от содержания окиси алюминия. Чем больше в корунде окиси алюминия, тем больше твердость, но меньше вязкость. Корундовые зерна применяются для обработки сырых и закаленных сталей, а также ковкого чугуна.

Лучшим сортом корунда является белый алунд (ЭБ), содержащий 98—99% кристаллической окиси алюминия. Он приготовляется из чистого глинозема и применяется для притирочных работ и полирования.

Карборунд — один из наиболее распространенных искусственных материалов. Он представляет собой карбид кремния (углеродистый кремний), получаемый из кварцевого песка при сплавлении его с углеродом (угольным порошком). При нагревании в электропечах до температуры 1920° С кремнезем, содержащийся в кварцевом песке, вступает во взаимодействие с углеродом, образуя при этом карбид кремния.

Карборунд обладает высокой твердостью, уступая, однако, карбиду бора и алмазу. Зерна карборунда имеют острые края и образуют при раскалывании острые режущие кромки. Обладая высокими режущими свойствами, он имеет крупный недостаток — хрупкость. Карборунд применяется при обработке материалов с малым разрывным сопротивлением, к которым относятся чугун, бронзовое литье, алюминиевое литье и др. В связи с его хрупкостью (малой вязкостью) он неприменим при обработке закаленных сталей.

Карборунд применяется и для обработки (шлифования) твердых сплавов. Но в этом случае требуется карборунд высшего качества, так называемый зеленый карбид кремния (КЗ). Он более тверд, чем обычный (черного цвета — КЧ), но менее вязок. При изготовлении зеленого карборунда применяется чистый кварцевый песок (с содержанием кремния сверх 99%) и более чистый углерод.

Высокие твердость и режущие свойства карборунда дают возможность применять его и для правки шлифовальных кругов, исключая тем самым применение дефицитных алмазов.

Карбид бора представляет собой химическое соединение бора с углеродом. Он обладает большой твердостью, приближающейся к алмазу, но хрупок. Применяется для доводки твердых сплавов, притирочных работ, резки драгоценных камней и других работах, требующих высокой твердости режущего инструмента.

Зерна рассмотренных абразивных материалов соединяются с помощью специальных связующих веществ и применяются в работе в виде шлифовальных кругов, брусков, шкурок, паст и т. п.

ЗЕРНИСТОСТЬ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Размельчение абразива в мелкие зерна производится в шаровых мельницах. После этого зерна сортируются по размерам. Сортировка производится просеиванием зерен (порошков) в специальных ситах, имеющих определенное количество отверстий на погонном дюйме. Номер зернистости порошка присваивается по тому ситу, которое он прошел последним, перед тем как задержаться на более мелком сите. Например, если зерна прошли через сито, имеющее 24 отверстия на погонном дюйме, и задержались на следующем более мелком, имеющем 36 отверстий, то зернам присваивается № 24. Кроме ситового анализа (для зерен зернистостью № 10 до 220) сортировка на размер производится:

а) микроскопическим анализом — для зерен зернистостью от М28 до М5;

б) комбинированным анализом — для зерен зернистостью от 240 до 320. Эти методы анализа установлены ГОСТ 3648-47.

Микроскопический анализ материала производится при помощи микроскопа с увеличением не менее 400, снабженного окулярным микрометром. Для подсчета числа зерен при анализе применяют специальный прибор (пуш-интегратор Глаголева).

Комбинированный анализ заключается в том, что сначала применяется ситовой анализ, а затем микроскопический.

Мелкозернистые порошки иногда называются минутниками. Это название сохранилось с тех пор, когда они получались способом отмучивания. Для этого абразивный порошок взмучивали в сосуде с водой высотой 1 *м* и через $^1/_8$ мин. воду сливали. На дне оставались наиболее крупные зерна, успевшие осесть за это время. Слитую воду отстаивали $^1/_4$ мин. и снова сливали. Затем сливание производилось через $^1/_2$ мин., 1, 2, 3, 5 и т. д. до 240 мин. Зерна, осевшие в течение 1 мин., назывались минутниками, в течение пяти минут — пятиминутниками и т. д.

Зерна, применяющиеся для изготовления абразивного инструмента, имеют размер от 3,5 до 5000 *мк*. В зависимости от размера зерен по ГОСТ 3647-47 устанавливаются следующие их номера (зернистость): 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 30, 36, 40, 46, 54, 60, 70, 80, 90, 100,

120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, М28, М20, М14, М10, М7 и М5. Наибольший размер зерна имеет номер 10, наименьший — М5.

По ГОСТ 3647-47 в зависимости от номера зернистости устанавливаются три группы дробленых абразивных материалов: шлифзерно — номер зернистости с 10 по 90 включительно; шлифпорошки — номер зернистости с 100 по 320 включительно; микропорошки — номер зернистости с М28 по М5. Крупные зерна применяются для черновых (обдирочных) работ, мелкие — для чистовых работ.

СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Для соединения зерен в целое тело применяется связка. Связующие (цементирующие) вещества делятся на две группы: 1) органические, 2) неорганические. Органическими связками являются: вулканитовая В, бакелитовая Б, шеллаковая Ш и олеонитовая О.

Вулканитовая связка состоит из каучука (резины) и серы (30%). Она получается смешением размягченной бензином резины с серой. Абразивный инструмент, изготовленный на вулканитовой связке, обладает высокой прочностью, эластичностью и не боится влаги. Благодаря прочности и эластичности инструмент на такой связке может иметь малую толщину (0,5 *мм*) при большом диаметре (до 150 *мм*), что для отдельных работ является очень важным. Шлифовальные круги на вулканитовой связке допускают большие окружные скорости (до 75 *м/сек*). Недостатком этой связки является быстрое засаливание абразивного инструмента, что снижает его производительность.

Бакелитовая связка состоит из бакелита — искусственной смолы, приготовляемой из карболовой кислоты и формалина. Круги на этой связке прочны, эластичны, допускают большие окружные скорости вращения, но разрушаются от действия щелочной (более 1,5%) охлаждающей жидкости. Для избежания этого рекомендуется пропитка круга парафином.

Шеллаковая связка состоит из шеллака — дорогого материала, образующегося на листьях некоторых растений. Круги на этой связке более мягки, чем на вулканитовой и бакелитовой. В последнее время эта связка применяется очень редко.

Олеонитовая связка состоит из окисленного масла (олифы). Она имеет те же качества, что и шеллаковая, и за последнее время также редко применяется.

Неорганическими связками являются керамическая (К), магнезиальная (М) и силикатная (С).

Керамическая связка получила наибольшее распространение. Она приготовляется из огнеупорной глины, полевого шпата, кварца, талька, мела и жидкого стекла. Основным материалом являются первые три. Связка эта огнеупорна и химически стойка, а абразивные инструменты, приготовленные на ней, обладают большой производительностью, хорошо сохраняют профиль рабочей кромки, не боятся влаги. Недостатком керамической связки является хрупкость, что делает абразивные инструменты чувствительными к ударной нагрузке.

Минеральные связки, к которым относятся магнезиальная (магнезит и хлористый магний) и силикатная (смесь глины, кремневой пыли и жидкого стекла), дают мягкий абразивный инструмент, малопрочный и малопроизводительный.

Магнезиальная связка к тому же дает абразивный инструмент, чувствительный к влаге и холоду, а потому может применяться при обработке всухую.

Силикатная связка имеет слабую сцепляемость с зерном. Как и магнезиальная, силикатная связка применяется редко.

ФОРМЫ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Абразивный инструмент, имеющий в качестве режущего элемента зерна абразивных материалов, соединенные связующими веществами в тело определенной формы, применяется как для предварительной, так и окончательной (чистовой) обработки поверхностей. Он имеет широкое распространение и употребляется в виде шлифовальных кругов, сегментов, головок, брусков, шкурок, паст, порошков.

Для изготовления кругов, сегментов и брусков составляется масса *из абразивного зерна и связки, взятых в определенной пропорции. Эта* масса тщательно перемешивается и увлажняется раствором жидкого стекла (для прессованного инструмента) или водой (для литого инструмента). При изготовлении способом прессования эта масса, пропущенная через сито, закладывается в формы (соответствующие форме получаемого инструмента) и прессуется под большим давлением. Прессованные образцы поступают в сушилки с температурой 100—120° С, время пребывания в которых зависит от размеров инструмента. После сушки образцы подвергаются отжигу в специальных печах при температуре около 1300° в течение 45—145 час.

При изготовлении способом литья увлажненную водой массу разливают по соответствующим формам и подвергают сушке. Перед обжигом высохшие литые образцы подвергаются механической обработке, что делается для придания им более правильной формы.

Изготовление прессованием требует меньше времени и делает инструмент более качественным, чем при изготовлении литьем. В связи с этим абразивный инструмент в настоящее время изготовляется способом прессования.

Прессование дает возможность получения структурного абразивного инструмента, т. е. инструмента с соответствующим количественным соотношением между зернами, связкой и порами. Структурный абразивный инструмент имеет 13 номеров структур (№ 0 — 12), которые делятся на три группы: плотные (№ 0, 1, 2, 3), среднеплотные (№ 4, 5, 6) и открытые (№ 7, 8, 9, 10, 11, 12).

Номер структуры определяет промежутки между зернами. Чем больше номер, тем больше промежуток (поры). Правильно назначенный по структуре абразивный инструмент будет способствовать меньшему заполнению пор стружкой, а следовательно, и повышению производительности.

Инструмент с плотной структурой прочен, хорошо сохраняет форму и рекомендуется для чистовых и фасонных работ, а также при шлифовании материалов, вызывающих большие усилия.

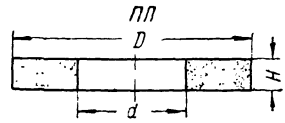
Инструмент со среднеплотной структурой рекомендуется для обработки изделий из закаленных сталей, для заточки режущего инструмента, для всех видов круглого шлифования и для плоского шлифования периферией круга.

Абразивный инструмент с открытой структурой применяется при обработке вязких и мягких металлов и при плоском шлифовании торцом круга.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ

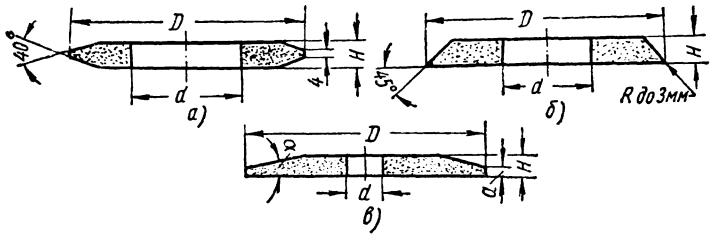
Абразивные (шлифовальные) круги являются наиболее распространенным видом абразивного инструмента. Форма сечений и обозначения шлифовальных кругов даются в ГОСТ 2424-44.

Шлифовальные круги разбиваются на следующие группы: 1) круги плоские прямого профиля; 2) круги плоские конического профиля; 3) круги плоские с выточкой; 4) круги плоские рифленые; 5) круги плоские наращенные; 6) круги-диски; 7) круги-кольца; 8) круги-чашки; 9) круги-тарелки; 10) круги специального назначения. Технические условия на них даются в ГОСТ 4785-49.



Фиг. 473. Плоские круги прямого профиля.

Плоские круги прямого профиля (ПП) делаются с размерами по ГОСТ 2425-44. В зависимости от размера и связки эти круги (фиг. 473) делятся на круги общего назначения, круги специального назначения и круги ограниченного применения.

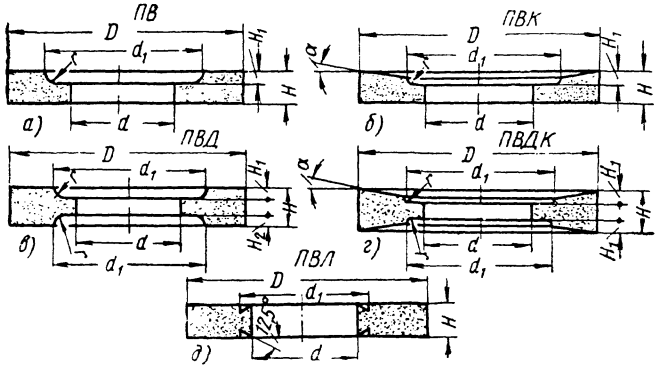


Фиг. 474. Плоские круги конического профиля:
а — форма 2П; *б* — форма 3П; *в* — форма 4П.

Плоские круги прямого профиля применяются для круглого наружного, внутреннего и бесцентрового шлифования, для плоского шлифования периферией круга и для заточки резцов. В последнем случае в качестве рабочей поверхности используются как торцевые, так и цилиндрическая.

Плоские круги конического профиля имеют три формы (фиг. 474, *а*, *б*, *в*) и делаются с размерами по ГОСТ 2426-44. Форма 2П имеет конический профиль с двух сторон, образующих между собой

угол 40°. Между ними делается цилиндрическая поверхность шириной 4 *мм*. Форма 3П имеет конический профиль в 45° с одной стороны, с закруглением R до 3 *мм* в месте перехода от конической поверхности к торцевой. Форма 4П имеет коническую поверхность с одной стороны под углом $\alpha = 10 \div 30°$ и цилиндрическую поверхность шириной $a = 2—4$ *мм*. Форма 2П применяется для шлифования зубьев шестерен и шлифования резьбы, форма 3П — для заточки пил, форма 4П — для шлифования зубьев шестерен и заточки режущего инструмента.

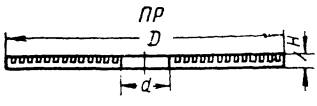


Фиг. 475. Плоские круги с выточкой:
а — форма ПВ; *б* — форма ПВК; *в* — форма ПВД; *г* — форма ПВДК; *д* — форма ПВЛ.

Плоские круги с выточкой имеют пять форм:

а) плоские с односторонней выточкой — ПВ (фиг. 475,*а*), размеры по ГОСТ 2427-44;

б) плоские — с односторонней конической выточкой — ПВК (фиг. 475,*б*), размеры по ГОСТ 2428-44;



Фиг. 476. Плоский рифленый круг.

в) плоские с двухсторонней выточкой — ПВД (фиг. 475, *в*), размеры по ГОСТ 2429-44;

г) плоские с двухсторонней конической выточкой — ПВДК (фиг. 475, *г*), размеры по ГОСТ 2430-44;

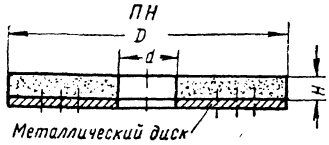
д) плоские с выточкой в виде ласточкина хвоста — ПВЛ (фиг. 475, *д*), размеры по ГОСТ 2431-44.

В выточки кругов форм ПВ, ПВД, ПВК и ПВДК помещаются зажимные фланцы, что дает возможность более свободно подвести круг к обрабатываемому изделию и совместить круглое шлифование с подрезкой торца. Форма ПВД применяется также при бесцентровом шлифовании (для ведущих кругов). Круги этой формы делаются как общего, так и специального назначения.

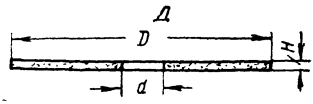
Плоские круги с выточкой в виде ласточкина хвоста ПВЛ обеспечивают более надежное крепление круга во фланцах. Они применяются для тяжелых обдирочных работ и заточки крупных резцов.

Плоские рифленые круги ПР (фиг. 476) делаются больших размеров на бакелитовой связке (ГОСТ 2432-44). Наружный диаметр $D =$

$= 500 \div 1830$ *мм*, диаметр отверстия $d = 50 \div 400$ *мм* при $H = 13$—16 *мм*. Круги с $D = 1340$ и 1380 *мм* состоят из 6 секторов. Эти круги применяются для обдирки крупных деталей на специальных станках. Рифления (ячейки) уменьшают поверхность соприкосновения круга с изделием, что уменьшает тепловыделение в процессе шлифования.



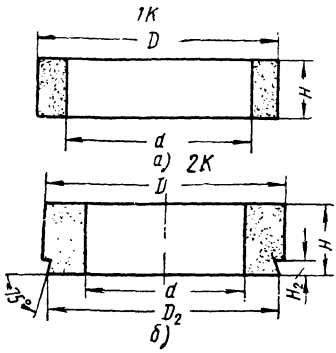
Фиг. 477. Плоский наращенный круг.



Фиг. 478. Шлифовальный круг-диск.

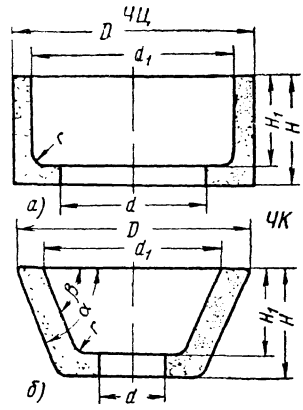
Они способствуют также уменьшению засаливания круга, так как стружка, выкрошенные зерна и связка будут попадать в эти ячейки и меньше вдавливаться в рабочую поверхность шлифовального круга.

Плоские наращенные круги ПН (фиг. 477) делаются также больших размеров (ГОСТ 2433-44) и на бакелитовой связке. Круги с $D = 1340$ *мм* состоят из 4—6 секторов, а круги с $D = 1830$ *мм* —



Фиг. 479. Шлифовальные круги-кольца:

а — форма 1К; *б*— форма 2К.



Фиг. 480. Шлифовальные круги-чашки:

а—цилиндрические; *б*—конические.

из 6—8 секторов. Металлический диск укрепляет круг, что дает возможность применять его для обдирочных работ на специальных станках.

Шлифовальные круги-диски Д (фиг. 478) делаются малой толщины (ГОСТ 2434-44). Толщина диска $H = 0{,}5 \div 5$ *мм*, $D = 50 \div 500$ *мм*, $d = 10 \div 25$ *мм*. Они изготовляются на вулканитовой или бакелитовой связке, что обеспечивает им высокую прочность и упругость даже при малой толщине. Эти круги находят широкое применение для разрезки материала и прорезки пазов.

Шлифовальные круги-кольца по ГОСТ 2435-44 делаются двух форм: форма 1К (фиг. 479, *а*) и форма 2К (фиг. 479, *б*). Эти круги приме-

няются для плоского шлифования торцом. Крепятся они на планшайбе станка наклейкой с помощью специальных клеящих веществ.

Шлифовальные круги-чашки делаются двух форм: а) цилиндрические ЧЦ по ГОСТ 2436-44 (фиг. 480, *а*); б) конические ЧК по ГОСТ 2437-44 (фиг. 480, *б*).

Цилиндрические чашки применяются для плоского шлифования торцом, имея более надежное (фланцевое) крепление по сравнению с шлифовальными кругами-кольцами. Они, как и круги-кольца, имеют меньшую поверхность соприкосновения с обрабатываемым изделием, чем круги ПР и ПН.

Это очень важно с точки зрения уменьшения тепловыделения, так как при плоском торцевом шлифовании оно значительно больше, чем при других видах шлифования. Большое же тепловыделение приводит к прижогам обрабатываемых изделий, а при плоском торцевом шлифовании тонких изделий — и к короблению их. Во избежание этого тонкие плоские детали шлифуются не торцом круга, а периферией, когда поверхность соприкосновения меньше, а следовательно, меньше и тепловыделение.

Конические чашки применяются для заточки режущего инструмента. Работа ведется торцом чашки, который вследствие малой поверхности легко поддается правке. Коническая форма чашки облегчает подвод затачиваемого инструмента к рабочей поверхности круга.

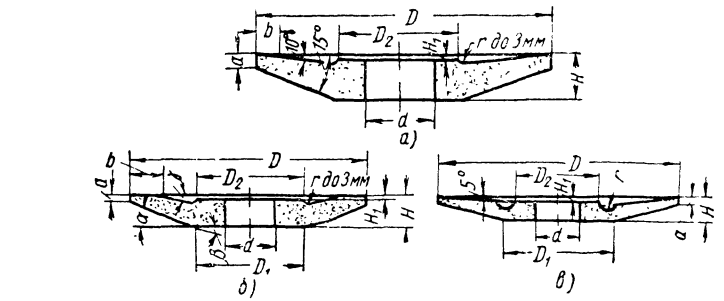
Шлифовальные круги-тарелки по ГОСТ 2438-44 делаются трех форм: 1Т, 2Т и 3Т.

Форма 1Т (фиг. 481, *а*) делается с конической поверхностью, составляющей с торцом угол 15°. Торцевая поверхность диаметра D имеет плоскость (кольцо) шириной $b = 4 \div 13$ *мм*. Круги этой формы применяются для заточки инструмента.

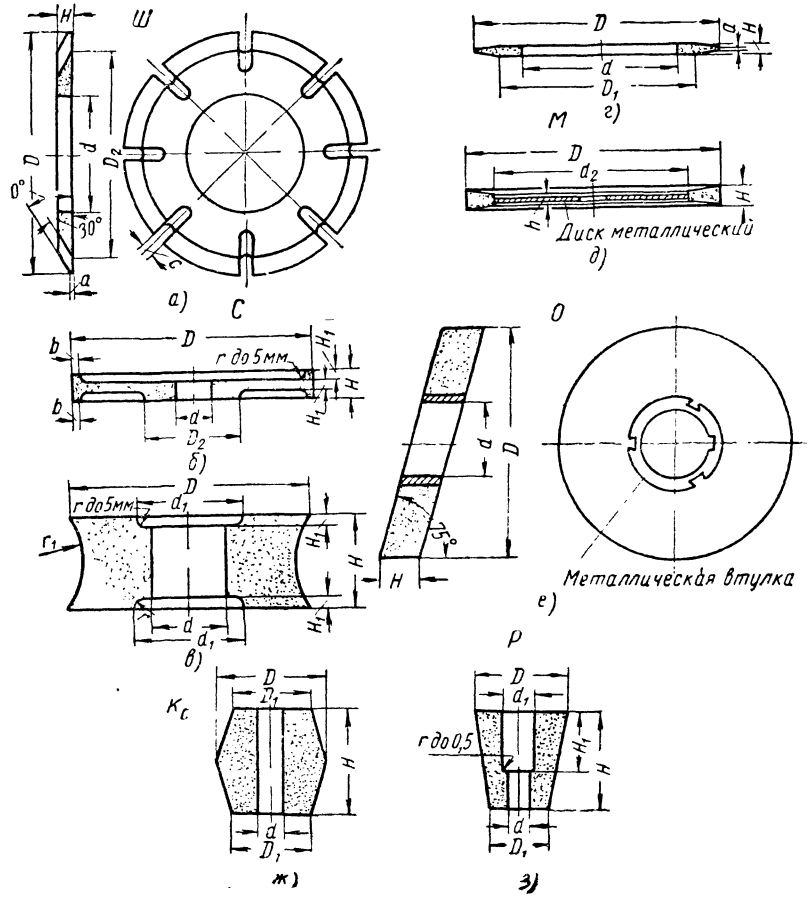
Форма 2Т (фиг. 481, *б*) имеет две конические поверхности с одной стороны торца: под углом $\alpha = 25°$ и под углом $\beta = 5 \div 15°$. Ширина торцевой рабочей поверхности $b = 15 \div 18$ *мм*. Форма 2Т выпускается одного наружного диаметра $D = 175$ *мм* при $H = 16$ *мм* и $H = 20$ *мм*. Двойная коническая поверхность облегчает правку круга по конической поверхности, которая при заточке винтовых поверхностей режущего инструмента является рабочей поверхностью.

Форма 3Т (фиг. 481, *в*) не имеет плоскости на рабочей торцевой поверхности. Это уменьшает поверхность соприкосновения круга с изделием, а следовательно, уменьшает и тепловыделение. Круги этой формы делаются на керамической связке и применяются для шлифования зубьев зуборезных долбяков и шестерен.

Круги специального назначения делаются по ГОСТ 2439-44 для шлифования зубьев шестерен (фиг. 482, *а*), по ГОСТ 2440-44 — для шлифования калибровых скоб (фиг. 482, *б*), по ГОСТ 2441-44 — для заточки иголок (фиг. 482, *в*), по ГОСТ 2442-44 — для заточки кард (фиг. 482, *г*), по ГОСТ 2443-44 — для разрезки минералов (фиг. 482, *д*), по ГОСТ 2444-44 — для обработки огнеупоров (фиг. 482, *е*), по ГОСТ 2445-44 — для заточки ножей косилок (фиг. 482, *ж*), по ГОСТ 2446-44 — для доводки разверток (фиг. 482, *з*).



Фиг. 481. Шлифовальные круги-тарелки:
а — форма 1Т; *б* — форма 2Т; *в* — форма 3Т.

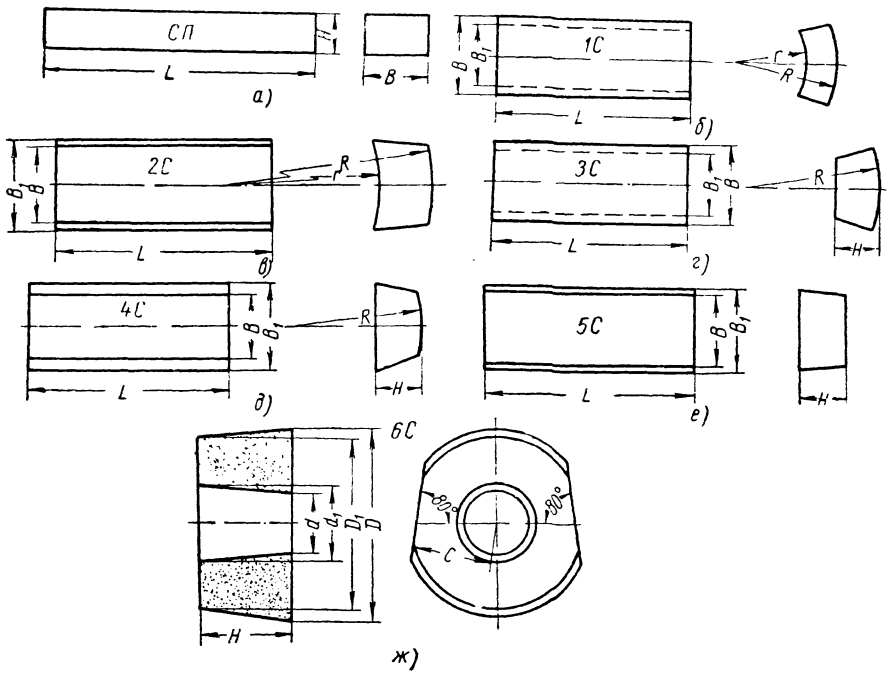


Фиг. 482. Шлифовальные круги специального назначения:
а — форма Ш; *б* — форма С; *в* — форма И; *г* — форма Кр; *д* — форма М; *е* — форма О; *ж* — форма Кс; *з* — форма Р.

СЕГМЕНТЫ

Цельные шлифовальные круги больших размеров неэкономичны при работе на плоскошлифовальных станках. В случае повреждения какой-либо части круга зачастую приходится менять весь шлифовальный круг.

Более рациональными кругами для плоского шлифования являются сегментные круги, состоящие из отдельных сегментов, закрепленных тем или иным способом в головке или оправке. При повреждении какого-



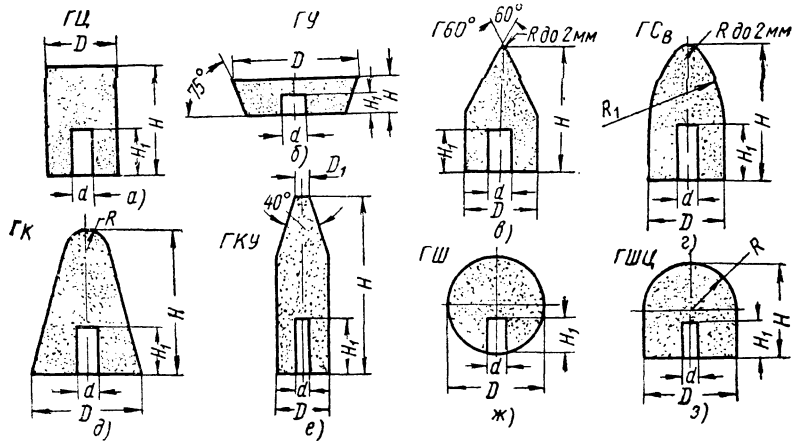
Фиг. 483. Шлифовальные сегменты:

а — форма СП; *б* — форма 1С; *в* — форма 2С; *г* — форма 3С; *д* — форма 4С; *е* — форма 5С. *ж* — форма 6С.

либо сегмента он легко заменяется другим. Пространство между сегментами облегчает подвод смазочно-охлаждающей жидкости к месту резания, а также отвод стружки и отработанных частиц круга. По ГОСТ 2464-44 сегменты выпускаются плоскими СП (ГОСТ 2465-44, фиг. 483, *а*), выпукло-вогнутыми — 1С (ГОСТ 2466-44, фиг. 483, *б*), вогнуто-выпуклыми — 2С (ГОСТ 2467-44, фиг. 483, *в*), выпукло-плоскими — 3С (ГОСТ 2468-44, фиг. 483, *г*), плоско-выпуклыми — 4С (ГОСТ 2469-44, фиг. 483, *д*), трапециевидными — 5С (ГОСТ 2470-44, фиг. 483, *е*), специальными — 6С (ГОСТ 2471-44, фиг. 483, *ж*). Технические условия на сегменты даются в ГОСТ 4786-49.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

Для обработки фасонных внешних и внутренних поверхностей и для снятия заусенцев применяются шлифовальные головки, которые крепятся обычно на гибком валу (шпинделе) специального опиловочно-зачистного станка. По ГОСТ 2447-44 эти головки делаются: цилиндрическими — ГЦ (ГОСТ 2448-44, фиг. 484, *а*), угловыми — ГУ (ГОСТ 2449-44, фиг. 484, *б*), коническими с углом конуса 60° — Г60 (ГОСТ 2450-44, фиг. 484, *в*), сводчатыми — ГСв (ГОСТ 2451-44, фиг. 484, *г*), коническими с закругленной вершиной — ГК (ГОСТ 2452-44, фиг. 484, *д*),



Фиг. 484. Шлифовальные головки:

а — форма ГЦ; *б* — форма ГУ; *в* — форма Г60°; *г* — форма ГСв; *д* — форма ГК; *е* — форма ГКУ; *ж* — форма ГШ; *з* — форма ГШЦ.

коническими усеченными — ГКУ (ГОСТ 2453-44, фиг. 484, *е*), шаровыми — ГШ (ГОСТ 2454-44, фиг. 484, *ж*), шаровыми с цилиндрическими боковыми поверхностями — ГШЦ (ГОСТ 2455-44, фиг. 484, *з*). Диаметр головок $D = 4 \div 50$ *мм*; все они делаются на керамической связке. Форма ГЦ применяется также для внутреннего шлифования и заточки плашек.

Технические условия на головки даются в ГОСТ 4785-49.

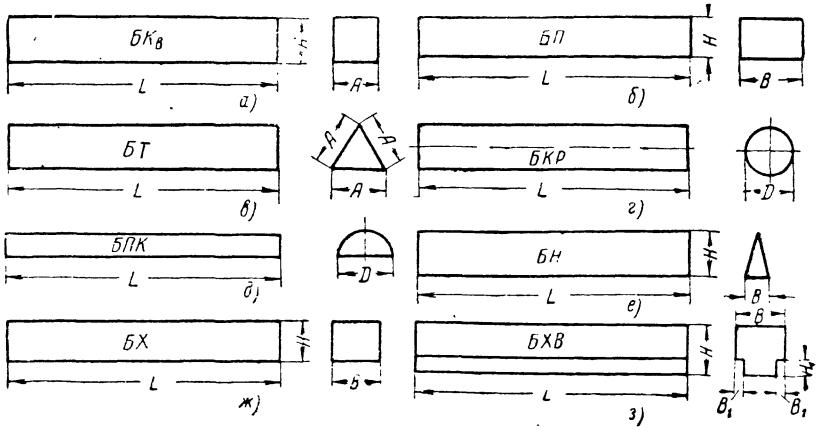
ШЛИФОВАЛЬНЫЕ БРУСКИ

Для ручных работ абразивный инструмент делается в виде шлифовальных брусков. Бруски применяются также и для отделочных операций — хонингования и суперфиниширования. В этих случаях они крепятся в специальных головках.

Формы сечений брусков даются в ГОСТ 2456-44, технические условия в них — в ГОСТ 4786-49. Они бывают квадратными — БКв (ГОСТ 2457-44, фиг. 485, *а*), плоскими — БП (ГОСТ 2458-44, фиг. 485, *б*), трехгранными — БТ (ГОСТ 2459-44, фиг. 485, *в*), круглыми — ВКР

(ГОСТ 2460-44, фиг. 485, *г*), полукруглыми — БПК (ГОСТ 2461-44, фиг. 485, *д*), ножевидными — БН (ГОСТ 2462-44, фиг. 485, *е*). Для хонингования и суперфиниширования выпускаются бруски плоские — БХ (ГОСТ 2463-44, фиг. 485, *ж*) и с выточками — БХВ (ГОСТ 2463-44, фиг. 485, *з*). Для хонингования применяются также и квадратные бруски формы БКв.

Бруски делаются на керамической или бакелитовой связке. В качестве абразивного (режущего) материала для хонинговальных брусков



Фиг. 485. Шлифовальные бруски:

а — форма БКв; *б* — форма БП; *в* — форма БТ; *г* — форма БКр; *д* — форма БПК; *е* — форма БН; *ж* — форма БХ; *з* — форма БХВ.

применяются высококачественные карборунд или искусственный корунд (алунд) зернистостью от 120 до М14 с регулируемой структурой. Для простых брусков применяется также и естественный корунд Семиз-Бугу. Для суперфиниширования кроме брусков применяются чашечные и плоские круги зернистостью от 320 до М14.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ШКУРКИ

Одним из видов абразивного инструмента являются шлифовальные шкурки. Они состоят из основы, на которую наклеены абразивные зерна. В качестве основы применяются бумага и хлопчатобумажные ткани. Лучшей бумагой является специальная наждачная бумага, обладающая высокой прочностью и гибкостью. Из хлопчатобумажных тканей применяют нанку, миткаль, бязь и др. Применяется также комбинированная основа, состоящая из бумаги и хлопчатобумажной ткани (миткаль или марля).

В качестве абразивного материала употребляются зерна карборунда, алунда (искусственного электрокорунда), наждака, кремния, кварца, пемзы, крокуса (окиси железа) и др. В зависимости от размера абразива шкурке присваивается соответствующий номер.

Номер шкурки												
М14	М20	М28	10М	0000	000	00	0	1	2	3	4	5
Номер зернистости												
600	500	400	325	230	200	170	140	120	100	80	60	46

Крокус применяется зернистостью 200—325 и идет на изготовление так называемой бархатной шкурки. Для грубого полирования применяются шкурки крупнозернистые, а для тонкого — мелкозернистые.

Абразивные зерна крепятся на основе приклейкой их животными клеями (мездровым, костяным и желатиновым).

Кроме обычных имеются водоупорные и огнеупорные шкурки.

Для водоупорных шкурок основа пропитывается специальными составами, предохраняющими ее от разрушения при работе с жидкостями. В качестве клея применяется бакелит. Водоупорная шкурка применяется на станках при мокром механическом полировании.

Огнеупорные шкурки также не боятся влаги и, кроме того, они не воспламеняются. Для этого основа шкурки пропитывается фосфорнокислым или сернокислым аммонием, высушивается, а затем покрывается раствором водонепроницаемого вещества.

Шкурки делаются в виде листов и лент.

АБРАЗИВНЫЕ ПАСТЫ

Притирка (доводка) является высококачественным процессом отделки поверхностей. Она состоит в относительных перемещениях изделия и жесткого притира с нанесенным на него слоем пасты, в которой находится абразивный порошок, связанный пластичной связкой. Пасты бывают твердые (брикетированные), мазеобразные и жидкие. Для их изготовления применяются порошки (зерна) наждака, корунда, искусственного корунда, карборунда, карбида бора и алмазная пыль. Эти зерна должны быть тверже обрабатываемого изделия, чтобы иметь возможность производить механическое удаление частиц металла. Зернистость абразивного материала колеблется от № 36 до М14. В состав связок для паст входят масла, воск, животные жиры, стеарин и др.

Кроме указанных твердых абразивов, входящих в состав паст, применяются мягкие абразивные и химически активные вещества. К пастам с таким абразивом относятся пасты ГОИ, у которых в качестве основного составляющего вещества входит порошок окиси хрома. Кроме окиси хрома в них находятся силикагель, олеиновая кислота, керосин и другие вещества, указанные в табл. 69.

Пасты ГОИ выпускаются трех сортов: грубая, средняя и тонкая. Грубая паста имеет наибольшую полирующую способность, но дает менее чистую обработанную поверхность. Тонкая паста, наоборот, имеет наименьшую полирующую способность, но зато дает более чистую

обработанную поверхность. Доводка пастами ГОИ представляет собой химико-механический процесс. На обрабатываемой поверхности металла образуется окисная пленка, которая сравнительно легко удаляется зернами окиси хрома.

Таблица 69

Состав паст ГОИ

Составляющие вещества	Процентное содержание		
	В грубой пасте	В средней пасте	В тонкой пасте
Окись хрома	81—86	75—80	70—75
Силикагель	2	2	2
Расщепленный жир	12—17	18—23	20—25
Олеиновая кислота	—	—	2
Двууглекислая сода	—	—	0,2
Керосин	2	2	—
Растительные соли	Следы	Следы	Нет

Доведенная такими пастами поверхность имеет более высокое качество, так как при обработке пастами с твердым абразивом имеет место нарушение структуры кристаллов поверхностного слоя, что снижает механическую прочность изделия. Однако более производительной является доводка пастами с твердым абразивом.

Порошки применяются не только в составе специально приготовленных паст, но и в более простом виде. В последнем случае они разводятся в керосине или машинном масле.

Выбор паст по абразивному материалу производится, как обычно. Для хрупких материалов (чугун) применяется карборунд, для вязких, с большим сопротивлением разрыву (сталь) — корунд и наждак. Карборунд применяется также для доводки изделий из цветных металлов.

Карбид бора применяется для доводки твердых сплавов. Алмазная пыль (мелкий порошок из кристаллов алмаза) применяется для доводки алмазных резцов.

ТВЕРДОСТЬ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

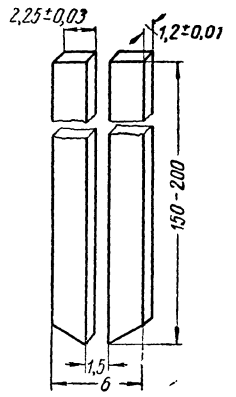
Под твердостью абразивного инструмента подразумевается способность связки удерживать зерно в инструменте от воздействия на него внешних усилий. Чем легче выкрашивается зерно из инструмента, тем мягче он, и наоборот. Твердость — важная характеристика абразивного инструмента, от которой во многом зависят производительность инструмента и качество обработанной поверхности. Слишком твердый круг будет способствовать возникновению прижогов изделия или требовать частой правки, так как затупившиеся зерна не будут иметь возможности самоудалиться (выкрошиться) из твердой связки и обнажить острые зерна. Работа же затупленными зернами приводит к большому тепловыделению и связанными с ним отрицательными факторами. Слишком мяг-

кий круг будет осыпаться, т. е. быстро изменять свою форму и размеры. В связи с этим для каждого конкретного случая обработки требуется инструмент определенной твердости.

Твердость абразивного инструмента характеризуется и определяется по ГОСТ 3751-47, согласно которому устанавливается следующая шкала твердости:

Твердость абразивов	Обозначение степени твердости
М—мягкий	М1, М2, М3
СМ—среднемягкий	СМ1, СМ2
С—средний	С1, С2
СТ—среднетвердый	СТ1, СТ2, СТ3
Т—твердый	Т1, Т2
ВТ—весьма твердый	ВТ1, ВТ2
ЧТ—чрезвычайно твердый	ЧТ1, ЧТ2

Из степеней твердости М1, М2 и М3 более мягким будет инструмент твердостью М1 и более твердым — М3. Такое же распределение твердости и в обозначениях СТ1, СТ2, СТ3 и др. Определение и контроль твердости абразивных инструментов производятся тремя методами.



Фиг. 486. Сверло для измерения твердости шлифовального круга.

Первый метод заключается в том, что на поверхность инструмента под давлением 1,5 *кг/см*^{2} из специального пескоструйного прибора выбрасывается струей определенное количество (применяются камеры емкостью 5 и 28 *см*^{3}) просеянного кварцевого песка. На инструменте образуется лунка, по глубине которой относят инструмент к той или иной шкале твердости. Этот метод применяется для определения твердости абразивного инструмента на керамической или бакелитовой связке зернистостью № 10—90.

По второму методу твердость определяется с помощью прибора для определения твердости. Под действием нагрузки 60 *кг* в абразивный инструмент вдавливается стальной шарик (диаметр шарика $^1/_4''$ или $^1/_8''$). Получаемая твердость по прибору с помощью таблиц переводится в шкалу твердости абразивного инструмента. Этим методом определяется твердость инструмента на керамической или бакелитовой связке зернистостью № 100—М14.

При третьем методе измерения твердости применяется специальный прибор АОТ-4. В патроне прибора закрепляется специальное плоское сверло, состоящее из двух пластинок прямоугольного сечения (фиг. 486). Пластинки делаются из инструментальной углеродистой стали У10А, закалены ($H_{R_C} = 50 \div 52$) и не имеют специальной заточки. В процессе работы сверло само образует профиль естественного износа, показанный на фиг. 486. Под действием постоянной нагрузки (25—35 *кг*) сверло, вращаясь, будет углубляться в абразивный инструмент. Прибором фиксируется число оборотов сверла при глубине лунки 2 *мм*. По числу оборотов сверла с помощью таблицы определяется шкала твердости. Этот метод применяется для инструмента на вулканитовой связке зернистостью № 24—120.

МАРКИРОВКА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Для конкретных условий обработки требуется инструмент с определенными физико-механическими данными. В связи с этим абразивный инструмент подвергается маркировке, в которой кратко дана полная характеристика круга (шлифующий материал, зернистость, твердость, связка, структура, форма и максимальная окружная скорость вращения). Например, маркировка

Э60СМ1К5

ПП150×50×65

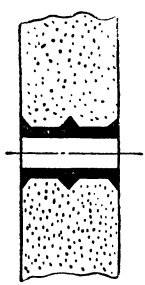
25 — 30 *м/сек*

обозначает, что инструмент из электрокорунда зернистостью 60, средней мягкости 1, на керамической связке, структура № 5; форма плоская, прямого профиля, с наружным диаметром 150 *мм*, шириной 50 *мм*, диаметром отверстия 65 *мм*; окружная скорость вращения — не более 25—30 *м/сек*.

ЗАКРЕПЛЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Абразивный инструмент во время работы должен быть надежно закреплен, что наряду с безопасной работой будет давать и высокое качество обработанной поверхности.

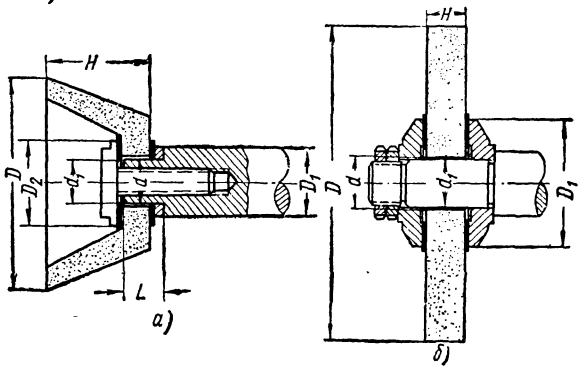
Шлифовальные круги перед установкой их на шпиндель станка должны быть тщательно проверены путем осмотра и простукивания. Круг должен свободно надеваться на шпиндель станка или на буртики зажимных фланцев. Диаметр отверстия круга должен быть на 0,5—0,8 *мм* больше диаметра поверхности, на которую он ставится. Для этого возможна расточка отверстия или его заливка с последующей расточкой под размер оправки. Заливка производится серо-бокситной или серо-глиняной массой, состав которой следующий: сера—80%, глина или боксит—20% (раньше для этой цели применялся дефицитный свинец). Для упрочнения слоя заливки в круге делают выточки (фиг. 487). Толщина залитого слоя не должна быть больше 6 *мм*, так как прочность его незначительна.



Фиг. 487. Выточки в круге.

Диаметр крепежных фланцев должен быть равен $^1/_2$—$^2/_3$ от диаметра круга. С внутренней стороны фланец должен иметь выточку, чтобы иметь соприкосновение с кругом по кольцевой поверхности, ширина которой делается от $^1/_3$ до $^1/_{16}$ от диаметра фланца. Между кругом и фланцами должны быть поставлены прокладки (резина, картон, кожа) толщиной 0,5—3 *мм* (в зависимости от диаметра круга). Круги обязательно должны быть ограждены предохранительными кожухами, которые делаются из железа толщиной не менее 3 *мм*. Кожух должен быть устроен и установлен так, чтобы открытая часть круга была наименьшей для условий данной работы.

Методов крепления шлифовальных кругов много. На шпинделе винтом (фиг. 488, *а*) крепятся круги форм ПП, ПВ, ЧЦ, ЧК, 4П, 1Т, на шпинделе фланцами (фиг. 488, *б*) — круги форм Д и форм ПП (диаметром больше 200 *мм*).



Фиг. 488. Крепление кругов на шпинделе:

а — винтом; *б* — фланцами.

Круги малых диаметров (до 70 *мм*) форм ПП, ПВ, Р могут крепиться на винте (фиг. 489).

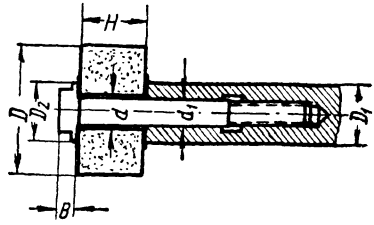
При посадке кругов на переходные втулки (когда диаметр отверстия круга больше диаметра отверстия) крепление может быть:

а) фланцем-гайкой (для кругов форм ПП, ПВ, ЧК, ЧЦ, 2П, ЧП, ПВД, фиг. 490, *а*);

б) во фланцах гайкой (для кругов формы ПП, 3П, 4П, С, ЧЦ, ЧК, фиг. 490, *б*);

в) во фланцах винтами (для кругов форм ПП, 4П, ПВ, ПВК, ПВД, ПВДК, фиг. 490, *в*);

г) крепление во фланцах с конической зажимающей поверхностью (для кругов формы ПВЛ, фиг. 490, *г*).



Фиг. 489. Крепление на винте.

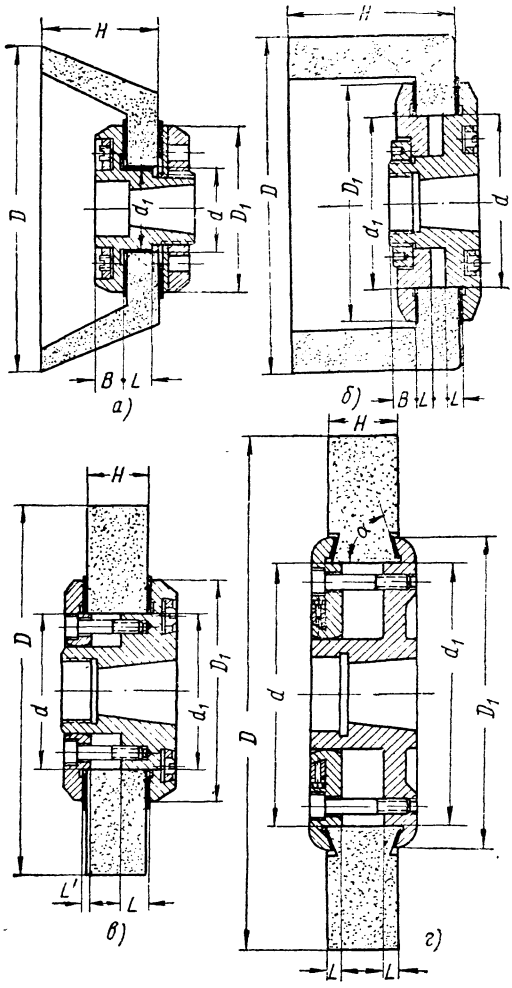
Круги-кольца форм 1К и 2К крепятся на планшайбе (фиг. 491, *а* и *б*). Форма 2К обеспечивает более надежное крепление, чем форма 1К. Эти круги закрепляются при помощи специальных связующих (клеящих) веществ, к которым относятся: концентрированный раствор хлористого магния и жженой магнезии, каменноугольный пек, сера, целлулоид, жидкий бакелит, густая бакелитовая смола с магнезиальным цементом и др.

Шлифовальные сегменты (СП) крепятся в специальной сегментной головке (фиг. 492).

Сегменты формы 6С наклеиваются на специальной сегментной оправке, которая механически закрепляется в специальной сегментной головке (фиг. 493).

Размеры мест посадок на указанные виды крепления приводятся в ГОСТ 2270-43 — 2273-43, ГОСТ 2275-43 и ГОСТ 2276-43.

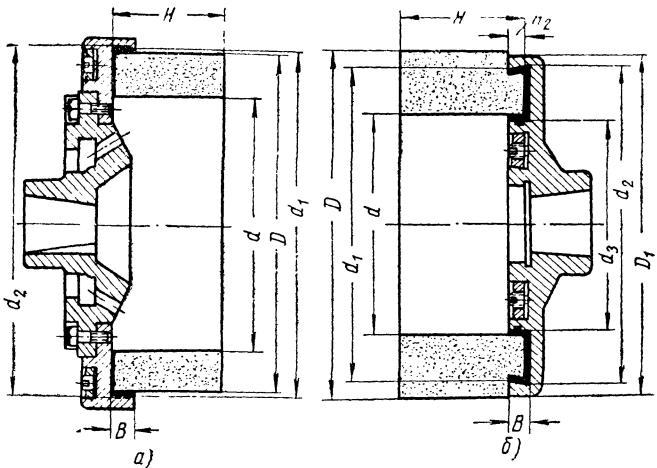
Шлифовальные круги перед установкой на станок должны быть тщательно отбалансированы. Балансирование кругов производится потому, что при высоких окружных скоростях динамические усилия, возникающие из-за неуравновешенности массы круга, могут достигнуть большой величины и привести круг к разрыву. Кроме того, дисбаланс отрицательно сказывается на износе станка, износе круга и качестве обработанной поверхности.



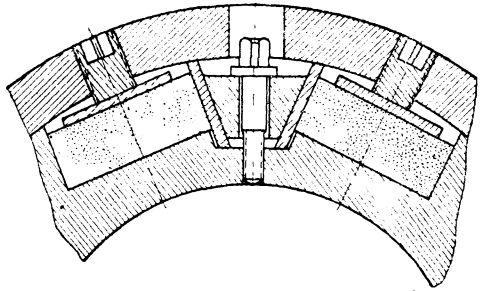
Фиг. 490. Крепление круга при посадке на переходные втулки:

а — фланцем-гайкой; *б* — во фланцах гайкой; *в* — во фланцах винтами; *г* — во фланцах с конической зажимающей поверхностью.

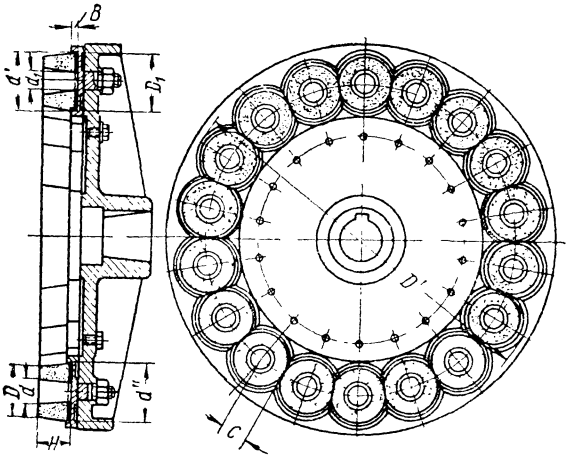
Статический дисбаланс шлифовального круга характеризует неуравновешенность шлифовального круга, вызванную несовпадением его центра тяжести с осью вращения. Для измерения статического дисбаланса круг монтируется на специальную балансировочную оправку и ставится в балансировочный станок. Кругу толчком дают медленное вращение. После его остановки отмечают верхнюю точку на периферии и крепят к ней зажим. Затем круг поворачивают на 90° и посредством зажима крепят к кругу подбором тот груз, который давал бы возможность остановки круга в любом положении. Вес груза и зажима и представляет собой статический дисбаланс круга, который должен находиться в пределах ГОСТ 3060-45. Кроме балансировки на заводе-изготовителе ее необходимо проводить и на заводе-потребителе. Отдельные станки имеют так называемые балансирные фланцы, которые с помощью сухариков дают возможность исключить дисбаланс непосредственно на станке.



Фиг. 491. Крепление кругов колец:
а — формы 1К; *б* — формы 2К.

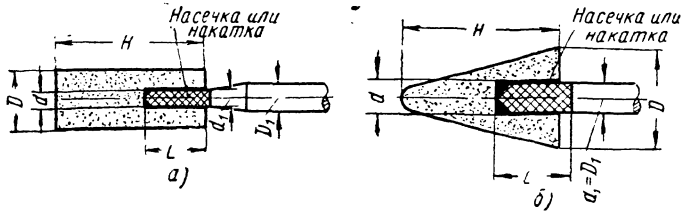


Фиг. 492. Закрепление сегментов СП.



Фиг. 493. Закрепление сегментов 6С.

Шлифовальные головки крепятся на шпильке с помощью связующего вещества. Конец шпильки для прочности крепления делается насеченным или накатанным (фиг. 494). Подобным образом могут кре-



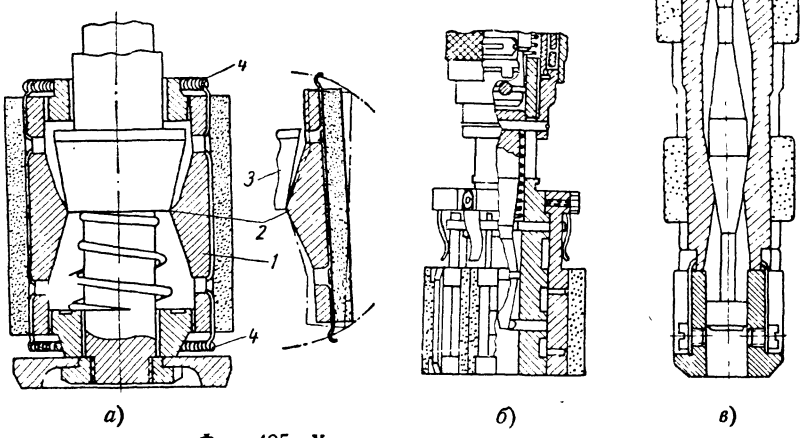
Фиг. 494. Закрепление шлифовальных головок:

а — для головки с диаметром гнезда до 6 *мм*; *б* — для головок с диаметром гнезда 6 *мм* и выше.

питься и круги формы ПП с наружным диаметром от 3 до 25 *мм*. Размеры места посадки на шпильку даются в ГОСТ 2274-43.

Бруски для хонингования приклеиваются на башмаках-камнедержателях, которые вставляются в хонинговальную головку. Для придания брускам формы, соответствующей радиусу обрабатываемого отверстия, они подвергаются специальной правке.

Хонингование—отделочная операция, дающая возможность получить высокую чистоту обработанной поверхности (9 — 12-го класса чистоты) и



Фиг. 495. Хонинговальные головки:

а — с одним распорным конусом; *б* — с двумя конусами для обработки глухих отверстий; *в* — для обработки ступенчатых отверстий.

1—2-й класс точности. Хонинговальные бруски удаляют слой толщиной 0,01—0,1 *мм*, что дает возможность снять гребешки от предыдущей операции и придать поверхности более правильную форму. Хонингованию подвергаются сквозные, ступенчатые, глухие отверстия,

наружные цилиндрические поверхности и даже конические отверстия. Обработка ведется на специальных хонинговальных станках с помощью хонинговальной головки, которая в процессе работы совершает вращательное и возвратно-поступательное движения.

По методу регулирования, т. е. раздвижения брусков в головке, хонинговальные головки делятся на две группы:

а) головки с ручным регулированием;

б) головки с автоматическим регулированием.

Головки с автоматическим регулированием бывают механического и гидравлического действия. На фиг. 495, *а* дана головка с одним распорным конусом регулирования на размер. Камнедержатели *1* опираются точкой *2* на распорный конус *3* и сжимаются по концам пружинами *4*. При вдвижении конуса камнедержатели *1*, качаясь вокруг точки *2*, самоустанавливаются по отверстию. Кроме одного конуса регулирования применяются и два как со встречным, так и с односторонним расположением конических поверхностей (фиг. 495, *б*, *в*).

Два конуса обеспечивают более жесткую и устойчивую установку брусков, но при этом усложняется или совсем исключается (при одностороннем направлении конусов) их самоустановка на поверхности обработки. В табл. 70 даются данные о числе рядов и брусков в хонинговальных головках вертикального и горизонтального типов.

Таблица 70

Число рядов и брусков в головках [1]

Пределы диаметров отверстий в *мм*	Вертикальные головки		Горизонтальные головки	
	Число рядов	Число брусков в ряду	Число рядов	Число брусков в ряду
До 50	1	2—3	1	4
50—100	1	6	3	4
100—300	1	9	3	6
300—500	1 и 2	12 и 8	4	8

При отделочной операции суперфиниширования („сверхотделки") бруски крепят в держателях головок чаще всего механическим путем.

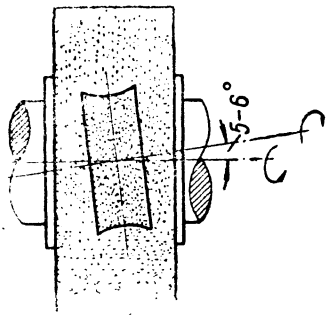
ПРАВКА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

В процессе работы кромки и выступы зерна абразивного инструмента истираются, что приводит его к затуплению. Для того чтобы восстановить режущую способность абразивного инструмента, необходима его правка (заточка).

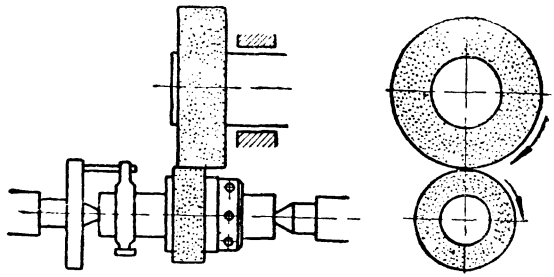
Правка производится алмазами, алмазно-металлическими карандашами, абразивным инструментом, роликами с зернами твердых сплавов и металлическими шарошками разных конструкций.

[1] Д. Г. Белецкий, Технология чистовой обработки, Машгиз, 1949.

Алмазами правят круги резьбошлифовальные, фасонные, ведущие круги у бесцентрово-шлифовальных станков, а также абразивный инструмент, предназначенный для доводочных операций. Алмаз (карбонад, баллас или бортс) весом 0,5—2,5 карата закрепляется пайкой или зачеканкой в специальные державки. Правка алмазом производится на станке в хорошем состоянии и при наличии специального устройства для правки.

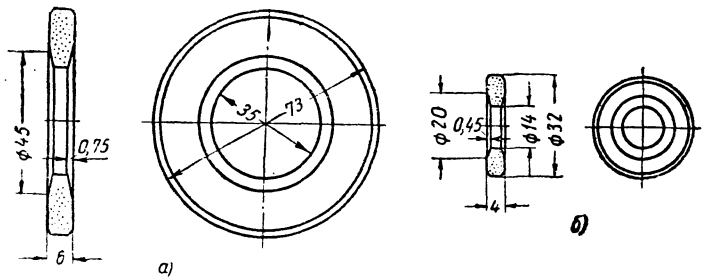


Фиг. 496. Правка шлифовального круга обкаткой.



Фиг. 497. Правка круга принудительным вращением правящего инструмента.

Кроме алмазов указанных размеров для правки шлифовальных кругов применяют также алмазную крошку от $^1/_3$ до $^1/_{800}$ карата, которая заделывается в специальный вольфрамомедноалюминиевый сплав в форме цилиндриков (алмазно-металлические карандаши). Алмазно-металлические карандаши крепятся в специальных державках, вылет из которых во время правки по возможности должен быть минимальным.



Фиг. 498. Диски АЗ.

Алмазы — дорогой и дефицитный материал, а потому большого внимания заслуживает безалмазная правка абразивного инструмента. Она производится двумя способами: обкаткой и принудительным вращением правящего инструмента. При правке обкаткой правящий инструмент (круг, диск, шарошка) укреплен на свободно вращающейся оправке приспособления. Ось оправки может составлять с осью инструмента, подвергающегося правке, угол 5°—6° в вертикальной плоскости (фиг. 496). При внутренней правке этот угол равен 10°—15° в гори-

зонтальной плоскости. Прижимаясь к инструменту, правящий круг свободно вращается и „обновляет" поверхность.

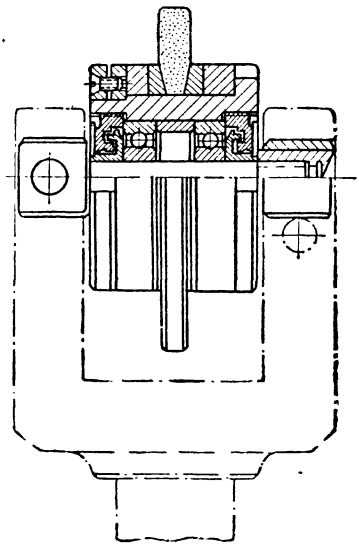
При принудительном вращении правящего инструмента последний вращается от самостоятельного привода (фиг. 497).

Державки для правящих кругов рекомендуются по ГОСТ 4804-49.

В качестве абразивного правящего инструмента применяются плоские шлифовальные круги из черного карборунда (карбида кремния) на керамической связке зернистостью на 2—3 степени ниже зернистости заправляемого круга, а твердостью на 1—3 степени выше.

Лучшим правящим абразивным инструментом являются диски АЗ, созданные Всесоюзным научно - исследовательским институтом абразивов и шлифования (ВНИИАШ) и представляющие крупное достижение нашей абразивной промышленности. Эти диски изготовляются из специального мелкозернистого абразивного материала — термокорунда. Они делаются двух размеров—АЗ-73 (фиг. 498,*а*) и АЗ-32 (фиг. 498, *б*).

Большие применяются для правки шлифовальных кругов на круглошлифовальных, плоскошлифовальных и бесцентрово-шлифовальных станках, а малые — для правки шлифовальных кругов на внутришлифовальных станках и для правки кругов диаметром до 150 *мм*.



Фиг. 499. Крепление диска АЗ в державке.

Диски АЗ имеют высокую твердость ($H_{R_C} = 84 \div 87$) и износоустойчивы в работе. Они крепятся в специальных державках по нескольку штук (фиг. 499) и работают методом обкатки.

При хорошем изготовлении державки и ее жестком креплении диски АЗ дают возможность производить правку с точностью до 12 *мк*, а шлифовальные круги, подвергнутые правке, обеспечивают получение шлифованной поверхности изделия по 8—9-му классу чистоты (ГОСТ 2789-45).

Во время правки оси диска и шлифовального круга параллельны. В целях повышения работоспособности шлифовального круга применяется обильное охлаждение. Жидкость вымывает из пор разрушенные зерна и связку, уменьшая засаливание круга.

В табл. 71 приводятся режимы правки дисками АЗ.

Как видно из табл. 71, последние два прохода производятся без поперечной подачи.

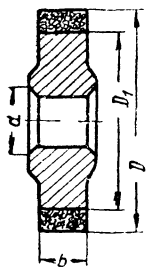
Для правки шлифовальных кругов как алмазозаменители находят применение ролики с зернами твердого сплава, твердосплавные диски и наборные металлические шарошки, состоящие из дисков различной конфигурации.

Таблица 71

Режимы правки шлифовальных кругов дисками АЗ
(по данным ВНИИАШ)

Зернистость круга	Режим правки		
	Подача на глубину в *мм*	Продольная подача в *м/мин*	Число проходов
46	0,04	1,5	4
	0,02	1,5	2
	0,00	0,5	2
60	0,03	1,0	4
	0,01	0,5	2
	0,00	0,5	2
80	0,03	0,5	4
	0,01	0,5	2
	0,00	0,5	2

Ролики с зернами твердого сплава (фиг. 500) состоят из металлического корпуса, на который наплавлен слой латуни с вкрапленными в него зернами твердого сплава. Такие ролики крепятся свободно на оси в специальной державке. Они стойки, высокопроизводительны и дают хорошее качество поверхности круга.



Фиг. 500. Ролик с зернами твердого сплава.

Широкое распространение находят твердосплавные диски (фиг. 501), работающие также методом обкатки.

По ГОСТ 4802-49 они делаются цельными — тип А (фиг. 501, *а*), сборными — тип Б (фиг. 501, *б*) и с внутренними конусами — тип В (фиг. 501, *в*).

Диски крепятся в специальных твердосплавных подшипниках и центрах (фиг. 502, *а*, *б*, *в*), которые в свою очередь закрепляются в специальных державках (фиг. 503).

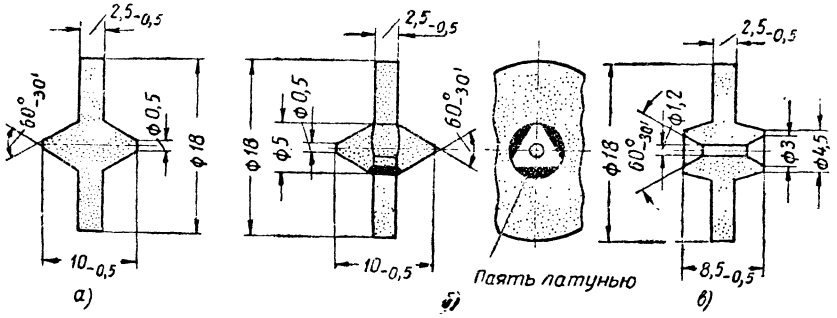
Державка *1* имеет гнезда под подшипники *2*, в которых находится диск *3*. Регулировка производится с помощью винтов *4*, закрепляемых гайками *5*.

По данным Министерства станкостроения биение диска в собранной державке не должно превышать 0,08 *мм* по торцу и 0,15 *мм* по наружному диаметру. Для приработки конуса диска и подшипника производится приработка (притирка) с помощью мелкого порошка карбида бора в течение 10—20 мин. Диски делаются из твердых сплавов марок ВК3 и ВК6, а подшипники и центры — из ВК6 и ВК8.

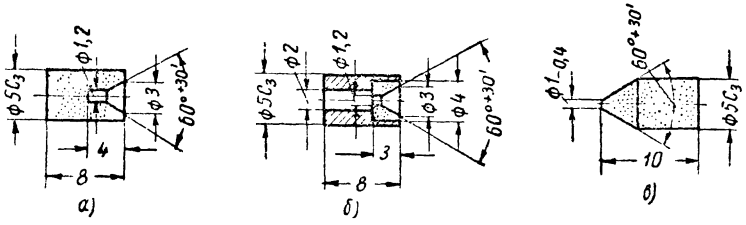
Во время правки оси диска и шлифовального круга параллельны и подается обильное охлаждение.

По данным Министерства станкостроения рекомендуются следующие режимы:

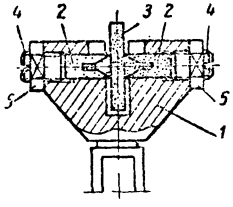
а) предварительная правка с продольной подачей 0,4—0,6 *м/мин*, с поперечной подачей 0,03—0,05 *мм* на один проход;



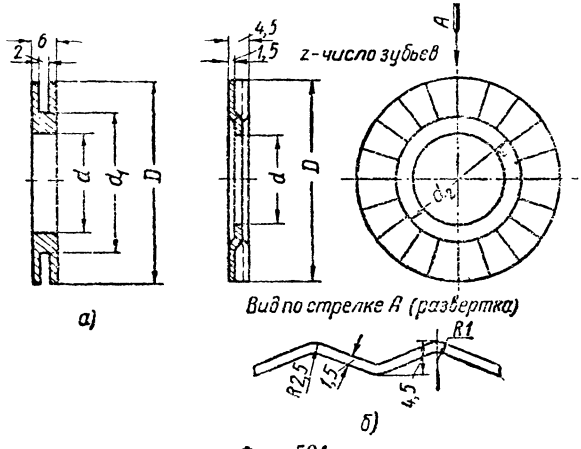
Фиг. 501.



Фиг. 502.



Фиг. 503.



Фиг. 504.

б) окончательная правка с продольной подачей 0,2—0,3 *м/мин*, с поперечной подачей 0,02—0,03 *мм* на один проход. Всего проходов 7—8, причем последние 2—3 прохода совершаются без поперечной подачи.

Твердосплавные диски применяются на всех типах шлифовальных станков и вследствие малых размеров державок удобны в креплении на станке.

Металлические правящие диски (шарошки) делаются как из чугуна, так и чаще всего из малоуглеродистой цементуемой стали (например, 20Х) с твердостью после термической обработки $H_{RC} = 56 \div 62$.

На фиг. 504, *а* и *б* даны кольцевые стальные диски по ГОСТ 4803-49, которые делаются двух типов: гладкие — тип А, гофрированные — тип Б. Размеры дисков приводятся в табл. 72.

Таблица 72

Размеры дисков в *мм*

D	d	d_1	d_2	Число зубьев
50	25	35	30	18
75	35	50	40	22

Такие диски крепятся по нескольку штук в специальной державке (рекомендуемые державки приводятся в ГОСТ 4803-49) и применяются в основном для правки кругов, производящих предварительную обработку.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. **Основы конструирования режущего инструмента** 7
(Алексеев Г. А.)

Общие понятия 7
Классификация режущих инструментов 8
Основные части режущего инструмента 11
Принципы конструирования режущих инструментов 12
Рабочая часть 14
Соединительная часть 33
Простота изготовления инструмента 38
Рабочий чертеж режущего инструмента 39
Технические условия 41

Глава II. **Материалы для изготовления режущего инструмента** . . 43
(Аршинов В. А.)

Инструментальные углеродистые стали 43
Инструментальные легированные стали 45
Быстрорежущие стали 46
Контроль качества инструментальных сталей 49
Конструкционные стали 50
Твердые сплавы 51

Глава III. **Термическая обработка режущих инструментов** 58
(Смольников Е. А.)

Роль термической обработки в производстве высококачественных инструментов 58
Термическая обработка быстрорежущей стали 59
Особенности термической обработки различных инструментов 64
Термическая обработка легированной инструментальной стали 65
Особенности термической обработки некоторых инструментов из стали 9ХС 71
Термическая обработка углеродистых инструментальных сталей 72
Термическая обработка некоторых инструментов из углеродистой стали 73
Вспомогательные операции при термической обработке 78
Влияние особенностей термической обработки на конструкцию инструментов 81

Глава IV. **Расчет и конструирование резцов** *(Аршинов В. А.)* . . . 84

Основные положения 84
Главные углы резца 85
Вспомогательные углы и углы в плане 86
Выбор геометрических параметров резцов 86
Углы резца в процессе резания 94
Типы резцов 95
Расчет токарных резцов 119
Заточка резцов 122
Электрические методы заточки режущего инструмента 126
Контроль резцов после заточки 129
Строгальные резцы 132
Долбежные резцы 135

Глава V. **Фасонные резцы** *(Алексеев Г. А.)* 136

Основные понятия 136
Геометрия фасонных резцов 139
Конструкция фасонных резцов 142
Расчет профиля фасонного резца 145
Заточка фасонных резцов 155

Глава VI. **Сверла** *(Алексеев Г. А.)* 157

Основные понятия 157
Спиральные сверла 158
Витые сверла 176
Перовые сверла 178
Центровочные сверла 179
Сверла, оснащенные пластинками твердого сплава 180
Сверла для глубокого сверления 184
Пример расчета и конструирования спирального сверла 191

Глава VII. **Зенкеры** *(Алексеев Г. А.)* 195

Основные понятия 195
Конструкция зенкеров 195
Зенкеры для увеличения диаметра отверстий 201
Сборные зенкеры 206
Зенкеры для цилиндрических выемок (головочные) 207
Зенкеры для конических поверхностей (зенковки) 208
Зенкеры для торцевых поверхностей 208
Заточка зенкеров 209

Глава VIII. **Развертки** *(Алексеев Г. А.)* 212

Основные понятия 212
Конструкция разверток 212
Особенности основных типов разверток 222
Заточка разверток 229

Глава IX. **Фрезы** *(Алексеев Г. А.)* 232

Основные понятия 232
Геометрические параметры режущей части фрезы 234
Фрезы с остроконечными зубьями 235
Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями 238
Обзор применяемых конструкций цилиндрических фрез . . . 243
Расчет цилиндрических сборных фрез конструкции завода „Фрезер“ 249
Цилиндрические фрезы, оснащенные твердыми сплавами 251
Торцевые фрезы с остроконечными зубьями 251
Дисковые фрезы с остроконечными зубьями 267
Угловые фрезы с остроконечными зубьями 275
Концевые фрезы с остроконечными зубьями 278
Фасонные фрезы с остроконечными зубьями 279
Фрезы с затылованными зубьями 281
Конструирование фрез с затылованным зубом 288
Цилиндрические фрезы с затылованными зубьями 296
Дисковые фрезы с затылованными зубьями 298
Фасонные фрезы с затылованными зубьями 298
Заточка фрез 302
Пилы 306

Глава X. **Протяжки и прошивки** *(Алексеев Г. А.)* 311

Основные понятия 311
Расчет и конструирование протяжек для внутреннего протягивания . . 313
Протяжки для круглых отверстий 325

Шлицевые протяжки 326
Протяжки для многогранных отверстий 327
Комбинированные протяжки 328
Шпоночные протяжки 328
Протяжки для наружного протягивания 328
Заточка протяжек и прошивок 331
Пример расчета и конструирования протяжки 332

Глава XI. **Напильники** *(Аршинов В. А.)* 336

Типы напильников 336
Виды насечек 339
Форма и углы зуба напильника 342
Материалы для напильников 344

Глава XII. **Инструменты для нарезания резьбы** *(Алексеев Г. А.)* . . 345

Резьбовые резцы и гребенки 345
Метчики 356
Плашки 383
Резьбонарезные (винторезные) головки 398
Резьбовые фрезы 412
Инструменты для накатывания резьбы 420

Глава XIII. **Зуборезные инструменты** *(Алексеев Г. А.)* 429

Основные понятия о зубчатых передачах 429
Основные понятия о зуборезном инструменте 443
Дисковые модульные фрезы 444
Пальцевые модульные фрезы 454
Фасонные зуборезные головки 459
Метод обкатки 459
Червячные зуборезные фрезы 460
Примеры расчета червячных фрез 487
Зуборезные гребенки 493
Долбяки 500
Пример расчета долбяка для нарезания прямозубого колеса 513
Резцы и резцовые головки для нарезания конических колес 514
Шеверы 517

Глава XIV. **Инструменты, работающие методом обкатки, для неэвольвентных профилей** *(Алексеев Г. А.)* 523

Основные понятия 523
Конструирование шлицевых червячных фрез для прямолинейных профилей шлицев 527
Пример расчета и конструирования червячной шлицевой фрезы 541

Глава XV. **Комбинированный инструмент** *(Алексеев Г. А.)* 546

Основные понятия 546
Комбинированные инструменты для одного метода обработки 547
Комбинированные инструменты, совмещающие различные методы обработки 550
Особенности конструирования комбинированного инструмента 554

Глава XVI. **Методы облагораживания режущих лезвий инструментов** *(Смольников Е. А.)* 559

Основные понятия 559
Химико-термические методы облагораживания инструментов 559
Химико-механические методы облагораживания инструментов 565
Химическая и электрохимическая обработка инструментов 566
Электролитические покрытия инструментов 567
Электроискровое покрытие инструментов твердыми сплавами 569

Глава XVII. **Абразивный инструмент** *(Аршинов В. А.)* 572

Абразивные материалы 572
Зернистость абразивных материалов 574
Связки для абразивного инструмента 575
Формы абразивного инструмента 576
Шлифовальные круги 577
Сегменты 582
Шлифовальные головки 583
Шлифовальные бруски 583
Шлифовальные шкурки 584
Абразивные пасты 585
Твердость абразивного инструмента 586
Маркировка абразивного инструмента 588
Закрепление абразивного инструмента 588
Правка абразивного инструмента 593

Технический редактор *Г. Ф. Соколова*
Корректор *Ю. Н. Николаева*

Сдано в производство 2/IX 1950 г.
Подписано к печати 20/X 1950 г.
Т-07744. Печ. л. 37¾. Бум. л. 18,88.
Бумага 60×92¼₁₆ Уч.-изд. л. 42,2
Тираж 50000, 1-й завод 1—10000
Заказ № 2644

1-я типография Машгиза,
Ленинград, ул. Моисеенко, 10

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МАШГИЗ

Москва, Третьяковский проезд, 1

Алексеев Б. А. и др., **Производство и эксплоатация инструмента** (опыт уральских заводов), 1949. 180 стр., ц. 9 руб.

Альбом нормалей режущего инструмента, под ред. проф. И. И. Семенченко (ВНИИ):

Вып. 4. **Зуборезный инструмент**, 1948. 100 стр., ц. 8 р. 50 к.

Вып. 5. **Специальный зуборезный инструмент**, 1950. 184 стр., ц. 17 руб.

Горбатов Н. И., **Пилы трения**, 1950. 80 стр., ц. 3 р. 30 к.

Даниелян А. М., **Резание металлов и инструмент**, 1950. 451 стр., ц. 22 руб.

Дарманчев С. К., **Фасонные резцы**, 1950. 144 стр., ц. 5 р. 10 к.

Еремин Б. Ф., **Протягивание**, 1950. 326 стр., ц. 16 р. 50 к.

Иноземцев Г. Г., **Прочность резцов**, 1948. 104 стр., ц. 4 р 65 к.

Каменцев М. В., **Искусственные абразивные материалы** (основы технологии), 1950. 176 стр., ц. 9 р. 90 к.

Коршунов Б. С., **Абразивная заточка и доводка твердосплавного инструмента**, 1950. 97 стр., ц. 3 р. 30 к.

Кузнецов А. П., **Фрезы для скоростного фрезерования**, 1950. 86 стр., ц. 3 руб.

Пекарский М. Д. и др., **Металлорежущие инструменты**. Справочник технолога, 1950. 324 стр., ц. 14 р. 35 к.

Рыков Н. Н., **Резервы инструментального хозяйства машиностроительного завода**, 1950. 272 стр., ц. 11 р. 60 к.

Справочник инструментальщика, т. I, 1949. 411 стр., ц. 28 р. 40 к.

Справочник инструментальщика, т. II, 1949. 524 стр., ц. 31 р. 25 к. в пер

Продажа производится в книжных магазинах. Книги высылаются также почтой наложенным платежом (без задатка) всеми республиканскими, краевыми и областными отделами «Книга — почтой».

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
32	11-я снизу	зубья — из быстрорежущей стали	зубья изготовляют из быстрорежущей стали	Авт.
46	8-я »	вольфрамовой	хромовольфрамовой	»
56	7-я »	режущих	легирующих	»
127	16—17-я сверху	при высоковольтном	при низковольтном	»
137	6-я снизу	передним углом γ и λ	передним углом γ	»
140	6-я »	оси детали	оси резца	»
154	В табл., 4-я графа, 8-я сверху	1,86134	$\bar{1},86134$	Тип.
200	На фиг. 136, тип *в*, крайнее сечение справа	по II	по II — II	Авт.
250	3-я снизу	0,2— ,4	0,2—0,4	Тип.
319	21-я сверху	для крупных материалов	для хрупких материалов	Авт.
367	3-я снизу	дли	длины	Тип.
368	Табл. 55, 9-я графа, 1-я снизу	± 0, 7	± 0,07	»
373	Фиг. 299	Направляющая часть 1-го метчика	Направляющая часть 2-го метчика	Авт.
382	10-я сверху	но и по заборной части	но и по задней грани (заборной части)	»
387	2-я »	$\gamma_2 = \gamma + (10 \div 15)°$	$\gamma_2 = \gamma + (10 \div 25)°$	»
414	14-я »	$\psi_м$	$\psi_к$	Тип.
457	На фиг. 380	L_1	L	Авт.
531	На фиг. 454	$h = R_н \cdot \sin\varphi$	$h = R_н \cdot \sin\gamma$	»
542	На фиг. 457 (Размер от средней линии до впадины между усиками)	2,584	2,284	»
542	» »	$t_п = 30441$	$t_п = 20,441$	»
544	15-я снизу	$2R_н - \frac{d_{расч}}{2} = 2,684$	$R_н - \frac{d_{расч}}{2} = 2,284$	»
544	13-я »	на 0,202	на 0,402	»

ПОПРАВКИ

1. На стр. 46, 2-я и 1-я строки снизу, последняя фраза должна читаться так: По ОСТ 4112 устанавливаются марки сталей: РК5, РФ2, РФ1, Р и РО, две из которых приведены в табл. 6.

2. На стр. 47 в табл. 6 сталь ЭИ262 указана ошибочно, так как в ОСТ 4112 она не входит.

3. На стр. 258 строка 2-я, напечатано

$$h_1 = H + q\frac{\operatorname{tg}\omega}{\cos\omega} - \frac{D}{2}\cos\gamma_1 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - C_1^2}$$

следует

$$h_1 = H + q\frac{\operatorname{tg}\mu}{\cos\omega} - \frac{D}{2}\cos\gamma_1 + \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - a^2}.$$

4. На стр. 258, 4-я строка сверху, в подкоренном выражении вместо напечатанного $\left(\frac{D}{2}\right)^2$ должно быть $\left(\frac{D_1}{2}\right)^2$.