

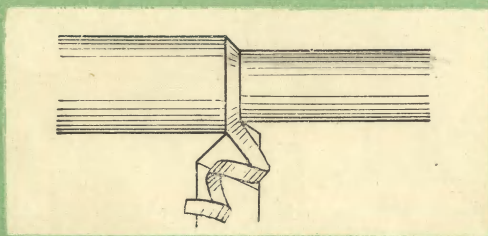
БИБЛИОТЕЧКА



ТОКАРЯ - НОВАТОРА

Выпуск 2

В.Г. ПОДПОРКИН, С.А. БОЛЬШАКОВ



**ТОЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ
И РЕЗЦЫ**

МАШГИЗ



ВЫПУСК 2

В. Г. ПОДПОРКИН, С. А. БОЛЬШАКОВ

ТОЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И РЕЗЦЫ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ И ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Под общей редакцией
канд. техн. наук доц М. А. АНСЕРОВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В серии брошюр второго издания библиотечки токаря-новатора в обобщенном и систематизированном виде излагаются последние достижения в области оборудования и технологии токарной обработки.

Со времени выхода в свет первого издания библиотечки (1953 г.) в практику токарной обработки внесено много нового (гидравлические копировальные супорты, улучшенные конструкции приспособлений, новые приемы обработки и т. д.), в связи с чем материал был подвергнут коренной переработке. Кроме того, заново написаны брошюры по обработке деталей на крупных токарных и токарно-карусельных станках.

Библиотечка рассчитана на квалифицированных токарей; она может также служить пособием для слушателей курсов повышения квалификации и учащихся технических и ремесленных училищ.

Все выпуски библиотечки (перечень см. в конце брошюры) написаны членами Технологического комитета Ленинградского областного правления НТО Машпром.

В настоящем выпуске в популярной форме изложены основные понятия и определения, связанные с токарной обработкой. Рассмотрены явления, сопровождающие процесс резания металла, конструкция и геометрия токарных резцов; даны рекомендации по выбору режимов резания.

Рецензент канд. техн. наук доц. *А. М. Вульф*

Редактор канд. техн. наук *Л. М. Резницкий*

ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
Редакция литературы по технологии машиностроения
Заведующий редакцией инж. *Е. П. Наумов*

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Буквы латинского и греческого алфавитов

Латинские буквы

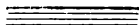
Начертание букв				Название букв
прямые		курсивные		
прописные	строчные	прописные	строчные	
A	a	<i>A</i>	<i>a</i>	а
B	b	<i>B</i>	<i>b</i>	бе
C	c	<i>C</i>	<i>c</i>	це
D	d	<i>D</i>	<i>d</i>	де
E	e	<i>E</i>	<i>e</i>	е
F	f	<i>F</i>	<i>f</i>	эф
G	g	<i>G</i>	<i>g</i>	же
H	h	<i>H</i>	<i>h</i>	аш
I	i	<i>I</i>	<i>i</i>	и
J	j	<i>J</i>	<i>j</i>	иот
K	k	<i>K</i>	<i>k</i>	ка
L	l	<i>L</i>	<i>l</i>	эль
M	m	<i>M</i>	<i>m</i>	эм
N	n	<i>N</i>	<i>n</i>	эн
P	p	<i>P</i>	<i>p</i>	пе
Q	q	<i>Q</i>	<i>q</i>	ку
R	r	<i>R</i>	<i>r</i>	эр
S	s	<i>S</i>	<i>s</i>	эс
T	t	<i>T</i>	<i>t</i>	те
U	u	<i>U</i>	<i>u</i>	у
V	v	<i>V</i>	<i>v</i>	ве
X	x	<i>X</i>	<i>x</i>	икс
Y	y	<i>Y</i>	<i>y</i>	игрек
Z	z	<i>Z</i>	<i>z</i>	зет

Греческие буквы

Начертание букв	Название букв	Начертание букв	Название букв
α	альфа	γ	эта
β	бета	λ	лямбда
γ	гамма	π	пи
Δ	дельта (прописная)	σ	сигма
δ	дельта (строчная)	φ	фи
ε	эпсилон	ω	омега

Условные математические обозначения

Обозначение	Что обозначает	Обозначение	Что обозначает
\approx	Приблизительно равно	\leq	Меньше или равно
$<$	Меньше	\geq	Больше или равно
$>$	Больше	π	Отношение длины окружности к ее диаметру, равное 3,14



ГЛАВА I

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Для того чтобы резец или любой другой режущий инструмент мог резать, материал, из которого сделана его режущая часть, должен обладать высокой твердостью. Вместе с тем, он должен быть достаточно вязким, чтобы режущие кромки инструмента не выкрашивались под действием давления стружки.

Необходимо также, чтобы материал резца имел высокую износостойкость. В процессе резания возникает трение на передней и задней гранях инструмента. Сходящая стружка истирает переднюю грань, а обрабатываемая деталь, точнее поверхность резания, истирает заднюю грань. Износ граней приводит к затуплению резца, а при обработке длинных деталей износ, кроме того, отражается на размерах последних.

Отсюда следует, что основные качества материала режущего инструмента, необходимые для его производительной работы, — это твердость и износостойкость. Но этого еще недостаточно. Дело в том, что в процессе резания выделяется много теплоты. Часть ее поступает в резец и постепенно разогревает его. Когда температура резца достигает определенного значения, он теряет свою первоначальную твердость и быстро выходит из строя.

Резцы, режущая часть которых выполнена из различных материалов, неодинаково устойчивы против действия теплоты. Одни резцы теряют свои режущие свойства при температуре 200—250°, а другие способны резать при температуре 1000° и выше. Поэтому третьим требованием, предъявляемым к материалам для резцов, является высокая теплостойкость, т. е. способность сохранять твердость при высоких температурах. Чем выше теплостойкость резца, тем более высокими, при прочих равных условиях, могут быть режимы резания, тем выше производительность при резании.

1. Инструментальные стали

Углеродистая инструментальная сталь

В прошлом столетии основным материалом для резцов служила углеродистая инструментальная сталь. Она содержит 0,6—1,4% углерода. Для резцов употребляется сталь марок У10А и У12А. Буквы и цифры в марках обозначают: У — углеродистая,

следующие за ней цифры — среднее содержание углерода в десятых долях процента, А — высококачественная. Следовательно, высококачественная сталь У12А содержит 1,2% углерода.

Инструмент, изготовленный из высокоуглеродистой инструментальной стали, обладает достаточно высокими твердостью и износостойкостью, но его теплостойкость очень низка. При нагреве до температуры 200—250° инструмент размягчается, теряет свои режущие свойства и становится непригодным для дальнейшей работы. Поэтому в настоящее время из углеродистой стали изготавливают лишь инструмент, предназначенный для работы с низкими скоростями резания (ручные развертки, метчики, напильники и т. п.), когда в зоне резания возникает температура ниже 200—250°. Для токарных резцов углеродистая сталь используется в редких случаях.

Легированные инструментальные стали

Наряду с углеродистой сталью для режущего инструмента используются легированные инструментальные стали, содержащие, помимо углерода, легирующие элементы: хром, кремний, вольфрам, ванадий и марганец. Теплостойкость, а также режущие свойства легированных сталей, не намного выше, чем у углеродистой стали, а потому изготовленный из них инструмент также непригоден для работы с повышенными скоростями резания.

Применение легированных сталей преследует другие цели. Известно, что для придания высокой твердости инструмент из углеродистой стали подвергают закалке в воде. При этом вследствие резкого охлаждения часто происходит деформация (поводка) инструмента, а иногда на нем образуются трещины. Углеродистая сталь, кроме того, обладает небольшой прокаливаемостью, т. е. высокую твердость инструмент приобретает лишь на небольшую глубину.

Присутствие в инструментальной стали легирующих элементов существенно меняет дело. Глубина прокаливаемости значительно увеличивается, а высокая твердость достигается при закалке в масле. При этом нет резкого охлаждения стали, в ней не возникают большие напряжения, и инструмент деформируется значительно меньше. Это свойство легированных сталей особенно ценно при изготовлении сложного инструмента, как метчики, плашки, развертки, протяжки и т. п.

Употребительными марками легированных инструментальных сталей являются 9ХС, ХВГ и Х12Ф.

В маркировке легированных сталей цифра слева указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента; буквы справа от цифры обозначают: Г — марганец, С — кремний, Х — хром, В — вольфрам, Ф — ванадий; цифры после букв указывают процентное содержание данного элемента в целых числах. Например, сталь 7Х3 содержит 0,7% углерода и 3% хрома.

Быстрорежущая сталь

В начале XX века в качестве материала для режущего инструмента начали применять новую сталь, которую за ее более высокие режущие свойства в сравнении с углеродистой и легированной инструментальными сталями называли быстрорежущей. Внедрение этой стали позволило увеличить скорость резания при обработке металлов в 3—5 раз.

Быстрорежущая сталь, как и углеродистая, после термообработки приобретает большую твердость и износостойкость, но в отличие от углеродистой стали она обладает более высокой теплостойкостью, сохраняя свои режущие свойства при нагреве до температуры 550—600°.

Кроме железа, быстрорежущая сталь содержит вольфрам (до 19%), хром (до 4,4%) и ванадий (до 2,6%).

Высокие качества быстрорежущей стали обеспечиваются легирующими элементами — вольфрамом, хромом и ванадием, образующими очень твердые и износостойкие частицы (карбиды) — химические соединения металлов с углеродом. Их твердость по Бринелю составляет $H_B = 1500—1600$. Особенно большой износостойкостью обладают комплексные карбиды железа и ванадия, являющиеся самой твердой составляющей быстрорежущей стали. Твердость этих карбидов достигает $H_B = 2100$.

В табл. 1 приведен химический состав быстрорежущих сталей, предусмотренных Государственным стандартом (ГОСТ 5952—51).

Таблица 1

Марки быстрорежущей стали

Марка стали	Химический состав в %			
	Углерод С	Вольфрам W	Хром Cr	Ванадий V
P18	0,7—0,8	17,5—19,0	3,8—4,4	1,0—1,4
P9	0,85—0,95	8,5—10,0	3,8—4,4	2,0—2,6

В маркировке быстрорежущей стали цифры после буквы Р указывают среднее процентное содержание вольфрама. До 1951 г. сталь P18 обозначалась PФ1, а сталь P9 — ЭИ262.

Для придания быстрорежущей стали высокой твердости она подвергается закалке в масле или селитре и многократному отпуску при высокой температуре. Характерно, что после отпуска быстрорежущая сталь имеет несколько большую твердость, чем после закалки.

Наиболее широкое распространение в промышленности получила быстрорежущая сталь P9. В ней содержится дефицитного и дорогого вольфрама вдвое меньше, чем в стали P18, и вместе с тем она почти не уступает последней в режущих свойствах.

Из малолегированной быстрорежущей стали Р9 изготавливают сверла, развертки, фрезы, фасонные резцы и многие другие виды инструмента. Высоколегированная сталь Р18, как более дорогая, применяется реже.

В последнее время для обработки резанием труднообрабатываемых жаропрочных сталей и сплавов получили применение новые быстрорежущие стали: Р9Ф5 — с повышенным содержанием ванадия (5%) и Р9К5 — с содержанием 5% кобальта.

В отечественных научно-исследовательских организациях проводятся работы, имеющие целью создание быстрорежущей стали, которая содержала бы вольфрам в небольшом количестве.

2. Твердые сплавы

Общие сведения

Появившиеся в двадцатых годах нашего века твердые сплавы, или, правильнее, металлокерамические твердые сплавы, не содержат железа и потому не могут быть отнесены к сталям, которые являются железоуглеродистыми сплавами.

Основу твердых сплавов составляют карбиды (т. е. химические соединения с углеродом) тугоплавких металлов. Тугоплавкими они называются потому, что имеют очень высокую температуру плавления.

В твердых сплавах применяется сравнительно небольшое количество тугоплавких металлов: вольфрам, титан, тантал, ниобий, ванадий, цирконий, молибден и хром. Следует учесть при этом, что в промышленных марках отечественных твердых сплавов в настоящее время используются лишь вольфрам и титан.

Современные твердые сплавы обладают весьма высокими режущими свойствами. Они не нуждаются в термической обработке и приобретают эти свойства в процессе их производства. При правильном использовании твердосплавного инструмента им можно работать со скоростями резания, в 5—8 раз превышающими скорости резания, которые характерны для быстрорежущего инструмента. В отдельных случаях при использовании твердосплавного инструмента с оптимальной геометрией режущей части (геометрия резца подробно рассмотрена в следующих главах) удавалось обрабатывать углеродистую конструкционную сталь 45 со скоростью резания выше 2000 м/мин, а алюминий — со скоростью около 5000 м/мин.

Твердые сплавы имеют столь высокие режущие свойства благодаря тому, что карбиды тугоплавких металлов, из которых они в основном состоят, обладают исключительно высокими твердостью, износостойкостью и теплостойкостью. Чтобы получить представление о твердости, например, карбида вольфрама (WC), приведем некоторые сравнительные данные. Кроме широко известных способов определения твердости по Бринелю и Роквеллу, существует еще шкала твердости Мооса, в которой твердость алмаза выражается числом 10. По этой шкале твердость цементита (кар-

бида железа) выражается числом 7 (цементит значительно тверже мартенсита — структуры закаленной стали), а карбида вольфрама — числом 9.

Отметим, что температура плавления цементита составляет 1560° , а карбида вольфрама — 2870° , карбида титана — 3140° , карбида тантала — 3880° .

Как уже указывалось, карбиды тугоплавких металлов являются той составной частью твердых сплавов, которая придает им высокие качества. Однако изготавливать твердые сплавы целиком из карбидов нельзя, так как такие сплавы были бы исключительно хрупкими и непрочными. Для придания твердым сплавам необходимой прочности и вязкости к карбидам добавляется вспомогательный металл, цементирующий их частицы в прочное тело. В качестве цементирующего металла применяется преимущественно кобальт (Co). В связи с дефицитностью и высокой стоимостью кобальта (это самая дорогая составляющая твердых сплавов) предпринимались многочисленные попытки заменить его железом или никелем, или сплавами никель — медь, никель — хром и др. Однако эти попытки не дали положительных результатов: все эти металлы и сплавы не являются полноценными заменителями кобальта.

Классификация отечественных твердых сплавов

Наша промышленность выпускает две группы твердых сплавов: вольфрамовые и титановольфрамовые. В табл. 2 указаны предусмотренные ГОСТ 3882—53 марки твердых сплавов, применяющихся для обработки металлов резанием.

Сплавы первой группы состоят из зерен карбида вольфрама (WC), сцементированных кобальтом (Co). Они обозначаются буквами ВК и цифрой, показывающей процентное содержание кобальта. Так, сплав ВК6 содержит 6% кобальта и 94% карбида вольфрама.

Сплавы второй группы состоят из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана (TiC) и избыточных зерен карбида вольфрама, сцементированных кобальтом, или только из зерен твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана, сцементированных кобальтом. Обозначаются эти сплавы буквами ТК и цифрами. Цифры, стоящие после буквы Т, показывают процентное содержание карбида титана, а цифра, стоящая после буквы К — процент кобальта. Например, сплав Т15К6 содержит 15% карбида титана и 6% кобальта. Остальное (79%) составляет карбид вольфрама.

Помимо марок, у нас стандартизованы также формы и размеры пластинок твердых сплавов (ГОСТ 2209—55) для резцов различных типов и других видов инструмента. Кроме того, твердые сплавы выпускаются в форме призматических сплошных и пустотелых столбиков.

Основные свойства твердых сплавов

Твердость. Наиболее характерным и ценным свойством твердых сплавов является их высокая естественная твердость. Твердость современных твердых сплавов, применяемых для оснащения режущего инструмента, колеблется в пределах $H_{RA} = 87,5—92$ (твердость по Роквеллу, шкала А), тогда как закаленная и отпущенная быстрорежущая сталь имеет твердость только $H_{RA} = 80—83$. При этом следует учесть, что в табл. 2 указаны нижние пределы твердости выпускаемых в настоящее время марок твердых сплавов. Фактически их твердость обычно превышает указанные пределы на 1—1,5 единицы.

Благодаря такой высокой твердости инструментом, оснащенным твердыми сплавами, можно обрабатывать отбеленный чугуны, закаленную сталь, стекло, мрамор и другие очень твердые материалы.

Твердость твердого сплава зависит от содержания в нем кобальта. Чем меньше кобальта, более мягкого в сравнении с карбидами вольфрама и титана, тем тверже твердый сплав. Так, например, сплав ВКЗ обладает большей твердостью, чем сплав ВК8.

При одном и том же содержании кобальта сплавы группы ТК тверже сплавов ВК. Например, сплав Т14К8 тверже сплава ВК8.

Износостойкость. Высокая износостойкость (т. е. сопротивление истиранию) также отличает твердые сплавы от углеродистой инструментальной и быстрорежущей сталей. В процессе резания рабочие грани инструмента подвергаются истирающему действию сходящей стружки и обрабатываемого материала. Очевидно, что чем большей износостойкостью обладает инструментальный материал, тем медленнее затупляется режущий инструмент.

Между твердостью материала и его износостойкостью не существует прямой зависимости. В то же время из двух материалов большей износостойкостью обладает тот, твердость которого выше.

Титановольфрамовые сплавы более износостойки, чем вольфрамовые, примерно в 1,5—2 раза при обработке стали.

Износостойкость вольфрамовых сплавов тем выше, чем выше содержание в них карбида вольфрама и мельче зернистость. Для титановольфрамовых сплавов износостойкость повышается обычно с увеличением содержания карбида титана.

Теплостойкость. Одной из наиболее важных характеристик инструментального материала является теплостойкость. Решающее значение приобрело это свойство в наше время, когда в процессе резания с высокими скоростями температура в зоне резания достигает 800° и выше. Высокая теплостойкость твердых сплавов, превышающая теплостойкость быстрорежущей стали, а тем более инструментальной углеродистой стали, явилась одним из основных условий, обеспечивающих столь широкое внедрение в металлообработку этого инструментального материала.

Химический состав и основные физико-механические свойства отечественных твердых сплавов

Группа твердых сплавов	Марка твердого сплава	Химический состав в %			Твердость по Роквеллу, А, HRA (не менее)	Температура в °С	Предел прочности при изгибе $\sigma_{вн}$ в кг/мм ² (не менее)	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ в кг/мм ²	Удельный вес в г/см ³ (не менее)	Ударная вязкость A_k в кгм/см ²	Теплопроводность в ккал/см·сек·°С
		карбид вольфрама WC	карбид титана TiC	кобальт Со							
Вольфрамовая (ВК)	ВК2	98	—	2	90,0	—	100	—	15,0—15,4	—	—
	ВК3	97	—	3	89,0	1100—1150	100	—	14,9—15,3	—	0,169
	ВК6	94	—	6	88,0	1050—1100	120	500	14,6—15,0	0,4	0,145
	ВК8	92	—	8	87,5	950—1000	130	—	14,4—14,8	—	0,141
Титановольфрамовая (ТК)	Т5К10	85	6	9	88,5	1100—1150	115	—	12,3—13,2	—	0,073
	Т14К8	78	14	8	89,5	—	115	—	11,2—12,0	—	—
	Т15К6	79	15	6	90,0	1200	110	400	11,0—11,7	0,25	0,065
	Т15К6Т	79	15	6	91,0	—	110	—	11,0—11,7	—	—
	Т30К4	66	30	4	92,0	1200	90	—	9,5—9,8	—	—
	Т60К6	34	60	6	90,0	—	75	—	6,5—7,0	—	—

Исследования показали, что твердые сплавы начинают заметно терять свою первоначальную твердость (твердость при комнатной температуре) при значительно более высоких температурах, чем другие инструментальные материалы, а именно: углеродистая инструментальная сталь — при 200—250°, быстрорежущая сталь — при 600°, твердые сплавы — при 950—1200°.

Чем выше теплостойкость элементов, составляющих твердый сплав, и чем выше процентное содержание составного элемента, обладающего высокой теплостойкостью, тем выше теплостойкость сплава в целом. Из трех элементов, входящих в состав твердых сплавов, — карбида вольфрама, карбида титана и кобальта — самым теплостойким является карбид титана, а кобальт обладает наименьшей теплостойкостью. Поэтому титановольфрамовые сплавы Т15К6 и Т30К4 отличаются наиболее высокой теплостойкостью, а в группе ВК сплав ВК8, имеющий наибольшее содержание кобальта, обладает наименьшей теплостойкостью.

Теплопроводность. Твердые сплавы обладают большей теплопроводностью, чем быстрорежущая сталь. Для быстрорежущей стали Р18 теплопроводность составляет 0,060 кал/см · сек. °С. Высокая теплопроводность твердых сплавов оказывает положительное влияние на процесс резания. С понижением теплопроводности ухудшается отвод теплоты от стружки и режущей части инструмента, а в пластинке твердого сплава возрастают тепловые напряжения, нередко вызывающие образование в ней трещин. Опасность образования трещин более вероятна у титановольфрамовых сплавов, чем у вольфрамовых.

Из табл. 2 видно, что теплопроводность сплавов группы ТК ниже, чем у сплавов группы ВК.

Слипаемость. Под слипаемостью понимают способность инструментального материала сцепляться (свариваться) с обрабатываемым материалом (стружкой) в процесес резания. Высокое сопротивление слипанию (низкая слипаемость) является положительной характеристикой твердых сплавов. В этом отношении им сильно уступает быстрорежущая сталь.

Установлено, что износостойкость твердого сплава в известной мере зависит от той температуры, при которой происходит его слипание с обрабатываемым материалом. Чем выше эта температура, тем большей износостойкостью обладает твердый сплав.

Чем больше кобальта содержится в вольфрамовых твердых сплавах, тем ниже температура, при которой наблюдается их слипаемость. Большим преимуществом сплавов группы ТК перед сплавами группы ВК является то, что они лучше сопротивляются слипанию. В этом видят причину большей стойкости титановольфрамовых сплавов в сравнении с вольфрамовыми при обработке стали.

Механические свойства. К основным механическим свойствам твердых сплавов следует отнести, кроме твердости и износостойкости, еще пределы прочности при изгибе и сжатии, а также ударную вязкость. Наиболее важной характеристикой

является прочностью при изгибе. По ней можно судить о вязкости сплава.

Чтобы разрушить пластинку твердого сплава, работающую на изгиб, достаточно приложить к ней нагрузку, вызывающую напряжение, равное 100—130 килограммам на один квадратный миллиметр (предел прочности при изгибе) для сплавов группы ВК и 75—115 кг/мм² для сплавов группы ТК. Для быстрорежущей стали Р18 предел прочности при изгибе намного больше и составляет 370 кг/мм². Основным недостатком твердых сплавов — большая хрупкость — проявляется в том, что они плохо сопротивляются деформации изгиба.

Обратимся к табл. 2. Мы видим, что у вольфрамовых сплавов прочность при изгибе повышается с увеличением содержания кобальта. Например, твердый сплав ВК8 менее хрупок (более вязок), чем сплав ВК2.

У титановольфрамовых сплавов прочность при изгибе понижается с увеличением содержания карбида титана. Например, сплав Т5К10 содержит 6% карбида титана и имеет предел прочности при изгибе 115 кг/мм², а у сплава Т60К6 содержание карбида титана в 10 раз больше (60%), а предел прочности при изгибе составляет только 75 кг/мм². Сплав Т5К10 значительно менее хрупок, чем сплав Т60К6.

Титановольфрамовые сплавы более хрупки (менее вязки), чем вольфрамовые, при одинаковом содержании кобальта. Следует отметить, что практически средние значения предела прочности при изгибе у твердых сплавов на 10—15% выше тех, какие указаны в табл. 2.

Из-за большой хрупкости твердые сплавы плохо сопротивляются ударным нагрузкам (работа с ударами) и вибрациям в процессе резания. При работе инструмента в таких условиях пластинка твердого сплава выкрашивается и инструмент преждевременно выходит из строя.

Показателем сопротивления твердых сплавов ударным нагрузкам может служить удельная ударная вязкость надрезанных образцов, которую для краткости называют ударной вязкостью. Как видно из табл. 2, у сплавов группы ВК ударная вязкость больше, чем у сплавов группы ТК.

Насколько хрупки твердые сплавы видно из того, что для углеродистой инструментальной и быстрорежущей сталей ударная вязкость равна 0,89 кгм/см², т. е. она в несколько раз больше, чем для твердых сплавов группы ТК.

Наряду с этим твердые сплавы хорошо сопротивляются деформации сжатия. Данные табл. 2 показывают, что для разрушения пластинки твердого сплава Т15К6, работающей на сжатие, требуется приложить нагрузку в 400 кг/мм², а для разрушения пластинки сплава ВК6 — 500 кг/мм². Быстрорежущая сталь Р18 имеет предел прочности при сжатии такой же, как и твердый сплав Т15К6 (400 кг/мм²).

Следовательно, при работе на сжатие пластинка твердого

сплава имеет прочность почти в 4 раза большую, чем при работе на изгиб. Эта особенность твердых сплавов вынуждает при обработке стали в ряде случаев применять на резцах, оснащенных сплавами группы ТК, отрицательные предельные углы, при которых пластинка твердого сплава работает на сжатие (а не на изгиб) и поэтому менее подвержена разрушению. Вопрос об отрицательном переднем угле на резцах рассмотрен в следующей главе.

Удельный вес. Удельный вес или плотность является важным показателем качества твердых сплавов. Плотность сплава зависит от его химического состава и качества спекания. Практически плотность сплава ниже вычисленной теоретически благодаря порам, всегда имеющимся в нем. Поры занимают до 3% всего объема сплава. С увеличением содержания кобальта и возрастанием пористости плотность сплава понижается. Чем больше удельный вес твердого сплава, тем лучше он противостоит ударной нагрузке.

Назначение твердых сплавов

Вольфрамовые сплавы, как более вязкие, применяются для обработки чугуна и других хрупких материалов, при резании которых образуется стружка надлома. Для стружки этого вида характерно, что центр ее давления на переднюю грань резца находится в непосредственной близости от режущей кромки последнего, и это нередко приводит к выкрашиванию кромки. Если в этом случае применять сплав группы ТК, прочность которого еще меньше, то стойкость резца будет еще ниже.

Титановольфрамовые сплавы, обладающие большей износостойкостью (в сравнении с вольфрамовыми сплавами), целесообразней применять для обработки сталей (незакаленных и закаленных) и других пластичных (вязких) материалов, при резании которых образуется сливная стружка, сильно истирающая переднюю грань резца.

На основе рассмотренных свойств твердых сплавов выработаны проверенные на практике рекомендации по выбору той или иной марки твердого сплава для различных случаев токарной обработки. Эти рекомендации приведены в табл. 3.

Сплав Т15К6Т изготавливается по особой технологии. Благодаря этому он имеет структуру, несколько отличную от структуры сплава Т15К6, и обладает большей износостойкостью.

Иностранные твердые сплавы

Европейские твердые сплавы. В Швеции, Австрии и Западной Германии так же, как в СССР, выпускаются две группы сплавов: вольфрамовые и титановольфрамовые. Однако количество марок изготавливаемых у нас твердых сплавов, особенно вольфрамовой группы, несколько больше, чем в указанных странах.

Шведские, австрийские и немецкие твердые сплавы имеют те же области применения, что и соответствующие им сплавы отечественных марок: вольфрамовые — для обработки чугуна, цветных

Примерное назначение твердых сплавов при токарной обработке

Марка твердого сплава	Область применения
ВК2 ВК3	Тонкая чистовая и получистовая обработка чугуна, обработка стекла, мрамора и электродных углей
ВК6	Черновая и чистовая обработка чугуна, цветных металлов и сплавов при непрерывном резании; обработка неметаллических материалов
ВК8	Черновая обработка чугуна, цветных металлов и сплавов при прерывистом резании: работа на удар и по корке, при неравномерном сечении среза
Т30К4 Т60К6	Чистовая и тонкая обработка сталей с высокими скоростями резания
Т15К6 Т15К6Т	Чистовая и получистовая обработка сталей с относительно равномерным сечением среза, непрерывное резание
Т14К8	Черновая обработка сталей с неравномерным сечением среза, прерывистое резание и работа по корке
Т5К10	Черновая обработка сталей с большим и неравномерным сечением среза, работа в особо тяжелых условиях, прерывистое резание по корке и работа на удар

металлов и сплавов, а также неметаллических материалов; титано-вольфрамовые — для обработки стали.

Американские твердые сплавы. В США, за исключением вольфрамового сплава «Карбой» (содержит 87% WC и 13% Co), используемого для черновой обработки чугуна, все остальные твердые сплавы по своему химическому составу принципиально отличаются от европейских сплавов.

Они разделяются на две группы. Сплавы первой группы состоят из карбида вольфрама (WC), карбида тантала (TaC) или карбида ниобия (NbC) и кобальта (Co); сплавы второй группы — из карбида вольфрама, карбида титана (TiC), карбида тантала или карбида ниобия и кобальта.

Таким образом, в отличие от европейских сплавов, в том числе и советских, которые бывают однокарбидными (сплавы группы ВК, содержащие карбид вольфрама) и двухкарбидными (сплавы группы ТК, содержащие карбиды вольфрама и титана), американские твердые сплавы являются двухкарбидными (первая группа) и трехкарбидными (вторая группа). Кроме того, американские сплавы содержат карбид тантала (карбид ниобия), который отсутствует в европейских сплавах.

Добавление к вольфрамовым сплавам карбида тантала, подобно карбиду титана, повышает их износостойкость и сопротивление шлипанию при обработке стали. Так как карбид титана тверже карбида тантала, стойкость танталовольфрамовых сплавов ниже стойкости титановольфрамовых (европейские сплавы группы ТК) и танталтитановольфрамовых сплавов.

Следует отметить, что танталтитановольфрамовые твердые сплавы получили в США широкое распространение и почти полностью вытеснили танталовольфрамовые сплавы.

Исследования показали, что, обладая приблизительно такой же твердостью, сплавы, содержащие карбид тантала, имеют большую прочность при изгибе, чем сплавы без него. Добавление 4—6% карбида тантала повышает предел прочности сплава при изгибе на 12—18%.

Танталтитановольфрамовые твердые сплавы в последнее время успешно применяются в европейских странах, вытесняя сплавы группы ТК. По сравнению с последними они менее хрупки и более надежны в эксплуатации.

Новые марки твердых сплавов

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте твердых сплавов разработаны новые марки сплавов с повышенными режущими свойствами. К ним относятся сплавы ВК4 и ВНЗКЗ.

Сплав ВК4 успешно применяется вместо сплава ВК8 на тяжелых обдирочных работах по чугуну. Сплав ВНЗКЗ (состоит из карбида вольфрама и двух цементирующих металлов — никеля и кобальта) при полусточном точении чугуна показал превосходство в режущих свойствах над сплавом ВК6.

Путем изменения структуры существующих сплавов созданы новые сплавы с повышенными режущими свойствами. Примером могут служить сплавы ВК6В и ВК6М, полученные на основе сплава ВК6.

Проходят испытания на резание опытные титановольфрамовые сплавы, предназначенные для обработки стали с большими сечениями среза.

Из исследований, проведенных за рубежом в области твердых сплавов для обработки металлов резанием, представляют интерес работы, направленные на изыскание возможностей отказа от применения вольфрама в твердых сплавах. Из разработанных опытных марок практическое значение имеют сплавы на основе карбид титана — карбид молибдена и карбид титана — карбид ванадия.

Исследованы также опытные марки трехкарбидных (карбид титана — карбид ниобия — карбид тантала и карбид титана — карбид ванадия — карбид ниобия) и четырехкарбидных сплавов (карбид титана — карбид ванадия — карбид ниобия — карбид молибдена). Некоторые из них могут иметь практическое значение.

В последнее время за рубежом проводятся работы, имеющие целью создать новые твердые сплавы, которые по прочности на изгиб занимали бы промежуточное положение между существующими твердыми сплавами и быстрорежущей сталью и одновременно обладали бы твердостью и износостойкостью, присущими существующим твердым сплавам.

3. Минералокерамика

Быстрорежущая сталь и твердые сплавы содержат значительное количество дефицитных и дорогостоящих металлов — вольфрам, титан, кобальт и др. Поэтому очень важно было изыскать такие инструментальные материалы, которые, обладая высокими режущими свойствами, были бы дешевы.

Советским ученым удалось создать дешевый и в то же время высокопроизводительный инструментальный материал — минералокерамику (термокорунд или микролит), основу которой составляет спеченная окись алюминия (Al_2O_3).

Лабораторные испытания минералокерамики различных марок и производственная практика показали, что лучшими режущими свойствами обладает минералокерамика ЦМ-332. Во многих случаях ею успешно заменяют твердые сплавы.

Минералокерамика не уступает твердым сплавам в твердости, которая составляет $H_{RA} = 91 \div 93$. Теплостойкость минералокерамики выше, чем у твердых сплавов: 1100—1200°. Однако прочность минералокерамики пока еще значительно ниже прочности твердых сплавов. Для того чтобы разрушить минералокерамическую пластинку, работающую на изгиб, достаточно приложить к ней нагрузку, вызывающую напряжение, равное 30—40 кг/мм².

Это в 2—3 раза меньше, чем для твердых сплавов группы ТК и в 10 раз меньше, чем для быстрорежущей стали.

Большая хрупкость минералокерамики является основным ее недостатком, ограничивающим область применения нового инструментального материала.

Существенным недостатком минералокерамики является также большая чувствительность к резким изменениям температуры. Поэтому в процессе припаивания к державкам резцов на минералокерамических пластинках нередко образуются трещины. Чтобы избежать появления трещин пайку производят с большими предосторожностями: пластинку постепенно нагревают до температуры 900—1000° (при использовании медного припоя), а резец охлаждают вместе с печью.

Хорошие результаты достигаются при использовании припоя ПВФ, предложенного новаторами ленинградского завода имени Карла Маркса. Этот припой представляет собой механическую смесь порошков мелкой зернистости следующего состава (весового): алюминий — 35—45%, глет (окись свинца) — 45—50%, латунь (Л70) — 15—25%. Температура плавления припоя равна 850°. В качестве флюса применяется обезвоженная бура.

Прочность пайки припоем ПВФ значительно выше, чем при использовании другими припоями. Это, по-видимому, объясняется наличием сродства между алюминием припоя и окисью алюминия минералокерамики. Замечено также, что трещины в пластинках ообразуются реже, однако полностью избежать их появления не удается.

Применяется и другой способ крепления минералокерамических пластинок к державкам резцов: при помощи теплостойкого клея БФ2 и БФ4. Этот клей обеспечивает прочность соединения при нагреве до 300°. Практикой установлено, что для минералокерамических резцов лучшим является клей, изготовленный на основе эпоксидных смол.

Во избежание частого выкрашивания и поломок минералокерамические пластинки лучше крепить механическим путем, чем припаивать или приклеивать к державкам (подробно об этом см. главу IV).

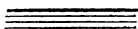
Под влиянием теплоты, возникающей при заточке резцов, на минералокерамических пластинках также появляются трещины. Количество случаев их образования можно уменьшить, если заточку вести мягкими абразивными кругами (М1, М2, М3) из зеленого карборунда, со скоростями круга, не превышающими 5—8 м/сек и при обильном охлаждении пластинки непрерывной струей жидкости.

Заточка резцов производится по задней грани. Передняя грань, как правило, не перетачивается, так как износ минералокерамических пластинок происходит, в основном, по задней грани. Окончательная доводка режущих элементов резцов осуществляется на чугунном диске пастой из карбида бора зернистостью 200—230, при смачивании керосином.

Опытом эксплуатации резцов, оснащенных минералокерамикой, установлено, что ее режущие свойства в значительной мере определяются однородностью строения и пористостью пластинки. Потемнение минералокерамической пластинки (до черного или серого цвета) после притирки на плите с графитом и небольшим количеством керосина свидетельствует о ее большой пористости и вследствие этого пониженной прочности. Такие пластинки применять не следует.

Внедрение минералокерамики в качестве материала для режущего инструмента сопровождается рядом трудностей. Процесс резания минералокерамическими резцами пока недостаточно изучен, производственники не накопили еще необходимого опыта. Однако новый инструментальный материал завоевывает все большее место в механических цехах.

В научно-исследовательских организациях ведутся работы по усовершенствованию минералокерамики, в первую очередь в направлении понижения ее хрупкости. Необходимо отметить, что несмотря на сравнительно небольшой еще объем выпуска минералокерамики, стоимость ее значительно ниже стоимости твердых сплавов.



ГЛАВА II

ГЕОМЕТРИЯ РЕЗЦА

4. Элементы резания при токарной обработке

Для осуществления резания металлов необходимо иметь два рабочих движения. Одно из них называется главным движением, а второе — вспомогательным движением или движением подачи. При работе на токарном станке вращение обрабатываемой детали является главным движением, а движение супорта с закрепленным в нем резцом — движением подачи (фиг. 1).

Путь перемещения режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности в единицу времени называется *скоростью резания*.

Скорость резания измеряется в метрах в минуту (*м/мин*) и обозначается буквой *v*.

Скорость резания подсчитывается по формуле:

$$v = \frac{\pi dn}{1000} \text{ м/мин,}$$

где *d* — диаметр обрабатываемой поверхности в *мм*;
n — число оборотов обрабатываемой детали в минуту.
 $\pi = 3,14$ — отношение длины окружности к диаметру.

По сравнению со скоростью резания движение подачи представляет достаточно медленное перемещение резца относительно обрабатываемой детали. Благодаря этому движению осуществляется последовательное срезание металла с обрабатываемой поверхности, в результате чего и образуется обработанная поверхность.

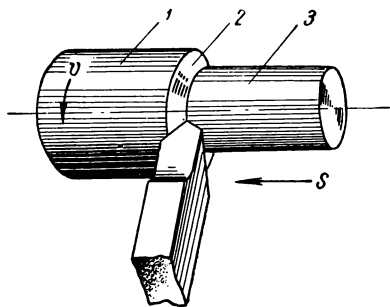
Величина перемещения резца за один оборот обрабатываемой детали называется *подачей*. Подача измеряется в миллиметрах на один оборот (*мм/об*) и обозначается буквой *s*.

При точении чаще всего применяются продольная (вдоль оси обрабатываемой детали) и поперечная (поперек оси детали) подачи. Обычно они непрерывно-равномерные, т. е. за каждый оборот детали резец перемещается на одну и ту же величину.

При обработке всегда приходится снимать слой металла. Толщина слоя металла, подлежащего срезанию, называется *припуском*

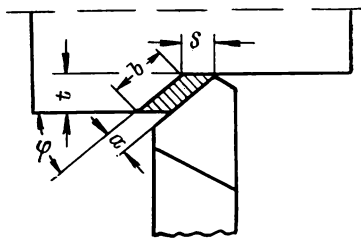
на обработку. Припуск измеряется в миллиметрах и обозначается буквой h ; в процессе резания он превращается в стружку.

Обычно припуск срезается не сразу, не за один проход, а последовательными слоями, т. е. за несколько проходов. Толщина слоя металла, срезаемая за один проход, называется *глубиной резания*. Или точнее: глубина резания есть расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями при осуществлении каждого прохода (фиг. 2). Измеряется она в миллиметрах и обозначается буквой t .



Фиг. 1. Поверхности и рабочие движения при точении:

1 — обрабатываемая поверхность; 2 — поверхность резания; 3 — обработанная поверхность.



Фиг. 2. Поперечное сечение срезаемого слоя металла.

Если весь припуск на обработку снимается за один проход, то в этом случае глубина резания равна припуску.

Зная величины рассмотренных движений, можно всегда определить так называемое *основное (технологическое) время*, т. е. время, в течение которого непосредственно происходит резание металла.

Основное время (T_0) подсчитывается по формуле.

$$T_0 = \frac{li}{ns} \text{ мин.},$$

где l — длина обрабатываемой поверхности, в направлении которой осуществляется подача, в мм;

i — число проходов;

n — число оборотов обрабатываемой детали в минуту;

s — подача в мм/об.

Ширина срезаемого слоя металла или *ширина среза* (фиг. 2) есть расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания. Выражается она в миллиметрах и обозначается буквой b .

Толщина срезаемого слоя металла или *толщина среза* есть расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания за один оборот обрабатываемой детали, измеряемое перпендикулярно к ширине среза. Толщина среза выражается в миллиметрах и обозначается буквой a .

Номинальная площадь поперечного сечения срезаемого слоя металла (обозначается буквой f) равняется произведению глубины резания t на подачу s или ширины среза b на толщину среза a и выражается в квадратных миллиметрах, т. е. $f = t \cdot s = a \cdot b$ мм².

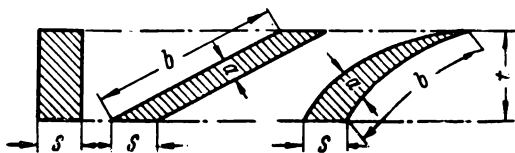
Глубина резания t , подача s , ширина среза b и толщина среза a связаны между собой следующими зависимостями (фиг. 3):

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}$$

и

$$a = s \cdot \sin \varphi.$$

С изменением главного угла в плане φ резца (подробно об угле φ см. п. 5) изменяются толщина и ширина срезаемого слоя



Фиг. 3. Различные формы поперечного сечения срезаемого слоя.

металла при постоянных величинах глубины резания и подачи. Чем меньше угол в плане, тем срезаемый слой тоньше, но шире, и наоборот.

Если угол в плане $\varphi = 90^\circ$, то ширина среза равна глубине резания ($b = t$), а толщина среза равна подаче ($a = s$). Однако во всех случаях, если глубина резания и подача неизменны, то поперечная площадь срезаемого слоя металла остается постоянной.

Действительная площадь поперечного сечения срезаемого слоя несколько меньше номинальной. Дело в том, что часть металла не срезается и остается на обработанной поверхности в виде гребешков. Так как они малы по сравнению с глубиной резания, то их обычно не учитывают при определении поперечного сечения среза. Высота гребешков тем меньше, чем меньше углы в плане φ и φ_1 резца и подача s и чем больше радиус закругления r вершины резца.

5. Геометрия режущей части резца

Основные понятия

Основным инструментом, которым токарь производит обработку разнообразных деталей машин на токарном станке, является резец. Резцы, применяемые токарем для различных работ, отличаются друг от друга своей формой и имеют разные названия, например: проходные резцы для обработки открытых наружных

поверхностей деталей и расточные резцы для обработки внутренних поверхностей, отрезные резцы для отрезания деталей и заготовок, подрезные резцы для подрезания торцов, буртиков, уступов и т. п., резьбовые резцы для нарезания резьбы и др.

Резец состоит из двух основных частей — тела и головки. Тело, или корпус, является крепежной частью резца, которой он устанавливается в супорт станка (резцедержатель) и прочно крепится в нем. Нижняя опорная плоскость резца называется основанием или подошвой. Обычно тело резца имеет прямоугольное сечение: высота и ширина находятся в соотношении, приблизительно равном 4 : 3 (25×16 мм, 30×20 мм, 40×25 мм и пр.).

Головка является наиболее важной частью резца; в зависимости от того, насколько она правильно сконструирована и изготовлена, резко изменяется режущая способность и срок службы резца, а также качество обработки.

Форма режущей части резца и углы ее заточки определяют геометрию резца. Для каждого вида токарной обработки и каждого обрабатываемого материала резец должен иметь наиболее подходящую (рациональную) или, как говорят, оптимальную геометрию. Это значит, что углы режущей кромки (лезвия) должны быть выполнены так, чтобы обеспечить наибольшую производительность станка, наибольший срок службы резца и наилучшее качество обрабатываемых деталей. Поэтому каждому токару нужно хорошо знать, какие элементы и углы должен иметь каждый резец, какую роль они играют в процессе резания и какое влияние на него оказывают.

Прежде чем рассматривать элементы режущей части резца, укажем, что в процессе резания на обрабатываемой детали различают следующие три поверхности (фиг. 1): обрабатываемую поверхность 1, поверхность резания 2 и обработанную поверхность 3.

Обрабатываемой поверхностью называют ту поверхность детали, которая подлежит обработке, т. е. с которой снимается стружка.

Поверхностью резания называют поверхность, которая образуется на детали непосредственно режущей кромкой резца. С нее срезается стружка при каждом обороте детали.

Обработанной поверхностью называют поверхность детали, полученную после снятия стружки.

На фиг. 4 изображена головка самого распространенного типа резца — проходного. На ней указаны элементы режущей части: 1 — главная режущая кромка, 2 — передняя грань, 3 — вершина резца, 4 — вспомогательная режущая кромка, 5 — главная задняя грань, 6 — вспомогательная задняя грань.

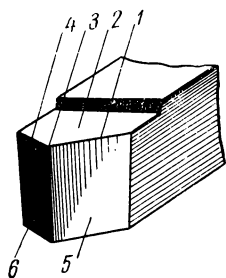
Передней гранью называют поверхность резца, по которой сходит стружка. Эта поверхность воспринимает давление стружки на резец.

Главной задней гранью резца называется поверхность резца, обращенная к поверхности резания.

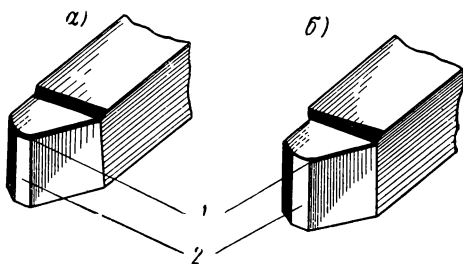
Вспомогательной задней гранью называют поверхность резца, обращенную к обработанной поверхности детали.

Главная режущая кромка образуется пересечением передней грани с главной задней гранью. Она выполняет главную, основную работу при резании.

Вспомогательная режущая кромка образуется пересечением передней грани со вспомогательной задней гранью. Обычно она отделяет срезаемую стружку только по ее толщине и поэтому выполняет малую часть работы.



Фиг. 4. Элементы режущей части резца.



Фиг. 5. Форма переходной режущей кромки: 1 — переходная режущая кромка; 2 — переходная задняя поверхность.

Пересечение режущих кромок образует вершину резца. Учитывая, что острая вершина резца получается весьма непрочной, быстро нагревается и сгорает, резец чаще всего затачивают так, чтобы его режущие кромки плавно сопрягались *переходной режущей кромкой* в виде дуги окружности небольшого радиуса ($r = 0,5 \div 1,5 \text{ мм}$), который называется *радиусом закругления при вершине* (фиг. 5, а). Значительно реже переходную режущую кромку делают прямолинейной (фиг. 5, б).

В результате таких сопряжений режущих кромок у резца образуется еще одна задняя грань, которая называется *переходной задней гранью* или, правильнее, *переходной задней поверхностью*.

Другие типы резцов имеют несколько иное распределение элементов режущей части. Так, например, у отрезного резца — две вспомогательные задние грани, две вспомогательные режущие кромки и две переходные режущие кромки.

Некоторые виды инструмента совершенно не имеют тех или иных элементов режущей части. Примером может служить осевая цилиндрическая фреза, у зубьев которой нет вспомогательных задних граней и вспомогательных режущих кромок.

Однако любой режущий инструмент обязательно имеет переднюю грань, главную заднюю грань и главную режущую кромку.

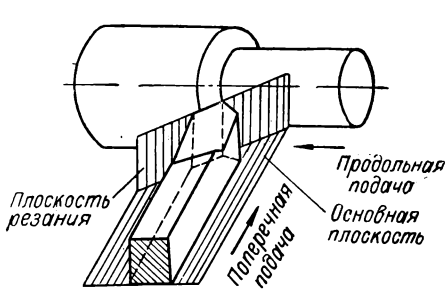
При этом следует помнить, что для всех видов режущего инструмента, и в том числе для всех типов токарных резцов, понятия, определения и названия элементов режущей части остаются такими же, как и для проходного резца.

Углы резца

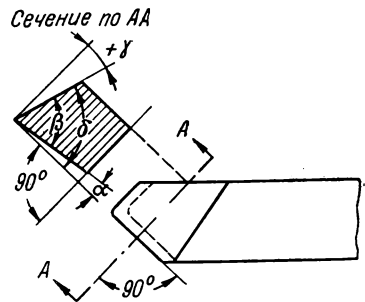
Режущая часть резца затачивается так, что ее поверхности (грани) и режущие кромки взаимно пересекаются под вполне определенными углами, которые называются *углами заточки резца*.

Для определения этих углов установлены понятия основной плоскости и плоскости резания (фиг. 6), а также главной секущей плоскости и вспомогательной секущей плоскости.

Основная плоскость проходит через основание резца параллельно продольной и поперечной подачам.



Фиг. 6. Плоскость резания и основная плоскость при точении.



Фиг. 7. Главные углы резца.

Плоскость резания проходит через главную режущую кромку касательно к поверхности резания (при строгании и долблении плоскость резания совпадает с поверхностью резания).

Главная секущая плоскость перпендикулярна к проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Прямая *AA* на фиг. 7 является следом главной секущей плоскости.

В главной секущей плоскости измеряются следующие углы заточки резца (фиг. 7): задний угол α , передний угол γ , угол резания δ и угол заострения β .

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

Передний угол γ — это угол между передней гранью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку.

Угол резания δ — угол между плоскостью резания и передней гранью резца.

Угол заострения β — угол между передней и главной задней гранями резца.

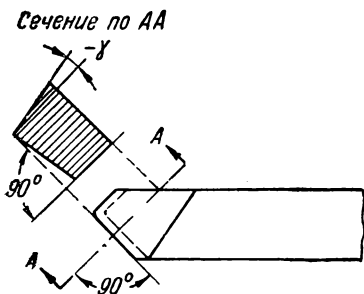
Угол заострения в сумме с передним и задним углами составляет прямой угол, т. е. $\beta + \gamma + \alpha = 90^\circ$.

Однако в ряде случаев, при точении с высокими скоростями весьма твердых металлов, в том числе закаленной стали, резец затачивают так, что передний угол получает отрицательную вели-

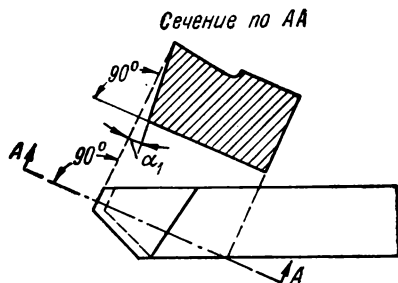
чину (фиг. 8) — $\gamma = -5 \div -10^\circ$. Тогда угол резания δ получается больше 90° .

Вспомогательные углы реза измеряются во *вспомогательной секущей плоскости*, которая проходит перпендикулярно к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. Прямая *AA* на фиг. 9 является следом вспомогательной секущей плоскости.

Вспомогательным задним углом α_1 (фиг. 9) называется угол между вспомогательной задней гранью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Этот угол необходим для уменьшения тре-



Фиг. 8. Отрицательный передний угол.



Фиг. 9. Вспомогательный задний угол.

ния между вспомогательной задней гранью и обработанной поверхностью.

Кроме рассмотренных, резец имеет еще два угла в плане: главный φ и вспомогательный φ_1 (фиг. 10).

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

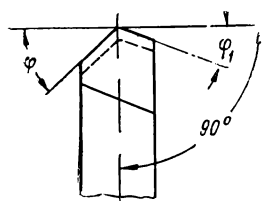
Вспомогательный угол в плане φ_1 — это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, обратным направлению подачи.

У всех видов инструмента, имеющего вспомогательную кромку, создают вспомогательный угол в плане. Это необходимо для уменьшения трения вспомогательной кромки об обработанную поверхность

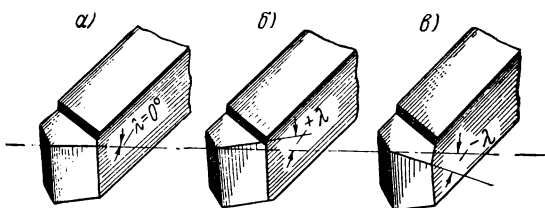
Помимо перечисленных выше углов, резец снабжается еще *углом наклона главной режущей кромки*, который обозначается буквой λ . Это угол заключен между главной режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости (фиг. 11). Угол λ измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Он считается положительным, если вершина резца является наинизшей точкой режущей кромки (фиг. 11, б), и отрицательным, если вершина резца является наи-

высшей точкой кромки (фиг. 11, в). Угол λ равен нулю, если главная режущая кромка параллельна основной плоскости (фиг. 11, а).

Основное назначение угла наклона режущей кромки состоит в том, чтобы сообщить желаемое направление сходу стружки.



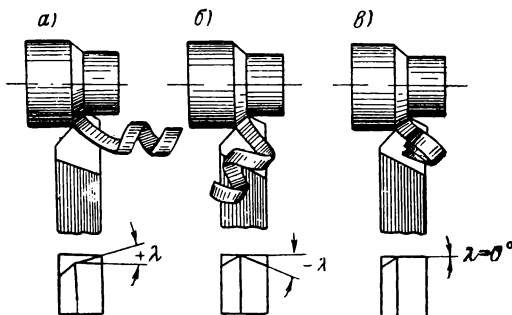
Фиг. 10. Углы в плане.



Фиг. 11. Угол наклона главной режущей кромки.

Кроме того, он влияет на прочность вершины резца. При положительном угле наклона упрочняется вершина резца, улучшается отвод теплоты, и стружка сходит в сторону обработанной поверхности (фиг. 12, а).

При отрицательном угле наклона режущей кромки облегчается сход стружки, которая отводится в сторону обрабатываемой поверхности, но зато ослабляется вершина резца и ухудшается отвод теплоты (фиг. 12, б). Если угол наклона равен нулю, то стружка обычно сходит перпендикулярно режущей кромке (фиг. 12, в).



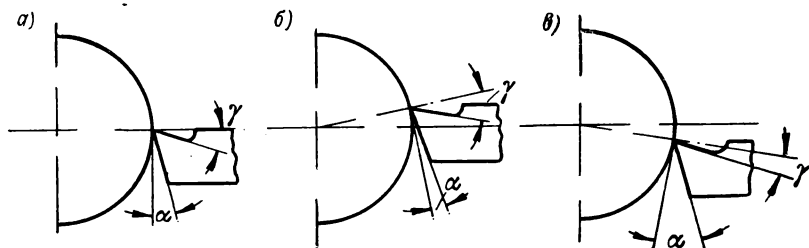
Фиг. 12. Сход стружки при разных углах наклона главной режущей кромки.

Углы заточки резца могут отличаться по величине от действительных углов, получающихся в процессе резания. Такое изменение углов зависит от установки резца на станке и от формы тех поверхностей, которые им обрабатывают. Так, например, при обычной установке резца, когда его вершина находится на уровне оси обрабатываемой детали, а основание расположено горизонтально (фиг. 13, а), изменения углов не происходит.

Однако при установке резца выше оси вращения обрабатываемой детали задний угол α уменьшается, а передний угол γ увеличивается (фиг. 13, б). При установке же резца ниже линии центров задний угол α увеличивается, а передний угол γ уменьшается (фиг. 13, в).

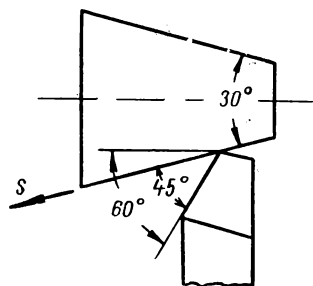
В процессе резания передний угол γ и задний угол α изменяются еще кроме того вследствие наличия сложного движения: вращательного движения обрабатываемой детали и поступательного движения резца. Для обычных токарных работ это измене-

ние углов α и γ невелико (меньше 1°), поэтому им можно пренебречь. При нарезании же резцом резьбы с большим шагом изменение углов α и γ может достигнуть большой величины; по-



Фиг. 13. Изменение углов в зависимости от установки резца на станке.

этому при выборе геометрии резьбовых резцов это обстоятельство должно учитываться. Для обеспечения на резце заднего угла α необходимой величины в этом случае резец поворачивают по наклону резьбы.



Фиг. 14. Изменение угла в плане при точении конуса.

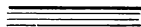
В процессе резания могут изменяться и углы в плане. При обычной установке резца и точении цилиндрических поверхностей этого изменения не происходит. Но при точении, например, конических поверхностей или при косо́й установке резца такое изменение может быть значительным.

Приведем пример. Резец был изготовлен с главным углом в плане $\varphi = 60^\circ$ и установлен для обтачивания конуса с углом 30° (фиг. 14). При этом

фактический угол в плане будет $\varphi = 60^\circ - \frac{30^\circ}{2} = 45^\circ$.

Величины всех рассмотренных углов зависят от материала обрабатываемой детали, материала режущей части самого резца и условий работы (жесткость детали, способ ее закрепления на станке, чистота и точность обработки и пр.).

Конечно, все эти обстоятельства заранее предвидеть невозможно. Поэтому в нормативах рекомендуются средние величины углов, которые затем уточняются для конкретных условий работы. Величины углов заточки резцов приведены в главе V данной книги.



ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Современные машины, аппараты, приборы и механизмы состоят из большого количества самых разнообразных деталей, к которым предъявляются определенные требования в отношении прочности, веса, точности размеров, чистоты поверхностей и т. д.

Детали машин изготавливаются из различных материалов, но подавляющее большинство их — из металлов.

Производство металлических деталей начинается в кузнечных, литейных и других заготовительных цехах заводов. Окончательную же форму и размеры им придают обычно в механических цехах, где металл обрабатывается на токарных, сверлильных, фрезерных, строгальных, шлифовальных и других станках. Во всех этих операциях происходит резание металлов.

Резание металлов является наиболее сложным и дорогостоящим методом обработки в сравнении с ковкой, штамповкой, литьем, электросваркой и другими видами обработки металлов.

Операции резания поглощают от 30 до 50% всех трудовых затрат, необходимых для изготовления машины. Поэтому на совершенствование обработки металлов резанием и повышение производительности труда в этой области обращается исключительно большое внимание. Внедряются новый высокопроизводительный инструмент, быстроходные и мощные станки, быстродействующие и многоместные приспособления, прогрессивные технологические процессы, передовые формы организации труда.

Методы обработки металлов, основанные на применении высоких скоростей резания и больших подач, при одновременной механизации и автоматизации технологических процессов, стали основными методами работы отечественных машиностроительных заводов.

Основоположниками науки о резании металлов являются русские ученые И. А. Тиме, К. А. Зворыкин и Я. Г. Усачев. Их исследования позволили проникнуть в самую суть процесса резания и вскрыть такие явления, которые невозможно обнаружить простым наблюдением.

Советские ученые В. Д. Кузнецов, В. А. Кривоухов, А. И. Каширин, П. М. Беспрозванный и многие другие своими глубокими и всесторонними исследованиями дали дальнейшее развитие науке о резании металлов.

Наши ученые в творческом содружестве с новаторами производства непрерывно совершенствуют методы обработки металлов. Многие производственники сами открывают новые пути повышения производительности при резании. Так, по почину токаря-новатора Средневолжского станкостроительного завода В. А. Колесова в промышленности широко внедряется высокопроизводительный способ резания металлов с большими подачами.

Глубокое знание процесса резания металлов помогает изготавливать машины высокого качества при наименьших затратах труда и средств.

Эти знания необходимы токарям для повышения производительности труда, для достижения высокой точности и чистоты обработки и для дальнейшего совершенствования методов работы.

6. Как происходит резание металлов

При резании в снимаемом слое металла и в верхних слоях, остающихся на обработанной поверхности, происходит ряд физических явлений. Понимание этих явлений имеет большое значение для практического решения таких вопросов, как повышение производительности обработки, необходимая мощность резания, достижение требуемой чистоты и точности обработки, уменьшение износа инструмента и т. п. Впервые глубокие научные исследования в области резания металлов произвел один из выдающихся русских ученых профессор И. А. Тиме, который по праву считается основоположником науки о резании металлов.

Иван Августович Тиме родился 11 июля 1838 г. в г. Златоусте. В 1851 г. он поступил в Петербургский институт корпуса горных инженеров (впоследствии Горный институт), который окончил в 1858 г. с золотой медалью.

В 1859 г. И. А. Тиме руководит постройкой золотопромывательной фабрики на Березовских золотых промыслах. В 1860 г. он работает смотрителем Нижне-Исетского железодельного завода. Здесь по его проекту была сооружена пудлингово-сварочная фабрика на торфе.

В 1861—1864 гг. И. А. Тиме работает в г. Екатеринбурге (ныне г. Свердловск) в качестве механика горного округа. Одновременно он читает лекции по металлургии железа в Уральском горном училище.

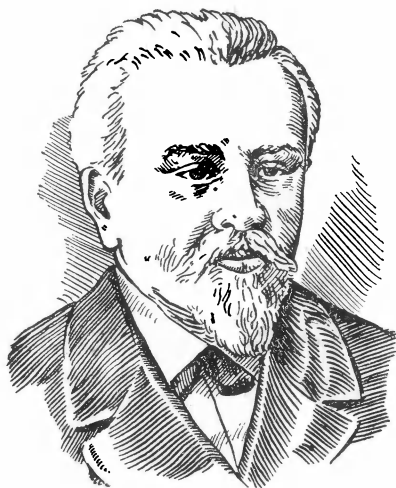
В 1864—1867 гг. И. А. Тиме живет за границей: в Германии, Австрии, Бельгии, Франции и Англии, где знакомится с постановкой горной техники.

Возвратившись из заграничной командировки, И. А. Тиме занимается разработкой проектов всех машин и механизмов для строившегося в то время в г. Лисичанске (Донбасс) первого чугуноплавильного завода на минеральном топливе. Машины для этого завода были построены на Луганском литейном заводе под личным руководством И. А. Тиме. Здесь же им был спроектирован целый ряд машин, паровых котлов, насосов и другого оборудования для доменного производства.

В это же время в мастерских Луганского завода И. А. Тиме проводит свои классические исследования процесса образования стружки при резании металлов и дерева и результаты публикует в труде «Сопrotивление металла и дерева резанию».

В 1870 г. И. А. Тиме был избран профессором Петербургского Горного института, а позднее ему было присвоено звание заслуженного профессора. В 1877 г. была опубликована еще одна его научная работа по резанию металлов под названием «Мемуары о строгании металлов».

Кроме научных работ в области резания, И. А. Тиме созданы фундаментальные труды по машиностроению, горнозаводской механике, гидравлике и пр. Умер И. А. Тиме в 1920 г.



И. А. Тиме.

Как же протекает процесс резания металла, как происходит отделение срезаемого слоя от основного, остающегося в обрабатываемой детали?

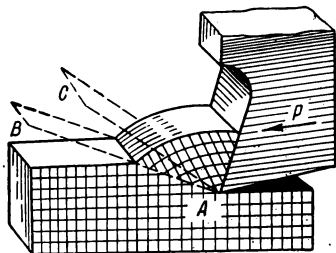
На этот вопрос применительно к резанию пластичных (вязких) металлов, как например, сталь, согласно учению И. А. Тиме, можно вкратце ответить следующим образом.

Уже указывалось, что режущая часть резца, как и всякого другого инструмента, представляет собой несимметричный клин, который с силой P вдавливается в обрабатываемый материал (фиг. 15). Под действием этой силы резец начинает сжимать (деформировать) срезаемый слой, который деформируется не по всей своей длине, а лишь на небольшом участке, расположенном перед передней гранью инструмента. Границей распространения деформаций в срезаемом слое является плоскость AB , расположенная наклонно к направлению движения резца. Частицы металла на этом участке деформируются тем сильнее, чем ближе они расположены к режущей кромке инструмента.

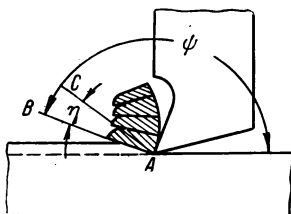
Фиг. 15 дает об этом приближенное представление. На ней схематично показано строгание бруска, на боковой стенке которого заранее были проведены риски в виде равномерной сетки. Искажение сетки показывает смещение частиц металла в процессе врезания резца.

По мере продвижения инструмента частицы металла деформируются до определенного предела, пока не будут преодолены силы сцепления между деформированным кусочком и остальным металлом. После этого происходит местное разрушение металла, деформированный кусочек сдвигается по плоскости AB и, наконец, скалывается. Этот кусочек металла называется *элементом стружки*.

При дальнейшем продвижении резца таким же путем деформируется и скалывается следующий кусочек металла. Так, кусочек за кусочком весь слой металла, подлежащий срезанию, превращается в стружку, причем отдельные элементы ее обычно остаются связанными друг с другом.



Фиг. 15. Образование элемента стружки.



Фиг. 16. Плоскости скалывания и сдвига при образовании стружки.

Таким образом, *резание можно рассматривать как последовательное скалывание отдельных кусочков предварительно деформированного резцом металла*. Это основное положение учения о резании металлов было впервые установлено И. А. Тиме.

Плоскость AB , которая в каждый момент образования элемента стружки является границей распространения деформаций в срезаемом слое металла, называется *плоскостью скалывания*. Она имеет строго определенное положение относительно направления движения резца и для пластичных (вязких) металлов (сталь, латунь и др.) составляет с ним угол $145\text{--}150^\circ$ (фиг. 16). Этот угол называется *углом скалывания* и обозначается буквой ψ .

Позднейшие исследования выдающегося ученого Я. Г. Усачева показали, что в процессе резания перемещение (деформация) металла происходит в срезаемом слое не только по плоскости скалывания AB , но и по так называемым *плоскостям сдвига* AC , в пределах каждого элемента стружки. Угол между плоскостью сдвига AC и плоскостью скалывания AB называется *углом сдвига* и обозначается буквой η .

Угол сдвига при резании более пластичных металлов доходит до 30° , а при обработке менее пластичных металлов он приближается к нулю.

Основная деформация при резании пластичных металлов происходит именно по плоскостям сдвига, так как кристаллы

металла оказываются вытянутыми вдоль этих плоскостей. Благодаря этому прочность металла в стружке меньше по плоскостям сдвига, чем по плоскостям скалывания. Это подтверждается тем, что стружка при ее перегибе разламывается не по плоскости скалывания, а по плоскости сдвига.

При обработке металлов твердых и средней твердости с большими подачами s , малыми скоростями резания v и с малым передним углом γ стружка обычно получается в виде отдельных связанных друг с другом элементов. Такая стружка называется *стружкой скалывания* (фиг. 17, а). У нее верхняя сторона имеет пилообразную форму и отчетливо видны плоскости скалывания между отдельными элементами.

При обработке пластичных металлов с малыми подачами s , большими скоростями резания v и с большим передним углом γ образование отдельных элементов стружки не успевает произойти. Резец, не доведя до полного образования первый элемент, начинает деформировать и сдвигать второй, затем третий и далее все последующие элементы, образуя сплошную стружку без элементного строения. Такая стружка называется *сливной* (фиг. 17, б).

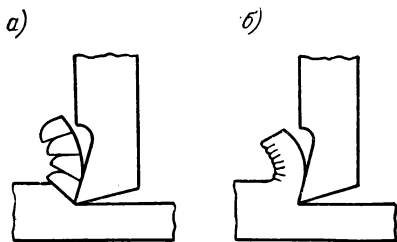
Та сторона сливной стружки, которой она скользит по передней грани резца, — гладкая и блестящая, а противоположная ей сторона — матовая, «бархатистая», со множеством мелких зазубрин.

Сливная стружка образуется в виде сплошной прямой ленты либо в виде плоской или винтовой спирали.

Установить четкую границу между стружкой скалывания и сливной очень трудно. При различных условиях обработки один вид стружки может перейти в другой. Могут возникнуть также и промежуточные формы стружки. Переход стружки скалывания в сливную происходит тем скорее, чем пластичнее металл, чем больше передний угол резца, чем тоньше срезаемый слой металла, и, особенно, чем выше скорость резания.

При обработке хрупких металлов (чугун, твердая бронза и др.) сплошной стружки не получается; она состоит из отдельных мелких элементов, которые очень слабо связаны между собой (например, при резании серого чугуна); стружка сразу рассыпается на мелкие кусочки (например, при обработке твердого чугуна, свинцовистой латуни, твердой бронзы и т. п.). Это происходит потому, что срезаемый слой металла под действием резца разрушается здесь сразу же, не претерпевая предварительно какого-либо пластического течения, как при резании стали.

Такую стружку называют *стружкой надлома*.



Фиг. 17. Виды стружек.

7. Нарост на резце

Глубокие исследования процесса образования стружки при резании металлов были проведены в Петроградском Политехническом институте Я. Г. Усачевым. Наряду с другими вопросами резания металлов, он на основании своих работ впервые дал научное обоснование явлению нароста на резце. Нарост оказывает значительное влияние на процесс резания металлов.



Я. Г. Усачев.

Яков Григорьевич Усачев родился 17 октября 1873 г. в с. Никольском Курской губернии.

По окончании трех классов сельской школы Я. Г. Усачев в качестве ученика-ремесленника изучает каретно-столярное и шорное дело. В 1900 г. он работает механиком в Екатеринославском горном училище.

В 1902 г. Я. Г. Усачев поступает на работу в Петербургский Политехнический институт. Здесь, работая старшим мастером в лаборатории технологии металлов, он проводит свои выдающиеся исследования процесса резания металлов, результаты которых были опубликованы в 1915 г. в «Известиях Петроградского Политехнического института». Этот научный труд принес Я. Г. Усачеву всеобщее признание, особенно в наше время.

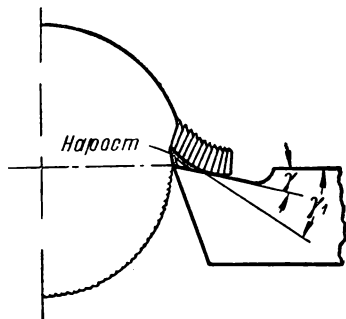
В 1923 г. Я. Г. Усачева приглашают на работу в специальный исследовательский институт в качестве старшего инженера. Здесь широко раскрылись его огромные способности и в других областях научных изысканий. За успешное выполнение заданий правительства в 1936 г. Я. Г. Усачев был удостоен высшей награды — ордена Ленина.

Благодаря своей одаренности, исключительной настойчивости в работе и в образовании Я. Г. Усачев стал ученым с мировым именем. Умер он 28 октября 1941 г.

Часто можно наблюдать, что при резании стали на передней грани резца вдоль самой режущей кромки образуется небольшой спрессованный слой металла, имеющий форму клина. Он настолько прочно связан с резцом, что иногда не удается сбить его без выкрашивания режущей кромки. Строение металла этого слоя

совершенно отлично от строения металла стружки и обрабатываемой детали. Явление образования этого слоя металла на режущей кромке резца Я. Г. Усачев назвал *явлением застоя*, а самый слой металла — *наростом* (фиг. 18). Иногда высота нароста достигает нескольких миллиметров.

Я. Г. Усачев установил, что твердость нароста значительно выше твердости обрабатываемого металла, из частиц которого он состоит. Поэтому нарост сам способен резать металл; он как бы заменяет собой режущую кромку резца. Вершина нароста имеет закругленную форму и довольно неровную шероховатую поверхность. Вот почему нарост не может резать так чисто, как режущая кромка резца: обработанная поверхность в этом случае получается шероховатой, неровной. Поэтому при чистовой обработке деталей, когда требуется получить чистые поверхности с точными размерами, принимают все меры к тому, чтобы предотвратить образование нароста.



Фиг. 18. Нарост на резце.

При черновой обработке деталей, когда точность и чистота поверхности не имеют большого значения, нарост благоприятно сказывается на процессе резания.

В чем же сказывается положительное влияние нароста на процесс резания?

Прежде всего, с образованием нароста увеличивается действительный передний угол, как это показано на фиг. 18. Буквой γ обозначен передний угол на резце, а буквой γ_1 этот же угол на наросте. При некоторых условиях работы угол γ_1 достигает $40-45^\circ$, вследствие чего уменьшаются сопротивление металла резанию и расходуемая мощность.

С образованием нароста уменьшается и температура нагрева режущей части резца, так как развивающаяся при резании теплота в основном передается наросту и нагревает его до более высокой температуры, чем режущую кромку резца.

Прикрывая собой режущую кромку, нарост тем самым предохраняет ее от износа. Иногда вершина нароста настолько сильно выступает за режущую кромку, что последняя не соприкасается ни с поверхностью резания, ни со стружкой, и резание, по существу, производится самим наростом.

Из сказанного совершенно ясно то большое значение, какое имеет нарост при резании металлов. В наше время каждый токарь должен хорошо знать, как и при каких условиях образуется нарост и как его можно избежать, когда появление его нежелательно.

Почему же образуется нарост? Почему он так прочно удерживается на передней грани резца?

Научно обоснованный и экспериментально проверенный ответ на эти вопросы впервые дал Я. Г. Усачев в 1912 г. Согласно его теории, нарост образуется вследствие явления застоя металла при превращении срезаемого слоя в стружку.

Стружка обычно оказывает на переднюю грань резца очень большое давление, которое достигает иногда нескольких тысяч атмосфер. При таком огромном давлении нижние слои стружки заполняют собой все неровности на передней грани резца. Получается очень плотный контакт между стружкой и передней гранью резца. Поэтому между ними возникают большие силы сцепления. В результате происходит как бы слипание двух металлов: нижних частиц стружки с передней гранью резца. Это слипание, а также сопротивление неровностей передней грани движению стружки, создают силу трения, которая препятствует ее сходу. Когда эта сила становится больше сил сцепления между частицами металла стружки, нижние ее слои, как наиболее спрессованные в процессе резания, отделяются от остальной части стружки и задерживаются или, как говорят, застаиваются на передней грани резца. Постепенно наслаиваясь друг на друга, они образуют между стружкой и передней гранью резца неподвижный, плотный, сильно спрессованный комочек клиновидной формы, который и называется наростом.

Высота нароста не остается постоянной. В процессе резания происходит постепенное увеличение нароста до каких-то наибольших размеров, при которых стружка начинает опираться не на переднюю грань резца, а на сам нарост. При этом, под действием возросшей силы трения, нарост полностью (или только его верхина) срывается и уносится со стружкой или внедряется в обработанную поверхность, ухудшая тем самым ее чистоту. Затем снова происходит наращивание или полное образование нароста до момента его срывания, и такое чередование продолжается непрерывно.

Образование нароста зависит от режима резания, геометрии резца и условий работы. Наибольшее значение имеет скорость резания v . Установлено, что при скоростях резания порядка 80 м/мин и более нарост не образуется и обработанная поверхность получается гладкой и ровной. Это объясняется, по-видимому, тем, что при больших скоростях резания развивается высокая температура, при которой не может происходить наращивание твердых слоев металла вследствие их размягчения. Размягченные частицы плохо удерживаются на передней грани резца и потому легко срываются сходящей стружкой.

Установлено также, что нарост не образуется и при очень низких скоростях резания, порядка 1—2 м/мин и меньше. Здесь, очевидно, имеет место обратное явление: температура резания столь низка, что при ней не обеспечивается достаточно плотное прилипание частиц металла к резцу, и они сравнительно легко удаляются вместе со стружкой.

Сказанное легко согласуется с повседневной практикой обработки стали. Во всех случаях, когда необходимо получить хорошую чистоту поверхности, стараются применять высокие скорости резания. При этом, конечно, возрастает и производительность работы. Но в ряде случаев не удается осуществить высокие скорости резания. Тогда, наоборот, применяют очень низкие скорости, при которых обеспечивается требуемая чистота обработанной поверхности, а для повышения производительности процесса увеличивают подачу и работают широкими чистовыми резцами.

При чистовой обработке, во избежание образования нароста, тщательно затачивают режущую кромку резца и полируют его переднюю и задние грани.

Точно указать величину скорости резания, при которой не образуется нарост, не представляется возможным. Она зависит от конкретных условий работы и прежде всего от твердости обрабатываемой стали, величины переднего угла γ резца и толщины среза a . Чем тверже сталь, толще срезаемый слой и меньше передний угол резца, тем ниже скорость резания, при которой исчезает нарост. При работе резцом с передним углом, равным 45° и более, образование нароста вообще не наблюдается.

В обычных условиях наиболее интенсивно нарост образуется при работе со скоростями резания порядка $20-30$ м/мин, а также при обработке стали, особенно при образовании сливной стружки. При стружке скалывания нарост также возникает, но не удерживается на резце, а сразу сходит с него в тот момент, когда происходит скалывание элементов стружки. По этим же причинам нарост не удерживается при обработке стали, когда процесс резания сопровождается ударами (строгание, фрезерование).

Явление нароста наблюдается не только при точении стали, но и при сверлении, протягивании, нарезании резьбы метчиками и других работах.

При обработке мягкого чугуна нарост также образуется, но не достигает больших размеров, так как его развитию препятствует неплотное строение стружки.

Явление нароста было изучено Я. Г. Усачевым при работе резцами из быстрорежущей стали. Однако современная практика и лабораторные исследования показывают, что нарост имеет место и при работе резцами, оснащенными пластинками твердых сплавов.

8. Усадка стружки

Если измерить длину стружки и длину поверхности, с которой она срезана, то окажется, что длина стружки меньше длины обработанной поверхности (фиг. 19). Это явление впервые было установлено И. А. Тиме. Изучая процесс образования стружки при обработке пластичных металлов, он обнаружил, что толщина образующейся стружки всегда больше толщины срезанного слоя металла. Стружка как бы разбухает, но становится короче, или, как говорят, усаживается, а объем стружки остается равным объему

срезаемого слоя. Это укорочение стружки с увеличением ее толщины при неизменном объеме и называется *усадкой стружки*.

Наиболее просто и удобно величина (степень) усадки стружки определяется отношением длины пути резца по поверхности резания к длине срезанной стружки. Совершенно очевидно, что усадка стружки характеризует величину деформации срезаемого слоя металла. Чем больше длина стружки отличается от длины срезанного слоя, тем большую деформацию испытал срезанный металл.

Таким образом, отношение длины срезанного слоя (длина пути резца) к длине стружки можно принять за показатель деформации срезанного металла. Чем больше это отношение, тем больше усадка стружки.

Усадка стружки определяется по следующей формуле:

$$U_c = \frac{l_n}{l_c},$$

где U_c — усадка стружки;
 l_n — длина пути резца в мм;
 l_c — длина стружки в мм.

От чего зависит усадка стружки?

Из приведенных исследований следует, что величина усадки стружки,

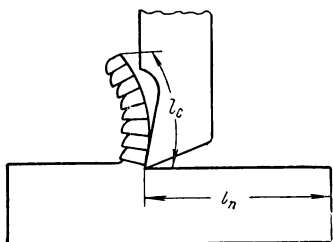
как показателя деформации срезанного слоя металла, зависит от многих факторов. Но прежде всего она зависит от пластичности обрабатываемого металла, величины переднего угла γ резца, толщины среза a и скорости резания v .

Пластичные металлы больше деформируются, чем хрупкие; поэтому при одинаковых условиях резания с повышением пластичности обрабатываемого металла усадка стружки увеличивается. При обработке стали усадка стружки $U_c = 1,5-2$ и больше. Это значит, что стружка становится в полтора-два раза короче той длины поверхности, с которой она снята. При обработке же хрупких металлов усадка стружки почти не наблюдается и практически считают, что $U_c = 1$.

Усадка стружки уменьшается при увеличении переднего угла γ резца; следовательно, уменьшается деформация срезаемого слоя металла и облегчается работа резца по срезанию стружки. Зависимость усадки стружки от величины переднего угла резца при обработке стали наглядно представлена на фиг. 20 в виде столбиков различной длины и толщины. Из этой диаграммы следует, что если длину стружки, снятую резцом с $\gamma = 45^\circ$, принять за 100, то при $\gamma = 0^\circ$ ее длина оказывается равной 24, т. е. стружка становится короче более чем в четыре раза, но значительно толще.

Таким образом, при работе резцом с передним углом $\gamma = 45^\circ$ усадка стружки, а значит, и расход мощности на резание значительно меньше, чем при работе резцом с передним углом $\gamma = 0^\circ$.

Поэтому необходимо работать резцами с возможно большими передними углами, насколько это допускается прочностью режу-

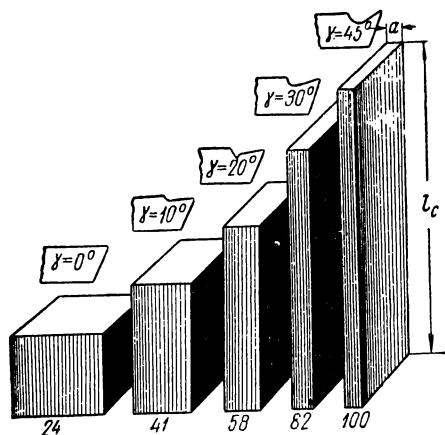


Фиг. 19. Усадка стружки.

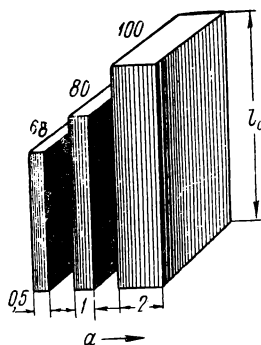
щего клина инструмента. Вот почему при обработке очень мягких и пластичных металлов, как например, алюминий, передний угол у резцов принимается равным $\gamma = 35 \div 40^\circ$. При обработке же стали угол γ не бывает больше $20-25^\circ$.

Усадка стружки уменьшается с увеличением толщины a срезаемого слоя (фиг. 21). Если при толщине среза $a = 2$ мм длину стружки принять за 100, то при толщине среза $a = 0,5$ мм стружка усаживается до 68, т. е. она становится короче более чем в 1,4 раза.

Из сказанного вытекает, что для уменьшения удельного рас-



Фиг. 20. Усадка стружки в зависимости от величины переднего угла γ .



Фиг. 21. Усадка стружки в зависимости от толщины среза.

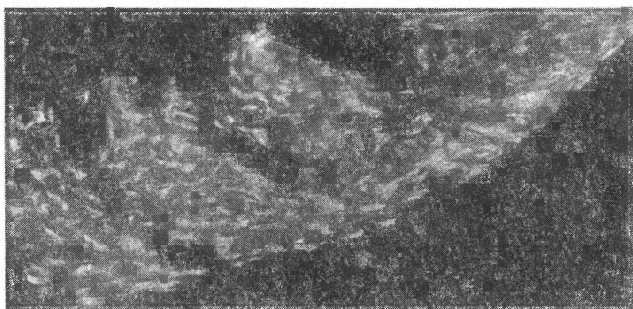
хода мощности на резание следует работать с большими подачами, при которых получается более толстая стружка.

На величину усадки стружки оказывает влияние и скорость резания v . С увеличением скорости усадка уменьшается. Для объяснения этого явления приведем такой пример. Если в оконное стекло выстрелить из револьвера или винтовки, то пуля пробьет в нем лишь маленькую дырочку. Если же в стекло бросить рукой ту же пулю или маленький камешек, то оно не только будет пробито, но на нем образуются трещины во все стороны. Это объясняется тем, что для распространения деформаций в любом материале требуется некоторое время. В первом случае время очень мало, так как скорость полета пули несравненно больше скорости распространения деформации в стекле; поэтому оно и не успевает растрескаться.

Таким же примерно явлением сопровождается и процесс резания металлов. Чем выше скорость резания, тем меньше времени приходится на деформацию каждого элемента стружки. При высокой скорости резания каждый элемент стружки не успевает деформироваться так полно, как при низкой скорости. Пластическая

деформация происходит не по всему элементу стружки, а лишь на сравнительно малых его участках. Промежутки между ними заполнены почти недеформированными частицами металла. Это видно на фиг. 22, где показана микроструктура стружки, снятой при весьма высокой скорости резания ($v = 425$ м/мин).

Таким образом, при высоких скоростях резания уменьшается деформация металла, а значит и усадка стружки; уменьшается и работа, затрачиваемая на срезание, например, одного кубического сантиметра металла.



Фиг. 22. Увеличенная микроструктура стружки, срезанной при скорости резания $v = 425$ м/мин.

Существенное влияние на усадку стружки оказывает нарост, образующийся на передней грани резца. Пока нароста нет, например, в начале резания, усадка стружки и ее толщина больше (a_1 на фиг. 23). Как только появится нарост и в связи с этим увеличится действительный передний угол, усадка и толщина стружки уменьшаются (a_2 на фиг. 23).

Влияние нароста на усадку стружки проявляется по-разному в зависимости от величины переднего угла резца. Это хорошо видно на верхнем графике фиг. 24, относящемся к изменению усадки стружки с увеличением скорости резания, при работе резцом, у которого передний угол $\gamma = 0^\circ$. Мы уже знаем, что при очень низких скоростях резания ($v = 1 \div 2$ м/мин) нароста не бывает. Поэтому усадка стружки оказывается наибольшей, так как действительный передний угол γ здесь также равен нулю.

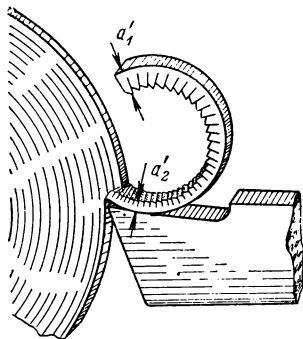
Нам известно, что при увеличении скорости резания до 20—30 м/мин нарост получается наибольшим. Вследствие этого действительный передний угол (на наросте) увеличивается, а потому резко уменьшается и усадка стружки.

При дальнейшем увеличении скорости резания ($v = 40 \div 60$ м/мин) нарост убывает, действительный передний угол на резце уменьшается, и усадка стружки увеличивается до тех пор, пока полностью не исчезнет нарост. С последующим увеличением скорости резания усадка стружки снова убывает. В этом случае

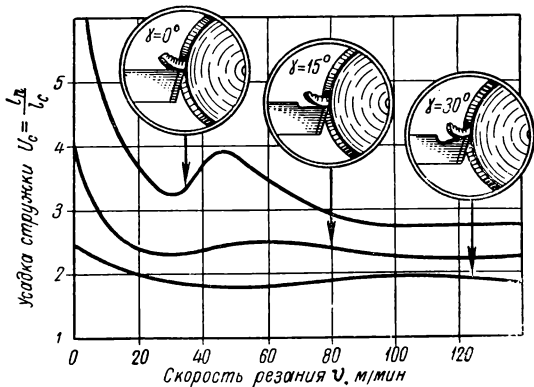
нарост не образуется, но на уменьшение усадки стружки основное влияние оказывает скорость резания, о чем уже было сказано.

Установлено, что при высоких скоростях резания (приблизительно 250—300 м/мин) усадка стружки достигает своего наименьшего значения и при дальнейшем увеличении скорости остается постоянной.

Если перейти к резцу с большим передним углом, например, $\gamma = 15^\circ$, то влияние нароста наблюдается только в зоне малых ско-



Фиг. 23. Уменьшение усадки стружки при образовании нароста на резце.



Фиг. 24. Влияние скорости резания v , переднего угла γ и нароста на усадку стружки.

ростей резания (средний график на фиг. 24). При средних скоростях резания нарост мал, и поэтому изменение усадки также мало. При увеличении переднего угла, например, до 30° (нижний график на фиг. 24) нарост еще меньше, и поэтому его влияние на усадку стружки почти незаметно.

Следует заметить, что при высоких скоростях резания передний угол резца оказывает незначительное влияние на усадку стружки.

Уменьшение силы трения между стружкой и передней гранью резца также способствует уменьшению усадки стружки, а следовательно, и работы, затрачиваемой на резание. Вот почему и по этой причине необходимо переднюю грань инструмента тщательно шлифовать и полировать и, кроме того, применять смазывающие жидкости в виде различных эмульсий, масел и т. п. Особенно целесообразно применение смазки при чистовых и отделочных операциях.

9. Наклеп при резании

Каждому из нас в обыденной жизни не раз встречалась необходимость разрывать мягкую проволоку из железа, латуни, меди или алюминия. И всякий раз оказывалось, что разорвать ее руками довольно трудно или совсем невозможно. В таких случаях мы начинаем ее перекручивать или несколько раз изгибать в ту и дру-

гую сторону, и проволока легко ломается в том месте, у которого мы ее перегибали.

Но иногда проволока может быть настолько толстой, что перегнуть ее довольно трудно; тогда в месте желаемого перелома по проволоке предварительно наносят сильные удары молотком, причем можно даже не расплющивать металл; после этого перегибание значительно облегчается и проволока разламывается. Известно также, что чем мягче (пластичнее) проволока, тем больше приходится скручивать, перегибать или наносить удары по ней для того, чтобы ее сломать.

Чем же объясняется это интересное явление?

Оказывается, под влиянием скручивания, перегибов или ударов частицы металла в холодном состоянии изменяют свою форму или, как говорят, деформируются. Под влиянием деформации механические свойства металла изменяются, а именно: твердость и сопротивление разрыву увеличиваются, а пластичность уменьшается. В результате на деформированном участке металл становится хрупким, и поэтому в этом месте он сравнительно легко ломается. Это явление, т. е. *изменение механических свойств металла под влиянием пластических деформаций в холодном состоянии, называется наклепом.*

Такое же явление наблюдается и при резании металлов.

Как уже указывалось, под действием режущего инструмента близко расположенные к нему участки обрабатываемого металла сильно деформируются, при этом происходит также изменение механических свойств металла, т. е. он наклепывается. Наклеп при обработке металлов резанием иногда называют *обработочным отвердением*. Так как наклеп есть результат пластической деформации металла, то с увеличением деформации увеличивается и наклеп. О степени наклепа металла судят по тому, насколько увеличивается его твердость в сравнении с той исходной твердостью, которую он имел до начала резания. Мы уже знаем, что при резании металл деформируется неравномерно. Те слои металла, которые расположены ближе к передней грани резца, деформируются больше и, наоборот, удаленные слои деформируются меньше.

Исследования показывают, что деформация распространяется не только перед передней гранью резца в срезаемый слой металла. Она проникает и за поверхность резания, на некоторую глубину наружных слоев обработанной детали. Вследствие этого в процессе резания происходит наклеп не только срезаемого слоя, но и поверхностных обработанных слоев детали. Поэтому твердость обработанной поверхности детали всегда оказывается выше исходной твердости металла.

О том, как в процессе резания наклепываются различные слои металла, дает наглядное представление фиг. 25. На ней показана стружка вместе с частью куска обрабатываемой стали. Цифры указывают замеренную твердость в различных точках металла. Исходная твердость стали была равна 100 единицам. Считают, что

при обработке пластичных металлов стружка оказывается в среднем в полтора-два раза тверже, чем сам металл детали.

Как воспринимают наклеп различные металлы при одинаковых условиях обработки?

Так как при обработке различные металлы деформируются не одинаково, то и наклеп их не одинаков, а значит и твердость после обработки увеличивается по-разному. Некоторые металлы имеют сравнительно невысокую твердость, однако обладают большой способностью к наклепу. Твердость их при этом настолько возрастает, что резко затрудняется последующая обработка.

Такой большой способностью к наклепу обладает, например, кремнемарганцевая сталь. Вообще установлено, что чем ниже твердость и выше пластичность металла, тем выше у него способность к наклепу. Такие хрупкие металлы, как чугун, твердая бронза, цинк и др., слабо воспринимают наклеп.

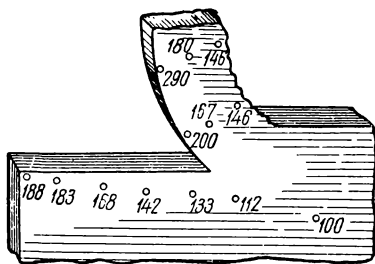
Можно считать, что в результате наклепа твердость в сравнении с первоначальной повышается в среднем: у алюминия — на 90—100%; у мягкой стали — на 40—50%; у латуни — на 60—70%; у твердой стали — на 20—30%.

При всех видах механической обработки поверхности деталей оказываются наклепанными. Даже при полировании имеет место наклеп. Степень и глубина наклепа различны в зависимости от условий обработки. Чем грубее обработка, тем больше глубина наклепанного слоя. В обычных условиях обработки стали средней твердости глубина наклепанного слоя приблизительно составляет (в мм):

При черновом точении	0,4 — 0,5
„ чистовом точении	0,07 — 0,08
„ шлифовании	0,04 — 0,05
„ полировании	0,02 — 0,04

Нам уже известно, что наклеп тем больше, чем больше деформируется металл при резании. Поэтому глубина наклепанного слоя уменьшается с повышением скорости резания v и возрастает с увеличением глубины резания t и подачи s .

Существенное влияние на наклеп оказывает величина переднего угла γ реза. При его увеличении деформация срезаемого слоя и обработанной поверхности уменьшается, поэтому степень и глубина наклепа также снижаются. При переднем угле $\gamma = 40—45^\circ$ глубина наклепанного слоя в два—три раза меньше, чем при угле $\gamma = 5—8^\circ$.



Фиг. 25. Повышение твердости обрабатываемого материала в различных точках зоны деформации.

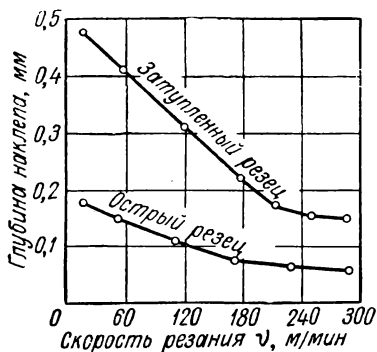
Большое влияние на образование наклепа имеет степень остроты режущей кромки резца. Резец с затупленной режущей кромкой внедряется в срезаемый слой металла с большим усилием. Поэтому наружные слои обработанной поверхности сильнее деформируются, а значит и больше наклепываются. При работе острым резцом глубина наклепанного слоя получается в два — два с половиной раза меньше, чем при работе затупленным резцом.

На фиг. 26 изображена зависимость глубины наклепа от скорости резания v при обработке стали. Графики показывают, что с увеличением скорости резания глубина наклепа становится меньше. Затупленный резец увеличивает наклеп, и особенно сильно при малых скоростях резания.

После всего сказанного о наклепе возникает вопрос: какое влияние он оказывает на качество обработки детали?

Исследования показывают, что в некоторых случаях наклеп оказывает положительное, а в других случаях отрицательное влияние на обработанную деталь. Иногда образующийся при черновых операциях

Фиг. 26. Глубина наклепа при различных скоростях резания v .



глубокий наклеп вредно влияет на процесс резания при последующих чистовых операциях.

Если чистовая обработка, например, развертывание, производится с очень малой глубиной резания, то в этом случае режущие кромки инструмента непосредственно работают по наклепанному слою, в результате они быстро затупляются, и обработанная поверхность получается не чистой. Наклепанный при грубой обработке резанием поверхностный слой вызывает повышенное коррозийное повреждение стальных деталей в процессе их закалки.

Однако наклеп может дать и положительные результаты. Так, например, при обработке путем обкатывания роликами или обдувания стальной дробью поверхностей на стальных деталях повышается чистота этих поверхностей. Вместе с тем возрастает прочность деталей и увеличивается износостойкость наклепанных этими методами поверхностей.

10. Силы резания и мощность при точении

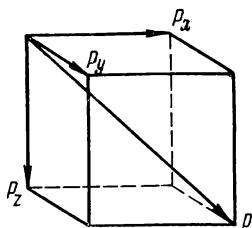
Силы резания

При снятии стружки обрабатываемый металл оказывает сопротивление резанию, которое вызывает силу, преодолеваемую резцом. Эта сила называется силой резания и обозначается буквой P . В зависимости от условий работы, сила резания изменяется в очень широких пределах: от нескольких килограммов до нескольких тонн.

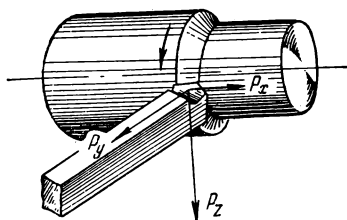
Сила резания действует не только на инструмент, но и на станок, приспособление и обрабатываемую деталь. Без знания сил, действующих при резании металлов, нельзя рационально проектировать и эксплуатировать станки, режущий инструмент и приспособления.

Токарь должен хорошо знать действие сил, возникающих при резании металлов; эти знания помогут ему в повседневной работе.

Под действием силы резания снимаемый металл упруго и пластически деформируется, в результате чего и образуется стружка. Сила, затрачиваемая на эту деформацию, при работе резцами составляет примерно 90% от всей силы резания.



Фиг. 27. Схема разложения силы резания.



Фиг. 28. Направление составляющих силы резания.

Сила резания преодолевает также силы трения стружки о переднюю грань и силы трения задних граней инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность.

Сила резания P , возникающая при точении, отклоняется по своему направлению от вертикали и составляет с ней определенный угол (фиг. 27). Поэтому для практических целей ее рассматривают разложенной на три составляющие P_x , P_y и P_z (фиг. 27 и 28), которые перпендикулярны друг к другу и действуют в направлениях, наиболее важных с точки зрения условий работы станка и инструмента.

Составляющая P_z направлена вертикально. Она совпадает с направлением скорости резания и называется *вертикальной* или *касательной силой*. Обычно составляющая P_z лишь на 6—10% меньше полной силы резания P . Поэтому в целях угрошения под силой резания принято понимать ее составляющую P_z .

По величине силы P_z определяется мощность, необходимая для резания, подсчитывается величина крутящего момента на шпинделе станка и производятся расчеты на прочность его узлов.

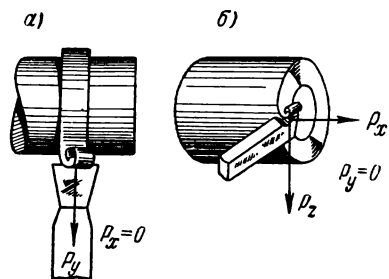
Составляющая P_x действует по горизонтали. Она совпадает с направлением продольной подачи и называется *осевой силой* или *силой подачи*. По величине силы P_x производится расчет на прочность всех деталей механизма подачи станка.

Составляющая P_y также действует по горизонтали. Она совпадает с направлением радиуса обрабатываемой детали и называется *радиальной* или *поперечной силой*.

Радиальная сила крайне отрицательно влияет на процесс обработки деталей. Она вызывает изгиб тонких и длинных деталей, а также расточных оправок, и в большинстве случаев является главным источником вибраций при обработке металлов резанием.

Всегда ли при резании металлов действуют все три составляющие силы резания?

Нет, не всегда. Составляющая P_z действует при всех видах обработки, но составляющие P_x и P_y в некоторых случаях могут в отдельности отсутствовать. Так, например, при обтачивании буртика поперечной подачей широким резцом, у которого режущая кромка расположена горизонтально ($\lambda = 0^\circ$), осевая составляющая $P_x = 0$ (фиг. 29, а). При подрезании торца трубы продольной подачей резцом с $\varphi = 90^\circ$ радиальная составляющая $P_y = 0$ (фиг. 29, б).



Фиг. 29. Составляющие силы резания при обтачивании буртика и подрезании торца трубы.

сила подачи составляет 25%, а радиальная сила — 40% от силы резания, т. е. $P_x \approx 0,25P_z$; $P_y \approx 0,4P_z$.

Однако в зависимости от условий работы величина силы P_x может колебаться в пределах от 0,3 до 1,0 P_z , а величина силы P_y — в пределах от 0,25 до 0,6 P_z .

Радиальная сила P_y может быть и больше силы P_z , например, при малых значениях глубины резания t и подачи s и большом отрицательном значении переднего угла γ резца.

Теперь кратко рассмотрим, какие факторы наиболее существенно влияют на силу резания.

Обрабатываемый металл. Наибольшая часть работы резания расходуется на деформацию срезаемого слоя металла. Чем прочнее металл, т. е. чем выше его механические свойства, тем сильнее он сопротивляется деформации, тем больше сила резания. К основным механическим свойствам металла относятся: предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$, твердость по Бринелю H_B и относительное удлинение δ . Однако ни одно из этих свойств не характеризует достаточно полно сопротивление металла резанию. Поэтому для каждого металла экспериментально установлены постоянные коэффициенты резания, которые и учитываются при определении силы резания. Коэффициенты резания приведены в справочниках режимов резания, а также в последней главе этой книги.

Передний угол резца γ . С увеличением угла γ деформация срезаемого слоя уменьшается, поэтому уменьшается и сила резания P_z . Особенно резко при этом уменьшается радиальная сила P_y и сила подачи P_x . При обработке хрупких металлов (чугун, бронза) влияние величины угла γ на силу резания сказывается меньше, чем при обработке пластичных металлов (сталь, алюминий, латунь и др.).

Следует подчеркнуть, что при точении стали резцами с отрицательными передними углами сила резания больше, чем при работе резцами с положительными углами. Однако эта разница уменьшается при скоростях резания 200—300 м/мин и больше.

Угол в плане резца ϕ . Обычно применяется на практике главный угол в плане $\phi = 45^\circ$: В ряде случаев его уменьшают до 30° или увеличивают до 90° . В этих пределах он оказывает небольшое влияние на величину силы резания P_z . Но угол ϕ очень резко влияет на величину радиальной силы P_y и силы подачи P_x . С уменьшением угла ϕ радиальная сила возрастает, а сила подачи снижается. Если угол ϕ уменьшить с 90 до 30° , т. е. в три раза, то радиальная сила возрастет в четыре раза, а сила подачи уменьшится в 2,5 раза.

Как известно, радиальная сила направлена перпендикулярно к оси детали, т. е. прогибает ее и часто вызывает вибрации. Поэтому при точении тонких неустойчивых деталей с использованием расточных оправок и скалок следует работать резцами, у которых главный угол в плане равен $75\text{--}80^\circ$.

Поперечное сечение f срезаемого слоя металла. Величина силы P_z определяется главным образом размерами сечения среза, т. е. его шириной b и толщиной a . Площадь сечения среза может изменяться в очень широких пределах. При тонком точении, например, она составляет 0,003—0,005 мм², а при грубых обдирочных работах на крупных станках достигает 100 мм² и более. В связи с этим и сила резания может изменяться от нескольких килограммов до нескольких тонн.

С увеличением ширины b и толщины a среза сила резания возрастает, однако ширина влияет на нее больше, чем толщина. Сила резания возрастает прямо пропорционально увеличению ширины среза и несколько меньше возрастает с увеличением толщины среза. Наглядно это может быть выражено так: если ширину среза b увеличить в два раза (например, с 4 до 8 мм), то сила резания P_z также увеличится в два раза; если же увеличить толщину среза a в два раза (например, с 0,4 до 0,8 мм), то сила резания P_z увеличится только в 1,7 раза.

Объясняется это явление тем, что с увеличением толщины срезаемого слоя уменьшается его деформация, т. е. уменьшается усадка стружки. Что же касается ширины срезаемого слоя, то изменение ее величины не вызывает изменений в величине усадки стружки. Из сказанного вытекает следующий весьма важный вывод. Если обработка производится при одной и той же площади

сечения среза f , то силу резания P_z можно уменьшить, увеличивая подачу s и, соответственно, уменьшая глубину резания t .

Затупление резца. По мере затупления резца возрастают сила резания P_z и особенно сила подачи P_x и радиальная сила P_y . Это объясняется тем, что врезание затупленной кромки в металл вызывает большую его деформацию, чем врезание острой кромки.

Мы знаем, что с уменьшением толщины a срезаемого слоя металла (при неизменных всех других условиях работы) деформация его увеличивается. Вот почему при чистовой обработке, выполняемой с малой подачей s , а значит и малой толщиной среза a , затупление резца сказывается на возрастании силы резания P_z больше, чем при черновой обработке.

Можно считать, что при обработке стали в связи с затуплением резца в среднем сила резания P_z увеличивается на 10%, сила подачи P_x — на 50% и радиальная сила P_y — на 55%.

Скорость резания v . До появления твердых сплавов (1926—1932 гг.) почти весь металлорежущий инструмент изготовлялся из инструментальной углеродистой или быстрорежущей стали. Скорости резания при обработке металлов резанием применялись сравнительно невысокие и изменялись они в небольших пределах. Поэтому вопрос об изменении силы резания P_z в зависимости от изменения скорости резания v не имел существенного значения, тем более, что это изменение при малых скоростях резания невелико. Учитывая это обстоятельство, принято было считать, что сила резания от скорости резания не зависит.

В настоящее время инструмент, оснащенный твердыми сплавами, получил самое широкое распространение и скорости резания возросли в 5—10 раз по сравнению с теми, какие были раньше. Еще больше возрастают скорости резания благодаря применению резцов с минералокерамическими пластинками (например, 600—1000 м/мин, при обработке чугуна). При таких высоких скоростях изменение силы резания имеет большое практическое значение, так как с этим прежде всего связан расход мощности на резание.

При обработке стали в диапазоне малых скоростей резания сила P_z остается практически неизменной. При повышении скорости сверх этого диапазона сила резания несколько возрастает и постепенно достигает своего наибольшего значения.

Дальнейшее повышение скорости вызывает падение силы резания до ее наименьшего значения, но при последующем возрастании скорости сила резания остается неизменной.

Рассмотренный характер изменения силы резания с изменением скорости резания не является строго определенным, он в большей степени зависит от конкретных условий работы и особенно от механических свойств обрабатываемого металла. Для обработки стали средней твердости можно указать следующие ориентировочные диапазоны скоростей резания. При скоростях до 20—30 м/мин сила резания почти не изменяется. Наибольшая величина силы резания отмечается при скорости резания 50—70 м/мин. Очень за-

метно она снижается в интервале скоростей от 100 до 150 м/мин. При скоростях резания 250 м/мин и более сила резания остается почти неизменной.

Такой характер изменения силы резания при возрастании скорости резания связан с различным характером протекания деформации металла внутри срезаемого слоя, о чем уже было сказано раньше, когда рассматривался вопрос о влиянии скорости резания на усадку стружки.

Смазка. Благодаря применению смазки в процессе резания уменьшаются силы трения стружки о переднюю грань инструмента, главной задней грани о поверхность резания и вспомогательной задней грани об обработанную поверхность. Поэтому уменьшается и сила резания. Чем выше смазывающая способность жидкости, чем пластичнее обрабатываемый металл и чем меньше сечение среза, тем больше снижается сила резания. При токарной обработке применение в качестве смазки растительного масла может понизить силу резания до 25%, использование эмульсии понижает ее лишь на 2—5%.

Помимо рассмотренных, на силу резания P_z влияет и ряд других факторов, например: вспомогательный угол в плане φ_1 , задний угол α , угол наклона главной режущей кромки λ , радиус закругления при вершине реза r и др. Однако их влияние значительно меньше, и потому оно здесь не рассматривается. Вообще надо помнить, что на силу резания влияют все те факторы, которые могут изменять деформацию срезаемого слоя металла и величину сил трения.

Как же определяется сила резания при точении?

Сила резания определяется двумя способами: непосредственным измерением и расчетом. Для измерения силы резания созданы приборы, которые получили название динамометров, что в переводе на русский язык означает силомеры. Наибольшее распространение получили гидравлические и электрические динамометры. Они позволяют измерять с большой точностью все три составляющие силы резания, при любых конкретных условиях работы. Пользуются ими главным образом при лабораторных исследованиях процесса резания металлов. Что же касается теоретического подсчета, то он представляет большие затруднения, так как на величину силы резания, как мы видели, влияет большое количество переменных факторов и притом в различной степени. Поэтому подсчет силы резания производят по упрощенным формулам, которые установлены в результате опытных исследований.

Вертикальная сила резания при обработке стали, чугуна и бронзы определяется по формуле

$$P_z = C_p \cdot t \cdot s^{0.75} \text{ кг,}$$

где t — глубина резания в мм;

s — подача резца в мм на один оборот обрабатываемой детали;

C_p — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия резания.

Величина коэффициента C_p изменяется в зависимости от величины углов заточки резца и механических свойств обрабатываемого металла. Для всех употребительных марок металлов и наиболее типичных условий работы опытным путем установлены определенные значения этого коэффициента.

Если данные конкретные условия работы отличаются от типичных, то в формулу для подсчета силы резания вводят поправочные коэффициенты, которые также устанавливаются опытным путем. Значения коэффициента C_p и указанных поправочных коэффициентов даны в главе V.

Для наиболее употребительных металлов при переднем угле резца $\gamma = 20^\circ$ и главном угле в плане $\varphi = 45^\circ$. Коэффициент C_p имеет следующие значения:

Обрабатываемый материал	Величина C_p
Сталь хромистая и хромоникелевая, $\sigma_{вр} = 100 \text{ кг/мм}^2$	250
Сталь углеродистая, $\sigma_{вр} = 75 \text{ кг/мм}^2$	200
Чугун серый, $H_B = 190$	105
Чугун ковкий, $H_B = 150$	100
Бронза средней твердости	60

В качестве примера подсчитаем, чему будет равна сила резания P_z при точении углеродистой стали, если прочность ее на разрыв $\sigma_{вр} = 65 \text{ кг/мм}^2$. Условия работы следующие: глубина резания $t = 3 \text{ мм}$, подача $s = 0,7 \text{ мм/об}$, геометрия резца стандартная, обработка производится всухую.

По справочнику находим, что $C_p = 180$; теперь все известные значения подставляем в формулу:

$$P_z \cdot C_p \cdot t \cdot s^{0,75} = 180 \cdot 3 \cdot 0,7^{0,75} = 180 \cdot 3 \cdot 0,76 = 410 \text{ кг.}$$

Наиболее полные исследования зависимости силы резания P_z от глубины резания t и подачи s впервые провел в 1893 г. выдающийся русский ученый, профессор К. А. Зворыкин. В своих работах он применил гидравлический динамометр, который впоследствии широко использовался исследователями многих стран. К. А. Зворыкин развил далее теорию И. А. Тиме об образовании стружки и теоретически определил положение плоскости скалывания и величину силы резания.

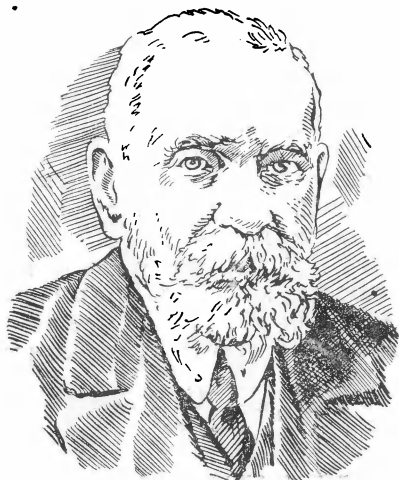
Константин Алексеевич Зворыкин родился в 1861 г. в г. Муроме. После окончания в 1884 г. Петербургского Технологического института К. А. Зворыкин работает несколько лет на механическом заводе в г. Астрахани в качестве конструктора речных и морских пароходов. С 1888 г. К. А. Зворыкин — адъюнкт-профессор Харьковского Технологического института, а в 1894 г. он избирается профессором по кафедре механической технологии в том же институте.

В 1893 г. К. А. Зворыкин публикует свое большое научное исследование «Работа и усилие, необходимое для отделения механических стружек». Этот труд поставил его в ряд крупнейших ученых — основоположников науки о резании металлов.

В 1898 г. К. А. Зворыкин переходит на работу в Киевский Политехнический институт и с 1904 г. становится его директором. В советское время К. А. Зворыкин плодотворно работал в разных учреждениях г. Киева, способствуя своим опытом и организаторским талантом восстановлению и развитию промышленности города. Научную работу он вел на протяжении всей своей жизни.

К. А. Зворыкиным опубликовано 34 труда в различных областях техники. Как педагог он воспитал целую плеяду русских инженеров-технологов.

К. А. Зворыкин умер 7 июля 1928 г. в г. Киеве.



К. А. Зворыкин.

Мощность

Для осуществления процесса резания металлов необходимо совершить определенную работу, т. е. необходимо действие определенной силы на всем пути резания. Обычно принято определять не всю работу, расходуемую на срезание слоя металла, подлежащего удалению, а работу, затрачиваемую на резание в течение одной секунды, которая и называется мощностью. Мощность измеряется в лошадиных силах (1 л. с. = 75 кгм/сек), или чаще в киловаттах (1 квт = 1,36 л. с. = 102 кгм/сек) и обозначается буквой N .

Та мощность, которая затрачивается непосредственно на резание, называется эффективной мощностью N_3 . Эффективная мощность при точении подсчитывается по следующей формуле:

$$N_3 = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} \text{ квт,}$$

где P_z — сила резания в кг;

v — скорость резания в м/мин.

Числитель в приведенной формуле характеризует собой работу, выраженную в килограммометрах в минуту. Разделив числитель

на 60, мы получим мощность, т. е. работу в одну секунду, а разделив полученный результат еще на 102, мы и получим мощность, выраженную в киловаттах.

Из формулы видно, что мощность возрастает на столько, на сколько возрастает сила резания P_z или скорость резания v . Иначе говоря, эффективная мощность прямо пропорциональна силе и скорости резания. Следует заметить, что мы не учитывали ту мощность, которая затрачивается на подачу, т. е. на перемещение супорта с инструментом, так как она составляет всего лишь 1—2% от мощности, определяемой по указанной формуле.

Знание эффективной мощности весьма важно для выбора станка, на котором намечается обработка той или иной детали при установленных режимах резания. Дело в том, что мощность электродвигателя станка должна быть больше эффективной мощности, так как, помимо полезной работы (резание), часть мощности затрачивается на внутренние потери как в самом электродвигателе, так и в станке (трение в подшипниках, зубчатых колесах и т. п.). Эти потери учитываются коэффициентами полезного действия (к. п. д.) электродвигателя и станка. С учетом указанных потерь мощность электродвигателя станка определяется по формуле

$$N_{эл} = \frac{N_{э}}{\eta_{эл}\eta_{ст}} \text{ кВт},$$

где $\eta_{эл}$ — коэффициент полезного действия (к. п. д.) электродвигателя;

$\eta_{ст}$ — коэффициент полезного действия станка.

Можно считать, что потери в самом электродвигателе в среднем составляют 10% от передаваемой мощности, а потери в станке — 25%. Это значит, что $\eta_{эл} = 0,9$, а $\eta_{ст} = 0,75$. Общий коэффициент полезного действия будет:

$$\eta = \eta_{эл} \cdot \eta_{ст} = 0,9 \cdot 0,75 = 0,675,$$

или округленно $\eta = 0,7$. Таким образом, $N_{э} = 0,7N_{эл}$.

Это значит, что на полезную работу, т. е. на непосредственное резание металла, может быть затрачено в среднем 70% мощности электродвигателя. Остальные 30% мощности, как указывалось выше, расходуются на преодоление различных сил трения в электродвигателе и станке.

Для лучшего усвоения изложенного материала продолжим предыдущий пример. Мы получили, что при заданных условиях работы сила резания $P_z = 410$ кг. Теперь подсчитаем, какую мощность должен иметь электродвигатель, если обрабатываемая деталь имеет диаметр $d = 125$ мм, а число оборотов шпинделя станка $n = 516$ об/мин. Для определения мощности прежде всего находим величину скорости резания:

$$v = \frac{\pi dn}{1000} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 516}{1000} = 202,5 \text{ м/мин.}$$

Затем определяем эффективную мощность:

$$N_9 = \frac{P_2 \cdot v}{60 \cdot 102} = \frac{410 \cdot 202,5}{60 \cdot 102} = 13,6 \text{ квт.}$$

Теперь находим потребную мощность электродвигателя станка:

$$N_{эл} = \frac{N_9}{\eta_{ст} \eta_{эл}} = \frac{13,6}{0,75 \cdot 0,9} \approx 20 \text{ квт.}$$

11. Тепловые явления при резании металлов

При резании стружка имеет совершенно иной цвет, чем металл, с которого она срезается. Причем окраска стружки не остается постоянной, а изменяется в зависимости от изменения условий работы.

Чем объясняется такое явление?

Дело в том, что при резании металлов образуется большое количество теплоты. Представление об этом можно получить из следующего примера. При точении стали средней твердости с глубиной резания $t = 4 \div 5$ мм, подачей $s = 0,5 \div 0,6$ мм/об и скоростью резания $v = 180 \div 200$ м/мин в каждую минуту выделяется такое количество теплоты, которое может нагреть до состояния кипения 4—5 л воды.

Наибольшую часть теплоты, образующейся при резании, поглощает стружка; она сильно нагревается, и под действием высокой температуры ее поверхность быстро окисляется за счет кислорода воздуха. Таким образом, на поверхности стружки образуются тонкие пленки окислов. Цвет этих пленок зависит от температуры нагрева металла.

По цвету стружки можно приблизительно судить о ее температуре. Так, например, светло-желтый цвет она принимает при температуре 200° , темно-синий — при 300° , светло-серый — при 400° и т. д.

Почему образуется теплота при резании металлов?

На этот вопрос можно ответить общеизвестным житейским примером. Если взять в руки железную или медную проволоку и многократно перегибать ее в разные стороны, то в месте перегиба проволока настолько нагреется, что иногда становится невозможно держать ее в руках.

Что здесь происходит, почему участок перегиба проволоки нагревается?

Проволока нагревается потому, что при перегибах мельчайшие частицы металла то растягиваются, то сжимаются, т. е. они меняют свою форму или, как говорят, деформируются. При этом они перемещаются относительно друг друга, между ними возникает сильное трение, в результате которого и выделяется теплота.

Такое же явление, только в значительно больших размерах, происходит и при резании металлов. Мы уже знаем, что процесс резания сопровождается большими деформациями срезаемого слоя металла и пограничного слоя обрабатываемой поверхности. Мель-

чайшие частицы металла перемещаются относительно друг друга. Между ними также возникает трение, которое и образует теплоту. Такую теплоту называют *теплотой внутреннего трения*.

Мы знаем также, что при резании происходит трение сходящей стружки о переднюю грань резца и трение задней грани резца о поверхность резания. В результате выделяется дополнительное количество теплоты, которое называется *теплотой внешнего трения*.

Таким образом, при резании основными источниками образования теплоты являются: деформации срезаемого слоя металла, трение стружки о переднюю грань инструмента и трение задней грани о поверхность резания. Исследованиями установлено, что больше всего выделяется теплоты в результате деформации срезаемого слоя.

Из сказанного понятно, что на интенсивность выделения теплоты при резании влияют все те факторы, которые оказывают влияние на деформацию срезаемого слоя металла и трение инструмента о стружку и обрабатываемую деталь.

Эти факторы были указаны при рассмотрении процесса образования стружки и сил резания. Мы видели, что наибольшее влияние на деформацию металла оказывает режим работы. Поэтому и выделение теплоты зависит прежде всего от режима резания: чем больше скорость резания v , подача s и глубина резания t , тем больше выделяется теплоты.

Но людей, занимающихся обработкой металлов, интересует не сама по себе образующаяся теплота, а ее влияние на процесс резания. Поэтому, естественно, возникает вопрос: куда расходуется теплота резания и каково ее влияние на обрабатываемую деталь и режущий инструмент? Знание этих вопросов имеет большое практическое значение для правильного выбора режимов резания и создания наиболее рациональных конструкций режущего инструмента.

Я. Г. Усачев своими исследованиями показал, что основная часть теплоты образуется в стружке и вместе с нею удаляется из зоны резания. Остальная теплота уходит в резец, обрабатываемую деталь и окружающий воздух.

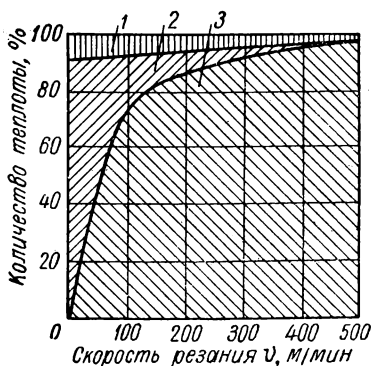
Распределение теплоты не остается постоянным, оно изменяется, главным образом, с изменением скорости резания. Чем выше скорость резания, тем резец и деталь относительно меньше поглощают теплоту. Это объясняется тем, что в данном случае скорость резания намного превышает скорость распространения теплоты, и она не успевает перейти от стружки к детали и резцу.

Опыты показывают, что при малых скоростях резания около 50% всей выделяющейся теплоты уходит в обрабатываемую деталь и воздух, примерно столько же теплоты уносится стружкой и только около 5% теплоты переходит в резец. При увеличении скорости резания количество остающейся в стружке теплоты значительно увеличивается, а поступление ее в резец и обрабатываемую деталь соответственно уменьшается. При скоростях резания около 100 м/мин в стружке остается около 80% теплоты, а при ско-

ростях порядка 500 м/мин стружкой уносится 97—99% и только 1—3% теплоты поступает в резец, обрабатываемую деталь и окружающий воздух. Характер распределения теплоты по мере увеличения скорости резания виден на графике (фиг. 30).

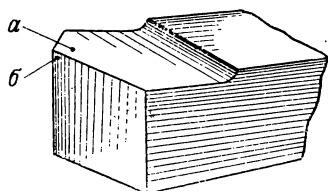
Вместе с тем необходимо помнить, что количество выделяющейся теплоты прямо пропорционально скорости резания. Поэтому при больших скоростях резания, хотя доля поступления теплоты в инструмент и уменьшается, общее количество ее настолько велико, что при этом не только раскаляется стружка, но и значительно повышается температура реза.

Различные точки инструмента нагреваются до разной температуры. Сильнее всего



Фиг. 30. Распределение теплоты при различных скоростях резания:

1 — теплота, уходящая в резец; 2 — теплота, уходящая в обрабатываемую деталь и воздух; 3 — теплота, уносимая стружкой.



Фиг. 31. Точки реза с наиболее высокой температурой.

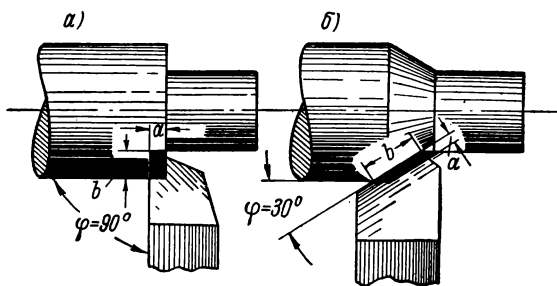
нагревается режущая часть резца, наиболее высокая температура (800° и более) наблюдается на передней и задней гранях в точках *a* и *b*, расположенных на некотором расстоянии от режущей кромки (фиг. 31). Вблизи этих точек выделяется наибольшее количество теплоты, поэтому здесь металл больше всего нагревается. В результате нагрева твердость и сопротивление износу режущей части инструмента понижается и он быстрее истирается.

Резцы, режущая часть которых изготовлена из различных материалов, по-разному переносят температуру нагрева. Так, резцы из инструментальной углеродистой стали выдерживают температуру до 250° . Резцы, оснащенные пластинками быстрорежущей стали, выдерживают нагрев до 560° , что соответствует температуре отпуска этой стали. При температуре выше 560° резец быстро изнашивается и теряет свои режущие свойства. Пластинки твердых сплавов выдерживают нагрев до 900 — 1000° . При более высокой температуре твердые сплавы тоже теряют свои режущие свойства.

Я. Г. Усачев доказал, что больше всего на температуру резца влияет скорость резания, меньше — толщина среза *a* и еще

меньше — его ширина b . Так, с увеличением скорости резания в два раза температура резца повышается приблизительно на 30%. С удвоением толщины среза она возрастает на 18%, а с удвоением ширины среза — повышается только на 5%. Эта закономерность, установленная Я. Г. Усачевым, стала исходным положением для определения наиболее производительных режимов резания и создания рациональных конструкций режущего инструмента.

Из сказанного вытекает, что с увеличением ширины b срезаемого слоя металла за счет уменьшения его толщины a температура резца понижается. Но при неизменной глубине резания t и подаче s ширину и толщину срезаемого слоя можно изменить,



Фиг. 32. Увеличение контакта резца с обрабатываемой деталью при уменьшении угла в плане φ .

меняя лишь главный угол в плане φ резца, как об этом было сказано выше. При уменьшении угла φ ширина среза возрастает, а толщина его убывает.

Изложенное поясним примером. На фиг. 32 показаны два случая обтачивания валика при постоянном режиме резания. В первом случае (фиг. 32, *a*) обработка производится упорным проходным резцом с углом в плане $\varphi = 90^\circ$, а во втором случае (фиг. 32, *б*) — проходным резцом с углом $\varphi = 30^\circ$. Хотя в обоих случаях поперечные площади срезаемого слоя одинаковы, но во втором случае ширина среза в несколько раз больше, чем в первом, а поэтому и температура резца здесь будет ниже. Таким образом, в целях понижения температуры нагрева резца выгоднее работать с малыми углами в плане φ .

Чем объяснить, что ширина среза b меньше влияет на нагрев режущей кромки, чем его толщина a , хотя количество выделяемой теплоты в обоих случаях почти не изменяется?

Это объясняется тем, что при срезании толстого, но узкого слоя, как это имеет место при работе первого резца, в контакте с металлом участвует короткий участок режущей кромки. Поэтому поток теплоты, отходящей в резец, будет иметь большую напряженность, что вызовет более высокую температуру резания. Для второго резца с малым углом φ срезаемый слой распределяется на большую длину режущей кромки. Поэтому теплота будет отво-

даться широким, менее напряженным потоком, что будет способствовать образованию более низкой температуры резания.

Одним из самых распространенных средств борьбы с вредным влиянием теплоты на работу режущего инструмента является его охлаждение (подробно см. п. 13).

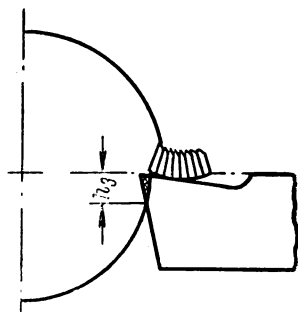
12. Износ и стойкость резца

Износ резца

Под влиянием высокой температуры, развивающейся в процессе резания и вызывающей потерю режущей частью резца необходимой твердости, а также вследствие чисто механического истирания граней режущего клина сходящей стружкой и поверхностью резания, резец изнашивается, затупляется.

При малых скоростях резания, когда образуется небольшое количество теплоты, износ резца происходит сравнительно медленно и равномерно, с постепенным уменьшением интенсивности. При высоких скоростях резания, когда образуется большое количество теплоты и резец нагревается до высокой температуры, затупление происходит быстрее, с одновременным увеличением интенсивности износа.

При точении наблюдается износ режущего инструмента как по его передней, так и по задней граням. Однако в большинстве случаев эксплуатации твердосплавных резцов преобладает износ по задней грани. Рассмотреть и измерить его можно значительно проще, чем износ по передней грани. Поэтому в качестве предельного износа, при достижении которого дальнейшая работа резцом не рекомендуется, или, как говорят, в качестве критерия затупления принимается наибольшая допустимая ширина изношенной площадки на главной задней грани резца (фиг. 33). Обозначается она буквой h_3 . Величина допустимого износа токарных резцов, в зависимости от материала их режущей части и условий работы, приведена в табл. 4.



Фиг. 33. Износ резца по задней грани.

Стойкость резца

С понятием об износе инструмента неразрывно связано понятие о его стойкости. Стойкостью резца называется тот период времени, в течение которого его износ при непрерывной работе доходит до установленной допустимой величины, т. е. до критерия затупления.

Стойкость измеряется в минутах и обозначается буквой T .

Понятно, что стойкость резца зависит от тех же факторов, что и его износ. Наибольшее влияние на износ и, следовательно, на стойкость резца оказывает скорость резания. Незначительное

Допустимый износ твердосплавных резцов

Обрабатываемый материал и условия резания	Подача s в мм/об	Износ резца h_3 в мм
Сталь, стальное литье, цветные металлы и легкие сплавы при работе проходными, подрезными и расточными резцами с пластинками твердых сплавов Т15К6, Т14К8, Т5К10	$> 0,3$ $< 0,3$	0,8—1,0 0,4—0,6
Чугун при работе проходными, подрезными и расточными резцами с пластинками твердых сплавов ВК8 и ВК6	$> 0,3$ $< 0,3$	1,4—1,7 0,8—1,0

изменение скорости резания вызывает резкое уменьшение или увеличение стойкости резца. Так, например, если при обработке углеродистой стали средней твердости резцом, оснащенным пластинкой твердого сплава Т15К6, с глубиной резания $t=8$ мм, подачей $s=1,0$ мм/об и скоростью резания $v=100$ м/мин стойкость резца T составляет 90 мин., то при увеличении скорости резания всего лишь на 24% ($v=124$ м/мин) и при неизменных прочих условиях работы стойкость уменьшится в три раза и составит лишь $T=30$ мин.

Обычно режимы резания выбираются такими, чтобы стойкость резца T была в пределах 30—60 мин. Такая стойкость в общем считается наиболее экономически выгодной. Однако иногда, в зависимости от конкретных условий работы, бывает целесообразно работать с другой стойкостью. Так, например, при обтачивании длинного гладкого вала может оказаться нежелательной смена затупившегося резца до конца прохода. В этом случае стойкость резца увеличивают за счет снижения скорости резания, чтобы не прекращать обработку до конца прохода.

То же может случиться и при обработке партии одинаковых деталей на настроенном станке, когда нежелательно менять резец до окончания обработки всей партии.

В условиях централизованного изготовления и заточки резцов, при невысокой их стоимости и хорошей конструкции резцедержателя, допускающего быструю смену затупившегося резца, часто оказывается выгодным снижать его стойкость при одновременном повышении скорости резания, а следовательно, и производительности работы.

13. Охлаждение и смазка при резании металлов

Как уже указывалось, резание металлов сопровождается значительным трением сходящей стружки о переднюю грань инструмента, главной задней грани о поверхность резания и отчасти вспомогательной задней грани об обработанную поверхность де-

тали. Вследствие этого, а также внутреннего трения мельчайших частиц деформируемого металла резание сопровождается большим выделением теплоты.

Трение и высокая температура при резании вредно влияют как на инструмент, так и на обрабатываемую деталь. Поэтому на практике в целях уменьшения этого влияния весьма широко применяют охлаждающе-смазывающие жидкости, которые специальным насосом через трубопроводы и шланги подаются в зону резания.

Как показывает само название, применение жидкости имеет двоякое назначение. Она отводит теплоту из зоны резания, существенно снижая этим температуру резца. Поэтому хорошее охлаждение достигается в том случае, если применяемая жидкость обладает высокими теплопроводностью, теплоемкостью и скрытой теплотой парообразования. По этим соображениям лучшей охлаждающей жидкостью считается обыкновенная вода, но она вызывает ржавление обработанных (не окрашенных) поверхностей станка и потому в чистом виде не применяется.

Второе назначение жидкости состоит в том, чтобы смазывать трущиеся поверхности режущего инструмента и обрабатываемого металла, уменьшая тем самым трение между ними и предотвращая слипание материала стружки и резца (явление адгезии).

В настоящее время признано, что трение между металлами обусловлено, в первую очередь, так называемыми силами адгезии, которые возникают на мельчайших участках реального контакта поверхностей. Местные (локальные) давления, получающиеся на этих участках, оказываются достаточными для обеспечения пластического течения металлов и их холодного сваривания. Но в процессе работы они перемещаются относительно друг друга, вследствие чего происходит не сваривание, а взаимное вырывание мельчайших частиц металла с их поверхностей.

Твердые металлы лучше сопротивляются изнашиванию при трении, так как они труднее разрушаются. Поэтому вырывание частиц происходит главным образом из мягкого металла (стружка) при его скольжении по более твердому (резец).

Таким образом, назначение смазки состоит в том, чтобы создать такую предохранительную пленку, которая разделяла бы трущиеся поверхности и тем самым предотвращала или существенно уменьшала вредное взаимодействие между ними.

При резании металлов действуют высокие удельные давления, которые выдавливают смазку, и на поверхностях трения сохраняется лишь тонкая пленка ее, состоящая из нескольких молекулярных слоев.

Из сказанного вытекает, что, помимо охлаждающей способности, применяемая при резании металлов жидкость должна обладать высокой смазывающей способностью. Это значит, что она должна хорошо проникать между трущимися поверхностями, легко вступать в реакцию с обрабатываемым материалом и создавать предохранительную пленку. В свою очередь, пленка должна обла-

дать малым сопротивлением сдвигу, высокими прочностью и температурой плавления.

Вопрос о том, как охлаждающе-смазывающая жидкость попадает на свежееобразованную поверхность стружки, сходящей по передней грани режущего инструмента, до сих пор не выяснен. При высокой скорости резания образование стружки и ее прохождение по передней грани резца совершается менее чем за 0,0001 секунды. Для того чтобы здесь осуществлялась смазка, необходимо чтобы предохранительная пленка образовывалась за еще более короткое время. Поэтому в жидкости, применяемые при резании металлов, добавляют химически активные присадки, реагирующие с обрабатываемым металлом. Быстроте реакции способствует высокая температура стружки и ее чистота.

Исследованиями установлено, что если температура трущихся поверхностей достигает температуры плавления смазывающей пленки, то трение увеличивается в 5—10 раз, а перенос частиц металла с одной поверхности на другую возрастает в тысячи раз.

Поэтому для получения смазочных пленок с более высокой температурой плавления в охлаждающе-смазывающие жидкости вводят добавки, содержащие серу, хлор или то и другое вместе. В результате взаимодействия с металлом эти добавки образуют пленки, состоящие из сульфидов или хлоридов. Сульфидные смазочные пленки сохраняют свою эффективность при температурах 800°, а хлоридные — только до 400°.

Вообще же следует заметить, что, в сравнении с сухим трением, применение эффективной смазки может снизить трение в 20 раз, а количество переносимых с одной поверхности на другую частиц металла — в 20 тысяч раз.

В практике обработки металлов резанием наиболее употребительными охлаждающе-смазывающими жидкостями являются: эмульсия, компаундированные масла, сульфифрезолы, растительные масла, раствор соды в воде, скипидар и керосин.

Эмульсия — это раствор эмульсола в кипяченой воде с добавлением соды, а иногда зеленого мыла. Сам эмульсол представляет собой минеральное масло, смешанное с водным раствором едкого натра (каустическая сода). Наиболее употребительные эмульсии содержат 5, 10 и 15% эмульсола, остальное — вода.

Сульфифрезолами называются осерненные минеральные масла. Чаще всего применяют сульфифрезол, содержащий 80% минерального масла, 18% нигрола и 2% серы.

Компаундированными (смешанными) маслами называют минеральные осерненные масла с примесью растительного масла.

Из всех названных жидкостей чаще всего применяется эмульсия. Она обладает хорошей охлаждающей, но низкой смазывающей способностью. Наоборот, растительные масла, сравнительно слабо охлаждающая, отличаются высокими смазывающими свойствами.

При обдирочных токарных работах наибольшее значение имеет производительность станка, повышению которой способствует,

в частности, охлаждение резца. Поэтому здесь следует применять эмульсии или растворы соды в воде.

При чистовых токарных работах и при нарезании резьб происходит значительное трение между инструментом и обрабатываемой деталью, а вместе с тем обработанные поверхности должны быть чистыми. Поэтому в подобных случаях следует употреблять жидкости с высокими смазывающими свойствами.

Применение охлаждающе-смазывающей жидкости при обработке стали и других пластичных материалов позволяет повысить скорость резания в среднем на 25—40%. Эффективность охлаждения увеличивается с повышением скорости резания.

Чугун и другие хрупкие металлы обычно обрабатываются всухую. Это объясняется тем, что с применением охлаждения стойкость инструмента повышается незначительно. Кроме того, жидкость, смешиваясь с мельчайшими частицами свободного углерода чугуна, загрязняет станок. Однако при отделочных операциях на деталях из чугуна и алюминиевых сплавов (например, силумин) рекомендуется применять скипидар и керосин.

При резании твердосплавным инструментом с высокими скоростями охлаждение может быть применено только путем подачи обильной струи жидкости; при этом стойкость инструмента повышается. Нельзя подавать жидкость слабой струей, так как в этом случае в нагретой до высокой температуры пластинке твердого сплава могут образоваться трещины и произойдет выкрашивание режущей кромки резца.

При обдирочных операциях расход эмульсии на один работающий резец должен составлять 8—10 л/мин. При чистовых операциях расход эмульсии должен быть не менее 12 л/мин, а сульфозола — не менее 3—4 л/мин.

На практике часто обработку твердосплавным инструментом производят всухую, без применения охлаждающих жидкостей. Это объясняется во многих случаях отсутствием соответствующего оборудования (насос, трубопроводы, защитные экраны и т. п.) и некоторым усложнением работы. Однако при резании твердосплавным инструментом труднообрабатываемых сталей (например, нержавеющей) всегда применяют эмульсии.

При обычном способе охлаждения жидкость направляется в зону резания со стороны передней грани резца и подается без напора. Такой способ подачи охлаждающе-смазывающей жидкости является самым давним и повсеместно распространенным.

Заслуживает внимания так называемый струйно-напорный способ охлаждения, при котором жидкость подается со стороны задней грани инструмента под давлением порядка 30 атмосфер. Диаметр сопла не превышает 0,5 мм. Охлаждающее действие жидкости при этом способе в 2—3 раза интенсивнее, чем при обычном безнапорном способе; вместе с тем общее количество циркулирующей жидкости уменьшается приблизительно в 20 раз. Этот способ особенно эффективен при обработке нержавеющей и жаропрочных сталей инструментом, оснащенным быстрорежущей

статью. Для устранения образования дыма здесь применяется дополнительная поливная завеса.

В последнее время получает применение еще один способ охлаждения и смазки при резании металлов. Он состоит в том, что в зону резания жидкость подается в распыленном состоянии.

Для подачи распыленной жидкости применяются различные конструкции распылительных форсунок, а также стационарных и передвижных питательных установок к станкам.

Удобным устройством для снабжения станка распыленной охлаждающе-смазывающей жидкостью является обычная инжекторная установка. Инжектор соединяется с соплами гибким шлангом из синтетического каучука. Сопло имеет диаметр отверстия 3—3,5 мм.

Распыление жидкости достигается пропусканием двух потоков воздуха через смесительный клапан. С этой целью используется обычное устройство у станков для подачи охлаждающе-смазывающей жидкости, которая по трубопроводам также поступает к смесительному клапану. В этом устройстве имеются воздухопровод, регулирующие клапаны и распылительные сопла.

Возможны три варианта работы:

1) подается обычная струя эмульсии, при открытом клапане для жидкости и закрытом воздушном клапане;

2) подается только воздух, при этом открыт один воздушный клапан (применяется для обдувания детали или в случаях, когда нельзя применять охлаждающе-смазывающую жидкость);

3) при обоих открытых клапанах жидкость подается в распыленном состоянии.

Для данных условий работы оптимальный режим подачи распыленной жидкости устанавливается путем регулирования клапанов, чем и достигается изменение соотношения между воздухом и жидкостью. Давление внутри системы колеблется в пределах 4—4,5 атмосфер.

Применение распыленной жидкости при резании металлов имеет следующие преимущества.

1. Струя распыленной жидкости легко проникает в зону резания и надежно смазывает трущиеся поверхности. При этом хорошо отводится теплота, возникающая при резании, которая поглощается при испарении мелких быстро движущихся частиц жидкости. Вследствие этого улучшаются условия резания, повышается стойкость режущего инструмента, а также чистота обработки.

2. Стружка хорошо отводится из зоны резания, она не отлетает в сторону рабочего, а направляется в сторону движения распыленной жидкости, благодаря чему облегчается наблюдение за процессом резания и уменьшается опасность выкрашивания режущего инструмента.

3. Облегчается работа по разметке, так как разметочные риски на обрабатываемой детали не заливаются жидкостью.

4. Эмульсия не разбрызгивается и не загрязняет станка, поэтому улучшаются условия обслуживания и ухода за ним.

5. Само устройство для распыления жидкости несложно и не вызывает затруднений при его эксплуатации.

Проведенные в последние годы исследования показали, что эффективной охлаждающе-смазывающей жидкостью при резании металлов может служить также жидкая углекислота. Однако практического применения на заводах она еще не получила.

14. Точение с большими подачами

Мы знаем (см. главу II), что для уменьшения основного (технологического) времени выгодно работать с возможно меньшим числом проходов l и с наибольшими скоростью резания v и подачей s .

Из формулы $T_0 = \frac{l \cdot l}{n \cdot s}$ видно, что при неизменном числе проходов l основное время уменьшится во столько раз, во сколько раз будет увеличена скорость резания v (число оборотов n) или подача s . Другими словами, увеличение скорости резания и подачи в одинаковой мере обеспечивает повышение производительности работы за счет уменьшения основного времени.

До недавнего времени большинство скоростников-новаторов повышали производительность труда, главным образом, путем увеличения скорости резания, и они достигли в этом отношении выдающихся успехов.

Вместе с тем часто работа с очень большими скоростями резания ограничивается недостаточной быстроходностью станков или малой мощностью их приводов, большими и притом неравномерными припусками на обработку и т. п. Естественно, что в этих случаях наиболее прямой путь повышения производительности процесса резания заключается в переходе на большие подачи.

Нужно отметить, что повышение подачи, как средство увеличения производительности процесса, не только не уступает повышению скорости резания, но имеет перед ним ряд преимуществ. Эти преимущества заключаются прежде всего в том, что при увеличении подачи s более рационально используется мощность станка, так как сила резания P_z и эффективная мощность резания N_e возрастают не прямо пропорционально увеличению подачи, а несколько меньше. Кроме того, при увеличении подачи s стойкость резца T понижается менее резко, чем при увеличении скорости резания v .

Таким образом, повышение производительности путем увеличения подачи в конечном счете дает больший эффект, чем повышение только одной скорости резания при малых подачах. Однако при работе обычными резцами, имеющими главный угол в плане в пределах $\varphi = 45-90^\circ$, с увеличением подачи ухудшается чистота поверхности, а это недопустимо при чистовой обработке. Поэтому чистовое точение с высокими скоростями резания производилось, как правило, с малыми подачами порядка $s = 0,15-0,2$ мм/об, часто при далеко неполном использовании мощности станков,

особенно в тех случаях, когда выполняется чистовая обработка больших деталей на крупных, но относительно тихоходных станках.

Повышение производительности в этом случае достигается применением широких твердосплавных резцов, которые позволяют производить чистовое точение с подачей $s = 1,5 \div 2$ мм/об. В целях облегчения установки резцов работники Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина спроектировали и внедрили в промышленность широкие твердосплавные резцы с наклонной режущей кромкой. Подобного рода резцы обеспечивают чистоту обработанной поверхности в пределах 6—7-го классов по ГОСТ 2789—51.

При обдирочном точении тяжелых массивных деталей, когда припуски на обработку очень велики и достигают 20—25 мм и больше на сторону, длительное время не удавалось значительно повысить производительность оборудования. Резкому увеличению скорости резания здесь препятствовали непригодность крупных токарных станков к работе с большими числами оборотов, а также несбалансированность обрабатываемых грубых заготовок (поковки, отливки). Увеличение подачи резцов, оснащенных твердыми сплавами, которым свойственна большая хрупкость, приводило к быстрому выкрашиванию режущих пластинок вследствие ударного характера нагрузки на резец. Поэтому, в целях повышения производительности здесь пошли по пути срезания всего припуска, как правило, за один проход, при использовании умеренных скоростей резания ($v = 40 \div 70$ м/мин), больших подач ($s = 1,5 \div 2,5$ мм/об) и оснащении резцов менее хрупкими твердыми сплавами (Т5К10 для стали).

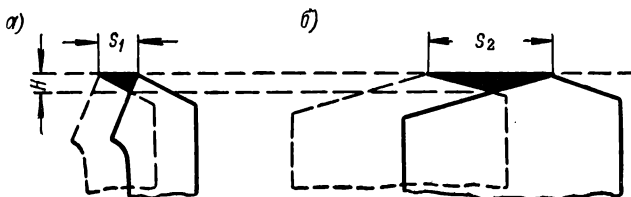
Помимо чистовой и обдирочной токарной обработки имеется еще один очень распространенный вид обработки — получистовое точение, когда требуется не только достичь высокой производительности, но и обеспечить достаточно хорошую чистоту обработанных поверхностей (5—6-й классы), при более или менее высокой точности размеров детали (3—4-й классы). Получистовое точение характеризуется относительно умеренными припусками на обработку (1,5—4 мм на сторону). Дальнейшее повышение производительности в этой области точения на первых порах достигалось путем использования резцов с малыми углами в плане ($\varphi = 10 \div 20^\circ$, вместо обычных $45 \div 75^\circ$).

Как уже отмечалось, уменьшение главного угла в плане φ способствует снижению температуры резания и интенсивности износа резца, а следовательно, увеличению его стойкости T . Поэтому, если скорость резания v и стойкость резца T принять неизменными, т. е. такими, какими они были до уменьшения угла в плане φ , то очевидно, что резец с малым углом φ позволит вести работу с большей подачей s .

Такова основная теоретическая предпосылка успешной работы с большими подачами s при применении инструмента с малыми углами в плане φ . Что касается чистоты обработанной поверх-

ности, то она не ухудшается по сравнению с той, какая имеет место при использовании резцов с обычными углами φ .

На фиг. 34 схематически показаны сечения гребешков, остающихся на обработанной поверхности при точении. Высота этих гребешков является показателем чистоты поверхности: чем она меньше, тем чище поверхность, и наоборот. В первом случае (фиг. 34, а), при работе резцом с большим углом в плане φ , гребешок высотой H получается при подаче s_1 . Во втором случае (фиг. 34, б), при значительном уменьшении угла φ , такая же высота гребешка получается при подаче s_2 , в несколько раз превышающей подачу s_1 .



Фиг. 34. Высота остаточных гребешков.

Таким образом, уменьшение угла в плане φ дает возможность работать с высокой производительностью за счет больших подач s . При этом стойкость инструмента и чистота обработки не понижаются.

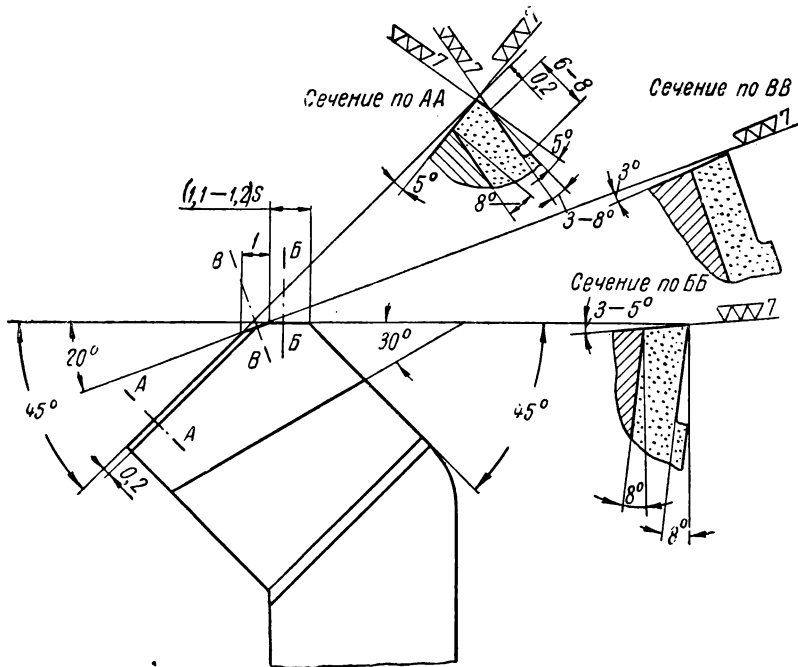
Именно по такому пути увеличения подачи шли многие наши ученые и новаторы производства, стремившиеся повысить производительность процесса механической обработки металлов, причем большую эффективность показал этот метод при обработке труднообрабатываемых сталей (нержавеющих, жаропрочных и других аустенитных сталей). Однако получить хорошие результаты удавалось далеко не всегда.

Дело в том, что при работе резцов с малыми углами φ значительно возрастает радиальная сила P_y , вследствие чего при относительно нежестких деталях возникают такие сильные вибрации, что точность и чистота обработки резко снижаются. Во многих случаях из-за сильных вибраций работа становится вообще невозможной. Кроме того, для оснащения резцов с малыми углами φ требуются очень крупные (длинные) пластинки твердых сплавов. Очевидно, что для повышения производительности и более эффективного использования мощности станков и стойкости резцов нужно было найти такое решение, которое учитывало бы достоинства резцов с относительно большими углами φ (слабый отжим обрабатываемой детали) и достоинства широких резцов, обеспечивающих хорошую чистоту обработки, с одновременным увеличением подачи.

Такое решение было найдено токарем-новатором Средневожского станкостроительного завода В. А. Колесовым. Применяв

резец усовершенствованной конструкции, он резко повысил производительность процесса резания при обработке деталей нормальной жесткости на обычных станках, сочетая относительно большие скорости резания с большими подачами.

Так, например, обрабатывая на модернизированном станке ДИП-300 пиноль диаметром 64 мм из стали 45 к токарному станку



Фиг. 35. Проходной отогнутый резец конструкции В. А. Колесова.

1616, В. А. Колесов применил подачу $s=2,7$ мм/об при глубине резания $t=1,7-2$ мм и 800 оборотах шпинделя в минуту, что соответствует скорости резания v приблизительно 150 м/мин. Ранее здесь применялась подача $s=0,3 \div 0,5$ мм/об.

В результате В. А. Колесову удалось сократить основное время при получистовой обработке в 2—10 раз. При этом чистота поверхности соответствовала 4—6-му классам ($\nabla\nabla 4-\nabla\nabla 6$) по ГОСТ 2789—51. Такая относительно высокая чистота обработки при большой подаче достигнута В. А. Колесовым за счет особой формы резца. Геометрия режущей части первого исходного резца такой конструкции показана на фиг. 35.

Резец имеет три режущие кромки: главную, переходную и дополнительную (зачистную). Главная режущая кромка расположена под углом $\varphi=45^\circ$ к направлению продольной подачи, переходная кромка имеет угол $\varphi_0=20^\circ$, дополнительная кромка расположена строго параллельно оси вращения обрабатываемой

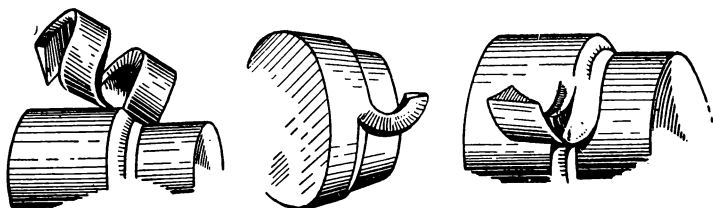
детали, т. е. $\phi_1 = 0^\circ$. Длина переходной кромки равна 1,0 мм, а длина дополнительной кромки составляет 1,1—1,2 s.

Благодаря такой большой длине дополнительной режущей кромки обеспечивается высокая чистота обработанной поверхности, несмотря на большую подачу s.

По всем трем режущим кромкам задний угол одинаков и составляет примерно $3-5^\circ$.

На передней грани резца вдоль главной режущей кромки затачивается фаска (полочка) шириной не менее 0,2 мм. Передний угол на фаске $\gamma_\phi = -5^\circ$.

Благодаря одновременному резанию главной и переходной режущими кромками поперечное сечение стружки получается



Фиг. 36. Треугольная форма сечения стружки.

в форме треугольника с несколько вогнутыми сторонами, как это показано на фиг. 36.

На передней грани резца (фиг. 35) на самой пластинке твердого сплава образован уступ для завивания стружки. Расположение уступа под углом $30-35^\circ$ относительно дополнительной режущей кромки уменьшает возможность травмирования рабочего и обеспечивает отвод стружки в сторону обрабатываемой поверхности. Такая заточка предохраняет обработанную поверхность от повреждения сходящей стружкой.

Благодаря уступу при резании стали средней твердости стружка сходит в виде полуколец и коротких спиралей. На фиг. 37 показана стружка, соответствующая различным подачам.

На основании проведенных исследований в геометрию режущей части резца конструкции В. А. Колесова внесены некоторые изменения. Прежде всего все задние углы увеличены до 8° , что повышает стойкость резца в 2—3 раза.

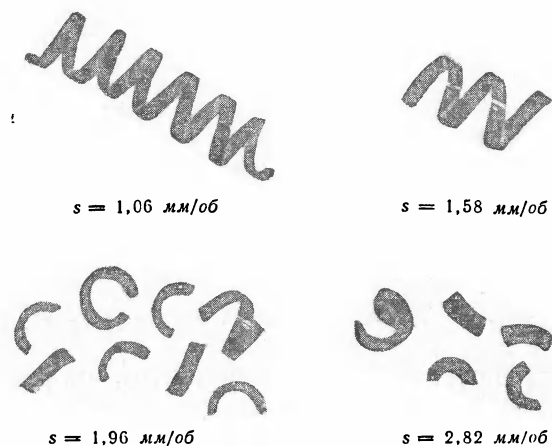
Для получения хорошей чистоты обработанной поверхности рекомендуется длину дополнительной режущей кромки принимать равной 2,2 s, так как при длине этой кромки 1,1—1,2 s по мере износа резца чистота обработки заметно ухудшается.

Фаску (полочку) на передней грани резца надо делать не только вдоль главной, но и вдоль дополнительной режущей кромки. Ширину фаски следует принимать в пределах 0,2—0,5 мм, и она должна быть согласована с толщиной среза a.

Следует отметить, что остановка станка, когда резец находится под стружкой, не вызывает обычно поломки пластинки

твёрдого сплава. Это можно объяснить тем, что у резцов конструкции В. А. Колесова угол при вершине в плане равен 160° . Такой большой угол повышает способность пластинки твёрдого сплава оказывать сопротивление скалыванию.

Соотношение сил резания при работе резцом конструкции В. А. Колесова является благоприятным. Сила подачи P_x составляет $0,12-0,23 P_z$. Это связано с наличием у резца режущих кромок с углами в плане $\varphi = 20^\circ$ и $\varphi_1 = 0^\circ$. Малая величина силы P_x позволяет осуществлять обработку при малой нагрузке на ме-



Фиг. 37. Виды стружек при работе резцом конструкции В. А. Колесова с разными подачами.

ханизм подачи станка, что весьма важно для осуществления производительных режимов резания.

Радиальная сила P_y несколько выше, чем у обычных проходных резцов и составляет примерно $0,4-0,6 P_z$. Однако она значительно меньше радиальной силы, возникающей при работе резцами с малыми углами φ . Это объясняется наличием у резца конструкции В. А. Колесова главной режущей кромки с $\varphi = 45^\circ$.

По абсолютному значению силы резания, возникающие при работе резцами типа, предложенного В. А. Колесовым, отличаются от сил, действующих при работе обычными проходными резцами. Сила P_z уменьшается примерно на 20%, сила P_y увеличивается на 10—35%, а сила P_x уменьшается на 10—30%.

Уменьшение силы P_z дает основание сделать вывод, что одновременно происходит и некоторое уменьшение расхода мощности на резание. Возрастание силы P_y обязывает принимать меры к повышению жесткости системы станок — деталь — резец.

Метод работы резцами конструкции В. А. Колесова называют силовым резанием металлов. Однако правильнее было бы его называть резанием с большими скоростями резания и подачами, так

как при нем применяются высокие скорости резания (порядка 100—200 м/мин), а силы резания не только не превышают обычные (за исключением силы P_y), но в сравнении с ними имеют несколько меньшее значение. На практике принято называть этот метод работы резанием с большими подачами.

Для успешной эксплуатации резцов при работе с большими подачами можно указать следующие рекомендации.

1. Твердый сплав выбирается в соответствии с данными, приведенными в главе V.

2. Передний угол резца следует принимать в пределах от 8 до 20° в зависимости от обрабатываемого материала и марки твердого сплава, которым оснащена режущая часть резца. Дополнительная режущая кромка должна быть прямолинейной, ее нужно хорошо доводить и проверять по лекальной линейке. Эта кромка должна быть параллельна продольной подаче, в противном случае не будет обеспечена требуемая чистота обработанной поверхности.

3. Подача s при получистовой обработке стали может быть принята в пределах от 1 до 5 мм/об, а при точении чугуна — от 1 до 8 мм/об.

4. Износ резцов происходит как по передней грани в виде лунки, так и по задним граням. Износ по всем задним граням резца протекает почти одинаково. Во избежание скалывания режущих кромок и увеличения силы резания износ резца по задним граням не должен превышать $h_z = 0,8—1,0$ мм.

Рекомендации по выбору режимов резания приведены в главе V.

В настоящее время метод работы, предложенный В. А. Колесовым, широко применяется на заводах.

15. Точение минералокерамическими резцами

В связи с низким пределом прочности на изгиб минералокерамические резцы допускают небольшие силы резания, и поэтому их следует применять в первую очередь для обработки легких сплавов, цветных металлов, изоляционных материалов, а также для чистовой и получистовой обработки стали и чугуна.

При осмотре в лупу с 20-кратным увеличением на пластинках минералокерамики не должно обнаруживаться трещин и глубоких расслоений. На режущих кромках инструмента не допускается выкрашиваний. Учитывая повышенную хрупкость минералокерамики по сравнению с твердыми сплавами, следует работать минералокерамическими резцами по возможности при жесткой системе станок — деталь — инструмент, избегая возникновения вибраций.

При обработке чугуна и стали рекомендуется применять минералокерамические резцы на получистовых и чистовых проходах. Необходимо избегать поперечного врезания резца в обрабатываемый

материал. При обработке детали с неподрезанным торцом целесообразно снимать на ней фаску до врезания резца.

Так как минералокерамика обладает высокой теплостойкостью, то обработку минералокерамическими резцами можно производить без охлаждения. Если же по существующим технологическим условиям обработка производится с применением охлаждения, то обильную подачу охлаждающе-смазывающей жидкости на минералокерамическую пластинку надо обеспечить еще до врезания инструмента в обрабатываемый материал.

При выборе рациональной геометрии режущей части резцов, оснащенных минералокерамикой, можно руководствоваться следующими рекомендациями. Главный α и вспомогательный α_1 задние углы должны быть в пределах $8-10^\circ$. При меньших значениях этих углов снижается стойкость T резца, а при больших значениях возможны скалывания режущей кромки.

В условиях жесткой системы станок — деталь — инструмент лучшие результаты получаются в тех случаях, когда резец имеет отрицательный передний угол ($\gamma = -10^\circ$). Однако при этом возрастает сила резания и особенно составляющие P_x и P_y , что в отдельных случаях может привести к вибрациям.

Избежать вибраций можно, применяя на резце положительный передний угол ($\gamma = +10^\circ$), но при этом необходимо на передней грани резца затачивать фаску, ширина которой приблизительно равна величине подачи s , с отрицательным передним углом ($\gamma = -5 \div -10^\circ$). При обработке алюминиевых сплавов передний угол γ принимают равным 15° .

Для завивания стружки на передней грани резца создают выкружку или уступ по аналогии с твердосплавными резцами.

Главный угол в плане ϕ для резцов принимается в пределах от 20 до 90° , но необходимо помнить, что с увеличением угла ϕ подача s должна быть снижена. Вспомогательный угол в плане ϕ_1 рекомендуется принимать равным $10-15^\circ$. Угол наклона главной режущей кромки λ выбирается в пределах от 0 до 10° .

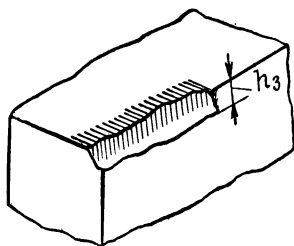
Износ минералокерамических пластинок при резании металлов происходит преимущественно по задней грани резца; на передней грани наблюдается лишь небольшое истирание в виде следа соприкосновения со стружкой (фиг. 38).

Обычно износ протекает равномерно в течение всего времени работы резца (фиг. 39). Конечный износ характеризуется скалыванием режущей кромки (точка A). Наибольший износ по задней грани резца можно допускать в пределах $0,5-0,8$ мм в зависимости от толщины a среза и переднего угла γ резца. Чем больше толщина среза a , тем меньший допускается износ. При отрицательном переднем угле можно допускать больший износ, чем при положительном угле.

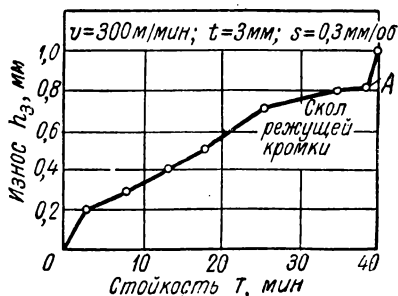
Современная минералокерамика позволяет точить сталь и чугун с большей глубиной резания, чем это было раньше. Так, например, конструкционная сталь 45 ($\sigma_{вр} = 65$ кг/мм²) может обрабатываться минералокерамическими резцами с глубиной

резания до $t = 5$ мм, а серый чугун — до $t = 10$ мм (после снятия литейной корки).

Резцы, оснащенные минералокерамическими пластинками, при всех прочих равных условиях показывают увеличение стойкости примерно в два раза по сравнению с резцами, оснащенными твердым сплавом Т15К6, при обработке стали 45, и в три раза —



Фиг. 38. Схема износа минералокерамического резца.



Фиг. 39. График нормального износа минералокерамического резца.

по сравнению с резцами, оснащенными твердым сплавом ВК8 при обработке чугуна твердостью $H_B = 180 \div 200$.

Режимы резания, рекомендуемые для минералокерамических резцов, приведены в главе V.

16. Точение нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов

Отечественное машиностроение в послевоенные годы характеризуется значительным развитием производства газовых турбин, компрессоров и различного рода машин для химической промышленности. Так как в подобных машинах многие детали работают при высоких температурах, в химически действующих средах и при больших нагрузках, то их изготавливают из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов.

Укажем, например, что детали газовых турбин с рабочей температурой до 600° изготавливаются из нержавеющей хромистых сталей с небольшими добавками других элементов; при рабочей температуре до 800° — из сложнoleгированных сталей аустенитного класса; при температуре до 950° — из жаропрочных сплавов на никелевой или кобальт-никелевой основе.

Ведутся также экспериментальные работы по применению металлокерамических материалов для изготовления из них путем прессования и спекания порошковой смеси роторов газовых турбин, которые могут работать при температуре до 1100° .

Все большее распространение получают титановые сплавы, обладающие высокими прочностью (при небольшом удельном весе) и стойкостью против коррозии (ржавления).

В настоящее время наиболее употребительными являются:

- 1) нержавеющие стали 1X13, 2X13, и 3X13;
- 2) жаропрочные стали 1X18H9T, X23H18, 4X14H14B2M и X18H12M2T;
- 3) жаропрочные сплавы X15H60 и X20H80.

Напомним, что в обозначениях указанных марок сталей и сплавов цифры, стоящие после букв X (хром), H (никель), T (титан), B (вольфрам) и M (молибден), выражают процентное содержание этих элементов. Цифры в начале обозначения указывают на содержание углерода в десятых долях процента. Буквы в конце обозначения указывают на присадку соответствующего элемента в количестве не более одного процента.

Нержавеющие стали типа 1X13 имеют так называемую ферритомартенситную структуру и обрабатываются почти так же легко, как обычные малоуглеродистые стали.

Значительно труднее обрабатываются нержавеющие и жаропрочные стали, имеющие аустенитную структуру. Повышение жаростойкости сталей и сплавов достигается путем увеличения содержания в них легирующих элементов. При этом обрабатываемость этих материалов резко снижается. Так, в сравнении с нержавеющей сталью типа 1X13 обрабатываемость аустенитных сталей типа 1X18H9T снижается почти в два раза, а сложнолегированных хромоникелевых аустенитных сталей с присадками титана, вольфрама и других элементов — более чем в три раза. Обрабатываемость наиболее жаростойких сплавов приблизительно в десять раз ниже, чем нержавеющих сталей указанного типа.

Следует заметить, что все вопросы, связанные с обработкой рассматриваемых материалов, в полной мере еще не изучены.

Однако проведенные исследования и накопившийся опыт отдельных заводов позволяют указать причины низкой обрабатываемости этих материалов и пути их устранения.

Затруднения, возникающие при обработке резанием жаропрочных сталей и сплавов, связаны с их особыми физическими и механическими свойствами, из которых главными являются следующие:

1) высокая адгезионная способность, вызывающая приваривание (нарашивание) стружки на передней грани инструмента;

2) низкая теплопроводность аустенита, которая в совокупности с увеличенной работой резания, переходящей в теплоту, приводит к плохому отводу теплоты и значительному повышению нагрева инструмента и обрабатываемой детали;

3) большое упрочнение срезаемого слоя вследствие повышенного поглощения энергии при пластической деформации обрабатываемого материала, значительное увеличение его твердости и образование ступенчатой стружки;

4) повышенная истирающая способность обрабатываемого материала, обусловленная наличием в нем весьма твердых частиц (карбидов);

5) способность сохранять твердость и прочность при высоких температурах.

При обработке деталей из жаропрочных сталей и сплавов возникают также затруднения, связанные с формой и характером заготовок деталей. Наличие абразивных частиц в срезаемых наружных слоях материала литых заготовок, а также прерывистых поверхностей, обуславливающих ударную нагрузку на резец и на срезаемый материал (наклеп), снижают стойкость инструмента и производительность обработки.

Дальнейшее развитие производства деталей из жаропрочных сталей и сплавов требует всемерного повышения производительности механической обработки этих материалов. Одним из основных путей повышения режимов резания является улучшение инструментальных материалов.

В последнее время появились новые марки быстрорежущей стали Р9К5 и Р9Ф5, позволяющие вести обработку жаропрочных сталей и сплавов со значительно большими скоростями резания в сравнении с быстрорежущей сталью Р18. Для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей выпущен сплав ВК6М.

Значительное повышение производительности при обработке жаропрочных сталей и сплавов достигается при использовании вместо твердого сплава ВК8 сплава ВК4. Хорошие результаты получаются также при работе сплавом Т14К8 вместо сплава Т5К10. При черновом точении с ударами деталей из жаропрочного сплава Х20Н80 рекомендуется применять новый твердый сплав ВК12Ж.

Следует заметить, что для черновых работ по корке, а также для обработки прерывистых поверхностей деталей из нержавеющей сталей прочность пластинок твердых сплавов группы ТК часто оказывается недостаточной, и они выкрашиваются. Для таких работ рекомендуется применять твердые сплавы группы ВК. В отдельных случаях (прерывистое резание) могут быть использованы резцы, оснащенные быстрорежущей сталью. Чистовую и получистовую обработку следует производить резцами, оснащенными твердыми сплавами группы ТК.

Известно, что некоторые конструкционные стали хорошо обрабатываются слегка затупленным резцом. При обработке же рассматриваемых материалов, наоборот, режущая кромка у резца должна быть острой и ровной, на ней не допускаются завалы и выкрошины.

При первых же признаках затупления резец необходимо перетачивать. Чтобы уменьшить трение и прихватывание стружки (адгезию), рабочие поверхности резца должны быть чистыми и гладкими. Поэтому после заточки их обязательно надо доводить. Для улучшения отвода теплоты и предотвращения вибраций следует применять наиболее крупные резцы и устанавливать их с наименьшим вылетом из резцедержателя.

Геометрия резца характеризуется положительным или нулевым передним углом γ и увеличенным задним углом α . Стойкость

реза T несколько повышается при увеличении радиуса закругления у вершины r .

Станки должны иметь высокую жесткость и виброустойчивость. Для обеспечения равномерного резания сильно упрочняющегося материала необходимо добиваться минимальных люфтов в механизме подачи станка. По этим соображениям необходимо избегать ручной подачи.

Процесс резания нельзя останавливать или заканчивать на обрабатываемой поверхности, так как это также вызывает наклеп обрабатываемого материала.

Целесообразно срезать возможно тонкий слой материала, но с большей скоростью резания. Однако глубина резания t и подача s должны быть достаточными, чтобы резание происходило не по наклепанному слою.

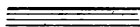
Вследствие больших сил резания, имеющих место при обработке рассматриваемых материалов, электродвигатель станка должен иметь достаточный запас мощности.

Для уменьшения трения и адгезии и лучшего отвода теплоты подача охлаждающе-смазывающей жидкости в зону резания должна быть обильной. Поэтому при обычном (безнапорном) способе охлаждения у станка должен быть увеличенный бак для жидкости и повышенный диаметр трубопроводов.

По данным НИАТ, лучшие результаты достигаются при использовании водной эмульсии, содержащей 10% эмульсола и 2% сульфозола. При этом стойкость инструмента возрастает на 30—80% в сравнении с работой всухую.

Начинает применяться при обработке нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов также струйно-напорный способ подачи жидкости. Он особенно эффективен для быстрорежущего инструмента.

Имеются также указания об эффективности применения сильно распыленной эмульсии при точении деталей из жаропрочных сталей. Помимо других преимуществ, в этом случае достигается более высокая чистота обработанной поверхности.



ГЛАВА IV

КОНСТРУКЦИИ РЕЗЦОВ

17. Общие сведения

Машиностроение и другие отрасли отечественной промышленности ежегодно расходуют десятки миллионов резцов. На их изготовление затрачиваются десятки тысяч тонн конструкционной стали (для державок) и сотни тонн высоколегированной инструментальной стали и твердых сплавов, которыми оснащается режущая часть резцов. Отсюда становится понятным значение мероприятий, направленных на совершенствование конструкций резцов.

В настоящее время свыше 80% всех токарных резцов оснащается твердыми сплавами.

Основным требованием, предъявляемым к конструкциям твердосплавных и минералокерамических резцов, является обеспечение необходимой прочности режущих пластинок в работе. Как уже указывалось, повышение прочности режущих граней резца достигается путем применения положительных углов наклона главной режущей кромки λ и отрицательных передних углов γ на всей передней грани или чаще на узкой ленточке (фаске) вдоль главной режущей кромки.

Вторым требованием, предъявляемым к конструкциям резцов, является рациональное крепление режущей пластинки в корпусе инструмента. У твердосплавных резцов наибольшее распространение получило крепление пластинок путем припаивания. Этот способ крепления применяется и у минералокерамических резцов.

Резцы с таким креплением режущих пластинок называются цельными напайными. На основные размеры всех наиболее широко применяемых в промышленности цельных напайных твердосплавных резцов (проходных, подрезных, расточных и др.) имеется ГОСТ 6743—53. В то же время на заводах и в исследовательских лабораториях непрерывно ведется работа по улучшению конструкций стандартных резцов, в которой активное участие принимают новаторы производства.

В п. 19 приведены примеры удачного усовершенствования конструкций цельных напайных резцов (стандартных), оснащенных твердыми сплавами.

Однако цельные напайные резцы имеют существенные недостатки. Соединение при пайке двух тел — пластинки (твердый сплав или минералокерамика) и державки (конструкционная сталь), — имеющих различные коэффициенты линейного расширения, приводит к возникновению внутренних напряжений в пластинке и в результате этого к образованию в ней трещин при охлаждении.

Еще более серьезные недостатки присущи цельным напайным резцам, используемым на крупногабаритных станках. При обработке на таких станках больших и тяжелых деталей из стали площадь поперечного сечения среза в отдельных случаях достигает $f = 100\text{—}120 \text{ мм}^2$. При этом резцы испытывают весьма большую нагрузку: 15—20 т. Поэтому на таких станках применяются резцы с поперечным сечением до $80 \times 100 \text{ мм}$, длиной до 800 мм и весом до 50—60 кг.

Изготовление и эксплуатация таких крупных резцов связаны с серьезными затруднениями. Из-за больших размеров державок напайку режущих пластинок на резцы часто приходится производить в горнах. Универсально-заточные станки не приспособлены для заточки резцов таких размеров. Поэтому их затачивают на обычных точилах, причем эту работу выполняют двое рабочих. Помимо низкого качества заточки при таком способе, геометрия режущей части резцов получается произвольной. Смена резца требует затраты значительного времени; двое рабочих затягивают болты или гайки крепления резца, пользуясь рычагом длиной до 1,5 м. Транспортирование таких резцов возможно только с помощью вагонеток или других механизированных устройств. Кроме того, большие силы резания и, как бывает в большинстве случаев, неравномерность припуска на обрабатываемых деталях, часто приводят к скалыванию части пластинки твердого сплава, а в некоторых случаях и к отрыву ее от державки.

Перечисленные недостатки цельных напайных резцов вынуждают переходить на сборную конструкцию. Сборные твердосплавные резцы бывают двух видов:

1) в державке резца механически закрепляется непосредственно режущая пластинка твердого сплава;

2) в державке резца механически закрепляется сменная вставка (нож) с напаянной на ней режущей пластинкой твердого сплава.

В п. 20 и 21 рассмотрены обе разновидности сборных конструкций резцов.

Механическое крепление режущей пластинки твердого сплава имеет значительные преимущества перед цельной напайной конструкцией резцов. При механическом креплении упрощается инструментальное хозяйство и уменьшается расход конструкционной стали на изготовление державок, так как при этом способе, в отличие от способа напайки, корпус державки можно многократно использовать после полного износа режущих пластинок. Кроме того,

в одной и той же державке можно закреплять режущие пластинки различных твердых сплавов; это во много раз сокращает количество употребляемых в производстве державок.

Применение резцов с механическим креплением режущих пластинок создает благоприятные условия для централизованной заточки и доводки инструмента. Уменьшается также расход абразивов, поскольку при заточке режущих пластинок нет необходимости затачивать державки резцов. Наконец, отпадает сама операция припаивания режущих пластинок и исключается возможный при этом брак последних вследствие образования трещин.

Однако механическое крепление режущих пластинок имеет существенные недостатки, которые препятствуют широкому внедрению в промышленность резцов такого типа.

По сравнению с цельными напайными резцами у резцов этого типа резко увеличивается неиспользуемая часть пластинки твердого сплава, которая у большинства резцов складывается из длины части пластинки, необходимой для ее закрепления в державке, и расстояния от режущей кромки до рабочего уступа стружколомателя. Например, при чистовом точении стали на крупных станках это расстояние достигает 20—25 мм и в основном определяет длину неиспользуемой части пластинки твердого сплава.

Приведенное обстоятельство повышает расход твердых сплавов и часто вызывает необходимость использования нестандартных твердосплавных пластинок.

Недостатком механического крепления пластинки твердого сплава является, кроме того, крайне небольшой срок службы державки резца, так как при первой же поломке сменной режущей пластинки обычно повреждается и ее опорная плоскость на державке.

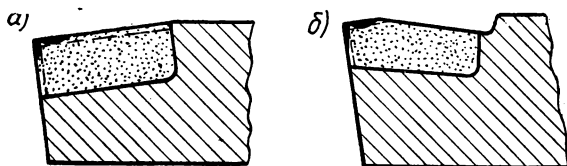
Наконец, недостатком также является неуниверсальность механического крепления режущей пластинки, т. е. невозможность в большинстве случаев создания по единой схеме ряда типоразмеров проходных, подрезных и других видов резцов.

Практика показала, что основное преимущество механического крепления пластинок твердого сплава — устранение операции напайки — не компенсирует указанных недостатков. Что же касается сборных резцов с механическим креплением сменной вставки, оснащенной твердым сплавом, то эта конструкция имеет все недостатки, связанные с операцией напайки, но вместе с тем она свободна от недостатков механического крепления пластинки твердого сплава и цельных напайных резцов.

Кроме того, последние достижения в области напайки пластинок твердых сплавов (напайка с одновременной закалкой сменной вставки и использование припоев повышенной прочности) резко уменьшают потери от брака при пайке и последующей заточке сменных вставок.

Широкое применение в промышленности, несомненно, получит сборная конструкция резцов с механическим креплением сменных вставок, напаянных режущими пластинками твердых сплавов.

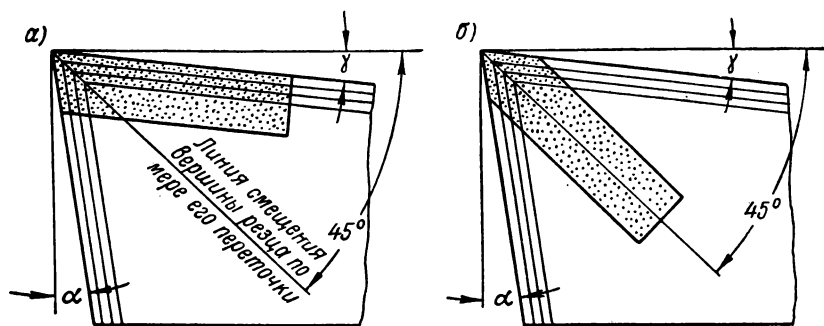
Третьим требованием, предъявленным к конструкциям резцов, является рациональное и экономное использование пластинок твердого сплава в процессе многократных переточек.



Фиг. 40. Схема переточки резцов: *a* — с плоской передней гранью; *б* — с двойной передней гранью.

Целесообразно применять резцы с двойной передней гранью (фиг. 40). Число переточек, допускаемых этими резцами, значительно больше, чем у резцов с плоской передней гранью.

Толщина слоя твердого сплава, снимаемого при заточке резца по фиг. 40, *a*, больше толщины слоя у резца по фиг. 40, *б*, имеющего такую же величину износа. Это служит одной из причин того,



Фиг. 41. Схема переточки цельных напайных резцов: *a* — с режущей пластинкой, расположенной под углом 10—15°; *б* — с режущей пластинкой, расположенной под углом 45°.

что в нормативах режимов резания форму передней грани по фиг. 40, *a* не рекомендуется применять.

Из этих же соображений, для уменьшения слоя металла, подлежащего удалению при заточке, и лучшего использования твердого сплава нередко располагают режущую пластинку в державке под углом 45° (фиг. 41). Однако в цельных напайных резцах такое расположение режущей пластинки (фиг. 41, *б*) приводит к отрицательным результатам. Напайка пластинки в закрытом пазу вызывает в ней значительные внутренние напряжения, что в конечном счете снижает стойкость резца. Кроме того, державка резца вблизи передней грани пластинки истирается сходящей стружкой, которая может даже привариваться к державке на участке их контакта, и

вследствие этого может произойти поломка резца. В резцах же сборной конструкции расположение режущей пластинки по фиг. 41, б целесообразно.

В тех случаях, когда многократно переточенную пластинку уже трудно крепить в державке механическим способом, ее можно использовать на другой державке. Для этого оставшуюся часть пластинки можно припаять в стык к пластинке из конструкционной стали (фиг. 42) и эту новую пластинку закрепить в державке механическим способом. Такой способ применяется на Ленинградском заводе имени Карла Маркса, на Рижском электромашинно-строительном заводе ВЭФ и др.

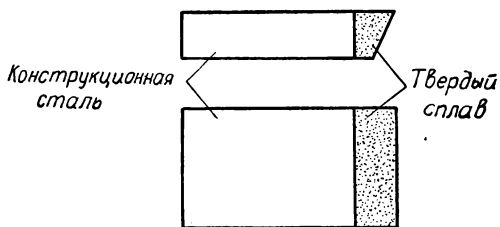
При точении пластичных сталей с высокими скоростями резания от обрабатываемой детали отделяется стружка в виде прямой ленты или витой спирали с большим радиусом. Такая стружка сходит с большой скоростью часто в раскаленном состоянии, и может явиться причиной тяжелых травм рабочих. Токарь, работающий на станке, находится постоянно в напряженном состоянии, наблюдая за процессом резания и удаляя стружку стальным крючком. Естественно, что в таких условиях повышается утомляемость рабочего и снижается производительность его труда. Поэтому устранение прямой и витой стружки является необходимым мероприятием при точении стали.

При конструировании резцов необходимо предусматривать способы ломания стружки. Стружколомание является четвертым требованием, предъявленным к конструкциям резцов.

Из сказанного ясно, что при выборе конструкции резцов для точения с высокими скоростями резания приходится учитывать большое число различных факторов, существенно влияющих на производительность, экономичность и безопасность работы. На выбор конструкции резца оказывают влияние также и конкретные условия обработки: черновое или чистовое точение, обтачивание или растачивание, конфигурация детали и прочее. Разнообразием и сложностью взаимного сочетания этих факторов, в известной мере, можно объяснить и многообразие конструкций резцов, наблюдающееся в практике. В следующих разделах настоящей главы будут приведены наиболее типичные из них.

18. Стружколомание при точении стали

В практике металлообработки применяется много различных способов стружколомания. Многие из этих способов предусматриваются в самих конструкциях резцов. Именно поэтому разбор



Фиг. 42. Многократно переточенная твердосплавная пластинка, припаянная в стык к стальной пластинке.

способов стружколомания должен предшествовать рассмотрению конструкций резцов.

Различные способы стружколомания мы должны оценивать по трем основным показателям: простоте устройства стружколомателя, универсальности способа, т. е. способности ломать стружку при изменяющихся режимах резания, и расходу мощности, потребляемой на резание, так как многие стружколоматели вызывают повышенный расход мощности.

Известные способы стружколомания при точении можно разделить на две основные группы:

- 1) стружколомание, осуществляемое за счет заточки резца;
- 2) стружколомание посредством специальных дополнительных устройств, так называемых стружколомателей.

Резцы с отрицательным углом γ и положительным углом λ

При работе проходным резцом с передним углом $\gamma = -5^\circ \div -10^\circ$ и углом наклона $\lambda = +10^\circ$ стружка, сходящая по передней грани, сильно изгибается, упираясь в переднюю грань; в результате происходит излом стружки на мелкие полукольца радиусом 5—10 мм. Наиболее надежен этот способ при обдирочных работах с большими сечениями среза (подача s больше 0,5 мм/об). Но в связи с отрицательным передним углом γ резца и положительным углом наклона главной режущей кромки λ , в процессе работы радиальная составляющая силы резания P_y достигает большой величины, и это вызывает отжатие деталей. Поэтому такие резцы следует применять только на жестких станках и при высокой жесткости обрабатываемой детали.

Недостатком этого способа стружколомания является повышенный расход мощности на резание.

Резцы с порошком на передней грани

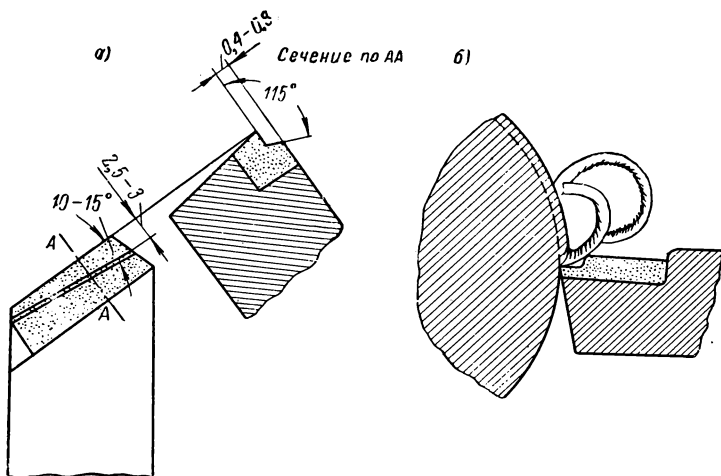
При работе резцом с заточенным на передней грани порошком (фиг. 43) стружка упирается в стенку порошка и ломается на короткие спирали и полукольца.

Этот способ, так же как и предыдущий, обеспечивает хорошие результаты при обдирочных работах (подача s до 0,8 мм/об и глубина резания $t = 10—12$ мм).

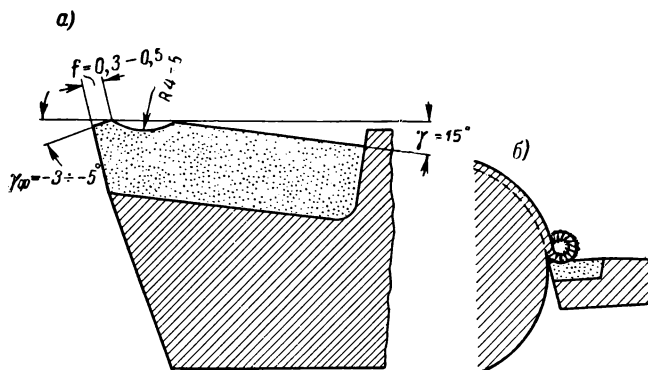
Недостатки этого способа стружколомания заключаются в том, что, во-первых, на ломание стружки расходуется значительная часть мощности резания (до 20%) и, во-вторых, он мало универсален, так как ширина полки порошка зависит от глубины резания t , подачи s и скорости резания v , которые часто приходится изменять. Трудность заточки порошка и повышение расхода твердого сплава также являются недостатками этого способа.

Резцы с выкружкой на передней грани

Значительно большее распространение получили резцы с радиусной канавкой (лункой) на передней грани (фиг. 44). При этом способе стружколомания расход мощности на резание не только



Фиг. 43. Резец с порожком на передней грани: а — форма и размеры порожка; б — схема стружколомания.



Фиг. 44. Резец с выкружкой на передней грани: а — форма и размеры выкружки; б — схема стружколомания.

не повышается, но даже несколько уменьшается по сравнению с резцами с плоской передней гранью.

Таковыми резцами работают многие новаторы производства. Наилучшее применение они могут найти при обдирочных работах с подачами $s = 0,3-0,5$ мм/об, а также при получистовом точении. Надежное ломание стружки обеспечивается при размерах фаски в пределах $f = (0,8-1,0)$ s . При изменении подачи s в больших пределах универсальность этого способа стружколомания уменьшается. Недостатком резцов с выкружками является повышенный расход твердого сплава.

Резцы с радиусной канавкой сложной формы

Наиболее надежно стружколомание осуществляется резцами конструкции лауреата Сталинской премии В. М. Бирюкова (фиг. 68), у которых канавка имеет два радиуса кривизны $R_1 = 7$ мм и $R_2 = 1,5$ мм, причем малый радиус кривизны плавно переходит в вертикальную площадку, выполняющую функцию порожка. Это повышает универсальность стружколомания.

Еще лучшие результаты получаются при работе резцами с переменным передним углом γ конструкции инженера И. Е. Савина (фиг. 69). Эти резцы ломают стружку при любом изменении режима резания, причем стружка имеет форму коротких спиралей, удобных для уборки и транспортирования.

Накладные стружколоматели

Накладные стружколоматели бывают трех видов:

- 1) напаянные пластинки твердого сплава;
- 2) накладные пластинки;
- 3) регулируемые стружколоматели.

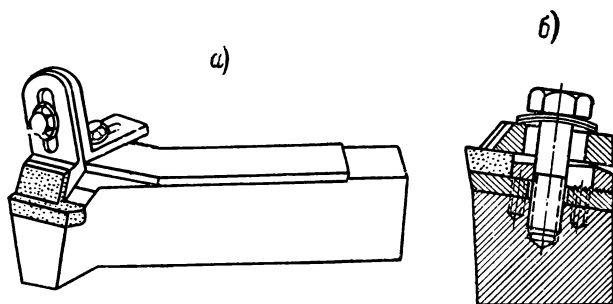
Все эти стружколоматели работают по принципу вертикальной стенки — порожка. Стружка упирается в стенку накладной пластинки и затем, направляясь на обрабатываемую поверхность, ломается на полукольца.

Накладные стружколоматели вызывают повышенный расход мощности на стружколомание. Первые два вида, кроме того, не универсальны: при изменении режимов резания и свойств обрабатываемого материала они часто перестают выполнять свои функции. Регулируемые стружколоматели более универсальны, но в то же время они и более сложны в изготовлении и поэтому не получили широкого распространения.

На фиг. 45 изображены два типа накладных стружколомателей, распространенных в ленинградской промышленности. Стружколоматель, приведенный на фиг. 45, а, состоит из стальной пластинки, на конец которой напаяна пластинка твердого сплава. Стружколоматель прижимается к передней грани резца, и таким образом создается необходимый уступ для завивания и ломания стружки. Подобного рода стружколоматель можно ставить в различные положения относительно режущей кромки резца, изменяя расстояние

от нее до края стружкозавивательной пластинки, а также изменяя угол между кромкой стружколомателя и режущей кромкой резца. Такие стружколоматели просты в изготовлении и достаточно универсальны.

Другой тип накладного стружколомателя представлен на фиг. 45, б. Особенность этого стружколомателя заключается в том, что он одновременно служит и прижимом для режущей пластинки при механическом креплении ее на корпусе державки.



Фиг. 45. Накладные стружколоматели.

Положительным качеством этого стружколомателя является надежность в работе и значительно более полное использование твердосплавной пластинки, так как благодаря упорной планке с рифлением режущую пластинку по мере переточек можно выдвигать на нужную величину.

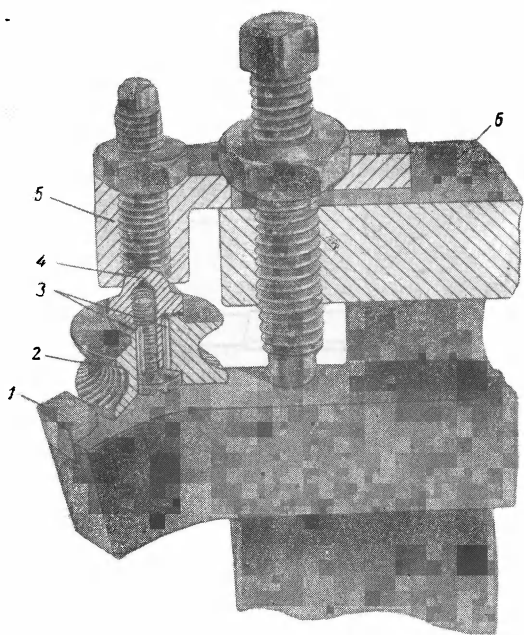
Роликовый стружколоматель

Роликовый стружколоматель (фиг. 46) смонтирован на кронштейне, укрепленном на верхней полке *б* резцедержателя станка. На вертикальной оси *4* кронштейна *5* на игольчатом роликовом подшипнике *3* вращается ролик *2*, имеющий рифленую наружную поверхность. Стружка, сходящая по передней грани *1*, соприкасается с рифленой поверхностью ролика и направляется ею на обрабатываемую деталь, упираясь в которую ломается на полукольца небольшого радиуса.

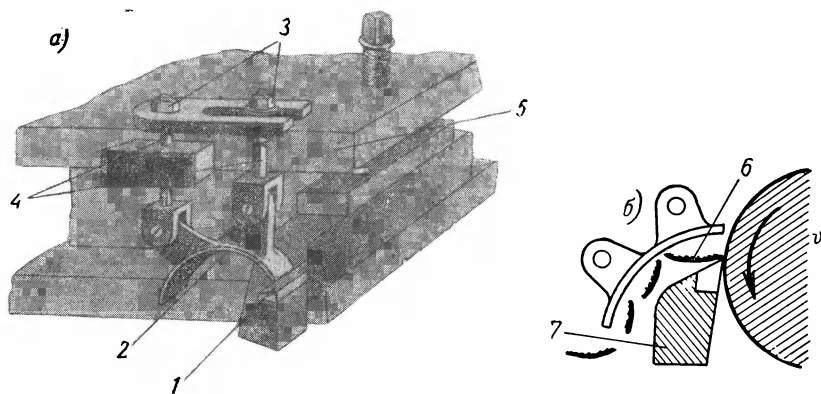
Стружколоматель вполне универсален. Расход мощности при работе с ним не увеличивается. Недостатком можно считать сложность устройства и необходимость вести работу при сравнительно большом вылете резца.

Экранный стружколоматель

Стружколоматель, предложенный инженером Ленинградского станкостроительного завода им. Свердлова А. Ф. Антоновым (фиг. 47), представляет наибольший интерес. Он работает по принципу ломания стружки в обратном направлении. Стружка *б*, сходящая по передней грани *1* резца, встречает на своем пути экран, упирается в его стенку *2*, и, как показано на фигуре, легко ломается



Фиг. 46. Роликовый стружколоматель конструкции Н. М. Иоффе.



Фиг. 47. Экранный стружколоматель конструкции А. Ф. Антонова: а — схема установки стружколомателя; б — схема ломания стружки.

и направляется в уширяющуюся щель между экраном и отогнутой головкой проходного резца 7. Экран регулируется при помощи гаек 3 и винтов 4. Все приспособление укрепляется в торце верхней полки 5 резцедержателя. Этот стружколоматель достаточно универсален; расход мощности на резание при стружколомании не увеличивается.

Достоинство этого стружколомателя заключается в том, что чем больше скорость резания, тем он лучше ломает стружку. Следует также отметить, что экранный стружколоматель одинаково хорошо ломает как толстую, так и тонкую стружку; это особенно важно, так как при пользовании всеми рассмотренными выше конструкциями стружколомателей тонкую стружку ломать очень трудно.

Подводя итоги сказанному, следует отметить, что ни одно из приведенных средств стружколомания не является вполне универсальным, пригодным для измельчения стружки при любых условиях работы.

При получистовых работах, а также при черновой обработке нежестких деталей в центрах предпочтительно пользоваться стружкозавивательными канавками. В других случаях целесообразно применять стружколоматели, показанные на фиг. 45 и 47.

19. Цельные напайные твердосплавные резцы

Новаторы производства ведут работу по совершенствованию конструкций твердосплавных цельных напайных резцов в следующих направлениях:

а) повышение в необходимых случаях жесткости и виброустойчивости резцов, а также прочности их режущей части;

б) обеспечение хорошего отвода сливной стружки (завивание или дробление) при точении стали и других пластичных материалов;

в) использование одного резца для выполнения нескольких последовательных операций или совмещение их.

Примером удачного конструктивного решения, обеспечивающего значительное повышение жесткости резца, может служить расточный резец (фиг. 80), созданный токарем Киевского завода «Красный экскаватор» лауреатом Сталинской премии В. К. Семиным. Благодаря усиленному сечению рабочей части резец может работать без вибраций со значительно более высокими режимами резания, чем резцы стандартной конструкции.

Конструкции стружколомателей, предложенные новаторами производства, рассмотрены в предыдущем параграфе.

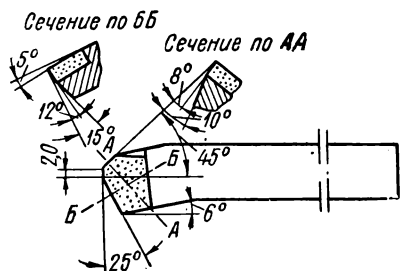
Повышение производительности труда в ряде случаев достигается применением резцов, конструкция которых позволяет использовать их для выполнения нескольких последовательных операций или даже совместить некоторые операции. Такие резцы на производстве часто называют комбинированными.

Комбинированными резцами можно последовательно выполнять несколько из следующих операций: продольное обтачивание, подрезание торца, растачивание отверстия, снятие фасок, протачивание канавок для выхода шлифовального круга и различных наружных и внутренних выточек. Существуют комбинированные резцы, которые позволяют при определенных условиях совмещать следующие операции:

а) черновую и получистовую обработку детали при продольном точении или подрезании торцов;

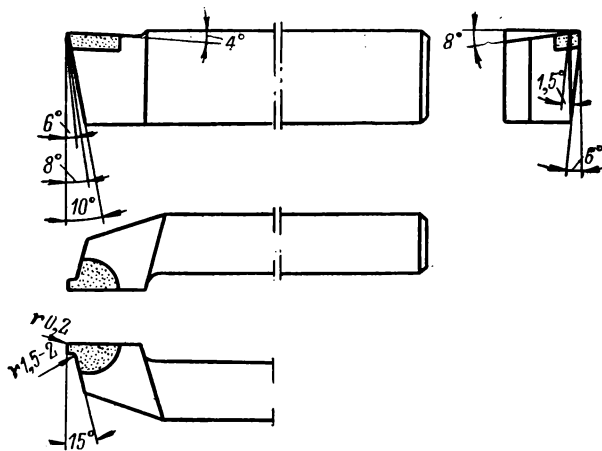
б) продольное точение или подрезание торца с одновременным фасонным профилированием участка поверхности детали.

Фиг. 48. Комбинированный резец конструкции новатора Резникова.



Рассмотрим в качестве примера две типичные конструкции комбинированных резцов.

Стандартный проходной отогнутый резец с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ позволяет производить продольное обтачивание детали, подрезание торцов, растачивание отверстий достаточно



Фиг. 49. Комбинированный резец конструкции новатора П. Я. Сельцова.

больших диаметров и снятие фасок. Стандартным подрезным резцом с $\varphi = 90^\circ$ можно производить наружное черновое и чистовое точение ступенчатых деталей, а при необходимости подрезать торцы детали и ее ступеней.

Следует отметить, что большинство комбинированных резцов представляет собой различные видоизменения указанных двух

стандартных резцов, целесообразность которых определяется формой обрабатываемой детали.

На фиг. 48 представлена конструкция резца, предложенная токарем Гомельского станкостроительного завода Резниковым. Этот резец используется новатором как правый проходной, подрезной для торцов, расточный и фасочный. Благодаря дополнительной режущей кромке с $\varphi = 0^\circ$ этим резцом можно работать с увеличенными подачами s по методу В. А. Колесова.

Резец конструкции токаря завода «Красный пролетарий» П. Я. Сельцова (фиг. 49) представляет собой видоизменение подрезного упорного резца стандартной конструкции. Этот резец позволяет работать с увеличенными подачами по методу В. А. Колесова, а также вытачивать канавки для выхода шлифовального круга.

20. Сборные резцы с механическим креплением режущих твердосплавных пластинок

По способу механического крепления режущих пластинок сборные резцы могут быть разделены на две группы:

- 1) резцы с пластинками твердого сплава (фиг. 50—56);
- 2) резцы с призматическими и цилиндрическими брусками и столбиками твердого сплава (фиг. 57).

Механическое крепление режущих пластинок может быть осуществлено двумя способами:

- 1) крепление пластинок посредством накладных планок, сухарей, клиньев, специальных болтов, эксцентриков и пр.;
- 2) крепление пластинок силами резания.

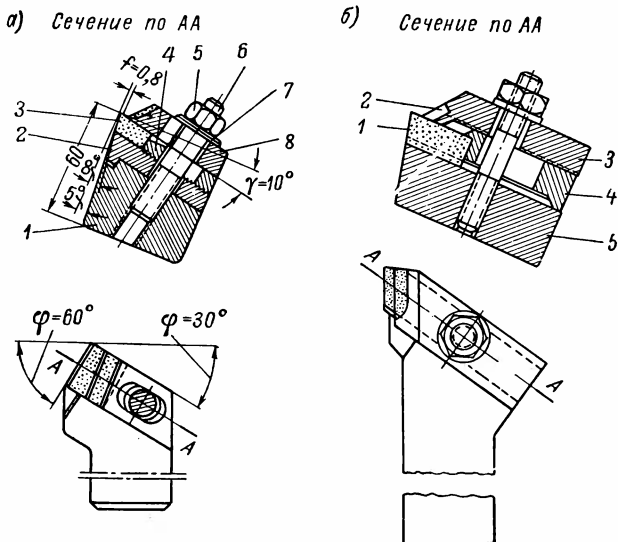
Резцы с креплением режущей пластинки посредством накладной планки

На фиг. 50, *a* приведена конструкция проходного резца конструкции ЦНИИТМАШ, применяющегося для черного точения на Уралмашзаводе им. С. Орджоникидзе, Ново-Краматорском заводе тяжелого машиностроения им. Сталина и на ряде других заводов.

Резец состоит из державки 1, в уступ которой упирается буртик подкладки 2. На подкладке расположена твердосплавная пластинка 3 и упор 4. В головку резца ввернута шпилька 6. На упор 4 и пластинку 3 устанавливают накладную планку 8, которая при помощи гайки 5 и шайбы 7 удерживает режущую пластинку на державке резца.

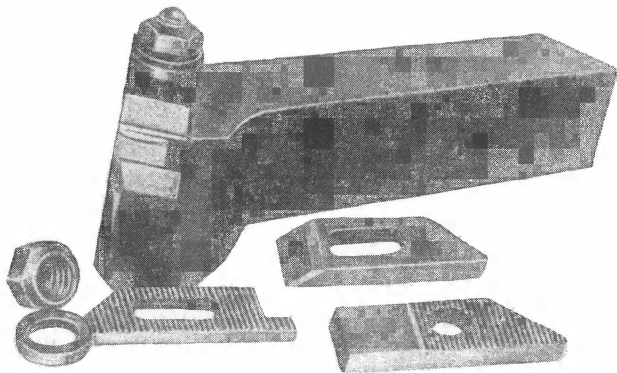
Планка 8 служит одновременно и стружколомателем, для чего ее передний край оснащают твердосплавной пластинкой. Наличие продолговатого паза в планке 8 обеспечивает возможность регулирования расстояния от главной режущей кромки до стружколомательной пластинки.

По мере переточек режущей пластинки 3 ее положение регулируют упором 4; для этого на нем, а также на подкладке сделаны рифления.



Фиг. 50. Резцы с механическим креплением режущей пластинки посредством накладной планки: а — проходной резец конструкции ЦНИИТМАШ; б — подрезной резец, применяемый на станкостроительном заводе им. Свердлова.

На фиг. 51 показан резец подобной конструкции. Этот же метод механического крепления режущей пластинки был приме-



Фиг. 51. Общий вид проходного резца конструкции ЦНИИТМАШ.

нен на Ленинградском станкостроительном заводе им. Свердлова в конструкции подрезного резца (фиг. 50, б).

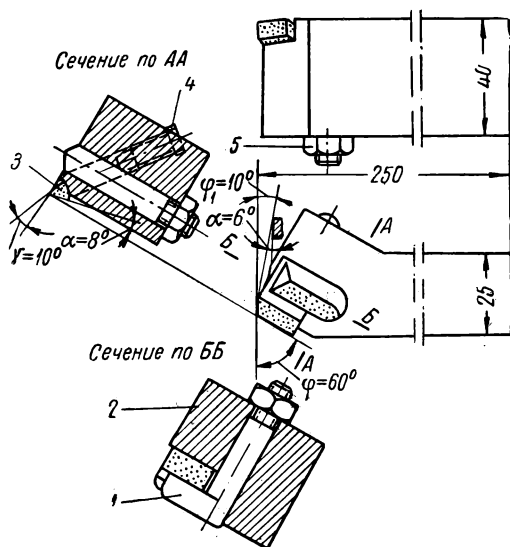
В головке державки 5 резца профрезерован паз, в который вставляют твердосплавную пластинку 1 и сухарик 4 с выступом,

имеющим рифление. Пластинку 1 и сухарик 4 крепят к державке планкой 3, к передней стороне которой приварена твердосплавная пластинка — стружколоматель 2.

Пластинка 1 и сухарик 4 имеют рифленные поверхности, что предохраняет сухарик от смещения.

Резцы с креплением режущей пластинки посредством болта с отогнутой головкой

В резцах этой конструкции (фиг. 52) пластинку 3 твердого сплава устанавливают в наклонном гнезде корпуса державки 2 и зажимают специальным болтом 1 с Г-образной головкой, затяги-



Фиг. 52. Резец с механическим креплением режущей пластинки посредством болта с отогнутой головкой.

ваемым гайкой 5, которая расположена со стороны опорной поверхности резца. Вылет пластинки 3 регулируют при помощи винта 4. Отогнутую головку болта со стороны, обращенной к передней грани резца, оснащают твердосплавной пластинкой, которая служит в качестве стружколомателя.

Эти резцы вполне надежно работают при большой глубине резания t (до 10 мм) и подаче s до 1,1 мм/об.

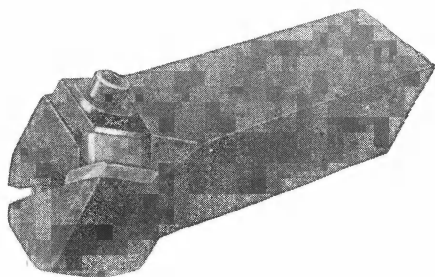
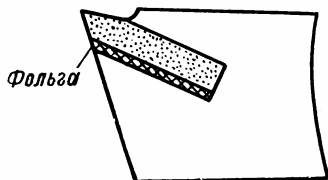
Резцы с креплением режущей пластинки в пазу

Одним из московских научно-исследовательских институтов предложен следующий способ механического крепления твердосплавных пластинок. В державке резца фрезеруют под углом паз (фиг. 53), по ширине равный толщине твердосплавной пластинки.

Затем державку нагревают, при этом паз расширяется, и в него вставляют твердосплавную пластинку с прокладкой из медной фольги. После охлаждения державки пластинка оказывается прочно запрессованной; натяг, необходимый для крепления, обеспечивается за счет фольги.

Такой способ крепления режущей пластинки значительно проще ранее рассмотренных, но уступает им по надежности крепления. Применять эти резцы следует для полужесткого точения.

Более надежным является крепление режущей пластинки в пазу с прижимом накладной планкой. Такой резец приведен на фиг. 54. Конструкция резца позволяет регулировать расстояние от режу-



Фиг. 53. Резец с механическим креплением режущей пластинки в пазу.

Фиг. 54. Резец с механическим креплением режущей пластинки в пазу и со стружколомателем.

щей кромки до стружколомательной пластинки путем выдвижения режущей пластинки при помощи винта, упирающегося в ее торец.

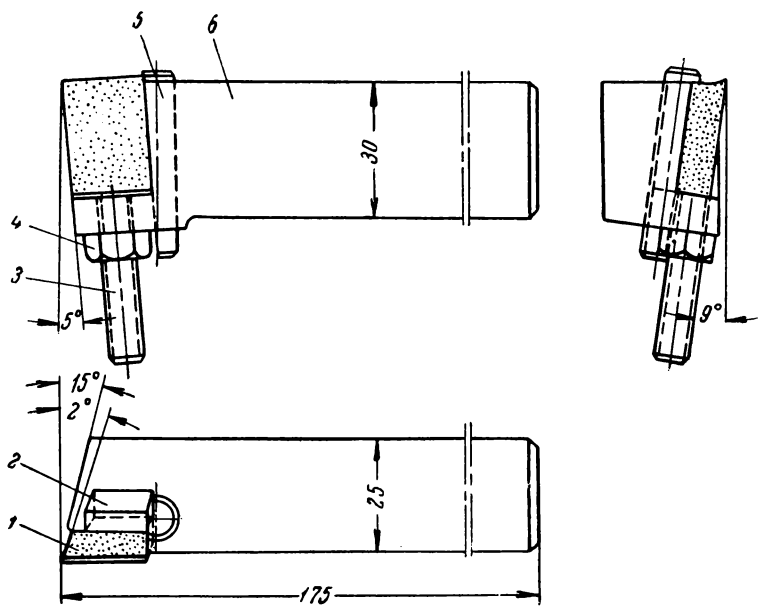
Расположение в рассмотренных конструкциях режущих пластинок под углом 45° позволяет применять тонкие режущие пластины (до 3,5 мм) и обеспечивает наиболее рациональную схему переточек резцов (фиг. 41).

Резцы с креплением пластинки посредством клина

На фиг. 55 изображен подрезной резец, режущую пластинку 1 которого, вместе с припаянной к ней стальной планкой 2, закрепляют в пазу державки 6 при помощи цилиндрического штифта 5 с наклонной плоскостью. Для разборки резца требуется легкий удар по нижнему концу штифта; при сборке резца удар наносят по верхнему концу. Штифт-клин должен быть изготовлен из прочной стали. Выдвижение пластинки по высоте обеспечивается упорным винтом 3 и гайкой 4.

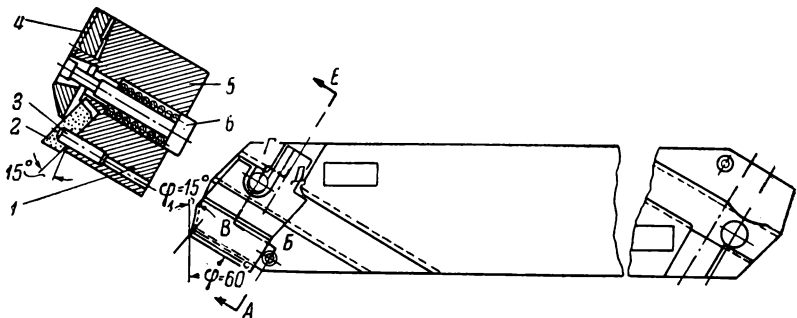
Резцы с креплением режущей пластинки силами резания конструкции ВНИИ

В этих резцах (фиг. 56) гнездо под режущую пластинку 2 в державке 1 профрезеровано под углом 15° к основанию инструмента; при таком расположении пластинки 2 силы резания



Фиг. 55. Подрезной резец с креплением режущей пластинки посредством клина.

Сечение по АБВГДЕ



Фиг. 56. Резец с креплением режущей пластинки силами резания.

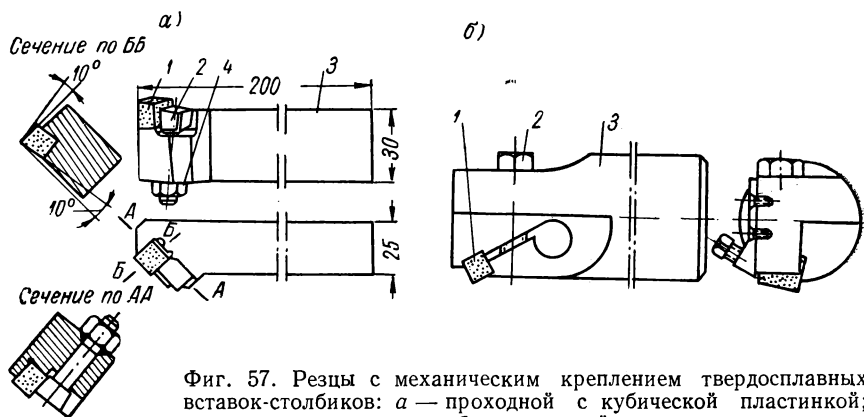
прижимают ее к опорным поверхностям гнезда. С задней стороны пластинка упирается в наклонный край гнезда, а с боковой стороны — в штифт 3, запрессованный в державку. Над гнездом под пластинку 2 в державке профрезеровано еще одно гнездо — под планку-стружколоматель 4, которая прижимается к режущей пластинке 2 при помощи пружины 5 и стержня 6. Этим достигается предварительное крепление пластинки 2 в нерабочем состоянии.

Следовательно, в державке имеется с обоих торцов два гнезда. Первое гнездо используется для новых режущих пластинок, второе — для режущих пластинок, ширина которых вследствие переточек уменьшилась приблизительно на 1 мм. В связи с этим ширину опорной поверхности второго гнезда также делают меньше на 1 мм. В комплекте резцов имеются три державки. По мере переточек твердосплавную пластинку переставляют во вторую и затем в третью державку, в которых предусмотрено соответствующее уменьшение размеров опорных поверхностей гнезда.

Резцы с креплением силами резания пока еще не получили большого распространения. Применяются они для чистовой и получистовой обработки, в условиях непрерывного резания. Хорошие результаты получены при эксплуатации этих резцов в условиях автоматического производства.

Резцы с твердосплавными режущими вставками-столбиками

Применение твердосплавных вставок-столбиков вместо пластинок обеспечивает более экономное расходование твердых сплавов.



Фиг. 57. Резцы с механическим креплением твердосплавных вставок-столбиков: а — проходной с кубической пластинкой; б — расточной.

Столбики бывают различной формы: круглые, четырехгранные, шестигранные и т. д. Столбик или, например, кубическую пластинку 1 устанавливают в открытом гнезде державки 3 (фиг. 57, а) и закрепляют клиновидной головкой болта 2, затягиваемого гайкой 4. Для зажима столбиков разных форм и размеров клиновидная головка выполнена так, что разные грани, прижимающие

плоскости столбика, расположены на разных расстояниях от оси болта.

При затуплении режущей кромки столбик поворачивают в гнезде на 90° , и в работу вступает следующая кромка. Таким образом, до переточки у четырехгранного столбика могут быть использованы все восемь граней (четыре верхних и четыре нижних). Это является существенным преимуществом резцов, оснащенных твердосплавными столбиками.

На фиг. 57, б приведена конструкция расточного резца с твердосплавным столбиком 1, зажимаемым в пазу державки 3 при помощи болта 2.

Столбики затачиваются только по торцам. По мере стачивания столбика под его опорный торец помещают прокладки соответствующей толщины. Установку по высоте длинных столбиков регулируют при помощи опорных винтов; эти столбики устанавливаются в особых державках, имеющих увеличенную головку.

Резцы с твердосплавными вставками-столбиками применяются в серийном и массовом производстве при чистовом и получистовом точении.

21. Сборные резцы с механическим креплением вставок, оснащенных твердыми сплавами

В этом параграфе рассмотрено несколько конструкций сборных резцов с механическим креплением сменных вставок (ножей), на которых напаяны режущие пластинки твердых сплавов.

Резец конструкции А. П. Калугина

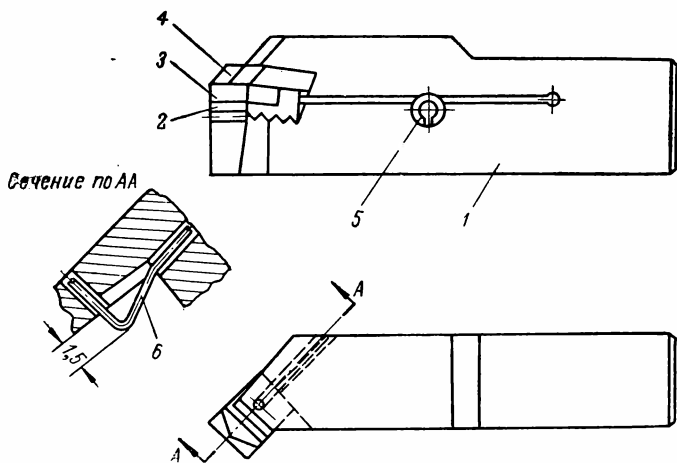
Токарь-новатор Ленинградского Кировского завода Л. К. Лалетин предложил оригинальную и простую конструкцию резца, у которого режущая пластинка укладывается в паз державки и закрепляется в нем при помощи болта резцедержателя. Эта конструкция развита и усовершенствована технологом Московского завода шлифовальных станков А. П. Калугиным (фиг. 58 и 59).

В державке 1 (фиг. 58) профрезерованы узкий паз и гнездо, в котором устанавливают вставку 2 с напаянной режущей пластинкой 3 и накладным стружколомателем 4. Державка 1 имеет усиленную головку, подводющуюся под болт резцедержателя, при поджиме которого втулка 5 и верхняя часть державки деформируются, а вставка 2 прочно зажимается в корпус державки. Для удобства извлечения вставки из державки служит пружина 6.

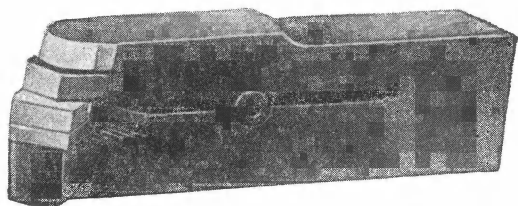
Резцы рассмотренной конструкции могут быть использованы для получистовой и чистовой обработки деталей в патроне.

Резцы с механическим креплением многолезвийных вставок

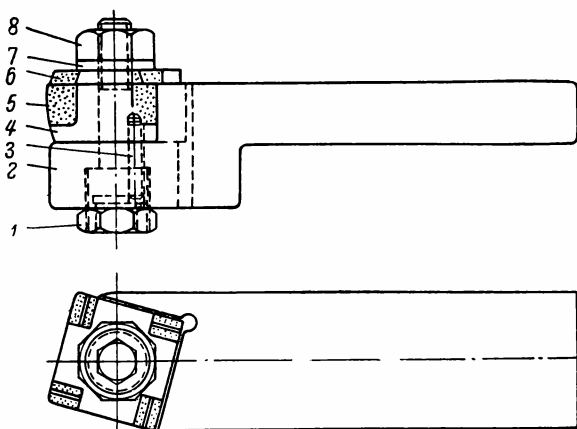
На некоторых машиностроительных заводах получили применение многолезвийные резцы (фиг. 60), состоящие из державки 2 и многогранной вставки 4, имеющей вид полой усеченной



Фиг. 58. Резец с механическим креплением вставки, оснащенной твердым сплавом, при помощи болта резцедержателя.



Фиг. 59. Общий вид резца конструкции А. П. Калугина.



Фиг. 60. Резец с механическим креплением многолезвийных вставок.

пирамиды, оснащенной пластинками твердого сплава 5. Вставка закрепляется на державке вместе со стружколомателем 6 при помощи болта 1, шайбы 7 и гайки 8.

Такая конструкция многолезвийных резцов дает возможность быстро поворачивать вставку 2 вокруг оси болта после износа очередного лезвия, а также быстро менять ее после полного износа всех лезвий. Заточка вставки производится в разобранном виде. Для предотвращения проворота вставки в державку резца запрессован штифт 3, который заходит в соответствующее отверстие вставки.

На фиг. 61 показаны резцы с многолезвийными вставками.

Резцы с клиновидными вставками конструкции ВНИИ

Всесоюзным научно-исследовательским инструментальным институтом (ВНИИ) разработана конструкция сборных резцов с клиновидными сменными вставками (фиг. 62 и 63).

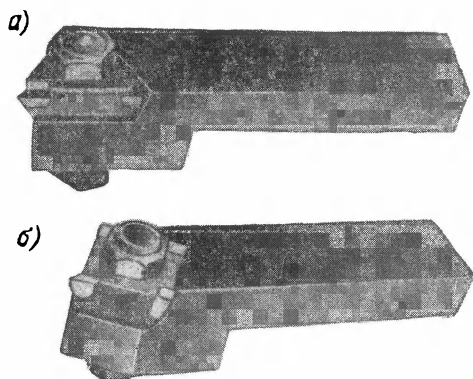
Клиновидная вставка 2, оснащенная твердым сплавом, расположена в державке 1 под углом 15° к основной плоскости резца. Такое расположение режущей пластинки улучшает схему переточек резца и создает благоприятные условия для пластинки с точки зрения нагрузок в процессе резания. Это обстоятельство, а также применение более совершенного способа напайки пластинки твердого сплава (с одновременной закалкой корпуса вставки до твердости $H_{RC} = 35 \div 40$) позволяет использовать более тонкие пластинки твердого сплава в сравнении со стандартными цельными резцами.

Сменная вставка 2 закрепляется в рабочем положении с помощью винта 4. От смещения вдоль паза вставка предохраняется клиновидной формой.

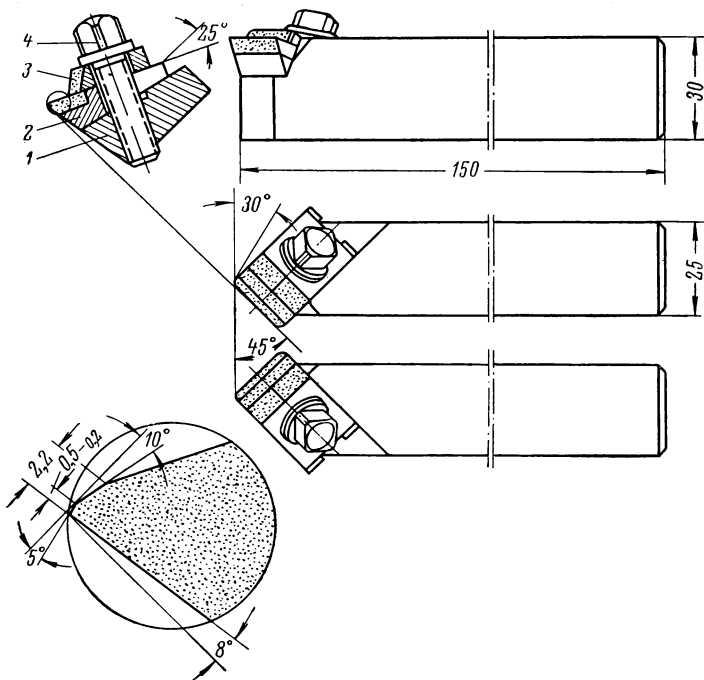
Стружколоматель 3 легко регулируется и закрепляется тем же винтом 4, что и сменная вставка 2. Опорная плоскость рабочего уступа стружколомателя расположена ниже передней грани резца. Благодаря этому обеспечивается надежность работы стружколомателя.

Для смены вставки 2 необходимо лишь ослабить винт 4, и она легко снимается с державки.

Переточку вставок можно производить как в централизованном порядке, используя специальные приспособления, так и непосредственно в самой державке. В последнем случае перед заточкой вставку дополнительно выдвигают из державки на 8—10 мм.



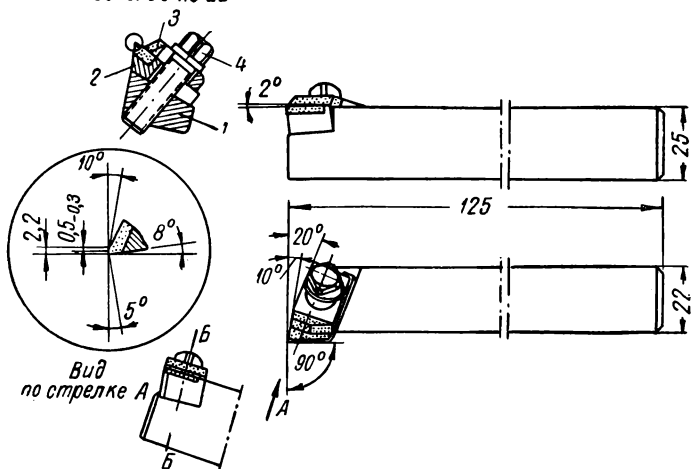
Фиг. 61. Общий вид трехлезвийного (а) и четырехлезвийного (б) резцов.



Фиг. 62. Проходной сборный резец с клиновидной сменной вставкой конструкции ВНИИ ($\varphi = 45^\circ$);

1 — державка; 2 — клиновидная сменная вставка; 3 — стружколоматель; 4 — винт.

Сечение по ББ



Фиг. 63. Подрезной сборный резец с клиновидной сменной вставкой конструкции ВНИИ ($\varphi = 90^\circ$);

1 — державка; 2 — клиновидная сменная вставка; 3 — стружколоматель; 4 — винт.

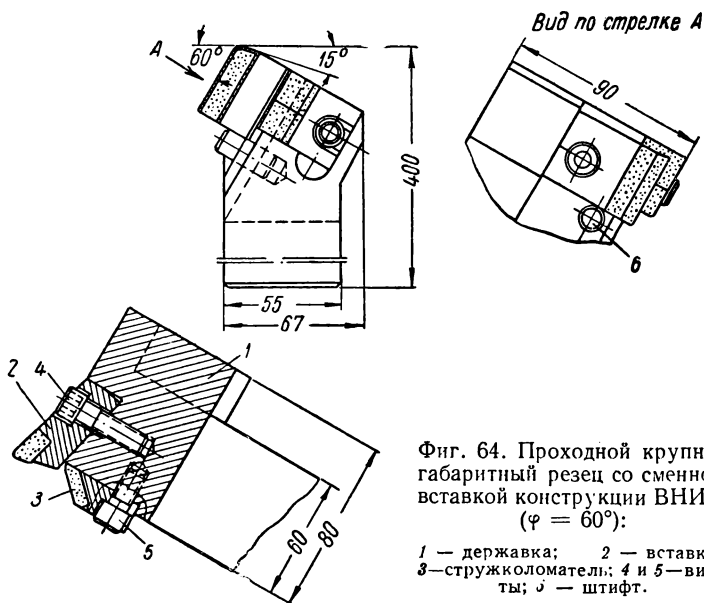
ВНИИ разработаны проходные и подрезные резцы с сечением державки 25×30 мм и 22×25 мм и главным углом в плане $\varphi = 45, 60$ и 90° . Проходными резцами, кроме продольного обтачивания, можно обрабатывать и торцы деталей, т. е. эти резцы по своему назначению аналогичны стандартным проходным отогнутым резцам.

Лабораторные и производственные испытания показали вполне удовлетворительные эксплуатационные качества резцов рассматриваемой конструкции. Существенно, что по виброустойчивости они почти не уступают цельным напайным резцам, а с точки зрения расхода твердых сплавов экономичнее их.

В настоящее время действует ведомственная нормаль на резцы с клиновидными сменными вставками для станков средней мощности. Московский инструментальный завод изготавливает их в серийном порядке.

Крупногабаритные резцы со вставками конструкции ВНИИ

ВНИИ разработана конструкция сборных резцов со сменными вставками, оснащенными твердыми сплавами, для крупных токарных станков. В этой конструкции (фиг. 64) вставку 2 с напаянной пластинкой твердого сплава закрепляют в открытом угловом



Фиг. 64. Проходной крупногабаритный резец со сменной вставкой конструкции ВНИИ ($\varphi = 60^\circ$):

1 — державка; 2 — вставка; 3 — стружколоматель; 4 и 5 — винты; 6 — штифт.

пазу державки 1 под углом 75° при помощи винта 4. Стружколоматель 3 имеет обособленное от вставки крепление посредством винта 5. Штифт 6 предохраняет вставку от смещения вдоль паза

в процессе резания. Для резцов, работающих обеими вершинами режущей кромки, у которых под действием сил резания вставка может сместиться вдоль углового паза в обе стороны, штифт заменяют шпонкой.

Горизонтальное расположение винта 4 параллельно основной плоскости резца гарантирует прилегание опорной плоскости вставки к державке без зазора и упрощает ее изготовление.

Основная идея данной конструкции заключается в создании условий, обеспечивающих в процессе резания работу пластинки твердого сплава и корпуса вставки только на сжатие.

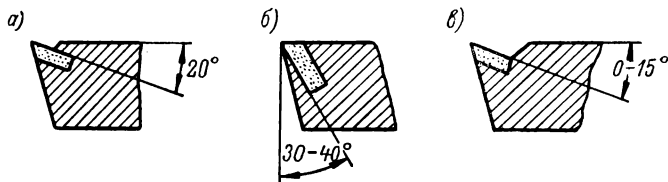
Для успешного отвода стружки (завивания или дробления) при точении стали со скоростями резания порядка $v = 60$ м/мин к каждому проходному и подрезному резцу необходимо иметь два стружколомателя разной длины. Длинный стружколоматель следует применять при подачах $s = 0,6—1,0$ мм/об, а короткий — при подачах больших 1,0 мм/об.

По разработкам ВНИИ выпущена ведомственная нормаль на крупногабаритные проходные и подрезные резцы для тяжелых токарных и карусельных станков. Московский инструментальный завод изготавливает сменные вставки к этим резцам по заказам потребителей.

22. Резцы, оснащенные минералокерамикой

На производстве применяют минералокерамические резцы как цельные напайные, так и сборные.

В начальный период внедрения в металлообработку минералокерамики возникали большие затруднения при напайке минерало-



Фиг. 65. Форма гнезд в державках резцов под минералокерамические пластинки: а — полузакрытая; б — закрытая; в — открытая.

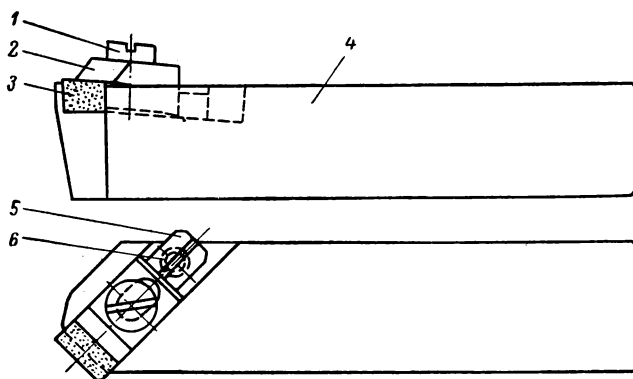
керамических пластинок на резцы, так как применявшиеся тогда припой не обеспечивали необходимой прочности крепления этих пластинок на державках. Поэтому минералокерамические пластинки напайвали в закрытых гнездах различной формы (фиг. 65, а и б).

В настоящее время напайку минералокерамических пластинок производят в открытых гнездах державок (фиг. 65, в), пользуясь новым припоем, разработанным ВНИИ для минералокерамики.

Состав этого припоя следующий: алюминий (Al) — 15%; окись свинца (PbO) — 65—70%; окись меди (CuO) — 5—10%; фтористый натрий (NaF) — 10%.

Припой имеет температуру плавления $850-900^{\circ}$ и используется в виде порошка и мелкой стружки. Предел прочности на срез спая составляет $2,0-2,5 \text{ кг/мм}^2$.

В научно-исследовательских организациях ведется работа по освоению процесса металлизации минералокерамических пластинок (нанесение тонкого слоя металла на опорные поверхности пластинок). После промышленного освоения этого процесса за-



Фиг. 66. Сборный резец конструкции Ф. И. Морозова:

1 — винт; 2 — прихват; 3 — минералокерамическая пластинка; 4 — державка; 5 — вкладыш; 6 — винт специальный.

труднения при пайке будут устранены, так как предел прочности на срез спая в этом случае возрастает до $5-6 \text{ кг/мм}^2$.

Как уже указывалось, на заводах наряду с напайными получили применение и сборные минералокерамические резцы. Способы механического крепления минералокерамических пластинок ничем существенно не отличаются от механического крепления твердосплавных пластинок. Во многих рассмотренных конструкциях резцов с механическим креплением твердосплавных пластинок можно использовать вместо них минералокерамические пластинки соответствующих размеров.

На заводах широкое распространение получил проходной резец с механическим креплением минералокерамической пластинки конструкции Ф. И. Морозова (фиг. 66). Минералокерамическую пластинку 3 закрепляют в открытом пазу державки 4 посредством прихвата 2 и винта 1. Вкладыш 5 и винт 6 с несимметричной головкой обеспечивают установку режущей пластинки в рабочее положение и предохраняют ее от сдвига вдоль паза в процессе резания. Отвод стружки осуществляется уступом прихвата 2.

Достоинством данной конструкции является то, что открытая форма паза под режущую пластинку позволяет легко восстанавливать державку при ее повреждении.

Вследствие большой хрупкости минералокерамики работа оснащенными ею резцами требует соблюдения следующих условий:

а) вылет резца должен быть наименьшим;

б) крепление обрабатываемой детали должно быть жестким, а супорт, шпиндель и задний центр станка не должны иметь люфтов;

в) резец должен подводиться только при вращении обрабатываемой детали, а отводиться — при выключенной подаче;

г) торец обрабатываемой детали следует предварительно проточить или снять на нем фаску.

Кроме того, минералокерамические резцы должны быть качественно заточены и доведены.

23. Резцы для чернового точения

При черновом точении с высокими скоростями резания твердосплавные резцы работают в тяжелых условиях. Из-за неравномерности припуска и неровной твердой корки на обрабатываемой детали режущие кромки резца испытывают ударную нагрузку. В целях упрочнения режущей кромки резцы для черновой обработки часто затачиваются с отрицательным передним углом γ и положительным углом наклона режущей кромки λ . Такая геометрия резца в сочетании с большими глубиной резания t и подачей s вызывает значительное увеличение сил резания, в том числе радиальной силы P_y , что приводит к дрожанию (вибрациям) детали, резца и станка. Поэтому у таких резцов приходится увеличивать главный угол в плане до $\varphi = 60 \div 75^\circ$, а это позволяет использовать твердосплавные пластинки меньшей длины, чем при относительно небольших углах в плане ($\varphi = 30-45^\circ$).

Как указывалось, при черновом точении успешно применяются резцы, изображенные на фиг. 50, а и 52.

На Уралмашзаводе им. С. Орджоникидзе успешно применяется двухпластинчатый резец для снятия стружек с большими сечениями (фиг. 67). В пазах державки $б$ резца, имеющих форму ласточкина хвоста, посредством клиньев 4 закрепляют твердосплавные пластинки 2 и 3 . Своей нижней стороной режущие пластинки опираются на винты 5 , предназначенные для регулирования положения пластинок по высоте. Двумя болтами 1 закрепляют стружколомательные пластинки.

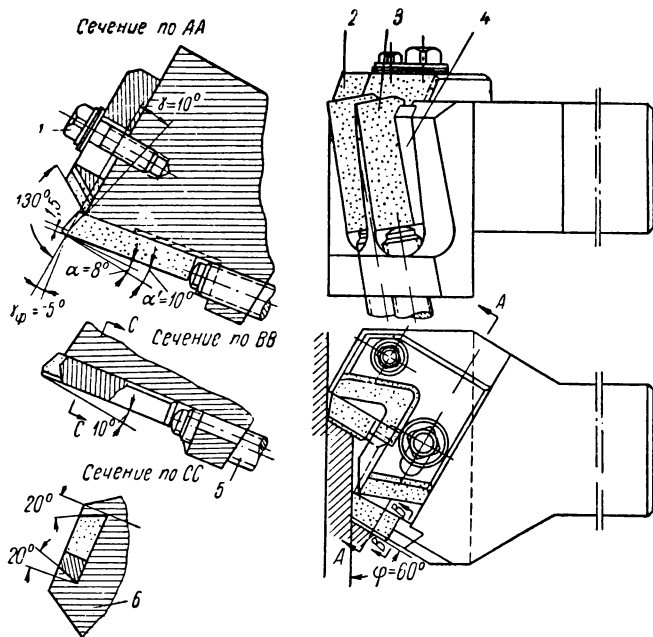
Задние углы α , а также и положительные углы наклона главных режущих кромок λ образуются за счет соответствующего расположения режущих пластинок в корпусе державки.

На передних гранях этого резца образована фаска с передним углом $\gamma_\varphi = -5^\circ$; ширина фаски — 1,5 мм. Передний угол на остальной части передней грани резца $\gamma = 10^\circ$. Это дает возможность и при больших сечениях среза работать с относительно умеренными силами резания.

Еще меньшие силы резания возникают в том случае, если на передней грани резца за фаской заточить радиусную канавку. Такие резцы широко применяются лауреатами Сталинской премии П. Б. Быковым и В. М. Бирюковым и другими новаторами производства.

В резце конструкции В. М. Бирюкова (фиг. 68) отрицательный передний угол на фаске $\gamma = -3^\circ$, ширина фаски равна $(0,8-1,0)s$. Канавка имеет два радиуса кривизны, что, как уже отмечалось, обеспечивает удобный сход стружки и надежное стружколомание. В целях более полного использования твердого сплава режущую пластинку крепят в корпусе вертикально.

При изменении геометрии заточки резцы этой конструкции могут применяться также для полустачечного и чистового точения.

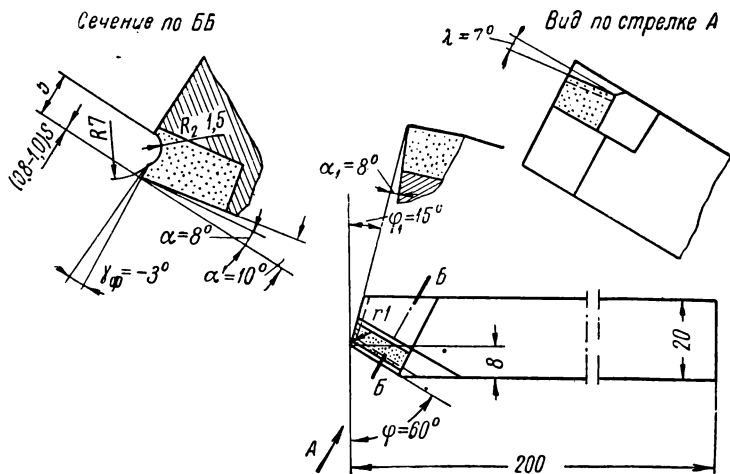


Фиг. 67. Двухпластинчатый резец для чернового точения.

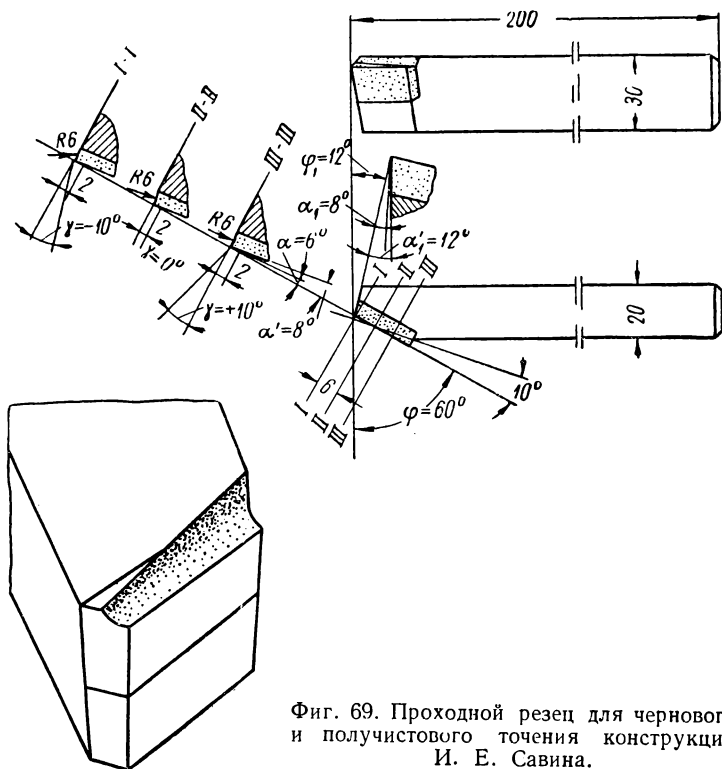
В отличие от резцов с радиусной канавкой, резец, предложенный инженером И. Е. Савиным (фиг. 69), имеет вдоль режущей кромки переменный передний угол. У вершины резца передний угол отрицательный, что упрочняет наиболее слабое место режущей кромки. В следующих сечениях, по мере удаления от вершины, передний угол плавно изменяется, становясь положительным ($\gamma = 10^\circ$).

Благодаря переменному переднему углу резца обеспечивается хорошее стружколомание, уменьшаются силы резания и повышается устойчивость работы (без вибраций).

Особенностями конструкции этого резца являются вертикальное расположение твердосплавной пластинки, что увеличивает число возможных переточек резца, а также сложная заточка



Фиг. 68. Проходной резец для чернового и полуцистового точения конструкции В. М. Бирюкова.



Фиг. 69. Проходной резец для чернового и полуцистового точения конструкции И. Е. Савина.

передней грани, осуществляемая профильным шлифовальным кругом на специальном заточном приспособлении.

Резцы с переменным передним углом γ успешно работают как при тяжелом обдирочном, так и при получистовом точении стали.

24. Резцы для получистового точения

Если основным условием чернового точения с высокими скоростями резания является наибольшая производительность при снятии больших объемов металла и полном использовании мощности станка, то при получистовом точении даже крупных заготовок приходится работать с небольшой глубиной резания $t = 2-4$ мм. При этом мощность станка часто используется недостаточно.

В зависимости от конкретных условий работы при получистовом точении применяются резцы с принципиально разной геометрией заточки. Так, для обработки больших по размерам поверхностей на крупных жестких деталях и на станках большой жесткости целесообразно применять проходные резцы с малым главным углом в плане $\varphi = 20-30^\circ$. Такие резцы, как известно, обладают наибольшей стойкостью T .

При обработке нежестких деталей, а также при точении деталей типа ступенчатых валиков, зубчатых колес и втулок, когда требуется точить до ступени и подрезать буртики, целесообразно вести обтачивание упорным проходным резцом с углом в плане $\varphi = 90^\circ$. В этом случае вся обработка производится без смены резца, и экономия времени благодаря устранению перестановок резцов часто оказывается более существенной, чем повышение стойкости T резца за счет уменьшения угла в плане φ .

Резцы с малыми углами в плане φ

Лабораторией технологии машиностроения ЛПИ им. М. И. Калинина предложен резец, имеющий малые углы в плане $\varphi = 20^\circ$ и $\varphi_1 = 0^\circ$ (фиг. 70). Такая геометрия заточки позволяет повысить подачу до $s = 2$ мм/об и более. Производительность процесса точения таким резцом значительно выше, чем при применении сравнительно небольших подач.

Однако резец конструкции ЛПИ имеет существенный недостаток: вследствие малых углов в плане значительно возрастает радиальная сила P_y (подробно об этом см. главу III), что вызывает увеличение отжатия резца от обрабатываемой детали и вибрации.

На принципе применения малых углов в плане построен также резец, предложенный В. А. Колесовым (фиг. 35).

Этим резцом производится точение гладких деталей; при обработке ступенчатых деталей приходится пользоваться подрезным резцом (фиг. 73). При этом, однако, необходимо мгновенно выключать продольную подачу по мере достижения заданного размера, так как при больших подачах скорость передвижения супорта велика. Работая с большими скоростями резания и подачами на

станках, не оборудованных автоматическим устройством для выключения продольной подачи, токарь постоянно находится в напряженном состоянии, что повышает его утомляемость.

Этот существенный недостаток успешно преодолевается путем использования резцов, предложенных токарем ленинградского завода «Красногвардеец» К. В. Лакуром, усовершенствовавшим резец конструкции В. А. Колесова.

Резец конструкции К. В. Лакура (фиг. 71) имеет принципиально ту же геометрию заточки, что и резец конструкции В. А. Колесова (фиг. 35), но отличается от последнего наличием радиусной канавки на передней грани и вспомогательного угла в плане $\varphi_1 = 2^\circ$, а также большим углом наклона λ . Самой высокой точкой на режущих кромках является вершина — переходная режущая кромка. Это содействует

уменьшению деформации стружки и вызывает более благоприятное стружкообразование.

Рассматриваемый резец является комбинированным: одновременно подрезным, канавочным и левым проходным. При обработке этим резцом вначале производят врезание и подрезание торца с поперечной подачей, затем после установки резца на заданный размер по диаметру производят обтачивание по направлению от передней бабки к задней бабке токарного станка.

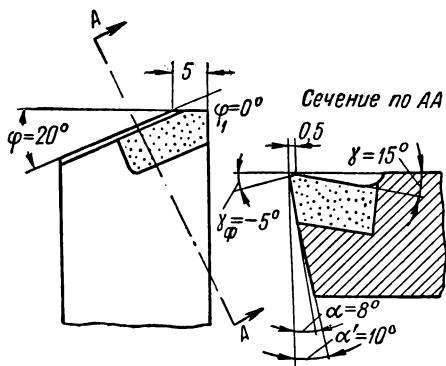
При таком способе работы полностью исключается опасность врезания резцом в буртик обрабатываемой детали.

Подрезные резцы

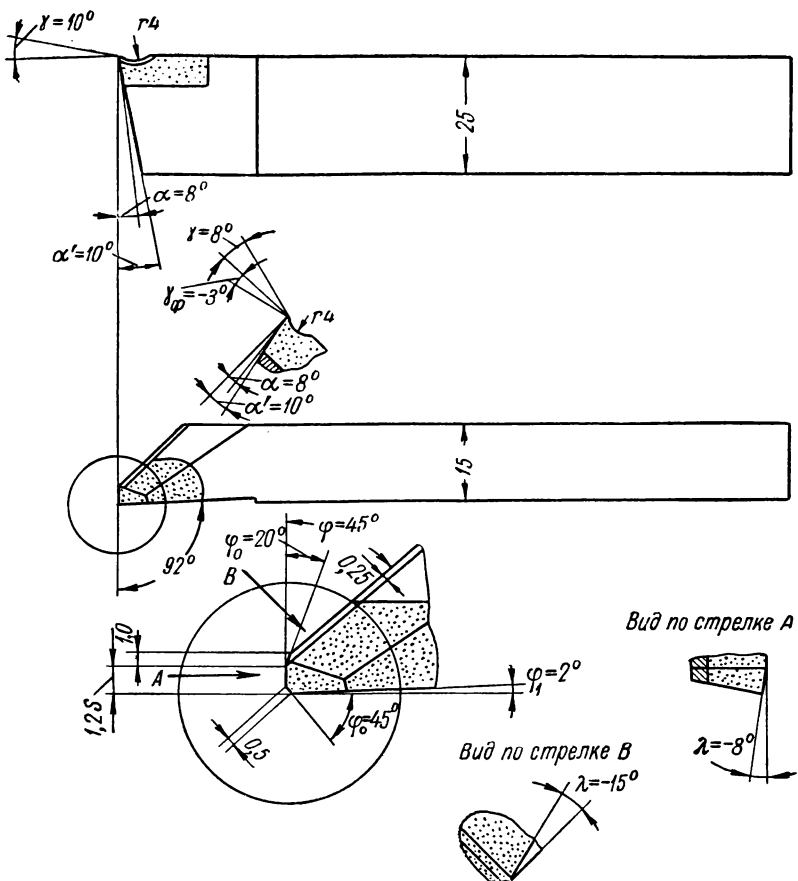
Твердосплавные подрезные резцы широко используются многими новаторами. Большой интерес представляет конструкция резца, предложенная лауреатом Сталинской премии, новатором завода им. Свердлова Г. С. Борткевичем (фиг. 72).

Заметив, что в результате трения стружки о переднюю грань резца на ней образуется лунка, Г. С. Борткевич стал наблюдать за состоянием резца и поддерживать постоянство ширины ленточки l , производя время от времени подзаправку ленточки бруском из зеленого карбида кремния. Таким образом, не снимая резца со станка он увеличивал его стойкость.

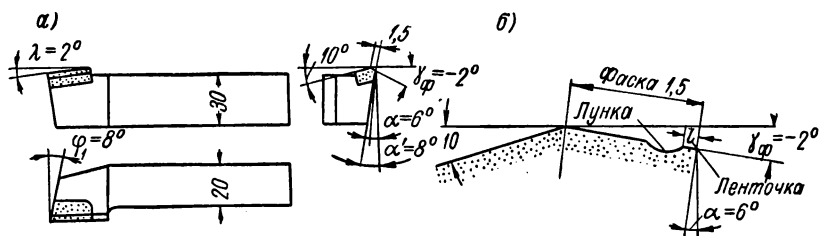
В. А. Колесовым предложен подрезной резец для обтачивания ступенчатых деталей с большими скоростями резания и подачами. Геометрия заточки этого резца усовершенствована лаборантом



Фиг. 70. Проходной резец для полустачивания конструкции ЛПИ им. М. И. Калинина.

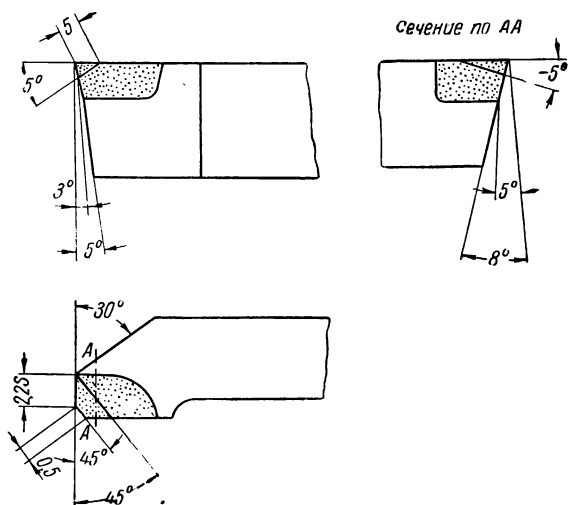


Фиг. 71. Левый проходной резец для точения с большими подачами конструкции К. В. Лакура.



Фиг. 72. Проходной-подрезной резец для полуступенчатого точения конструкции Г. С. Борткевича: а — общий вид резца; б — геометрия передней грани.

Ленинградского дома научно-технической пропаганды В. И. Кротовым (фиг. 73): резец имеет усиленную вершину благодаря положительному углу наклона главной режущей кромки $\lambda = 5^\circ$ и отри-



Фиг. 73. Подрезной резец для точения с большими подачами, усовершенствованный В. И. Кротовым.

цательному переднему углу $\gamma = -5^\circ$. Переходная кромка расположена под углом $\varphi_0 = 45^\circ$.

Этот резец отличается повышенным сопротивлением сколу пластинки твердого сплава.

25. Резцы для чистового точения

При чистовом точении требуется обеспечить высокую точность размеров и чистоту обработанной поверхности. Для этих целей успешно применяются резцы двух типов: для тонкого точения и широкие, работающие при больших подачах.

Резцы для тонкого точения

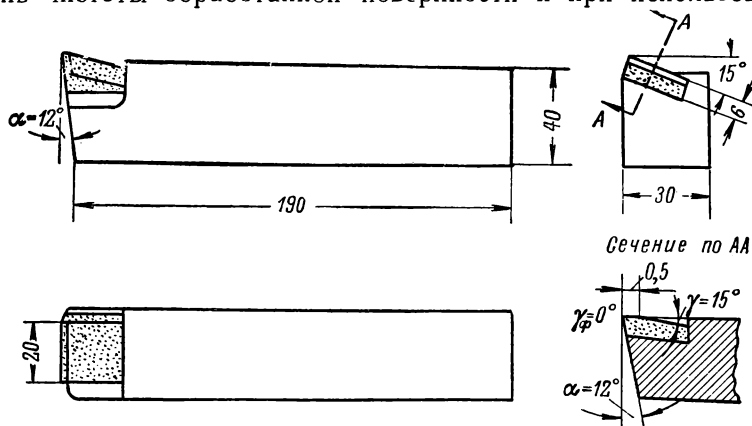
Резцы для тонкого точения мало отличаются от обычных проходных резцов. Они имеют следующую геометрию заточки: $\gamma = 0-5^\circ$, $\alpha = 6-8^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = 30-45^\circ$, $\varphi_1 = 10-15^\circ$, $r = 1,0-1,5$ мм.

Обработка этими резцами производится при высокой скорости резания ($v = 180-500$ м/мин). Глубина резания обычно принимается $t = 0,2-0,5$ мм, а подача $s = 0,04-0,15$ мм/об.

Режущие грани резца должны быть тщательно доведены.

Широкие резцы

Качественная заточка и доводка режущих граней и особо тщательная установка на станке обеспечивают сравнительно высокую степень чистоты обработанной поверхности и при использовании



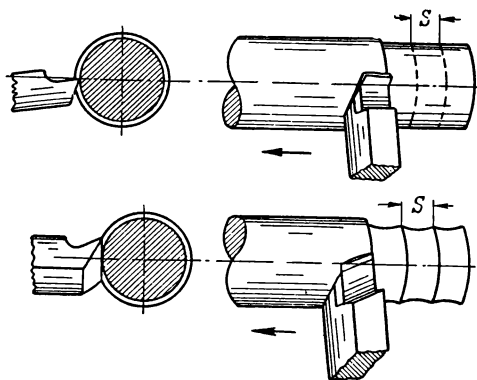
Фиг. 74. Широкий резец для чистового точения конструкции ЛПИ им. М. И. Калинина.

резца конструкции В. А. Колесова. Однако их все же целесообразно применять для полустойковой обработки.

Наилучшие результаты как по производительности, так и по чистоте обработанной поверхности получаются при использовании широких резцов с наклонно расположенной режущей кромкой конструкции ЛПИ им. М. И. Калинина (фиг. 74). Здесь не требуется точная установка резца — расположение режущей кромки строго параллельно направлению подачи.

Эти резцы применяются при обработке жестких и крупных деталей на жестких и исправных станках. Производительность точения широкими резцами в десятки раз выше производительности тонкого точения. Скорость резания при точении конструкционной стали достигает $v = 200-300$ м/мин, подача $s = 2-8$ мм/об, глубина резания $t = 0,1-0,3$ мм.

Вследствие наклонного расположения режущей кромки, поверхность, обработанная таким резцом, получается волнистой



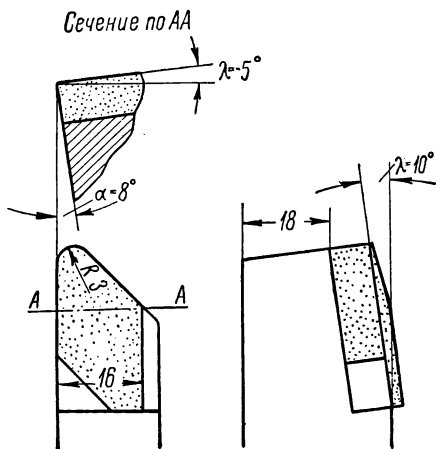
Фиг. 75. Волнистость поверхности, отобранной широким резцом с наклонно расположенной режущей кромкой.

(фиг. 75, внизу), причем волнистость будет тем больше, чем больше угол наклона режущей кромки и чем меньше диаметр обрабатываемой детали. Чистота поверхности, получаемая при обтачивании деталей диаметром более 100 мм с подачей $s = 2-3$ мм/об, соответствует 7-му классу по ГОСТ. Волнистость обрабатываемой поверхности легко устраняется при зачистке шлифовальной шкуркой. Это дает возможность повысить чистоту поверхности до 8-го класса.

26. Фасонные и отрезные резцы

Фасонные резцы

Твердосплавные фасонные резцы в последнее время получают все большее распространение при работе на револьверных станках и автоматах. Новаторы используют эти резцы также на токарных станках при обработке фасонных поверхностей. Более других распространены канавочные и галтельные резцы. Так, например, токарь ленинградского завода «Электросила» им. С. М. Кирова Н. И. Фокин при обтачивании цилиндрических поверхностей, оканчивающихся галтелью, применяет проходной резец, радиус которого при вершине равен радиусу галтели (фиг. 76).



Фиг. 76. Проходной галтельный резец конструкции токаря Н. И. Фокина.

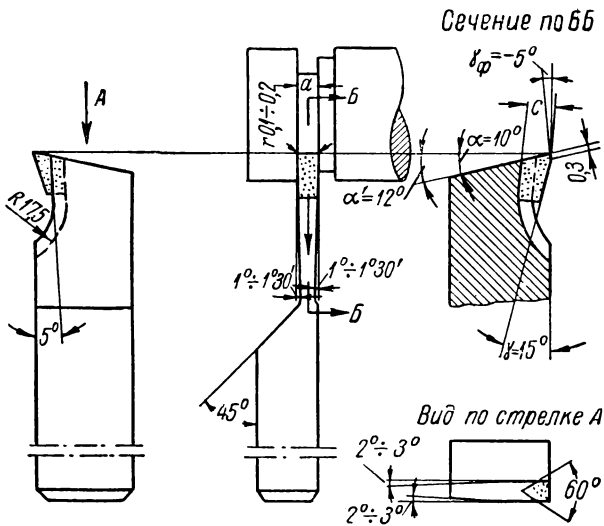
Предложенный новатором завода «Красное Сормово» В. Н. Годяевым (фиг. 77).

В. Н. Годяев установил, что наиболее частой причиной отрыва припаянных твердосплавных пластинок на отрезных резцах является действие боковых сил резания. Для устранения этого недостатка и повышения прочности соединения режущей пластинки с корпусом державки он предложил профрезеровать в корпусе треугольный паз с углом 60° и соответственно заточить опорную сторону режущей пластинки. Благодаря этому площадь контакта режущей пластинки с корпусом державки увеличивается в 1,5 раза, а стороны паза служат дополнительными опорами, препятствующими сдвиганию пластинки,

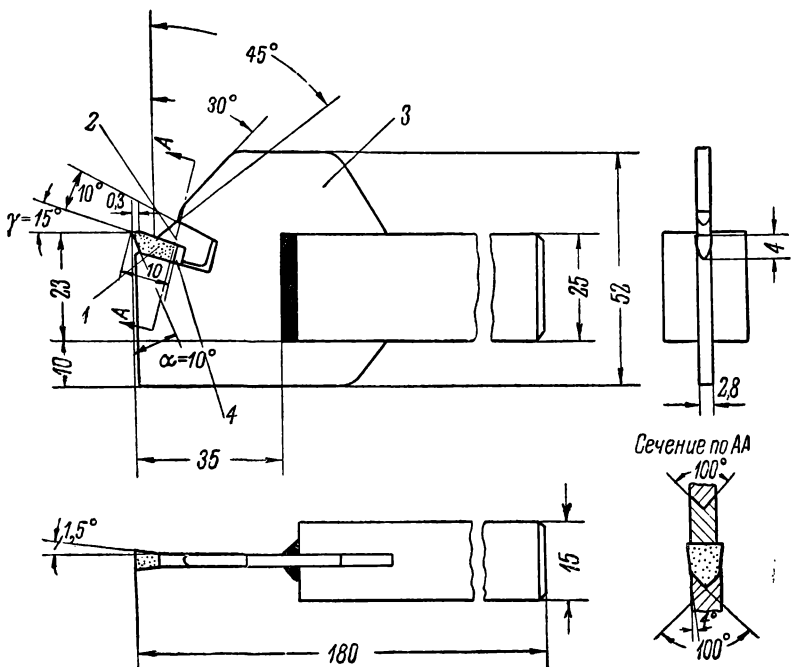
Применяются и специальные фасонные резцы.

Отрезные резцы

Отрезные твердосплавные резцы получают все большее распространение. Примером рациональной конструкции является отрезной резец,



Фиг. 77. Отрезной резец конструкции токаря В. Н. Годяева.

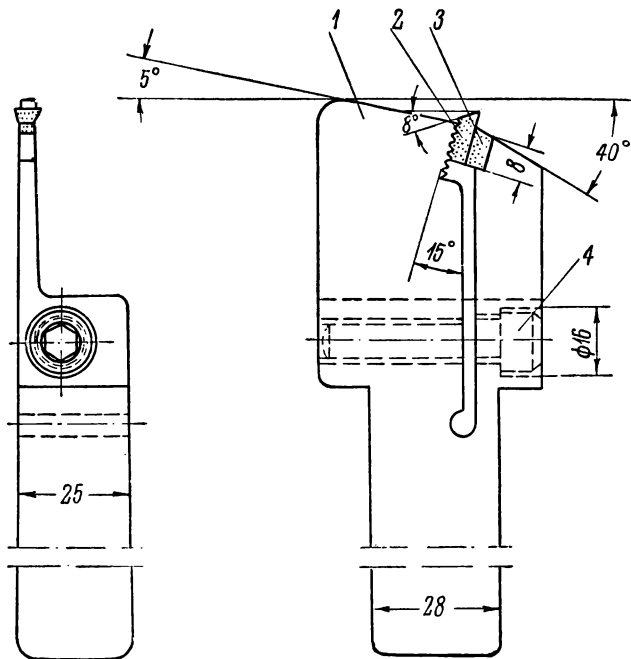


Фиг. 78. Отрезной резец с креплением режущей пластинки силами резания конструкции Н. Е. Сотниова.

При работе такими резцами скорость резания достигает $v = 100$ м/мин, а подача $s = 0,4-0,5$ мм/об.

Инструктор-по внедрению производительных методов обработки металлов на Рижском заводе ВЭФ Н. Е. Сотинов применяет резцы такого же типа, но режущую пластинку у них не припаивают, а механически закрепляют в державке.

В державке 3 резца (фиг. 78) профрезерован клиновидный паз-гнездо, верхняя плоскость которого наклонена под углом 10°



Фиг. 79. Отрезной резец с механическим креплением режущей пластинки конструкции токаря Д. И. Рыжкова.

к опорной части гнезда. Прижимная Г-образная накладка 2 имеет такую же форму: ее нижняя опорная плоскость наклонена под углом 10° относительно верхней части.

Твердосплавную пластинку 1 вместе с прижимной накладкой 2 вставляют в гнездо державки и слегка вдавливают внутрь до заклинивания. Во время работы воздействие сил резания передается через режущую пластинку прижимной накладке, что увеличивает надежность заклинивания пластинки.

Для предотвращения поворота режущей пластинки и накладки под влиянием боковых сил резания в нижней опоре 4 гнезда державки профрезерован треугольный паз, а на опорной поверхности пластинки образован такой же выступ. Подобного рода паз и соответствующий ему выступ сделаны также на верхней части прижимной накладки и в гнезде державки (сечение по АА).

Эти резцы, несмотря на некоторую сложность их конструкции, могут найти применение в цехах, где имеется много отрезных работ.

На фиг. 79 показан отрезной резец конструкции новатора одного из горьковских заводов Д. И. Рыжкова. В пазу державки 1 этого резца расположены твердосплавные пластинки 2 и 3. Рифление на нижней стороне пластинки 2 предусмотрено в целях повышения прочности ее закрепления в корпусе. Твердосплавная пластинка 3 защищает державку от преждевременного истирания отходящей стружкой. Обе пластинки закрепляются винтом 4.

Таким резцом производят отрезание деталей диаметром до 80 мм. При увеличении длины и ширины рабочей части резца он может быть использован для отрезания деталей и больших диаметров.

Скорость резания при работе этим резцом принимают $v = 100—120$ м/мин, а подачу $s = 0,1$ мм/об.

При работе отрезными резцами целесообразно применять обильное охлаждение.

27. Расточные резцы

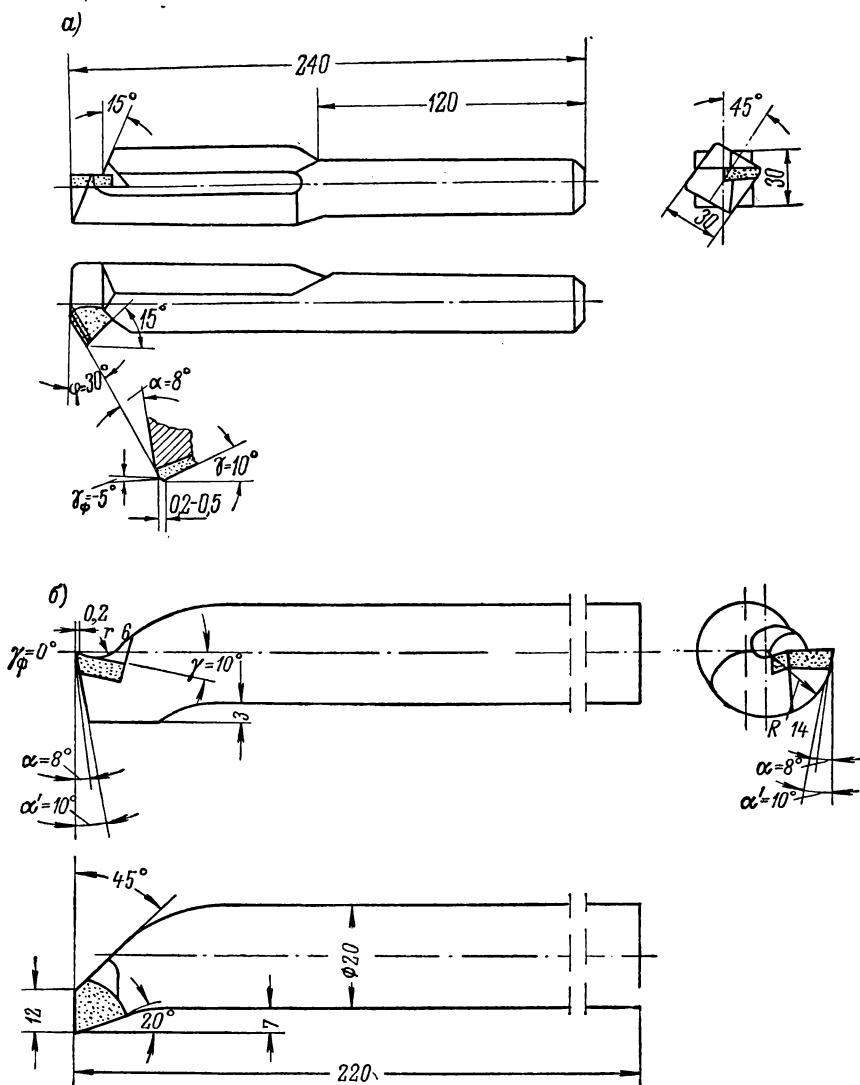
Для полувольного, растачивания стали с высокими скоростями резания применяются расточные резцы с двойной передней гранью. Ширина фаски резца (0,7—0,9) s . Передний угол на фаске $\gamma_{\phi} = -5 \div -10^{\circ}$.

Резцы для точного растачивания стали крепятся в жестких консольных державках. Пластинку твердого сплава напаивают на державку небольших размеров, обычно круглого сечения. Режущую пластинку следует располагать в гнезде так, чтобы при работе вершина резца была несколько выше линии центров станка. Для увеличения стойкости T резца и уменьшения износа режущей пластинки, влияющего на размер обработки, передний угол γ принимают положительным при положительном угле наклона главной режущей кромки λ .

Основным недостатком расточных резцов является их сравнительно невысокая жесткость: диаметр державки должен быть значительно меньше диаметра обрабатываемого отверстия, а вылет резца приходится принимать большим, чем при наружном точении.

В целях повышения жесткости расточного резца, предназначенного для обработки отверстий диаметром до 70 мм, как уже указывалось, новатор В. К. Семинский предложил специальный расточной резец. Рабочая часть этого резца путем скручивания державки повернута на 45° относительно той ее части, которая закреплена в резцедержателе (фиг. 80, а).

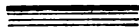
Как показали испытания резца, проведенные при глубине резания t до 15 мм и подаче s до 0,3 мм/об, изогнутое ребро державки оказывает повышенное сопротивление вертикальной силе резания P_y . Жесткость этого резца в пять-шесть раз больше



Фиг. 80. Жесткие и виброустойчивые расточные резцы: а — конструкции токаря В. К. Семинского; б — конструкции токаря К. В. Лакура.

жесткости обычного расточного резца. Вибраций при работе не наблюдается. Чистота обработанной поверхности заметно улучшается, а режимы резания при растачивании в два-три раза больше режимов резания, допускаемых обычными расточными резцами.

Новатор К. В. Лакур предложил расточной резец оригинальной конструкции (фиг. 80, б). Особенностью его является расположение главной режущей кромки в плоскости, проходящей через ось стержня державки. Как показал опыт работы, такие резцы не вызывают вибраций даже при значительных вылетах державки и обеспечивают получение хорошей чистоты поверхности.



ГЛАВА V

ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Режимом резания при токарной обработке называется сочетание глубины резания t , подачи s и скорости резания v . Выбор режима резания состоит в последовательном назначении таких величин глубины резания, подачи и скорости резания, которые позволяют в наилучшей степени использовать режущие свойства резца и мощность станка.

Правильный выбор режима резания для данных условий обработки обеспечивает получение наибольшей производительности и экономичности процесса, а также высокого качества обработанных деталей.

При выборе режимов резания обычно пользуются так называемыми нормативными данными, которые основаны на результатах научно-исследовательских работ, производственном опыте передовых машиностроительных предприятий и практике токарей-новаторов. Данные, приведенные в помещаемых ниже таблицах, являются официальными нормативами режимов резания, рекомендованными Научно-исследовательским бюро технических нормативов (НИБТН) и другими научно-исследовательскими институтами.

Нормативные данные нельзя считать предельными. Практика показывает, что в ряде случаев токари-новаторы работают с более высокими режимами резания, перекрывая эти нормативы. Однако для многих еще предприятий рекомендуемые режимы резания являются прогрессивными и достижение их основной массой рабочих будет способствовать повышению производительности труда и увеличению пропускной способности оборудования.

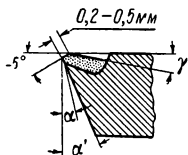
28. Выбор геометрии твердосплавных резцов

Выбору режима резания предшествует выбор геометрии режущей части инструмента, которая должна соответствовать каждому обрабатываемому материалу. Только при этом условии режущие свойства инструмента могут быть использованы в полной мере. Форму заточки передней грани резца, в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий резания, рекомендуется выбирать по табл. 5.

Формы заточки передней грани твердосплавных резцов

I. С отрицательной фаской

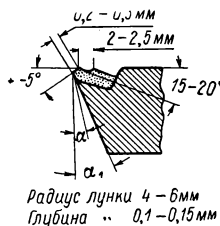
Плоская



Применяется для обработки серого и ковкого чугуна, для обработки стали с пределом прочности $\sigma_{вр}$ меньше 80 кг/мм^2 , а также для обработки стали с пределом прочности $\sigma_{вр}$ больше 80 кг/мм^2 , при недостаточной жесткости или низкой виброустойчивости системы станок — инструмент — деталь.

При обработке стали для отвода стружки требуется применение стружколомателей

Радиусная

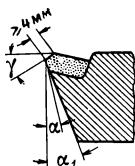


Применяется для полустальной обработки стали с пределом прочности $\sigma_{вр}$ меньше 80 кг/мм^2 при глубине резания $t = 1-5 \text{ мм}$ и подаче s более $0,3 \text{ мм/об}$.

Применение дополнительных способов для отвода стружки не требуется

II. Плоская отрицательная

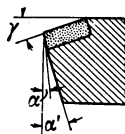
Двойная



Применяется для обработки стали с пределом прочности $\sigma_{вр}$ больше 80 кг/мм^2 , с образованием лунки на передней грани, при достаточной жесткости и виброустойчивости системы станок — инструмент — деталь; для обработки стали с ударом, неравномерным припуском и по корке.

Для отвода стружки необходимо применение стружколомателей или придание специальных значений главному углу в плане φ и углу наклона режущей кромки λ для дробления стружки

Одиная



Применяется для обработки стали с пределом прочности $\sigma_{вр}$ более 80 кг/мм^2 без образования лунки на передней грани, при достаточной жесткости и виброустойчивости системы станок — инструмент — деталь. Заточка реза производится по задней грани.

Для отвода стружки требуется применение стружколомателей или придание специальных значений главному углу в плане φ и углу наклона режущей кромки λ для дробления стружки

Величины заднего α и переднего γ углов для резцов выбирают по табл. 6, величины главного угла в плане ϕ , вспомогательного угла в плане ϕ_1 и угла наклона главной режущей кромки λ — по табл. 7, форму сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок — по табл. 8.

Таблица 6

Значения заднего и переднего углов твердосплавных резцов

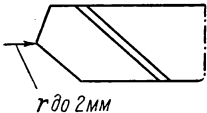
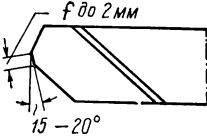
Обрабатываемый материал	Механические свойства	Задний угол α°		Передний угол γ°	
		подача s в мм/об		форма передней грани	
		менее 0,3	более 0,3	I	II
Стали конструкционные (углеродистые и легированные)	Предел прочности $\sigma_{вр}$ менее 110 кг/мм^2	12	8	15	—5
	Предел прочности $\sigma_{вр}$ более 110 кг/мм^2	12	—	—	—10
Чугун серый	Твердость по Бринеллю H_B менее 220	10	6	12	—
	Твердость по Бринеллю H_B более 220	10	6	8	—
Чугун ковкий	Твердость по Бринеллю $H_B = 140-150$	12	8	15	—

Примечание. Вспомогательный задний угол $\alpha_1 = \alpha + 5^\circ$.

Значения главного и вспомогательного углов в плане и угла главной режущей кромки твердосплавных резцов

Условия работы	Углы реза	Величины углов в град.
Сработка деталей в условиях особо жесткой системы станок — инструмент — деталь и при малых глубинах резания	φ — главный угол в плане	10—30
Обработка деталей в условиях достаточно жесткой системы станок — инструмент — деталь (наиболее распространенное значение угла)		45
Сработка с ударами и в условиях недостаточно жесткой системы станок — инструмент — деталь и при многорезцовом точении		60—75
Обработка длинных и тонких деталей при многорезцовом точении		80—90
Чистовые работы (бóльшие значения углов брать при бóльших значениях радиуса при вершине реза)	φ_1 — вспомогательный угол в плане	0—5
Сработка жестких деталей без врезания реза		5—10
Обработка нежестких деталей без врезания реза и жестких деталей с врезанием		15—30
Обработка нежестких деталей с врезанием реза		30—45
Обработка деталей с равномерным припуском без ударов	λ — угол наклона главной режущей кромки	0—5
Работа резцом с передним углом γ в пределах -5° — -10° и главным углом в плане $\varphi = 70^\circ$, в целях дробления стружки		10—12
Сработка деталей с неравномерным припуском и в случае прерывистого резания с ударами		10—30

**Формы сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок
твердосплавных резцов**

Форма вершины		Примечание
название	эскиз	
Закругленная		<p>Бóльшие значения радиуса при вершине r, а также бóльшие значения переходной кромки f при вершине применять в условиях жесткой системы станок — инструмент — деталь, меньшие значения r и f применять при нежесткой системе</p>
С переходной кромкой		

**29. Выбор режимов резания при точении
твердосплавными резцами**

При выборе режима резания соблюдают следующую последовательность: сначала устанавливают глубину резания t и число проходов i , затем выбирают подачу s и в зависимости от них определяют скорость резания v .

Выбор глубины резания и подачи

Глубина резания t зависит от величины припуска на обработку. При черновом точении следует назначать наибольшую глубину резания, стремясь снять припуск на черновую обработку припуск принимают обычно в пределах 0,5—2,0 мм на диаметр.

Подачу s следует назначать наибольшую, так как она непосредственно влияет на величину основного (технологического) времени.

При черновом точении подача выбирается с учетом следующих факторов:

- 1) жесткость и прочность обрабатываемой детали, а также способ ее крепления (в патроне, приспособлении или в центрах);
- 2) прочность пластинки твердого сплава и жесткость державки резца;
- 3) жесткость станка и прочность его механизма подачи;
- 4) установленная глубина резания t .

Практически для выбора подачи s пользуются таблицами, составленными на основании расчетов и производственного опыта.

В табл. 9 приведены подачи s , рекомендуемые НИБТН для наружного точения незакаленных сталей, стального и чугунового литья.

В справочнике НИБТН имеются аналогичные таблицы для чернового растачивания перечисленных материалов и наружного точения закаленных сталей.

Таблица 9

Подачи для чернового продольного и поперечного точения твердосплавными резцами

Диаметр обрабатываемой поверхности в мм	Глубина резания t в мм			
	до 5	свыше 5 до 8	свыше 8 до 12	свыше 12 до 30
	подача s в мм/об			
18	До 0,25	—	—	—
30	0,2—0,5	—	—	—
50	0,4—0,8	0,3—0,6	—	—
80	0,6—1,2	0,5—1,0	—	—
120	1,0—1,6	0,7—1,3	0,5—1,0	—
180	1,4—2,0	1,1—1,8	0,8—1,5	—
260	1,8—2,6	1,5—2,0	1,1—2,0	1,0—1,5
360	2,0—3,0	1,8—2,8	1,5—2,5	1,3—2,0
Свыше 360	—	2,5—3,0	2,0—3,0	1,5—2,5

Выбранная по табл. 9 подача s должна быть проверена по прочности пластинки твердого сплава и державки резца, по прочности и способу крепления обрабатываемой детали, а также по прочности механизма подачи станка и допускаемому им двойному крутящему моменту.

В практике эта проверка облегчается наличием специально разработанных таблиц, подобных табл. 10 и 11, в которых приведены подачи, допускаемые по прочности и способу крепления обрабатываемой детали (табл. 10), а также по прочности пластинки твердого сплава (табл. 11).

При проверке подачи по прочности механизма подачи станка определяют для данного обрабатываемого материала, глубины резания t и подачи s величину осевой силы P_x и сопоставляют ее с силой, допускаемой механизмом подачи станка. Величина последней указывается в паспорте станка.

Сила резания создает на обрабатываемой детали крутящий момент, который определяется по формуле

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 1000},$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент в кгм (килограммометры);

P_z — вертикальная сила в кг;

D — диаметр обрабатываемой детали в мм.

Подачи, допускаемые по жесткости обрабатываемой детали при точении твердосплавными резацами стали с пределом прочности при растяжении $\sigma_{вр} < 80 \text{ кг/мм}^2$ и стреле прогиба $0,1 \text{ мм}$

Диаметр обрабатываемой поверхности в мм	Способ крепления обрабатываемой детали							
	В центрах при длине детали меньше или равной десяти ее диаметрам $L \leq 10D$		В патроне и центре при длине детали меньше или равной десяти ее диаметрам $L \leq 10D$		В патроне при длине вылета детали меньше или равной трем ее диаметрам $L \leq 3D$			
	3	5	8	3	5	8		
	Глубина резания f в мм							
	Подача s в мм/об							
30	0,16—0,28	0,08—0,13	—	0,5—0,7	0,25—0,35	0,13—0,19	0,25—0,35	0,13—0,19
40	0,22—0,38	0,12—0,18	—	0,7—1,0	0,35—0,55	0,19—0,30	0,7—1,0	0,35—0,55
60	0,40—0,60	0,20—0,32	—	1,2—1,8	0,65—1,00	0,33—0,50	1,2—1,8	0,65—1,00
80	0,60—0,95	0,30—0,38	0,18—0,28	Свыше 1,8	0,95—1,30	0,5—0,7	Свыше 1,8	0,95—1,30
100	0,75—1,20	0,45—0,62	0,21—0,33	" 1,8	1,1—1,6	0,65—0,80	" 1,8	1,1—1,6
150	1,2—1,5	0,65—0,95	0,35—0,55	" 1,8	Свыше 1,6	1,1	" 1,8	Свыше 1,6
200	Свыше 1,5	1,0—1,5	0,5—0,8	" 1,8	" 1,6	1,5	" 1,8	" 1,6
300	" 1,5	Свыше 1,5	1,0—1,5	" 1,8	" 1,6	Свыше 1,5	" 1,8	" 1,6

Примечание. Большие значения подач брать при обработке мягких сталей ($\sigma_{вр} = 40—50 \text{ кг/мм}^2$); меньшие — при обработке твердых сталей ($\sigma_{вр} = 70—80 \text{ кг/мм}^2$).

Подачи для продольного и поперечного чернового точения резцами, оснащенными твердым сплавом Т5К10

Обрабатываемый материал		Толщина твердосплавной пластинки в мм				
предел прочности $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	Твердость НВ	3—4,5	4,5—6	6—8	8—10	10—12
		подача s в мм/об				
40—60	115—170	0,4—0,6	0,6—0,95	0,95—1,5	1,5—2,2	2,2—2,8
60—80	170—230	0,3—0,5	0,5—0,8	0,8—1,25	1,25—1,8	1,8—2,3
80—100	230—285	0,25—0,45	0,45—0,7	0,7—1,1	1,1—1,6	1,6—2,1
100—120	285—340	0,23—0,4	0,4—0,6	0,6—1,0	1,0—1,4	1,4—1,8

Примечание. При работе резцами с твердым сплавом Т5К6 подачи уменьшить на 30—40%; при этом максимальное их значение брать не выше 1,5 мм/об.

Для упрощения расчетов обычно пользуются двойным крутящим моментом:

$$2M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{1000}.$$

Возникающий в процессе резания двойной крутящий момент должен быть меньше $2M_{кр}$, допускаемого механизмом главного привода станка.

Двойные крутящие моменты, соответствующие числам оборотов, принимаются по слабому звену станка и указываются в паспорте станка. Слабым звеном может являться привод, фрикционная муфта, зубчатые колеса и др.

Подача s должна быть снижена, если сила P_z или $2M_{кр}$ превышает паспортные данные станка.

Известно, что при точении деталей, длина которых во много раз больше их диаметра, под воздействием сил резания возможен их прогиб; в этом случае вместо цилиндрической формы детали часто получают бочкообразную форму. При точении с высокими скоростями резания, когда требуется достаточная жесткость обрабатываемой детали, допустимый прогиб ее, или, как говорят, стрелу прогиба, можно принять равной 0,1 мм. В табл. 10 приведены подачи, принятые при стреле прогиба 0,1 мм и рассчитанные для деталей, длина которых не превышает 10 диаметров при обработке в центрах и 3 диаметров при обработке в патроне.

Если длина детали равна не 10, а 8 диаметрам (при работе в центрах), то подачи, выбранные по табл. 10, следует умножить на коэффициент 2,4. В тех случаях, когда длина детали равна 2 диаметрам (при работе в патроне), подачи следует увеличить в 5 раз. При еще меньших отношениях длины детали к ее диаметру, подачи s , допускаемые по жесткости детали, настолько

возрастают, что их выбор уже не ограничивается жесткостью детали.

Пример. Определить допускаемую по жесткости обрабатываемой детали подачу s для следующих условий: диаметр детали равен 80 мм, ее длина — 640 мм, материал детали — сталь с пределом прочности при растяжении $\sigma_{вр} = 45 \text{ кг/мм}^2$, обработка производится в центрах.

По табл. 10 находим, что для диаметра 80 мм подача $s = 0,95 \text{ мм/об}$ (берем большее значение, так как обрабатываемая сталь относится к мягким); поскольку длина детали больше ее диаметра в 8 раз ($\frac{640 \text{ мм}}{80 \text{ мм}}$), применяем поправочный коэффициент 2,4; тогда искомая подача $s = 0,95 \times 2,4 = 2,28 \text{ мм/об}$.

При получистовом и чистовом точении величину подачи устанавливают в зависимости от требуемой чистоты обработанной поверхности.

Подачи, рекомендуемые для получистового точения приведены в табл. 12. Мы видим, что подачи s уменьшаются с увеличением требуемого класса чистоты поверхности и возрастают с увеличением радиуса при вершине резца r .

Подачи, приведенные в табл. 12, предусматривают обработку стали с пределом прочности $\sigma_{вр} = 70 \div 90 \text{ кг/мм}^2$. Для стали с другим пределом прочности подачу, принятую по табл. 12, нужно умножить на поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 13.

Таблица 12

Подачи для получистового точения незакаленных сталей с пределом прочности при растяжении $\sigma_{вр} = 70 \div 90 \text{ кг/мм}^2$

Класс чистоты по ГОСТ 2789-51	Радиус при вершине резца r в мм	Скорость резания v в м/мин					
		80	90	100	110	120	> 120
		подача s в мм/об					
▽▽ 4	0,5	0,54—0,46	0,55—0,48	0,55—0,49	0,55—0,49	0,55—0,49	0,55—0,49
	1,0	0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57	0,65—0,57
	2,0	0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67	0,69—0,67
▽▽ 5	0,5	0,29—0,23	0,31—0,26	0,34—0,29	0,36—0,32	0,39—0,34	0,41—0,37
	1,0	0,4—0,31	0,45—0,35	0,46—0,38	0,46—0,40	0,46—0,41	0,46—0,42
	2,0	0,52—0,44	0,53—0,47	0,54—0,48	0,54—0,48	0,54—0,48	0,54—0,48
▽▽ 6	0,5	0,15—0,11	0,16—0,13	0,18—0,14	0,2—0,16	0,22—0,18	0,25—0,21
	1,0	0,21—0,16	0,22—0,17	0,24—0,19	0,25—0,21	0,33—0,24	0,34—0,25
	2,0	0,28—0,21	0,3—0,23	0,32—0,25	0,35—0,28	0,38—0,32	0,39—0,35

Поправочные коэффициенты на подачу s в зависимости от величины $\sigma_{вр}$

$\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	< 50	50—70	70—90	90—110
K_{s_m}	0,70	0,75	1 00	1,25

При чистовом точении обычными резцами подача принимается в пределах $s = 0,06—0,12$ мм/об, а при чистовом точении широкими резцами — в зависимости от ширины работающей части режущей кромки резца; она может колебаться от 1 до 8 мм/об и в отдельных случаях даже превышать 8 мм.

Выбор скорости резания

Скорость резания v , допускаемая резцом, при определенном периоде его стойкости T , зависит главным образом от материала режущей части резца, обрабатываемого материала, глубины резания t и подачи s , геометрии режущей части резца, допустимого износа резца по задней грани h_z , вида обработки, охлаждения в процессе резания.

Выбор наиболее выгодной (оптимальной) скорости резания при наличии такого большого количества факторов, от которых она зависит, представляет некоторые трудности. Поэтому на практике пользуются нормативными таблицами, подобными табл. 14, 15, 16 и 17, в которых приведены режимы резания, рекомендуемые для точения незакаленных и закаленных сталей и чугуна.

Данные табл. 16 относятся к закаленным сталям, обладающим более высокими прочностью и твердостью, чем незакаленные стали. Сравнение табл. 14, 15 и 16 показывает, что для одинаковых значений глубины резания t и подачи s скорости резания v для закаленных сталей значительно ниже, чем для незакаленных сталей.

При точении стального и чугунного литья, а также стальных поковок значения скорости резания и эффективной мощности, приведенные в табл. 14—17, следует уменьшить, умножая табличные данные на поправочный коэффициент 0,85—0,80.

Бывает, что при работе на станках средней мощности, особенно при черновом точении, вследствие недостаточной мощности станков оказывается невозможным применять скорости резания, указанные в таблицах нормативов. В этих случаях, как правило, оказывается целесообразным уменьшать не глубину резания t и подачу s , а скорость резания v до величины, допускаемой мощностью станка.

Приведенные режимы резания (табл. 14—17) рассчитаны для определенных условий работы: точение сталей незакаленных с пределом прочности $\sigma_{вр} = 60 \div 70$ кг/мм² и закаленных с $\sigma_{вр} = 120 \div 130$ кг/мм², а также чугуна твердостью $H_B = 180 \div 200$, период

Режимы резания при продольном точении резцами, оснащенными твердым сплавом Т15К6
Обрабатываемый материал: конструкционные и легированные стали с $\sigma_{вр} = 60 - 70 \text{ кг/мм}^2$

Подача S в мм/об	Глубина резания t в мм											
	1		2		3		4		6		8	
	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z
0.1	338	30	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2	293	52	2.5	4.4	153	6.2	—	—	—	—	—	—
0.3	270	69	3.1	5.5	209	7.7	211	279	—	—	—	—
0.4	—	—	—	6.0	199	8.4	190	340	176	509	149	168
0.5	—	—	—	6.7	183	9.2	176	405	163	606	16.4	154
0.6	—	—	—	7.2	349	10.0	165	461	151	692	17.4	146
0.7	—	—	—	—	165	10.8	156	521	144	780	18.7	139
1.0	—	—	—	—	146	12.4	140	679	129	1019	22.0	124
1.4	—	—	—	—	—	—	124	873	114	1314	24.6	110

Поправочные коэффициенты в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала

Поправочные коэффициенты на	Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²					
	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
v	1.73	1.28	1.0	0.8	0.67	0.58
P_z	0.85	0.92	1.0	1.13	1.23	1.32
N_g	1.47	1.18	1.0	0.91	0.82	0.76

Примечание. v — скорость резания в м/мин; P_z — сила резания в кг; N_g — эффективная мощность в кВт

Режимы резания при продольном точении резцами, оснащенными твердым сплавом Т5К10
Обрабатываемый материал: конструкционные и легированные стали с $\sigma_{ср} = 60 - 70 \text{ кг/мм}^2$

Подача S в мм/об	Глубина резания t в мм																				
	1			2			3			4			6			8			12		
	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g
0.1	219	30	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2	190	52	1,5	—	28	156	—	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.3	175	69	2,0	169	101	—	153	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.4	—	—	—	155	140	3,5	144	209	5,0	138	279	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	—	—	—	139	170	3,9	129	255	5,4	124	340	6,8	114	—	—	—	—	—	—	—	—
0.4	—	—	—	129	203	4,3	119	303	5,8	114	405	7,5	106	509	9,5	109	679	12,0	101	1019	16,7
0.6	—	—	—	121	231	4,6	113	345	6,4	108	461	8,0	98,1	606	10,5	100	81,0	13,2	91,3	1213	18,2
0.7	—	—	—	—	—	—	108	390	6,8	101	521	8,6	93,8	780	11,9	90	1041	15,3	82,5	1566	21,2
1.0	—	—	—	—	—	—	95	509	7,9	90	679	10,0	83,8	1019	14,0	81,3	1362	17,9	75	2038	25
1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	873	11,3	74,4	1314	16,0	71,3	1753	20,4	63,8	2627	27,9
2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65,6	1718	18,2	62,5	2278	22,3	57,5	3435	31,9

Поправочные коэффициенты в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала

Поправочные коэффициенты на	Предел прочности при растяжении $\sigma_{ср}$ в кг/мм ²									
	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100	100—110			
v	1,73	1,28	1,0	0,8	0,67	0,58	0,5			
P_z	0,85	0,92	1,0	1,13	1,23	1,32	1,43			
N_g	1,47	1,18	1,0	0,91	0,82	0,76	0,72			

Примечание. v — скорость резания в м/мин; P_z — сила резания в кг; N_g — эффективная мощность в кет.

Режимы резания при продольном точении резами, оснащенными твердым сплавом Т15К6
Обрабатываемый материал: закаленная сталь с $\sigma_{вр} = 120 - 130 \text{ кг/мм}^2$

Подача s в мм/об	Глубина резания t в мм														
	0,2			0,5			1,0			1,5			2,0		
	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g	v	P_z	N_g
0,05	226	7	0,26	192	14	0,44	170	24	0,67	157	33	0,85	150	41	1,0
0,10	171	11	0,31	146	24	0,57	129	41	0,87	119	57	1,1	114	72	1,4
0,15	145	16	0,38	124	33	0,67	109	59	1,1	101	80	1,3	96	100	1,6
0,20	130	20	0,43	110	42	0,76	97	73	1,2	90	100	1,5	86	127	1,8
0,30	110	28	0,51	94	58	0,89	83	101	1,4	76	139	1,8	73	175	2,1

Поправочные коэффициенты в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала

Предел прочности при растяжении $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	110—120		120—130		130—140		140—150		150—160		160—170		170—180		180—190		190—200	
	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z
Твердость по Роквеллу H_{RC}	38	41	44	47	49	51	54	56	58									

Поправочные коэффициенты на	1,18		1,0		0,85		0,74		0,65		0,58		0,51		0,46	
	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z	v	P_z
	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g	N_g
	0,93	1,0	1,04	1,1	1,16	1,21	1,27	1,32	1,34	1,32	1,27	1,21	1,16	1,1	1,04	0,93
	1,1	1,0	0,89	0,81	0,75	0,7	0,65	0,61	0,58	0,55	0,51	0,46	0,41	0,34	0,27	0,21

Примечание. v — скорость резания в м/мин; P_z — сила резания в кг; N_g — эффективная мощность в кат.

Режимы резания при продольном точении резами, оснащенными твердым сплавом ВК8
Обрабатываемый материал: чугун серый твердостью $H_B = 180 - 200$

Подача s в мм/об	Глубина резания t в мм																		
	1		2		3		4		6		8		12		15				
	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	
0.1	122	16	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2	106	28	0.49	97	56	0.9	84	1.3	80	152	2.0	20	—	—	—	—	—	—	—
0.3	97	38	0.6	90	76	1.1	85	1.6	80	152	2.2	20	—	—	—	—	—	—	—
0.4	—	—	—	85	92	1.3	79	1.8	75	184	2.2	20	69	278	3.1	368	3.9	61	556
0.5	—	—	—	81	109	1.4	73	2.0	68	218	2.4	24	63	328	3.4	436	4.2	55	656
0.6	—	—	—	78	126	1.6	68	2.1	64	252	2.6	26	58	378	3.6	504	4.5	52	756
0.7	—	—	—	—	—	—	64	2.2	59	284	2.7	55	426	3.8	52	568	4.8	48	852
1.0	—	—	—	—	—	—	55	2.5	52	368	3.1	47	552	4.5	45	736	5.4	42	1104
2.0	—	—	—	—	—	—	45	—	45	472	3.5	—	—	708	4.9	944	6.2	36	1416
3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1255	6.3	1670	7.9	27	2510
Поправочные коэффициенты в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала																			
Твердость по Бринеллю H_B		< 140		140—160		160—180		180—200		200—220		220—240		240—260					
Поправочные коэффициенты на		1.93		1.51		1.21		1.0		0.85		0.72		0.63					
v		0.81		0.88		0.94		1.0		1.06		1.12		1.17					
P_z		1.56		1.37		1.14		1.0		0.9		0.81		0.74					
N_s		—		—		—		—		—		—		—					
Примечание. v — скорость резания в м/мин; P_z — сила резания в кг; N_s — эффективная мощность в кет.																			

стойкости резца $T = 90$ мин., главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, положительный передний угол γ с отрицательной фаской и допустимая величина износа резца по задней грани $h_s = 0,8 - 1,0$ мм. На производстве условия обработки конкретных деталей часто не совпадают с условиями, для которых составлена данная нормативная таблица. В таких случаях при выборе режимов резания для измененных условий работы пользуются нормативными данными, но умножают их на поправочные коэффициенты, приведенные в указанных таблицах, а также в табл. 18, 19 и 20.

Таблица 18

Поправочные коэффициенты на режимы резания в зависимости от стойкости резца

Обрабатываемый материал	Стойкость резца T в мин.										
	20	30	45	60	75	90	120	150	180	240	360
	Поправочные коэффициенты на скорость резания v и мощность N_s										
Незакаленная сталь, чугун	1,33	1,24	1,15	1,08	1,04	1,0	0,94	0,91	0,87	0,82	0,76
Закаленная сталь	1,15	1,11	1,08	1,04	1,02	1,0	0,97	0,95	0,93	0,92	0,88

Таблица 19

Поправочные коэффициенты на режимы резания в зависимости от главного угла в плане резца φ

Обрабатываемый материал	Поправочные коэффициенты	Главный угол в плане φ°						
		10	20	30	45	60	70	90
Сталь незакаленная	На скорость резания v	1,55	1,3	1,13	1,0	0,92	0,86	0,81
	На силу резания P_z	1,32	1,16	1,08	1,0	0,98	1,00	1,08
	На мощность N_s	2,05	1,5	1,22	1,0	0,90	0,88	0,86
Сталь закаленная	На скорость резания v	1,55	1,3	1,13	1,0	0,92	0,86	0,81
Чугун серый	На скорость резания v	—	—	1,20	1,0	0,88	0,83	0,73
	На силу резания P_z	—	—	1,05	1,0	0,96	0,94	0,92
	На мощность N_s	—	—	1,26	1,0	0,84	0,78	0,67

Поправочные коэффициенты на режимы резания в зависимости от формы передней грани резца

Обрабатываемый материал	Поправочные коэффициенты
Сталь незакаленная	<p align="center">Передняя грань с отрицательной фаской</p> <p>на скорость резания v 1.0</p> <p>на силу резания P_z 1.0</p> <p>на мощность N_s 1.0</p>
	<p align="center">Передняя грань плоская отрицательная</p> <p>на скорость резания v 1.05</p> <p>на силу резания P_z 1.20</p> <p>на мощность N_s 1.26</p>

Пример. Определить скорость резания v , силу резания P_z и эффективную мощность N_s для следующих условий резания: обрабатываемый материал — незакаленная конструкционная сталь с $\sigma_{sp} = 55 \text{ кг/мм}^2$, глубина резания $t = 4 \text{ мм}$, подача $s = 0,6 \text{ мм/об}$, резец имеет переднюю грань с отрицательной фаской и главный угол в плане $\varphi = 60^\circ$, стойкость резца $T = 60 \text{ мин}$.

По табл. 14 находим: $v = 165 \text{ м/мин}$; $P_z = 461 \text{ кг}$; $N_s = 12,7 \text{ квт}$. Применим поправочные коэффициенты на измененные в сравнении с таблицей условия работы.

А. Скорость резания: на иное значение $\sigma_{sp} — 1,28$ (табл. 14); на иную стойкость резца — 1,08 (табл. 18); на другую величину угла $\varphi — 0,92$ (табл. 19).

Искомая скорость резания будет:

$$v = 165 \times 1,28 \times 1,08 \times 0,92 = 210 \text{ м/мин.}$$

Б. Сила резания P_z : на иное значение $\sigma_{sp} — 0,92$ (табл. 14); на другую величину угла $\varphi — 0,98$ (табл. 19).

Искомая сила резания составляет:

$$P_z = 461 \times 0,92 \times 0,98 = 416 \text{ кг.}$$

В. Эффективная мощность N_s : на иное значение $\sigma_{sp} — 1,8$ (табл. 14), на другую величину угла $\varphi — 0,90$ (табл. 19).

Искомая мощность составляет:

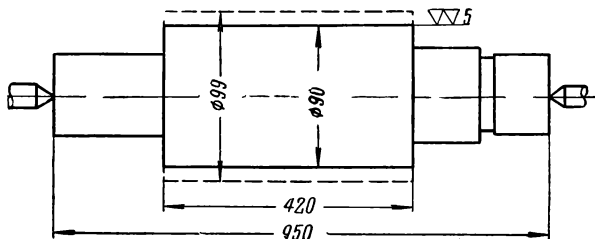
$$N_s = 12,7 \times 1,18 \times 0,90 = 13,5 \text{ квт.}$$

30. Пример назначения режима резания при точении

На токарно-винторезном станке модели 1А62 обточить на длине 420 мм вал (фиг. 81) из углеродистой конструкционной стали, с пределом прочности при растяжении $\sigma_{кр} = 55 \text{ кг/мм}^2$, применяя проходной резец с пластижкой твердого сплава Т15К6 толщиной 7 мм, с сечением державки $20 \times 30 \text{ мм}$. Припуск — 9 мм, равномерный, обработка без охлаждения.

Приводим паспортные данные станка.

Числа оборотов шпинделя в минуту n (без малых чисел оборотов): 120, 150, 185, 230, 305, 370, 380, 460, 480, 600, 610, 765, 960, 1200.



Фиг. 81. Обрабатываемая деталь.

Двойные крутящие моменты на шпинделе в кгм (соответствующие перечисленным значениям n): 95; 76; 62; 49; 38; 30; 24; 18; 17; 13,4; 9,4; 7,0; 5,3; 4,0.

Продольные подачи (без мелких и крупных) s в мм/об: 0,25; 0,28; 0,30; 0,33; 0,35; 0,40; 0,45; 0,48; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,71; 0,80.

Мощность электродвигателя станка $N = 7,8 \text{ кВт}$; при коэффициенте полезного действия станка $\eta = 0,75$ мощность на шпинделе станка $N_{шп} = 7,8 \times 0,75 = 5,8 \text{ кВт}$.

Требуется выбрать геометрию режущей части резца и назначить режим резания.

Выбор геометрии резца

Форму передней грани выбираем по табл. 5. Принимаем форму I — радиусную с отрицательной фаской, обеспечивающую стружколомание при t до 5 мм и s больше 0,3 мм/об.

По табл. 6 устанавливаем величину заднего и переднего углов: $\alpha = 8^\circ$ (s больше 0,3 мм/об), $\gamma = 15^\circ$. Вспомогательный задний угол $\alpha_1 = \alpha + 5^\circ = 8^\circ + 5^\circ = 13^\circ$.

По табл. 7 определяем главный угол в плане $\phi = 45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 8^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$.

По табл. 8 намечаем закругленную форму сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок резца с радиусом при вершине $g = 1,0 \text{ мм}$.

Назначение элементов режима резания

1. *Глубина резания.* Из общего припуска 9 мм (на диаметр) 1 мм оставляем на чистовой проход; остальную часть припуска снимаем с одного прохода.

$$\text{Глубина резания } t = \frac{99 - 91}{2} = 4 \text{ мм.}$$

2. *Подача.* По табл. 12 для класса чистоты $\nabla\nabla 4$ (предварительная обработка), радиуса вершины реза $r = 1$ мм и скорости резания $v > 130$ м/мин подач $s = 0,65 - 0,57$ мм/об. По паспорту станка принимаем ближайшее значение подачи $s = 0,6$ мм/об.

Проверяем выбранную подачу прочности пластинки твердого сплава. По табл. 11 находим, что для обрабатываемой стали с $\sigma_{sp} = 55$ кг/мм², и толщины пластинки 7 мм подача $s = 0,95 - 1,50$ мм/об. Вводим поправочный коэффициент 0,65 на твердый сплав Т15К6. Тогда подача, допускаемая по прочности пластинки твердого сплава $s = 0,62 - 0,98$ мм/об. Следовательно, выбранная подача $s = 0,6$ мм/об осуществима.

По табл. 10 находим, что принятая подача допускается также по жесткости обрабатываемой детали и способу ее крепления. Действительно, при диаметре обработки 99 мм и точении в центрах допускаемая подача s составляет: 0,75 мм/об для $t = 3$ мм и 0,45 мм/об для $t = 5$ мм. Для принятой нами $t = 4$ мм подача $s = \frac{0,75 + 0,45}{2} = 0,6$ мм/об.

3. *Период стойкости реза.* По справочнику режимов резания НИБТН для реза сечением 20×30 мм рекомендуется период стойкости $T = 75$ мин.

4. *Скорость резания.* По табл. 14 для $t = 4$ мм и $s = 0,6$ мм/об скорость резания $v = 165$ м/мин. В связи с измененными условиями работы (прочность обрабатываемой стали $\sigma_{sp} = 55$ кг/мм² вместо 60—70 кг/мм²; период стойкости реза $T = 75$ мин. вместо 90 мин.) находим поправочные коэффициенты на скорость резания:

а) по прочности обрабатываемого материала (табл. 14) — 1,28;

б) по стойкости реза (табл. 18) — 1,04.

Таким образом, принимаем скорость резания

$$v = 165 \times 1,28 \times 1,04 = 220 \text{ м/мин.}$$

5. *Число оборотов шпинделя станка.* Определяем его по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 220}{3,14 \cdot 99} = 708 \text{ об/мин.}$$

По паспорту станка принимаем ближайшее число оборотов $n = 765$ об/мин.

Тогда действительная скорость резания будет:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 99 \cdot 765}{1000} = 238 \text{ м/мин.}$$

6. *Сила резания.* По табл. 14 сила $P_z = 461$ кг. С учетом поправочного коэффициента на прочность обрабатываемого материала, равного 0,92, сила

$$P_z = 461 \times 0,92 = 425 \text{ кг.}$$

7. *Эффективная мощность.* Определяем ее по формуле

$$N_э = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot 1,36} = \frac{425 \cdot 238}{60 \cdot 75 \cdot 1,36} = 16,5 \text{ квт.}$$

Так как мощность на шпинделе станка $N_{шп} = 5,8$ квт, то принятый режим резания неосуществим на данном станке. Обработку этой детали необходимо перенести на более мощный станок. Ее можно обработать и на данном станке, но в этом случае надо сильно понизить скорость резания и поэтому режущие свойства твердого сплава Т15К6 не будут использованы.

Произведем перерасчет скорости резания для возможности осуществления обработки на данном станке.

1. Определяем отношение эффективной мощности $N_э$ и мощности на шпинделе станка $N_{шп}$:

$$\frac{N_э}{N_{шп}} = \frac{16,5}{5,8} = 2,85.$$

Скорость резания надо понизить в 2,85 раза.

2. Находим скорость резания, допускаемую мощностью станка:

$$v_1 = \frac{v}{2,85} = \frac{238}{2,85} = 84 \text{ м/мин.}$$

3. Определяем число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 84}{3,14 \cdot 99} = 270 \text{ об/мин.}$$

По паспорту станка принимаем ближайшее число оборотов $n = 230$ об/мин.

Тогда скорость резания

$$v_1 = \frac{3,14 \cdot 99 \cdot 230}{1000} = 72 \text{ м/мин.}$$

4. Находим двойной крутящий момент:

$$2M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{1000} = \frac{425 \cdot 99}{1000} = 42 \text{ кгм.}$$

Станок на данной ступени допускает $2M_{кр} = 49$ кгм (см. паспортные данные на стр. 130); следовательно, вновь назначенный режим резания выполним на данном станке.

31. Выбор режимов резания при точении твердосплавными резцами с большими подачами

При обработке резцами типа, предложенного В. А. Колесовым, которые принято вызывать резцами с дополнительной режущей кромкой (вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 0^\circ$), подача s более чем вдвое превышает глубину резания t . Поэтому допускаемая глубина резания здесь определяется, как правило, прочностью дополнительной режущей кромки резца (для титановольфрамовых сплавов Т5К10, Т14К8, Т15К6 и Т30К4) или прочностью пластинки твердого сплава (для вольфрамовых сплавов ВК2, ВК3, ВК6 и ВК8).

В зависимости от обрабатываемого материала и марки твердого сплава, которым оснащен резец, глубину резания t выбирают по табл. 21.

Таблица 21

Значения глубины резания

Обрабатываемый материал	Марка твердого сплава резца	Глубина резания t в мм
Сталь	Т5К10	< 3,0
	Т14К8, Т15К6 Т30К4	0,5—2,0 0,2—0,5
Чугун	ВК2, ВК3	< 2,0
	ВК6, ВК8	< 5,0

Величина подачи s определяется в зависимости от жесткости и прочности системы станок — резец — деталь. Для полустачевой обработки могут быть рекомендованы следующие подачи:

Обрабатываемый материал	Подача s в мм/об
Сталь	1—5
Чугун	1—8

При выборе подачи для чистовой и точной обработки следует учитывать требуемые чистоту и точность размеров обработанной поверхности, а также точность станка.

В табл. 22 приведены рекомендуемые режимы резания для точения резцами, оснащенными твердым сплавом Т15К6, сталей с $\sigma_{вр} = 60—70 \text{ кг/мм}^2$, а в табл. 23 — резцами, оснащенными сплавом ВК6, серого чугуна твердостью $H_B = 200$.

В этих же таблицах указаны поправочные коэффициенты на измененные условия работы: обрабатываемый материал с другими значениями $\sigma_{вр}$ и H_B , резец оснащен твердым сплавом другой марки, стойкость резца T меньше или больше 60 мин. (приведенные в таблицах скорости резания v рассчитаны для $T = 60$ мин.).

Режимы резания при продольном наружном точении с большими подачами конструкционной углеродистой и легированной сталей с $\sigma_{ср} = 60 - 70 \text{ кг/мм}^2$, $H_B = 169 - 200$
 Резцы Т15К6

Подача s в мм/об	Глубина резания t в мм														
	1,0			1,5			2,0			3,0			5,0		
	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s
1.5	149	250	6,1	132	367	7,9	127	477	9,9	119	685	133	110	1100	19,8
2.0	144	324	7,6	127	477	9,9	117	620	11,8	109	910	16,2	101	1440	27,7
2.5	138	396	8,9	123	580	11,6	113	765	14,1	102	1110	18,5	95	1780	37,0
3.0	134	471	10,3	119	685	13,3	109	910	16,2	96,5	1310	20,6	89,5	2100	30,7
3.5	132	542	11,8	116	795	15,1	106	1040	18,0	94,5	1510	23,3	85	2190	30,5
4.0	128	612	12,8	114	900	16,7	104	1180	20,0	92,0	1720	25,8	82	2260	30,3
5.0	124	755	15,3	110	1100	19,7	101	1440	23,7	89,5	2100	30,6	76	3480	40,3
Поправочные коэффициенты на обработку сталей различных марок															
Марки сталей	20; 25	Ст. 3	30	40; 45	Стальное литье	30X; 35X	40X								
Твердость по Бринеллю H_B	≤ 156	121—163	137—187	169—200	156—207										
Поправочные коэффициенты на v	1,28	1,28	1,23	1,00	1,00										
P_z	0,88	0,88	0,90	1,00	1,00										
N_s	1,13	1,13	1,11	1,00	1,00										
Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы в зависимости от стойкости реза и марки твердого сплава															
Стойкость реза T в мин.	20	30	45	60	75										
Поправочные коэффициенты на скорость резания v	1,22	1,14	1,05	1,00	0,96										
Марки твердых сплавов	—	T30K4	T15K6	—	T14K8										
Поправочные коэффициенты на скорость резания v	—	1,5	1,0	—	0,9										
					T5K10										
					0,7										

Таблица 23
 Режимы резания при продольном наружном точении с большими подачами серого чугуна твердостью $H_B = 200$
 Резцы ВК6

Подача s в мм/об	Глубина резания t в мм															
	1.0			1.5			2.0			3.0			5.0			
	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	v	P_z	N_s	
1.0	97	125	2.0	89	188	2.7	85	250	3.5	375	4.8	78	625	7.1	70	
1.5	88	176	2.5	76	263	3.3	72	350	4.1	526	5.9	68	880	8.6	60	
2.0	84	225	3.1	72	338	4.0	64	450	4.7	675	6.5	59	1125	9.7	53	
2.5	80	270	3.5	68	412	4.5	61	540	5.4	815	7.2	54	1350	10.6	48	
3.0	77	315	4.0	66	475	5.1	59	630	6.1	950	7.8	50	1575	11.5	45	
3.5	75	365	4.4	64	548	5.7	57	730	6.8	1095	8.6	48	1825	12.5	42	
4.0	73	405	4.8	62	612	6.2	55	810	7.3	1215	9.4	47	2075	13.2	40	
5.0	70	490	5.6	59	735	7.0	55	980	8.5	1470	10.7	45	2450	14.8	37	
Поправочные коэффициенты на обработку чугуна различных марок																
Марки чугуна	СЧ		СЧ		СЧ		СЧ		СЧ		СЧ		СЧ		СПЧ1	
	15-32	18-36	21-40	28-48	35-56	38-60	48-85	163-229	180-200	170-241	197-248	207-248	207-262	207-285	160-229	
Твердость по Бринелю H_B	163—229															
Поправочные коэффициенты на	1.00															
v	1.00															
P_z	1.00															
N_s	1.00															
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.75
	1.00	1.00	1.04	1.10	1.10	1.10	1.10	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.75
	1.00	1.00	0.91	0.83	0.83	0.83	0.83	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.75
Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы в зависимости от стойкости резца и марки твердого сплава																
Стойкость резца T в мин.	15	20	30	45	60	75	90	15	20	30	45	60	75	90	15	20
Поправочные коэффициенты на скорость резания v	1.45	1.35	1.21	1.07	1.00	0.94	0.89	1.45	1.35	1.21	1.07	1.00	0.94	0.89	1.45	1.35
Марка твердого сплава	ВК8															
Поправочные коэффициенты на скорость резания v	ВК6															
	ВК3, ВК2															
	1.0															
	1.0—1.1															

Например, для точения стали 40X с $H_B = 156-207$ резцом, оснащенным сплавом Т30К4, со стойкостью $T = 90$ мин., глубиной резания $t = 2,0$ мм и подачей $s = 3,5$ мм/об скорость резания будет составлять (табл. 22): $v = 106 \times 0,83 \times 0,93 \times 1,5 = 123$ м/мин.

32. Выбор режимов резания при точении минералокерамическими резцами

Выбор режима резания при работе минералокерамическими резцами, так же, как и при работе твердосплавным инструментом, заключается в выборе наиболее выгодного сочетания глубины резания t , подачи s и скорости резания v , при котором обеспечивается наибольшая производительность процесса резания. Выбору режима резания здесь также должен предшествовать выбор наиболее выгодной геометрии режущей части резца.

Помещенные ниже данные о геометрии резца и режимах резания являются официальными нормативами НИБТН.

Выбор геометрии резца

Форму заточки передней грани резца следует выбирать по табл. 24, а величину углов резца и конструктивных элементов стружколомателя по табл. 25. Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0^\circ$ (табл. 25) имеют резцы с дополнительной режущей кромкой.

Выбор элементов режима резания

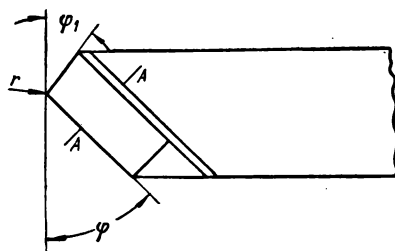
1. *Глубина резания и подача.* Аналогично работе твердосплавными резцами при использовании минералокерамических резцов наименьшее основное (технологическое) время достигается при наибольшей глубине резания t , обеспечивающей снятие припуска за один проход, и наибольшей подаче s , допускаемой прочностью режущей пластинки и другими условиями обработки.

Однако, в отличие от твердосплавных резцов, при работе минералокерамическими резцами величина глубины резания t и подачи s ограничивается низкой прочностью (большой хрупкостью) минералокерамики. Исследования показали, что, начиная с определенной величины глубины резания t , ее увеличение приводит к резкому падению стойкости резца T . Это же явление наблюдается и при увеличении подачи s . Понятно, что нецелесообразно работать с такими t и s , при которых стойкость резца очень мала.

В табл. 26 приведены подачи s для черновой обработки, допускаемые прочностью минералокерамических пластинок ЦМ-332, а в табл. 27 — подачи для чистовой обработки (такие же, как и для твердосплавных резцов — см. табл. 12 и 13).

2. *Скорость резания.* После выбора глубины резания t и подачи s назначают скорость резания v : для точения стали и чугуна обычными резцами — по табл. 28 и 29, для точения стали резцами с дополнительной режущей кромкой ($\varphi_1 = 0^\circ$) — по табл. 30.

Формы заточки передней грани минералокерамических резцов



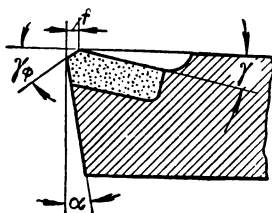
Форма передней грани (сечение АА)

Область применения

Наименование

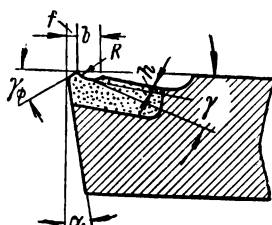
Эскиз

Плоская

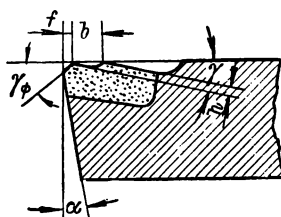


Обработка стали и чугуна
При обработке стали требуется накладной стружкозавиватель

Радиусная



Обработка стали
Применение стружкозавивателя не требуется

Плоская
с порожком

Обработка стали
Применение стружкозавивателя не требуется

Величина углов режущей части минералокерамических резцов
и элементов стружколомателей

Наименование, углы и размеры		Условия работы	
Главный угол в плане	φ°	30	При особо жесткой системе станок — резец — деталь и при работе с малой глубиной резания t
		45	При достаточно жесткой системе станок — резец — деталь; наиболее распространенный угол
		60—75	При недостаточно жесткой системе станок — резец — деталь
		90	При недостаточно жесткой системе станок — резец — деталь; при точении в упор и при подрезании
Вспомогательный угол в плане	φ_1°	0	Обработка резцами с дополнительной режущей кромкой
		5—10	Чистовая обработка
		10—15	Черновая обработка
Передний угол	γ°	10—15	Обработка стали с $\sigma_{вр}$ меньше 70 кг/мм^2
		10	Обработка стали с $\sigma_{вр}$ больше 70 кг/мм^2 и чугуна твердостью H_B меньше 220
		0—5	Обработка чугуна с H_B больше 220
Угол и ширина фаски	γ_ϕ°	—5	Обработка чугуна
		—5 ÷ —10	Обработка стали с t меньше 2 мм, s меньше 0,3 мм/об
		—25	Обработка стали с t больше 2 мм, $s = 0,1 \div 0,7 \text{ мм/об}$
	f в мм	0,2—0,3	Обработка стали и чугуна

Наименование, углы и размеры			Условия работы
Задний угол	$\alpha^\circ; \alpha_1^\circ$	8—10	Обработка стали и чугуна
Угол наклона главной режущей кромки	λ°	0—5	Обработка с равномерным припуском
		5—10	Обработка с неравномерным припуском
Стружкоотводящая лунка	R в мм	4—6	Обработка стали с обеспечением стружкозавивания
	b в мм	2,0—2,5	
	h в мм	0,1—0,15	
Порожек стружкоотводящий	b в мм	4—6	Обработка стали с обеспечением стружкозавивания или стружколомания
	h в мм	1,0—2,5	
Радиус при вершине резца	r в мм	1,0—1,5	Обработка стали и чугуна

Таблица 26

Подачи для черного точения минералокерамическими резцами

Обрабатываемый материал		Главный угол резца в плане φ°	Глубина резания t в мм до		
			2	4	7
			Подача s в мм/об		
Сталь	$\sigma_{вр} < 75 \text{ кг/мм}^2$	30—45	0,4—0,7	0,3—0,6	0,3—0,5
		60	0,3—0,6	0,3—0,5	0,2—0,4
		90	0,2—0,4	0,2—0,3	0,1—0,3
	$\sigma_{вр} > 75 \text{ кг/мм}^2$	30—45	0,4—0,6	0,3—0,5	0,2—0,4
		60	0,2—0,4	0,1—0,3	0,1—0,3
		90	0,1—0,3	0,1—0,5	0,1—0,2
Чугун	$H_B < 200$	30—45	0,5—0,9	0,4—0,7	0,3—0,6
		60	0,5—0,8	0,3—0,6	0,3—0,5
		90	0,3—0,6	0,2—0,5	0,2—0,4
	$H_B > 200$	30—45	0,4—0,7	0,3—0,6	0,3—0,5
		60	0,4—0,6	0,3—0,5	0,2—0,4
		90	0,3—0,5	0,2—0,4	0,1—0,3

Подачи для чистового точения минералокерамическими резцами

Класс чистоты по ГОСТ 2789—51	Обрабатываемый материал	Вспомогательный угол резца в плане φ_1	Радиус при вершине резца r в мм	
			0,1	1,5
			Подача s в мм/об	
▽▽5	Сталь	5	0,45—0,50	0,5—0,6
		10—15	0,40—0,45	0,45—0,5
	Чугун	5	0,25—0,30	0,35—0,55
		10—15	0,20—0,25	0,3—0,5
▽▽6	Сталь	≥ 5	0,25—0,30	0,33—0,37
	Чугун	≥ 5	0,12—0,25	0,15—0,30
Поправочные коэффициенты на величину чистовых подач в зависимости от прочности обрабатываемого материала				
Предел прочности обрабатываемого материала $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²	до 50	50—70	70—90	90—110
Поправочный коэффициент	0,7	0,75	1,0	1,25

Режимы резания при продольном точении углеродистых и легированных сталей минералокерамическими резацами

Главный угол резаца в плане φ°	Глубина резания t в мм	Подача s в мм/об до	Предел: прочности при растяжении стали $\sigma_{вр}$ в кг/мм ²					
			49—55	56—61	62—69	70—79	80—89	90—100
Скорость резания v в м/мин								
30—45	1,1	0,16	620	550	488	434	385	342
		0,22	550	488	434	385	342	304
		0,3	488	434	385	342	304	270
	2,0	0,7	409	364	323	287	255	227
		0,16	550	488	434	385	342	304
		0,22	488	434	385	342	304	270
	4,0	0,3	434	385	342	304	270	240
		0,7	385	342	304	269	240	214
		0,3	385	342	304	269	240	214
	до 7,0	0,7	364	323	287	255	227	201
		0,3	342	304	240	—	—	—
	Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от стойкости резаца T							
Стойкость резаца T в мин.			15	30	60	90	120	180
Стали углеродистые		Коэффициент	1,39	1,18	1,00	0,91	0,85	0,77
Стали легированные			1,51	1,23	1,00	0,88	0,81	0,72

Режимы резания при продольном точении серого чугуна минералокерамическими резцами

Главный угол резца в плане φ_0°	Глубина резания t в мм до	Подача s в мм до	Твердость чугуна по Бринеллю НВ				
			151—165	166—181	182—199	200—219	
			Скорость резания v в м/мин				
30—45	1,2	0,14 0,25 0,45 0,70	550	489	434	385	343
			489	434	385	343	304
			434	385	343	304	270
			390	346	307	273	243
	2,2	0,14 0,25 0,45 0,70	489	434	385	343	304
			434	385	343	304	270
			385	343	304	270	240
			346	307	270	243	216
	4,0	0,14 0,25 0,45 0,70	434	385	343	304	270
			385	343	304	270	240
			343	304	270	240	214
			307	273	243	216	192
Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от стойкости резца T							
Стойкость резца T в мин.	15	30	60	90	120	180	
Коэффициент	1,81	1,35	1,00	0,84	0,74	0,62	

Режимы резания при продольном точении углеродистой и легированной сталей с $\sigma_{ср} = 60 \text{ кг/мм}^2$ резами с дополнительной режущей кромкой

$$(\varphi_1 = 0^\circ)$$

Глубина резания t в мм	Подача s в мм/об							
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
	Скорость резания v в м/мин							
0,4	177	166	160	154	149	145	143	140
0,6	152	143	138	133	130	126	123	121
0,8	—	133	128	122	118	113	110	108
1,0	—	—	119	113	109	105	102	100
1,2	—	—	—	107	103	98	95	93
1,4	—	—	—	—	97	93	90	87
1,6	—	—	—	—	—	88	85	83
1,8	—	—	—	—	—	—	81	79
2,0	—	—	—	—	—	—	—	76

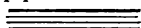
Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от стойкости реза T							
Стойкость реза T в мин.	15	30	60	90	120	180	
Коэффициент	1,35	1,17	1,00	0,92	0,86	0,79	

Скорости резания, приведенные в табл. 28 и 29, относятся к резам, имеющим главный угол в плане $\varphi = 30-45^\circ$. При других величинах этого угла скорости резания должны быть снижены путем умножения их на следующие поправочные коэффициенты:

Угол φ°	Поправочный коэффициент
60	0,7
75—90	0,6

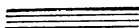
Например, если для глубины резания $t = 2,0 \text{ мм}$ и подачи $s = 0,3 \text{ мм/об}$, при $\varphi = 30-45^\circ$, скорость резания $v = 434 \text{ м/мин}$ (табл. 28), то для $\varphi = 60^\circ$ она будет составлять $434 \times 0,7 = 304 \text{ м/мин}$.

Скорости резания в табл. 28, 29 и 30 рассчитаны для стойкости реза $T = 60 \text{ мин}$. При другой стойкости скорости резания, выбранные в указанных таблицах, должны быть умножены на имеющиеся там поправочные коэффициенты.



ЛИТЕРАТУРА

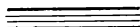
1. Подпоркин В. Г. и Большаков С. А., Скоростное точение и режимы резания, Машгиз, 1954.
2. Блюмберг В. А. и Космачев И. Г., Резцы для скоростного точения, Машгиз, 1953.
3. Сб. «Прогрессивная технология машиностроения», НТО Машпром, кн. 41, Машгиз, 1956.
4. Сб. «Резание металлов и режущий инструмент», Обзор зарубежной литературы, Машгиз, 1956.
5. Акимов А. В., Резцы высокой производительности, Трудрезервиздат, 1956.
6. Резницкий Л. М., Механическая обработка закаленных сталей, Машгиз, 1958.
7. НИБТН, Режимы резания минералокерамическими инструментами, Машгиз, 1958.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Условные обозначения	3
Глава I. Материалы для режущего инструмента (С. А. Большаков)	5
1. Инструментальные стали	—
2. Твердые сплавы	8
3. Минералокерамика	17
Глава II. Геометрия резца (В. Г. Подпоркин)	20
4. Элементы резания при токарной обработке	—
5. Геометрия режущей части резца	22
Глава III. Основные понятия о процессе резания металлов (В. Г. Подпоркин)	29
6. Как происходит резание металлов	30
7. Нарост на резце	34
8. Усадка стружки	37
9. Наклеп при резании	41
10. Силы резания и мощность при точении	44
11. Тепловые явления при резании металлов	53
12. Износ и стойкость резца	57
13. Охлаждение и смазка при резании металлов	58
14. Точение с большими подачами	63
15. Точение минералокерамическими резцами	69
16. Точение нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов	71
Глава IV. Конструкции резцов (С. А. Большаков)	75
17. Общие сведения	—
18. Стружколоманье при точении стали	79
19. Цельные напайные твердосплавные резцы	85
20. Сборные резцы с механическим креплением режущих твердосплавных пластинок	87
21. Сборные резцы с механическим креплением вставок, оснащенных твердыми сплавами	93
22. Резцы, оснащенные минералокерамикой	98
23. Резцы для черногого точения	100
24. Резцы для получистового точения	103
25. Резцы для чистового точения	106
26. Фасонные и отрезные резцы	108
27. Расточные резцы	111

Глава V. Выбор режимов резания (С. А. Большаков) . . .	114
28. Выбор геометрии твердосплавных резцов	—
29. Выбор режимов резания при точении твердосплавными резцами	118
30. Пример назначения режима резания при точении	130
31. Выбор режимов резания при точении твердосплавными рез- цами с большими подачами	133
32. Выбор режимов резания при точении минералокерамическими резцами	136
Литература	144



*Виктор Григорьевич Подпоркин
Сергей Анисимович Большаков*

ТОЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И РЕЗЦЫ

Редактор издательства И. А. Бородулина

Технический редактор *Р. Г. Польская*

Корректор *Г. Г. Порункова*

Подписано к печати 22/XI 1958 г. М 50483.

Печ. листов 9,25

Уч.-изд. листов 9,2.

Формат бумаги 60×92¹/₁₆.

Тираж 20.000 экз.

Заказ 295

3 р. 25 к.



ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА
Ленинград, ул. Дзержинского, 10