

6П4.3(083)
С74

Справочник по обработке металлов резанием/Ф. Н. Абра-
С74 мов, В. В. Коваленко, В. Е. Любимов и др.— К.: Техніка,
1983.—239 с., ил.— Библиогр.: с. 235—237.

В пер.: 1р. 20 к. 30000 экз.

В справочнике систематизированы и комплексно рассмотрены вопросы расчета оптимальных режимов резания при обработке на металлорежущих станках. Помещены характеристики инструментальных материалов и указаны области применения наиболее распространенных типов инструментов. Рассчитан на инженерно-технических работников промышленных предприятий, может быть полезен студентам соответствующих специальностей.

С $\frac{2704040000-184}{M202(04)-83}$ 50.83

6П4.3(083)

Авторы: Ф. Н. Абрамов, В. В. Коваленко, В. Е. Любимов, В. И. Романов, Н. П. Стародуб

Рецензенты кандидаты техн. наук А. С. Зенкин, Н. И. Житник

Редакция литературы по машиностроению и транспорту

Зав. редакцией М. А. Василенко

На XXVI съезде КПСС и последующих пленумах ЦК КПСС отмечалась необходимость опережающего развития машиностроения и металлообработки.

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрено увеличить выпуск продукции машиностроения и металлообработки не менее чем в 1,4 раза. В станкостроительной и инструментальной промышленности намечено значительно поднять технический уровень и улучшить качество изготавливаемой техники и инструмента.

Возрастающий выпуск продукции машиностроения приводит к увеличению объема обработки металлов резанием. Применение прогрессивной технологии (точного литья, штамповки и т. п.) позволяет снизить объем механической обработки, однако ее трудоемкость продолжает оставаться значительной. Это объясняется появлением большого количества новых марок сталей, сплавов и других конструкционных материалов с особыми свойствами (высокой прочностью, большой твердостью, повышенной пластичностью), плохо поддающихся обработке резанием, а также повышенном технических параметров машин (быстроходности, нагруженности), влекущим за собой усложнение конструкции деталей.

Развитие и совершенствование обработки металлов резанием зависит от успешного выполнения ряда задач, к основным из которых относится повышение производительности обработки, ее точности. Эти показатели в значительной степени определяются размерной стойкостью режущего инструмента, тепловой деформацией, силами резания, смазочно-охлаждающей средой и другими факторами.

Готовя данный справочник, авторы поставили перед собой задачу в сжатом виде изложить новейшие сведения о резании металлов и дать конкретные практические рекомендации по выбору режимов резания при различных видах обработки.

В справочнике приводятся сведения об инструментальных материалах, смазочно-охлаждающих технологических средствах, обрабатываемости резанием различных конструкционных материалов.

Главы I, V, IX написаны В. Е. Любимовым, предисловие главы II, III, VI, VII — В. В. Коваленко, главы IV и X — Ф. Н. Абрамовым, главы VIII и XI — В. И. Романовым, главы XII и XIII — Н. П. Стародубом.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252501, Киев, 1, Крещатик, 5, издательство «Техніа».

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Для изготовления режущих инструментов применяются углеродистые инструментальные, легированные инструментальные, быстрорежущие стали, металлокерамические твердые, керамикометаллические сплавы (керметы), минералы, природные и синтетические сверхтвердые материалы (табл. I.1).

I.1. Физико-механические свойства

Свойство	Инструментальные	
	Легированная инструментальная сталь	Быстрорежущие стали
Плотность, (кг/м ³) · 10 ³	7,8	8—8,8
Твердость по Роквеллу Микротвердость по Виккерсу, МПа	HRA 58—62 —	HRA 65—70 —
Предел прочности при изгибе, МПа	2500	2000—6000
Предел прочности при сжатии, МПа	3000	2500—4000
Ударная вязкость, Дж/м ²	(5—8) · 10 ⁴	(1—6) · 10 ⁵
Теплостойкость, °С	260—300	600—700
Теплопроводность, Вт/(м · К)	—	0,0167—0,0251
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	10—12	9—12

Наибольшие прочность при изгибе и ударную вязкость имеют быстрорежущие стали. Это обеспечивает высокую формоустойчивость режущих кромок, что важно для фасонных инструментов сложной формы. Однако низкая теплостойкость не позволяет вести обработку инструментом из быстрорежущих сталей с достаточно высокой производительностью. Высокой теплостойкостью и твердостью, достаточной прочностью обладают твердые сплавы, что обеспечивает их широкое использование для режущих инструментов, но в ряде случаев из-за низкой ударной вязкости и ряда технологических особенностей обработки применение твердых сплавов для изготовления инструментов сложной формы ограничено или невозможно. Алмазы и кубический нитрид бора имеют минимальное температурное удлинение, высокую твердость и теплопроводность, что позволяет широко использовать инструменты из них для чистовой и отделочной обработки. Применение минералокерамики ограничивается ее хрупкостью, вызванной низкой ударной вязкостью, и высокой чувствительностью к тепловому удару из-за низкой теплопроводности. Более благоприятными характеристиками обладают керметы.

2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

Состав и твердость инструментальных углеродистых сталей регламентированы ГОСТ 1435—74 (табл. 1.2). Углеродистая качественная сталь маркируется буквой У и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки обозначает высококачественную сталь.

Характерной особенностью углеродистых сталей является их неглубокая прокаливаемость, что важно для инструментов, работающих в условиях ударных нагрузок. Инструменты из углеродистой стали хорошо шлифуются и доводятся, режущие кромки при этом имеют малый радиус округления (1 мкм и менее) и низкую шероховатость. Однако небольшая теплостойкость ($\sim 270^\circ\text{C}$) позволяет использовать инструменты из инструментальной углеродистой стали при низких скоростях резания — 0,1—0,2 м/с. В настоящее время эти стали применяют практически лишь для изготовления ручных инструментов (метчиков, зубил, шаберов) и фасонных инструментов для обработки некоторых неметаллических материалов.

инструментальных материалов

материалы

Твердые сплавы	Керметы	Минералокерамика	Алмазы	Кубический нитрид бора (эльбор)
8,0—15,0	4,4—4,7	3,6—4,0	3,5	3,5
HRA 88—90 (13—14) · 10 ³	HRA 90—92 —	HRA 91—94 23 · 10 ³	— 1 · 10 ³	— (8—10) · 10 ³
750—2600	300—600	250—600	300	300
3500—5900	2600—2800	1300—3000	2000—6000	—
(0,25—0,6) · 10 ⁵	—	(0,05—0,12) · 10 ⁶	—	—
800—1000	—	1200	700—800	1400—1500
0,0167—0,0879	0,0251—0,0837	0,00419—0,0209	0,1382—0,1591	—
3—7,5	7,2—7,5	6,3—9,0	0,9—1,5	—

родистой стали при низких скоростях резания — 0,1—0,2 м/с. В настоящее время эти стали применяют практически лишь для изготовления ручных инструментов (метчиков, зубил, шаберов) и фасонных инструментов для обработки некоторых неметаллических материалов.

3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Марки, химический состав и минимальную твердость после закалки инструментальных легированных сталей регламентирует ГОСТ 5950—73.

Для изготовления режущих инструментов применяют стали первой группы подгрупп: а — неглубокой прокаливаемости и а — глубокой прокаливаемости (ГОСТ 5950—73).

Основными легирующими элементами являются хром, способствующий повышению прокаливаемости и твердости, ванадий, повышающий твердость и благоприятствующий получению мелкозернистой структуры, и вольфрам, обеспечивающий повышение красностойкости и износостойкости.

1.2. Химический состав, %, и твердость инструментальной углеродистой стали (по ГОСТ 1435—74)

Марка	С	Мп для стали		НВ для термически обработанной стали, не более
		качественной	высококачественной	
У7, У7А	0,65—0,74	0,20—0,40	0,15—0,30	187
У8, У8А	0,75—0,84			
У8Г, У8ГА	0,80—0,90	0,35—0,60	0,35—0,60	
У9, У9А	0,85—0,94	0,15—0,35	0,15—0,30	192
У10, У10А	0,95—1,04			197
У11, У11А	1,05—1,14			207
У12, У12А	1,15—1,24			
У13, У13А	1,25—1,35			217

Примечания: 1. Содержание других компонентов: в качественной стали $S < 0,030$; $P < 0,035$; $Si = 0,15—0,35$; в высококачественной — $S < 0,02$; $P < 0,03$; $Si = 0,15—0,35$.
2. После закалки для всех марок $HRC \leq 62$.

Рекомендуемые марки инструментальных легированных сталей для изготовления режущих инструментов приведены ниже:

Инструмент	Марки
Фасонные резцы	9ХС, ХВГ, Х6ВФ
Фрезы	9ХС
Протяжки	ХВГ, Х6ВФ, 9ХВГ
Пилы для металла	9ХС
Спиральные сверла	9ХС
Центровочные сверла	9ХС
Зенкеры	9ХС
Развертки	9ХС, 9Х5ВФ
Резьбонарезные гребенки	9ХС
Метчики	6ХВФ, 9ХС
Плоски	9ХС
Модульные фрезы	9ХС
Долбяки	9ХС

Инструментальные легированные стали используются при обработке деталей из чугунов, конструкционных сталей и цветных сплавов. Однако из-за низкой теплостойкости (до 300° С) эти стали применяются сравнительно редко, их режущие свойства значительно ниже, чем быстрорежущих.

4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ

Быстрорежущие стали характеризуются повышенной краспостойкостью (600—650° С) и являются наиболее распространенным инструментальным материалом. Приблизительно 70 % всех металлорежущих инструментов выполняется из быстрорежущих сталей.

Марки, химический состав и технические требования к быстрорежущим сталям регламентированы ГОСТ 19265—73. Химический состав основных марок быстрорежущих сталей приведен в табл. 1.3.

**1.3. Химический состав быстрорежущих сталей в состоянии поставки,
% по массе (по ГОСТ 19265—73)**

Марка	C	Cr	W	V	Co	Mo
P6M5	0,80—0,88	3,8—4,4	5,5—6,5	1,7—2,1	—	5,0—5,5
P6M5K5	0,82—0,90	3,8—4,3	6,0—7,0	1,7—2,2	4,8—5,3	4,8—5,3
P8M3K6C	1,05—1,13	3,5—4,0	8,0—9,5	1,5—2,5	5,7—6,7	3,4—4,0
P9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	—	До 1,0
P9M4K8	1,0—1,1	3,0—3,6	8,5—9,5	2,1—2,5	7,5—8,5	3,8—4,3
P9K5	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,2—2,6	5,0—6,0	До 1,0
P9K10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,0—10,5	До 1,0
P10K5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	5,0—6,0	До 1,0
P12	0,8—0,9	3,1—3,6	12,0—13,0	1,5—1,9	—	До 1,0
P12M3Ф2K8	0,95—1,05	3,8—4,4	11,0—13,0	1,8—2,4	7,5—8,5	2,8—3,4
P18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,0—18,5	1,0—1,4	—	До 1,0
P18K5Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—19,5	1,8—2,4	5,0—6,0	До 1,0
10P6M5	1,00—1,15	3,8—4,4	5,5—6,5	1,8—2,2	—	5,5
11P3M3Ф2Б	1,00—2,10	3,8—4,4	2,5—3,0	2,1—2,7	—	2,5—3,0
P12Ф3 ЭП597	0,95—1,05	3,8—4,3	12,0—13,0	2,5—3,0	—	0,5—1,0
P6M5Ф3	0,95—1,05	3,8—4,3	5,7—6,7	2,2—2,7	—	5,5—6,0
P18Ф2K8M	0,95—1,05	3,8—4,4	17,0—18,5	1,8—2,4	7,8—8,5	0,8—1,2
P12Ф4K5	1,25—1,4	3,7—4,2	12,5—14,0	3,2—3,9	5,0—6,0	0,5—1,0
P10M4Ф3K10	1,17—1,27	3,8—4,3	10,0—11,0	3,3—3,8	9,5—10,5	3,7—4,2
P6M5Ф2K8	0,95—1,05	3,8—4,4	5,5—6,0	1,8—2,4	7,5—8,5	4,6—5,2
10P6M5K5	1,0—1,1	3,8—4,4	6,0—7,0	1,2—1,6	4,8—5,3	4,8—5,3

Примечания: 1. В стали 10P6M5, кроме указанных элементов, содержатся следующие: Zr (0,1—0,2 %); Nb (0,05—0,25 %); N (0,05—0,12 %), в стали 10P6M5K5 Nb (0,05—0,25 %).

2. В сталях всех указанных марок содержится также 0,4 % Mn (кроме сталей марок 11P3M3Ф2Б и P12Ф4K5, в которых соответственно 0,6 и 0,5 % Mn), не более 0,03 % S и P, до 0,1 % Ni, 0,1—0,5 % Si (кроме стали P8M3K6C, в которой 0,8—1,2 % Si), остальное — Fe.

В настоящее время широко применяются стали, легированные дополнительно молибденом, кобальтом и ванадием.

Повышение содержания кобальта способствует увеличению теплостойкости за счет повышенной растворимости карбидов в аустените. Одновременно увеличивается износостойкость (на 3—5 ед. *HRC* твердость после отпуска. Однако при этом заметно (на 30—50 %) уменьшается прочность при изгибе. Кроме того, стали с увеличенным содержанием кобальта имеют повышенную чувствительность к обезуглероживанию в результате нагрева при термической обработке. Увеличение содержания ванадия в стали способствует повышению ее износостойкости за счет образования комплексных карбидов железа и ванадия, отличающихся высокой твердостью (*HV* 1700—2100). Однако по этой же причине высокованадиевые стали труднее шлифуются. Молибден в быстрорежущих сталях способствует образованию мелких карбидов, которые более полно переходят в твердый раствор аустенита. При этом понижается температура закалки, уменьшается опасность появления отпущенных слоев при шлифовании инструмента.

Прочностные характеристики некоторых марок быстрорежущих сталей показаны на рис. 1.1.

Быстрорежущие стали выпускаются нормальной, повышенной и высокой теплостойкости.

К сталям нормальной теплостойкости относятся стали марок P18, P12, P9, P6M3, P6M5. Стали повышенной теплостойкости содержат 4—5 % ванадия при 9—10 % вольфрама или 6—8 % ванадия и 2 % молибдена при пони-

женном (до 4 %) содержании вольфрама; одновременно увеличивается содержание углерода в пропорции $\sim 0,2\%$ к 1% ванадия. Повышение теплоустойчивости может быть достигнуто путем легирования сталей кобальтом до 5% и ванадием — до 3—4 % при содержании вольфрама до 12 %. Хорошо зарекомендовали себя также стали с содержанием кобальта до 6—8 % при пониженном до 1,5—2 % содержании ванадия и повышенном содержании углерода до 0,95—1,5 %. К сталям повышенной теплоустойчивости относятся, например, Р9Ф5, Р6М5К5, Р10К5Ф5.

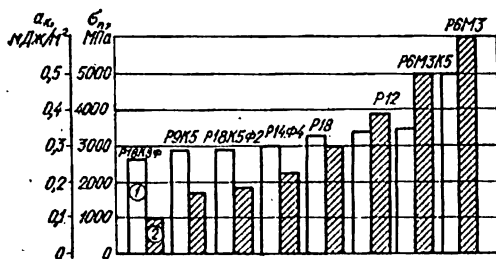


Рис. 1.1. Прочность при изгибе (I) и ударная вязкость (II) различных марок быстрорежущих сталей.

повышение твердости в зоне температур 500—600° С. Эту повышенную твердость при увеличенных температурах называют вторичной, а сам эффект — дисперсионным твердением. К быстрорежущим сталям высокой теплоустойчивости относятся Р9М4К8, Р18К5Ф5, Р10К5Ф5, Р6М5К5, Р9К10.

Назначение некоторых марок быстрорежущих сталей приведено в табл. 1.4.

1.4. Примерное назначение быстрорежущих сталей (по ГОСТ 19265—73)

Марка	Свойства	Шлифуемость	Назначение
Р18	Удовлетворительная прочность, широкий интервал закалочных температур	Удовлетворительная	Для обработки конструктивных материалов
Р12	Близка по своим свойствам к стали Р18, несколько более высокая износостойкость, повышенная пластичность при температурах пластической деформации	То же	То же
Р9	Близка по своим свойствам к стали Р18	Пониженная	Для обработки конструктивных материалов и для инструментов, не требующих большого объема шлифования
Р6М5*	Повышенная прочность, более узкий, чем у стали Р18, ин-	Удовлетворительная	То же, что и для стали Р18, предпочтительная для изготовления резбонарезного инстру-

* Выпускается также с повышенным содержанием углерода (марки 10Р6М5), вследствие чего имеет увеличенный период стойкости.

Марка	Свойства	Шлифуемость	Назначение
P18K5Ф2, P9M4K8, P6M5K5	тервал оптимальных закалочных температур, повышенная склонность к безуглероживанию Повышенная вторичная твердость и износостойкость	Пониженная	мента, работающего с ударными нагрузками Для обработки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного разогрева режущей кромки
P10K5Ф5	Повышенная вторичная твердость, высокая износостойкость	Низкая	Для обработки высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях повышенного разогрева режущей кромки
P9K5	Повышенная вторичная твердость	Пониженная, близкая к стали P9	Для обработки сталей и сплавов повышенной твердости и вязкости, пригодна для работы с ударными нагрузками
P9K10	То же	То же	Для обработки нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов, сталей повышенной твердости и вязкости
P12Ф3	Повышенная прочность и износостойкость	Пониженная	Для изготовления инструментов (резцов, зенкеров, разверток, сверл и др.), применяемых при чистовой обработке на средних режимах резания вязких аустенитных сталей, а также материалов, обладающих абразивными свойствами. Для изготовления сверл методами пластической деформации.
P6M5Ф3	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость	То же	Для изготовления инструментов (фасонных резцов, разверток, протяжек, фрез и др.), применяемых при чистовой и получистовой обработке на средних скоростях резания углеродистых и легированных конструкционных сталей

Примечание. Свойства стали P18 приняты в качестве исходных при сравнительной оценке других марок быстрорежущих сталей.

Рекомендации по применению инструментальных быстрорежущих сталей для изготовления режущего инструмента приведены в табл. 1.5.

Дополнительное легирование быстрорежущих сталей молибденом, ванадием и кобальтом, как правило, приводит к значительному сужению интервала закалочных температур по сравнению со сталью P18. Это требует строгого соблюдения технологической дисциплины при термической обработке быстрорежущих инструментов.

1.5. Рекомендуемые марки быстрорежущих сталей

Обрабатываемый материал				
	Резцы	Сверла	Развертки, зенкеры,	Метчики, плашки
Углеродистые и низколегированные стали	10P6M5, P12Ф2МЗК8*, P12Ф4К5*, P6M5K5*	P6M5, 10P6M5, P12Ф3	P6M5, 10P6M5, P6M5K5	P6M5, 10P6M5
Легированные улучшенные стали	P12Ф2МЗК8, P12Ф4К5, P6M5K5	10P6M5, P12Ф3, P6M5K5	10P6M5, P6M5K5, P9M4K8	P6M5, 10P6M5, P9M5K5
Высоколегированные конструкционные, в том числе нержавеющей стали	P12Ф2МЗК8, P12Ф4К5, P6M5K5	P6M5K5, 10P6M5, P12Ф3	P6M5K5, P9M4K8, 10P6M5	P6M5K5, 10P6M5, P6M5
Жаропрочные стали и сплавы, высокопрочные стали	P12Ф2МЗК8, P12Ф4К5, P6M5K5	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2МЗК8	P12Ф2МЗК8, P12Ф4К5, P6M5K5	10P6M5, P6M5K5, P12Ф2МЗК8

* Применяется при работе на больших скоростях резания.

** Применяется для прошивок при обработке сталей и сплавов с твердостью *HRC* 35.

С целью повышения стойкости быстрорежущих инструментов используется метод глубокого охлаждения, а также применяется дополнительная поверхностная физико-химическая обработка (жидкостное низкотемпературное цианирование, сульфидирование, сульфацианирование, электронное упрочнение). Этим видам обработки подвергаются уже заточенные инструменты.

Из перспективных марок быстрорежущих сталей следует отметить стали AP6M5 и 10AP6M5, которые являются модификациями стандартных сталей P6M5 и 10P6M5, дополнительно легированных азотом (0,06—0,09 %), что повысило вторичную твердость на 1—2 ед. *HRC*. После окончательного шлифования инструменты из этих сталей рекомендуется подвергнуть еще одному отпуску при 400—450° С с выдержкой 1,5—2 ч. Повышенными режущими свойствами (на 20—30 %) обладают стали, легированные азотом.

Весьма перспективны быстрорежущие стали, получаемые методом порошковой металлургии. Исходные заготовки при этом процессе изготавливаются путем прессования порошка, полученного при распылении расплавленной быстрорежущей стали в струе нейтрального газа. Прессование производится при температуре порядка 1150° С и давлении 9,8 МПа в течение 5—6 ч, после чего производится ковка или протяжка заготовок. В результате повышается однородность материала (карбидная неоднородность сводится к минимуму), его вязкость, уменьшаются термические деформации. Допускается легирование кобальтом (до 8 %) и ванадием (до 3 %).

5. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Металлокерамические твердые сплавы представляют собой тугоплавкие металлические соединения большой твердости, сохраняющие свои режущие свойства при высоких (до 900—1000 °С) температурах. Изделия из твердых

Инструмент				
Протяжки, прошники	Фрезы			Зуборезный инструмент
	концевые	насадные цилиндрические	дисковые	
P6M5, 10P6M5	P6M5, 10 P6M5, P6M5K5*	P6M5, 10P6M5, P6M5K5*	P6M5, 10P6M5, P6M5K5	P6M5, P6M5K5*, P9M4K8*
10P6M5, P12Ф3, P6M5K5, P12Ф2М3К8	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2М3К8	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2М3К8, P12Ф4К5	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2М3К8	P6M5K5, P9M4K8
10P6M5, P12Ф3, P6M5K5, P12Ф2М3К8**	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2М3К8	P6M5K5, P12Ф2М3К8, P9M4K8, P12Ф4К5	P6M5K5, P9M4K8, P12Ф2М3К8	P6M5K5, P9M4K8
10P6M5, P12Ф3, P12Ф2М3К8**	P12Ф2М3К8, P9M4K8, P6M5K5	P12Ф4К5, P12Ф2М3К8, P9M4K8, P6M5K5	P12Ф2М3К8, P9M4K8, P6M5K5	P9M4K8, P6M5K5

сплавов методами порошковой металлургии получают путем прессования в пресс-формах и последующего спекания смеси порошков основного режущего материала и связки.

Основой твердого сплава служат карбиды вольфрама, титана, тантала, а также могут быть использованы карбиды, нитриды, бориды и силициды металлов IV, V и VI групп периодической системы элементов Д. И. Менделеева (ванадий, хром, цирконий, ниобий, молибден, гафний). Соединения этих металлов с неметаллами отличаются высокой температурой плавления (2700—3800° С), твердостью, жаропрочностью, износостойкостью.

В качестве связки для цементирувания зерен основы в металлокерамических твердых сплавах используются кобальт, никель и сплав никеля с молибденом. Наиболее широко применяемой и оправдавшей себя в длительной эксплуатации связкой является кобальт.

Марки, химический состав и основные свойства трех групп твердых сплавов (вольфрамовых, титановольфрамовых и титанотанталовольфрамовых) регламентированы ГОСТ 3882—74. Характеристики этих сплавов приведены в табл. 1.6.

В марках металлокерамических сплавов приняты следующие обозначения: для вольфрамовой группы — В — вольфрам, К — кобальт; цифра в конце указывает процентное содержание кобальта в сплаве; для титановольфрамовой группы — Т — титан, К — кобальт, цифры после букв обозначают соответственно процентное содержание в сплаве карбида титана и кобальта, остальное — карбид вольфрама; для титанотанталовольфрамовой группы — Т первое — титан, Т второе — тантал, К — кобальт; цифры после букв обозначают соответственно процентное содержание в сплаве карбидов титана и тантала (совместно), и кобальта, остальное — карбид вольфрама.

**1.6. Характеристики твердых металлокерамических сплавов
по ГОСТ 3882—74)**

Марка	Содержание основных компонентов в смеси порошка, %				σ_H , МПа, не менее	Плотность, г/см ³	HRA, не менее
	Карбид вольфрама	Карбид титана	Карбид тантала	Кобальт			
ВК3	97	—	—	3	1176	15,0—15,3	89,5
ВК3-М							91,0
ВК4	96	—	—	4	1519	14,9—15,2	98,5
ВК4-В					1470		88,0
ВК6	94	—	—		1519	14,6—15,0	88,5
ВК6-М					1421	14,8—15,1	90,0
ВК6-ОМ	92		2	6	1274	14,7—15,0	90,5
ВК6-В	94				1666	14,6—15,0	87,5
ВК8	—	—	—	8	1666	14,4—14,8	
ВК8-В	92				1813		
ВК8-ВК			1764	14,5—14,8	87,5		
ВК10	90		—	10	1764	14,2—14,6	87,0
ВК10-М					1617	14,3—14,6	88,0
ВК10-ОМ	88		2		1470		88,5
ВК10-КС	90				1862	14,2—14,6	85,0
ВК11-В	89	—		11	1960	14,1—14,4	86,0
ВК11-ВК					1862		87,0
ВК15	85		—	15	1862	13,9—14,1	86,0
ВК20	80						20
ВК20-КС		2107	13,4—13,7	82,0			
ВК20-К		1666		79,0			
ВК25	75	30		25	2156	12,9—13,2	82,0
Т30К4	66			4	980	9,5—9,8	92,0
Т15К6	79			6	1176	11,1—11,6	90,0

Марка	Содержание основных компонентов в смеси порошка, %				σ_{II} , МПа, не менее	Плотность, г/см ³	HRA, не менее
	Карбид вольфрама	Карбид титана	Карбид тантала	Кобальт			
Т14К8	78	14		8	1274	11,2—11,6	89,5
Т5К10	85	6	—	9	1421	12,4—13,1	88,5
Т5К12	83	5		12	1666	13,1—13,5	87,0
ТТ7К12	81	4	3	12		13,0—13,3	
ТТ8К6	84	8	2	6	1323	12,8—13,3	90,5
ТТ10К8-Б	82	3	7	8	1617	13,5—13,8	89,0
ТТ20К9	71	8	12	9	1470	12,0—13,0	

Дополнительные буквенные обозначения: М — мелкозернистая структура сплава в изделиях; ОМ — особо мелкозернистая структура сплава в изделиях; К — крупнозернистая структура сплава в изделиях, получаемая по специальной технологии; В — спекание сплава в атмосфере водорода.

Сравнение обозначений марок твердых сплавов по МС ИСО и ГОСТ приведено ниже.

МС ИСО	ГОСТ 3882—74	МС ИСО	ГОСТ 3882—74
P01	T30K4	K20	BK6, BK4
P10	T15K6	K30	BK8, BK4
P20	T14K8	K40	BK8, BK15
P25	TT20K9	M05	BK6-OM
P30	T5K10, TT10K8-Б	M10	BK6-М, ТТ8К6
P40	T5K12, TT7K12	M20	TT10K8-Б
P50	TT7K12	M30	TT10K8-Б, BK10-OM, BK10-М, BK8
K01	BK3, BK3-М	M40	BK8, TT7K12, BK10-OM
K05	BK6-OM		
K10	BK6-М, ТТ8К6		

Правила приемки твердосплавных изделий для обработки резанием должны соответствовать требованиям ГОСТ 20019—74.

Стойкость твердосплавного инструмента в 3—5 раз выше стойкости инструмента из быстрорежущих сталей (рис. 1.2), что позволяет увеличить производительность обработки в 1,5—2,5 раза и более.

Удельный вес твердосплавного инструмента в общем объеме составляет свыше 30 %, а на передовых предприятиях для некоторых видов инструментов достигает 50—80 %.

Обобщенные рекомендации по применению твердых сплавов при обработке резанием приведены в табл. 1.7.

Разработаны и проходят производственные испытания безвольфрамовые твердые сплавы; их составы и некоторые свойства приведены в табл. 1.8 [51].

Институтом проблем материаловедения АН УССР разработаны карбидохромовые твердые сплавы, основной фазой которых является карбид хрома и связкой — никель: КХН10, КХН15, КХН20, КХН25, КХН30, КХН35, КХН40.

Цифры в маркировке указывают процентное содержание никеля, остальное — карбид хрома. Карбидохромовые твердые сплавы имеют плотность — 6,6—7,0 г/см³; твердость *HRA* — 80—90; прочность при изгибе — 392—690 МПа, сжатии — 2750—3440 МПа; коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$ — 11,1—13,3.

Практически все безвольфрамовые (включая карбидохромовые) твердые сплавы, обладая достаточно высокой твердостью и теплостойкостью, отличаются высокой хрупкостью и по эксплуатационной надежности уступают вольфрамо-содержащим сплавам. Применяются для чистового точения и растачивания цветных металлов, реже — для сталей в условиях жесткой системы СПИД.

Освоен выпуск твердосплавных пластин с покрытием. Материалом покрытия служит карбид титана или его нитрид, наносимые слоем толщиной 5—10 мкм на рабочие поверхности. Такой слой обладает высокой твердостью, большой прочностью на сжатие и адгезионной стойкостью. Это резко снижает интенсивность изнашивания инструментов (особенно в условиях преобладающего изнашивания передней поверхности) без изменения эксплуатационной прочности твердого сплава. Стойкость таких инструментов, в частности резцов, увеличивается до 3—4 раз. При обработке легированных и труднообрабатываемых сталей применяется дополнительное покрытие нитридом (карбонитридом) титана.

Повышению прочностных характеристик твердого сплава способствует алмазное шлифование рабочих поверхностей пластин. По данным института сверхтвердых материалов АН УССР (ИСМ АНУССР),

Рис. 1.2. Соотношение стойкости резцов из быстрорежущей стали и твердых сплавов при обработке сталей различных марок:

1 — обрабатываемость сталей; 2 — отношение стойкости твердосплавного резца к стойкости быстрорежущего.

сопротивление изгибу и ударная вязкость при этом увеличиваются на 20—50 %.

В ИСМ АН УССР разработан также способ термической обработки твердых сплавов с целью повышения их прочностных характеристик (табл. 1.9).

1.7. Назначение твердых сплавов при обработке резанием

Марка	Вид обработки	Обрабатываемые материалы
ВКЗ	Чистовое точение и растачивание, окончательное нарезание резьбы при отсутствии вибраций, равномерном охлаждении или без него	Серые и высокопрочные чугуны, цветные металлы и сплавы, подшипниковые железо- и медно-графитовые сплавы
ВКЗ-М	То же	Твердые, легированные и отбеленные чугуны, цементированные и закаленные стали
ВК4	Получистовое и чистовое точение и растачивание нормальных и глубоких отверстий, чистовое фрезерование, зенкерование	Серые и высокопрочные чугуны, цветные металлы и сплавы, титановые сплавы

Марка	Вид обработки	Обрабатываемые материалы
ВК6	Черновое и получерновое точение и растачивание, предварительное парезание резьбы, получистовое фрезерование, рассверливание и зенкерование отверстий	Серые и высокопрочные чугуны, цветные сплавы, неметаллические материалы
ВК6М	Получистовое точение и растачивание, чистовое фрезерование	Жаропрочные и нержавеющей стали аустенитного класса, твердые чугуны и бронзы, легкие сплавы
ВК6-ОМ	Чистовая и получистовая обработка в основном точением	Твердые, легированные и отбеленные чугуны, закаленные стали, нержавеющей стали, жаропрочные и высокопрочные сплавы, сплавы на основе вольфрама и молибдена
ВК8	Черновое точение при неравномерном сечении среза, прерывистом резании с ударами, черновое строгание и фрезерование, сверление, зенкерование, черновое парезание резьбы, зубофрезерование	Чугуны всех марок, кроме высоколегированных и отбеленных, нержавеющей стали, высокопрочные и жаропрочные стали и сплавы, титановые сплавы, цветные сплавы
ВК10-М	Сверление, зенкерование, развертывание, фрезерование, зубофрезерование мелкогабаритным и цельнотвердосплавным инструментом	Некоторые марки труднообрабатываемых сталей, неметаллические материалы
ВК10-ОМ	Черновая обработка точением, фрезерованием, сверлением, зенкерованием, зубофрезерованием, изготовление цельнотвердосплавного инструмента	Сплавы на основе титана, вольфрама, молибдена
ВК15	Все виды обработки	Древесина, древесностружечные материалы
Т30К4	Тонкое точение и растачивание без вибраций в условиях жесткой системы СПИД без охлаждения или с равномерным охлаждением	Незакаленные и закаленные углеродистые и легированные стали
Т15К6	Получерновое и черновое точение, чистовое точение при прерывистом резании, парезание резьбы резцами, фрезерование сплошных поверхностей, чистовое зенкерование	Углеродистые и легированные стали
Т14К8	Черновое точение и растачивание при неравномерном сечении среза, черновое фрезерование, зенкерование литых и кованых отверстий	То же

Марка	Вид обработки	Обрабатываемые материалы
T5K10	Черновое точение и растачивание при прерывистом резании, фасонное точение, отрезка резцами, черновое фрезерование прерывистых поверхностей	Углеродистые и легированные стали
T5K12, TT7K12	Черновое точение, фрезерование и строгание поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами, песком, шлаковыми включениями	То же
TT10K8Б, TT8K6	Черновая и полуставовая обработка точением и фрезерованием	Труднообрабатываемые стали аустенитного класса, маломагнитные стали, жаропрочные сплавы, в том числе на основе титана
TT20K9	Обработка при наличии тепловых и механических циклических нагрузок, например фрезерование глубоких пазов	Сталь, стальное литье

1.9. Влияние термической обработки на предел прочности

Режим термической обработки	ВК6		ВК8
	σ_{II}	σ_{II}	σ_{II}
Исходное состояние	1780	0,024	1870
Закалка от 1000 °С в воде	1920/108	—	1960/106
Закалка от 1000 °С в масле, охлаждение при 40°С	1900/107	—	1860/100
Закалка от 1200 °С в воде	1760/90	0,027/112	2000/107
Закалка от 1200 °С в масле	2000/112	0,029/121	2080/111
Нагрев до 1200 °С, охлаждение на воздухе	1770/100	0,022/92	—

Примечание. В числителе приведена абсолютная величина, в знаменателе —

Эффективен разработанный в Ленинградском политехническом институте способ вибрационной поверхностной обработки твердых сплавов, позволяющий увеличить в ряде случаев эксплуатационную стойкость инструментов в 1,5 раза. Упрочняемые пластины помещаются в контейнер, колеблющийся с амплитудой 0,5—8 мм и частотой 25 Гц. Обработка проводится по схеме: абразивная обработка плавленным электрокорундом с последующим упрочнением твердосплавными шариками диаметром 8—12 мм в 5 %-ном водном растворе кальцинированной соды.

1.8. Состав и свойства безвольфрамовых твердых сплавов

Марка	Состав, %					Плотность, г/см ³	HRA	σ _H	σ _{сж}
	TiC	TiN	(Ti, Nb)C	Ti (C, N)	Связка Ni, Mo			МПа	
TM1	—	—	90	—	10	5,8	91,5	785	—
TM3	—	—	64	—	36	5,9	89	1177	—
TNM20	79	—	—	—	21	5,5	90	1079	3433
TNM25	74	—	—	—	26	5,7	90	1275	3384
TNM30	70	—	—	—	30	5,9	89	1374	3335
КТНМ30А	26	42	—	—	32	5,8	88	1471	3237
КТНМ30Б	43	25	—	—	32	5,9	87,5	1716	3286
КНТ16	—	—	—	74	26	5,8	89	1079	3826

Твердые сплавы для обработки металлов резанием выпускаются в виде пластин, применяемых в основном для напайного инструмента. Такие пластины по ГОСТ 2209—69 обозначаются четырехзначными номерами, где первые две цифры указывают номер формы, две последние — порядковый номер изделия по размерам; правые и двусторонние изделия обозначаются четными, левые — нечетными номерами.

при изгибе, МПа, и ударную вязкость, МДж/м³ [17]

a_k	BK25		BK8-B	
	σ_H	a_k	σ_H	a_k
0,026	1980	0,041	2030	0,028
0,027/104	—	—	207/102	0,029/103
0,024/92	2260/114	0,052/127	2110/104	0,032/114
0,027/104	—	—	2130/105	0,030/107
0,031/120	2060/104	0,044/108	2360/116	0,036/128
—	—	—	—	—

процент к исходному состоянию.

Твердосплавные пластины для режущего инструмента, закрепляемые механически, регламентируются ГОСТ 19042—80 (СТ СЭВ 555—77). Они классифицируются по форме (табл. 1.10), наличию и величине заднего угла (табл. 1.11), классу допуска (табл. 1.12), конструктивным особенностям, (табл. 1.13), размерам пластины, форме вершины, исполнению режущей кромки, направлению резания.

Технические условия на оменные многогранные твердосплавные пластины установлены ГОСТ 19086—80 (СТ СЭВ 202—75). Режущие пластины изготов-

I.10. Обозначение форм режущих пластин (по ГОСТ 19042—80)

Группа	Форма		Обозначение	
			буквенное	цифровое
I. Равносторонние и равноугольные	Шестигранная		H	11
	Восьмигранная		O	—
	Пятигранная		P	10
	Круглая		R	12
	Квадратная		S	03
	Трехгранная		T	01
II. Равносторонние и неравноугольные	Ромбическая с углом при вершине	80°	C	04
		55°	D	13
		75°	E	—
		86°	M	—
		35°	V	—
	Шестигранная с углом при вершине	80°	W	02
	III. Неравносторонние и равноугольные	Прямоугольная		L
IV. Неравносторонние и неравноугольные	Параллелограммная с углом при вершине*	85°	A	—
		82°	B	—
		55°	K	08
		84°	F	07

* Обозначается наименьший угол при вершине.

I.11. Обозначение заднего угла (по ГОСТ 19042—80)

Обозначение		Величина заднего угла, ...°	Обозначение		Величина заднего угла, ...°	Обозначение		Величина заднего угла, ...°
цифровое	буквенное		цифровое	буквенное		цифровое	буквенное	
A	7	3	E	4	20	N	1	0
B	8	5	F	5	25	P	3	11
C	2	7	G	9	30	O*	0	—
D	6	15						

* Обозначает задние углы, отличающиеся от указанных в данной таблице.

1.12. Обозначение класса допуска пластин (по ГОСТ 19042—80)

Буквенное	A	F	C	H	E	G	J	K	L	M	U
Цифровое	—	—	4	—	5	3	—	—	—	2	1

1.13. Обозначение конструктивных особенностей пластин (по ГОСТ 19042—80)

Обозначение		Конструктивные особенности
цифровое	буквенное	
1	N	Без стружколомающих канавок и отверстия
3	A	Без стружколомающих канавок и с отверстием
2	R	С односторонними стружколомающими канавками и без отверстия
4	M	С односторонними стружколомающими канавками и с отверстием
6	F	С двусторонними стружколомающими канавками и без отверстия
5	G	С двусторонними стружколомающими канавками и с отверстием
7	X	С особенностями, требующими точного объяснения, чертежа или описания

1.14. Предельные отклонения размеров, мм (по ГОСТ 19042—80)

Обозначение классов допусков		Контролируемые параметры		
цифровое	буквенное	Расстояние от вершины до вписанной окружности m	Толщина пластины s	Диаметр вписанной окружности d
—	A	$\pm 0,005^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
—	F	$\pm 0,005^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
4	C	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
—	H	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
5	E	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
3	G	$\pm 0,025$	$\pm 0,130$	$\pm 0,025$
—	J	$\pm 0,005^*$	$+ 0,025$	От $\pm 0,050$ до $\pm 0,130^{**}$
—	K	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	От $\pm 0,050$ до $\pm 0,130^{**}$
—	L	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	От $\pm 0,050$ до $\pm 0,130^{**}$
2	M	От $\pm 0,08$ до $\pm 0,18^{**}$	$\pm 0,130$	От $\pm 0,050$ до $\pm 0,130^{**}$
1	U	От $\pm 0,13$ до $\pm 0,38^{**}$	$\pm 0,130$	От $\pm 0,080$ до $\pm 0,250^{**}$

* Предельные отклонения используются, как правило, у смежных пластин с шлифованными фасками.

** Предельные отклонения размеров m и d — в зависимости от диаметра вписанной окружности.

ливаются из твердых сплавов ВКЗМ, ВК6, ВК6-ОМ, ВК10-ОМ, ТТ20К9 ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8Б, Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4 по ГОСТ 3882—74. Предельные отклонения пластин приведены в табл. 1.14.

6. МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Минералокерамические инструментальные материалы получают путем специальной обработки порошкообразных минералов (технической окиси алюминия Al_2O_3). Свойства наиболее распространенных отечественных марок минералокерамики приведены в табл. 1.15.

1.15. Физико-химические свойства минералокерамики

Марка	Наименование	Плотность, г/см ³	Твердость HRA	Предел проч- ности при из- гибе, МПа
ЦМ332	Оксидная	3,85	90	300—400
ВШ	»	—	—	500—600
ВЗ	Оксидно-карбидная	4,5—4,6	92—94	450—700
ВОК-60	То же	4,2—4,3	92—94	600—750
ВОК-63	» »	—	92—93	650—750

Широкое признание в настоящее время получил минералокерамический материал — микролит ЦМ332. Большая твердость и теплостойкость минералокерамики обеспечивают ее высокие режущие свойства, однако все ее марки имеют низкую эксплуатационную прочность из-за малого предела прочности, высокой хрупкости и чувствительности к перепаду температур. Все это делает возможным применение минералокерамики лишь в условиях безударного резания при отсутствии вибраций и равномерном припуске, в частности при чистовой обработке на станках с ЧПУ.

Промежуточное положение между твердыми сплавами и минералокерамикой занимают керамикометаллические материалы (керметы), состоящие из твердых тугоплавких соединений (окислов, карбидов, боридов) с добавлением металлической связки.

7. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛОВ

В машиностроении для изготовления режущих лезвийных и абразивных инструментов широко используются природные и синтетические минералы. Из природных минералов наиболее широко применяются алмаз, кварц, корунд, из синтетических — алмазы, кубический нитрид бора, электрокорунд, карбид бора, карбид кремния. По многим показателям синтетические материалы превосходят природные. Основные свойства минералов, применяемых при обработке резанием, приведены в табл. 1.16.

Для лезвийной обработки применяются природные, синтетические алмазы и кубический нитрид бора, для абразивной — природные и синтетические алмазы, кубический нитрид бора, корунд и электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, окись алюминия, окись хрома, окись железа, а также горные породы (например, разновидности мрамора).

Лезвийные инструменты изготавливаются из крупных, не имеющих изъянов природных алмазов или из поликристаллов синтетических сверхтвердых материалов (табл. 1.17) [11].

Поликристаллы синтетических алмазов выпускаются типа баллас по ТУ 2-037-19—70 (АСБЗ и АСБ4 для изготовления выглаживателей) и

типа карбонадо по ТУ 2-037-96—73 (АСПК1 и АСПК3 для изготовления выглаживателей и АСПК2 — для резцов). Они представляют собой поликристаллические образования размером до 12 мм прочно связанных кристаллов, обладающих высокой прочностью и износостойкостью. Как режущий материал алмаз обладает высокой стойкостью и низким коэффициентом трения в паре с металлом, что обеспечивает высокое качество поверхности. Алмазы применяются (природные и синтетические) для точного точения и растачивания деталей из цветных сплавов. Для обработки углеродсодержащих металлов (чугунов, сталей) алмазы не используются, так как из-за химического сродства обрабатываемого и инструментального материалов происходит интенсивное изнашивание алмазных резцов.

Материалы на основе нитрида бора представляют собой кристаллическую кубическую (КНБ) или вюрцитоподобную (ВНБ) модификацию соединения бора с азотом, синтезируемую по технологии, аналогичной производству синтетических алмазов. За счет варьирования технологическими факторами получают несколько различных друг от друга материалов на этой основе — эльбор, кубонит, гексанит и др. Поликристаллы на основе нитрида бора получают размером до 12 мм; применяются они для обработки сталей и сплавов на основе железа.

1.16 Основные свойства минералов

Свойство	Алмаз	Карбид бора	Карбид кремния	Электрокорунд	Кубический нитрид бора
Плотность, г/см ³	3,48—3,56	2,48—2,52	3,12—3,20	3,93—4,01	3,44—3,49
Микротвердость, МПа	98100	36295—42180	29430—32370	17660—25500	73575—83380
Модуль упругости, МПа	882900	290380	358070	—	706320
Предел прочности, МПа	1960	1765	1470	745	490
при сжатии	206—481	206—274	49—150	78—88	—
при изгибе	0,1465	0,0105	0,0155	0,0197	—
Теплопроводность при 0 °С, Вт/(м · К)	0,9—1	4,5	6,5	7,5	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$	800,	2300	2600	1700	1500
Термостойкость, °С					

1.17. Классификация синтетических сверхтвердых поликристаллов

Группа	Способ получения	Состав	Марка	Страна-изготовитель
Синтетические поликристаллы алмаза (СПА)	Синтез из графита	Алмаз, графит, металл-катализатор, его карбиды и окислы	АСБЗ, АСБ4, АСБР, АСПК1, АСПК2, АСПКЗ	СССР
	Спекание алмазных порошков, сопровождающееся промежуточным фазовым переходом	Алмаз	СВ-20, СВСП, дисмнт Мегадаймонд	СССР США
			Новотипс	ФРГ
Синтетические поликристаллы нитрида бора (СПНБ)	Синтез из смеси гексагонального и других модификаций нитрида бора	КНБ (преимущественно), нитриды и бориды металла-катализатора	Эльбор-Р, белбор	СССР
	Спекание смеси порошков КНБ, ВНБ	ВНБ, КНБ	ПТНБ	СССР
	Спекание порошков ВНБ	ВНБ (преимущественно), КНБ	Гексант-Р	СССР
Композиты	Спекание смеси порошков алмаза и КНБ или ВНБ, сопровождающееся частичным фазовым переходом	Алмаз и КНБ	СВАБ ПКНБ АС. Компакт	СССР Япония
	Спекание порошков алмаза с металлической, в том числе твердосплавной, пластинкой — двухслойный комплекс	Алмазный слой на металлической основе	ДАП, полиблок, серпакс-Р, диатип, сандайт, компакт	СССР, ФРГ, Бельгия, Франция, США
	Спекание порошков КНБ с пластинкой твердого сплава — двухслойный комплекс	Слой кубического нитрида бора на металлической основе	Брикет	США

ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

1. РАБОЧИЕ ДВИЖЕНИЯ

Относительное движение инструмента и заготовки в процессе резания характеризуется принципиальной кинематической схемой резания [41]. При наиболее распространенных видах обработки резанием используется сочетание элементарных движений — прямолинейного поступательного и вращательного.

В табл. II.1 приведена классификация кинематических схем резания, включающая восемь групп. В пределах этих восьми групп возможны приблизительно 300 принципиальных кинематических схем резания, однако, практическое применение нашли пока только 30 схем. Возможны сочетания четырех и более элементарных движений, но из-за чрезвычайной сложности процесса практическое использование таких схем весьма ограничено.

Процесс резания может быть осуществлен лишь при одновременном действии всех предусмотренных кинематической схемой абсолютных движений, которые вследствие этого определяются как главные. В зависимости от соот-

II.1. Классификация принципиальных кинематических схем резания

Группа	Количество движений		Примеры обработки
	прямо- линей- ных	враща- тель- ных	
I	1	—	Протягивание, строгание, долбление
II	2	—	Резание ленточными пилами, строгание пространственных поверхностей по копиру
III	—	1	Круговое протягивание сегментов
VI	1	1	Точение (обтачивание, растачивание, подрезание, про- резание, отрезка), обработка резьбы резцами, гребен- ками, метчиками, плашками, сверление, зенкерование, развертывание, фрезерование торцовыми и цилиндри- ческими фрезами, обработка тел вращения плоскими и протяжками, шлифование плоскостей
V	—	2	Обработка тел вращения фрезами и спиральными про- тяжками, зубофрезерование конических шестерен и чер- вячных колес, обработка на карусельно-фрезерном станке
VI	2	1	Заточивание режущих инструментов, точение по копиру
VII	1	2	Фрезерование винтовых канавок на цилиндрических и конических поверхностях, зубодолбление цилиндри- ческих шестерен с винтовыми зубьями, обработка ци- линдрических шестерен червячными фрезами
VIII	—	3	Обработка конических зубчатых колес с круговыми зубьями

ношения скоростей главные движения разделяют на движение резания, непрерывно действующую подачу и дополнительное движение, которое обуславливает кинематическое соотношение движений заготовки и инструмента с целью получения нужной конфигурации поверхности изделия.

Движение резания, определяющее скорость деформирования материала и отделения стружки, осуществляется с наибольшей скоростью.

Скорость резания при вращательном движении

$$v = \omega D/2, \quad (II.1)$$

где ω — угловая скорость, рад/с; D — диаметр заготовки или инструмента, м. Если используется частота вращения n , мин⁻¹, то

$$v = \frac{\pi D n}{60}.$$

На станках с прямолинейным движением резания после каждого прямого (рабочего) хода, во время которого отделяется стружка, происходит обратный (обычно холостой) ход для возвращения инструмента в исходное положение.

Скорость резания при поступательном движении

$$v = L n (k + 1), \quad (II.2)$$

где L — расчетная длина хода инструмента или заготовки, м; n — частота ходов, с⁻¹; k — отношение скоростей рабочего (v_p) и холостого (v_x) ходов.

Движение подачи (подача) обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в новые слои материала заготовки. Подача измеряется обычно в миллиметрах на один оборот или один двойной ход инструмента или заготовки, иногда в миллиметрах в секунду (в минуту). При этом $s_m = s n$, где s_m — минутная подача, мм/мин; s — подача на один оборот, мм/об; n — частота вращения, об/мин.

Большинство методов обработки основано на реализации только главных движений и не требует для своего осуществления никаких дополнительных движений. Наряду с этим есть и такие методы обработки, для осуществления которых требуется, кроме главных движений, использование дополнительных, не предусмотренных принципиальными кинематическими схемами.

В табл. II.2 приведены принципиальные кинематические схемы для наиболее распространенных методов обработки резанием.

Движение резания может быть простым и составным. Составное движение резания складывается из основного и дополнительных движений. Траектория простого движения резания представляет собой прямую линию (строгание, долбление, протягивание) или дугу окружности (круговое протягивание), траектория составного движения — винтовую линию (продольное точение, сверление), спираль Архимеда (поперечное точение), циклоиду (фрезерование), винтовую эллиптическую кривую (фрезерование резьбы, долбление винтовых зубчатых колес) и пр. Скорость резания определяется как векторная сумма скоростей основного и дополнительных движений:

$$\vec{v} = \vec{v}_o + \vec{v}_n + \vec{v}_d, \quad (II.3)$$

где $\vec{v}_o$ — скорость главного движения; $\vec{v}_n$ — скорость подачи; $\vec{v}_d$ — скорость дополнительного движения.

2. ПАРАМЕТРЫ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

В процессе обработки резанием на заготовке выделяют три поверхности: обрабатываемую, обработанную и поверхность резания.

Большинство существующих методов обработки построены таким образом, что обработанная поверхность представляет собой совокупность отдельных небольших участков поверхности резания (рис. II.1). Лишь незначительное количество методов обработки дает обработанную поверхность как отдельную поверхность резания (протягивание; обработка резьбы резцом, метчи-

ком, плашкой; профильное точение). При этом обработанная поверхность формируется последними зубьями многозубого инструмента (протяжка, метчик, плашка) или режущими кромками однозубого инструмента при последнем ходе резания (резьбовой и профильный резцы).

Обработанная поверхность представляет собой плоскость (строгание, долбление, поперечное точение, фрезерование), цилиндрическую или коническую поверхность (обтачивание, растачивание), винтовую поверхность (обработка резьбы)*.

Материал, срезаемый в виде стружки (припуск на обработку), обычно отделяется от заготовки частями, которые получили название срезаемый слой. Он имеет три измерения: ширину, толщину и длину. Ширина срезаемого слоя характеризуется длиной режущей кромки, отделяющей материал, толщина — движением подачи, длина — движением резания.

Толщина срезаемого слоя определяется расстоянием между двумя поверхностями резания (или между двумя ближайшими участками одной поверх-

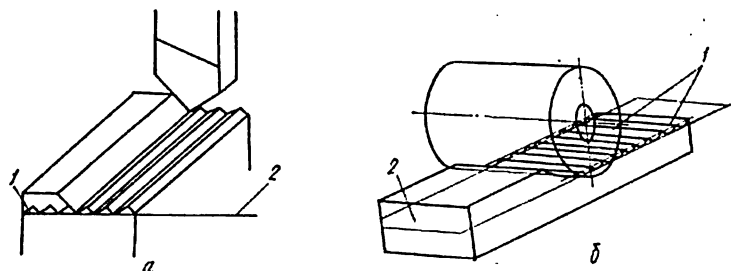


Рис. 11.1. Образующие действительной (1) и заданной (2) поверхностей при форме режущей кромки, отличной от формы образующей (а) и совпадающей с формой образующей (б).

ности резания) и должна измеряться в направлении нормали N_0 к поверхности резания в рассматриваемой точке режущей кромки (рис. 11.2). Если режущая кромка описывает поверхность резания

$$\Phi_{0v}(x_{0v}, y_{0v}, z_{0v}) = 0, \quad (11.4)$$

то нормаль A_0N_0 в точке $A_0(x_A, y_A, z_A)$ этой поверхности описывается формулой

$$(x - x_A)/(\partial\Phi_{0v}/\partial x) = (y - y_A)/(\partial\Phi_{0v}/\partial y) = (z - z_A)/(\partial\Phi_{0v}/\partial z). \quad (11.5)$$

Нормаль пересекает поверхность резания в точке $A_2(x_2, y_2, z_2)$, координаты которой удовлетворяют уравнениям (11.4) и (11.5). Тогда толщина срезаемого слоя в точке A_0 режущей кромки равна расстоянию между двумя поверхностями резания (или двумя витками поверхности резания), которое отсчитывается в направлении нормали A_0N_0 (рис. 11.2) и определяется по формуле

$$a = \sqrt{(x_2 - x_A)^2 + (y_2 - y_A)^2 + (z_2 - z_A)^2}, \quad (11.6)$$

где x_2, y_2, z_2 — координаты точки пересечения нормали к последовательному положению поверхности резания; x_A, y_A, z_A — координаты рассматриваемой точки режущей кромки.

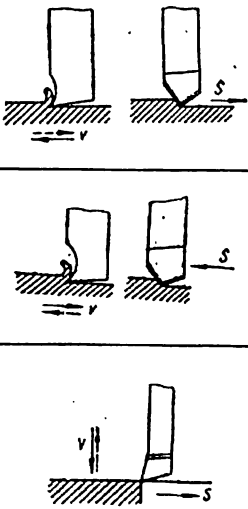
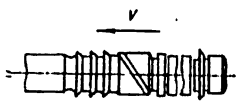
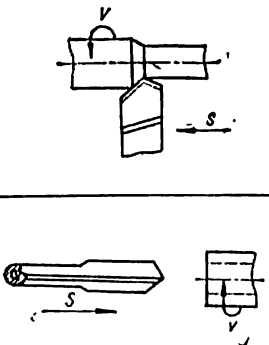
* Реальные обработанные поверхности всегда отличаются от идеальных геометрических образов вследствие несовершенства процесса обработки.

II.2. Кинематические схемы для основных

Группа кинематической схемы	Наименование инструмента и станка	Характер движения	
		инструмента	заготовки
I	Строгальный резец; продольно-строгальный станок	Неподвижен в процессе резания	Прямолинейное возвратно-поступательное
	Строгальный резец; поперечно-строгальный станок	Прямолинейное возвратно-поступательное	Неподвижна
	Долбежный резец; долбежный станок		
	Протяжка; протяжной станок		
IV	Проходной токарный резец; токарный станок	Прямолинейное поступательное параллельно оси заготовки	Вращательное
	Ружейное и винтовое сверло, расточный резец, метчик*, плашка; токарный станок		

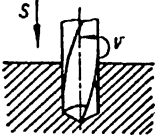
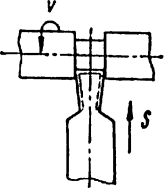
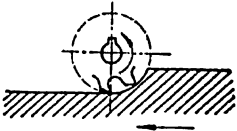
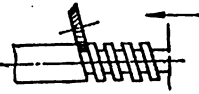
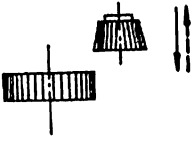
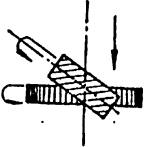
* При обработке метчиками и плашками движение подачи обуславливается конст-

видов обработки резанием

Связь между движениями	Траектория рабочего движения	Эскиз метода обработки
Подача происходит прерывисто в то время, когда резец не находится в контакте с заготовкой	Прямая	
Движения подачи обусловлено конструкцией инструмента		
Оба движения происходят одновременно	Винтовая линия	

ручкой инструмента.

Группа кинема- тической схемы	Наименование инструмента и станка	Характер движения	
		инструмента	заготовки
	Винтовое сверло, зен- кер, развертка, метчик; сверлильный и расточ- ный станки	Вращательное и прямолинейное по- ступательное	Неподвижна
	Отрезной, прорезной и профильный резцы; токарный станок	Прямолинейное по- ступательное	Вращательное
	Фреза; фрезерный и расточный станки	Вращательное	Прямолинейное по- ступательное
VII	Резьбовая фреза; резь- бофрезерный станок	Вращательное и по- ступательное	Вращательное
	Дисковый долбяк; зубо- долбежный станок		
	Червячная фреза; зубо- фрезерный станок.		

Связь между движениями	Траектория рабочего движения	Эскиз метода обработки
Оба движения происходят одновременно	Винтовая линия	
	Удлиненная или укороченная циклоида	
		
Три движения происходят одновременно	Винтовая эллиптическая кривая	
	Винтовая линия на поверхности кругового цилиндра, накрученного на другой цилиндр	
		

Вычисление толщины срезаемого слоя по формуле (II.6) во многих случаях весьма затруднено, особенно для криволинейной режущей кромки и криволинейной траектории движения подачи.

Наиболее просто и точно толщина срезаемого слоя вычисляется, когда нормаль к поверхности в точке A_0 (рис. II.2) одновременно является нормалью в точке A_2 . Это возможно лишь при прямолинейном поступательном движении прямолинейной режущей кромки.

В значительном числе случаев при определении толщины срезаемого слоя можно пренебречь влиянием переднего угла, угла наклона режущей кромки

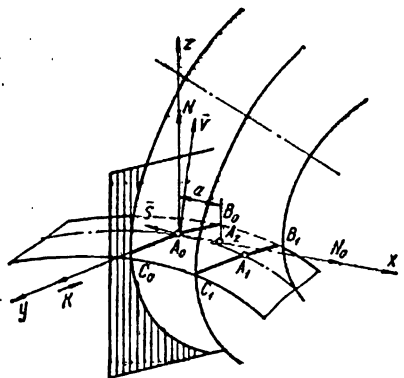


Рис. II.2. Схема определения толщины и ширины срезаемого слоя.

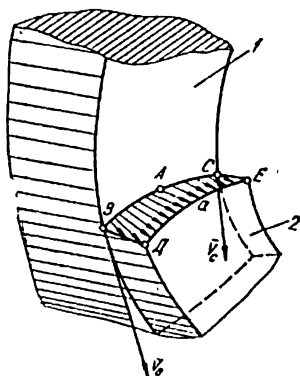


Рис. II.3. Поперечное сечение срезаемого слоя:
1 и 2 — поверхности резания.

и угла подъема винтовой поверхности резания, т. е. решение пространственной задачи свести к плоской.

Вектор $\vec{a}$ толщины срезаемого слоя в общем случае имеет переменное значение вдоль режущей кромки и образует векторное поле, представляющее поперечное сечение срезаемого слоя (II.3).

Для большинства режущих инструментов поперечное сечение срезаемого слоя располагается на криволинейной поверхности. Поскольку вектор $\vec{a}$ нормален к поверхности резания в данной точке режущей кромки, то он всегда перпендикулярен к векторам $\vec{v}$ и $\vec{K}$ (см. рис. II.2), лежащим в плоскости, касательной к поверхности резания.

Длина режущей кромки BC (рис. II.3), на протяжении которой приложен вектор $\vec{a}$, является шириной срезаемого слоя.

Если уравнение режущей кромки в параметрической форме $x_1 = x_1(t)$; $y_1 = y_1(t)$; $z_1 = z_1(t)$, где t — параметр кривой режущей кромки, то ширина срезаемого слоя определяется как длина отрезка кривой между точками B и C :

$$b = \int_{t_B}^{t_C} \sqrt{(dx_1/dt)^2 + (dy_1/dt)^2 + (dz_1/dt)^2} dt.$$

Здесь t_B и t_C — параметры, отвечающие начальной B и конечной C точкам режущей кромки, контактирующей с заготовкой.

8. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Режущие инструменты, применяемые для обработки материалов, могут быть ручными и машинными.

Инструмент состоит из рабочей и крепежной частей. Рабочая часть в свою очередь подразделяется на режущую и калибрующую. Режущая часть непосредственно внедряется в материал заготовки и срезает стружку. Калибрующая не является необходимой частью всех режущих инструментов. Она предназначена для образования режущей части при заточке, окончательного формирования обработанной поверхности, направления инструмента.

С помощью крепежной части инструмент удерживается в руках рабочего или закрепляется на станке.

Режущая часть любого инструмента представляет собой клиновидное тело, ограниченное передней и задней поверхностями. По передней поверхности *1* сходит стружка (рис. 11.4); задняя поверхность *2* обращена к поверхности резания. Линия пересечения передней и задней поверхностей образует режущую кромку инструмента. Совокупность углов, определяющих положение в пространстве рабочих поверхностей и режущих кромок инструмента, составляет его геометрические параметры.

Различают геометрические параметры инструмента в покое (статические углы, углы заточки) и в движении (кинематические или рабочие углы).

Статические углы инструмента используются при его изготовлении и заточке, кинематические — реализуются в процессе резания. Между этими углами существуют определенные соотношения, позволяющие назначать статические углы в зависимости от установки и движения инструмента относительно заготовки в процессе резания.

В качестве исходной координатной поверхности для определения рабочих углов инструмента принята поверхность резания. Рабочие углы инструмента измеряют в плоскости резания, основной плоскости и секущих плоскостях. Плоскость резания — это плоскость, касательная к траектории данной точки режущей кромки. Основная плоскость — это плоскость, нормальная к вектору скорости резания в данной точке режущей кромки. Нормальная секущая плоскость — плоскость, перпендикулярная к режущей кромке в данной точке. Угол λ наклона режущей кромки измеряется в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью (рис. 11.5). Он равен нулю, если вектор скорости резания перпендикулярен к режущей кромке (рис. 11.5, а).

Угол λ наклона режущей кромки определяет соотношение скоростей движения $\vec{v}_n$ и $\vec{v}_k$. Скорость движения $\vec{v}_n$ точки *A* направлена по нормали к режущей кромке, а скорость $\vec{v}_k$ — по касательной к ней (рис. 11.6). Угол λ может быть различным вдоль режущей кромки и может изменяться в каждой точке режущей кромки. Эти изменения сказываются на условиях образования и отвода стружки.

Если режущая кромка перпендикулярна к вектору $\vec{v}$ скорости резания, то ширина срезаемого слоя характеризуется величиной b_0 и толщиной — a_0 (рис. 11.7). В том случае, когда положение режущей кромки изменяется относительно вектора $\vec{v}$ путем его поворота на угол λ (рис. 11.8) при той же толщине срезаемого слоя a_0 , двигаясь со скоростью $\vec{v} = \vec{v}_n + \vec{v}_k$, режущая кромка срезает слой шириной $b_\lambda = b_0 / \cos \lambda$. По сравнению с режущей кромкой, перпендикулярной к вектору скорости резания, такая кромка имеет

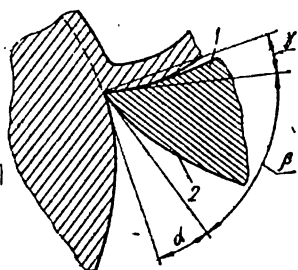


Рис. 11.4. Элементы режущей части инструмента:

1 — передняя поверхность; 2 — задняя поверхность.

меньшую нормальную скорость резания ($v_n = v \cos \lambda$), получает скорость вдоль режущей кромки ($v_k = v \sin \lambda$) и изменяет направление движения стружки по передней поверхности. В результате стойкость режущей части инструмента увеличивается.

Криволинейная режущая кромка находится в затрудненных условиях работы, так как скорости v_n и v_k различны для различных ее точек, что вызывает дополнительную деформацию стружки.

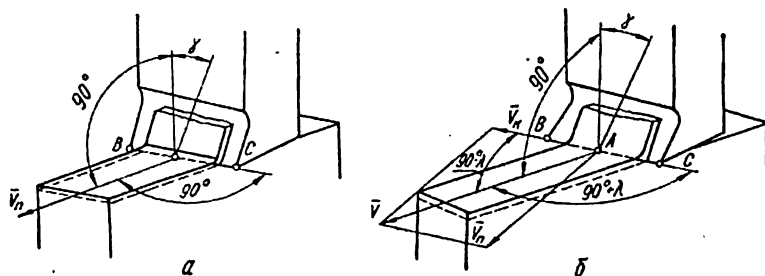


Рис. 11.5. Схема определения угла наклона режущей кромки:
а — $\lambda = 0$; б — $\lambda \neq 0$.

Для прямой режущей кромки угол λ определяет отклонение стружки от нормали к режущей кромке. При криволинейной режущей кромке угол λ не характеризует направления движения стружки по передней поверхности. Это объясняется тем, что в зависимости от дополнительной деформации, вызванной изменением составляющих скорости вдоль режущей кромки, стружка может не только отклоняться от расчетного направления, но и,

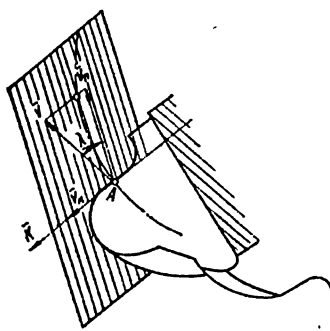


Рис. 11.6. Положение режущей кромки относительно вектора скорости $\vec{v}$ ее движения, определяемое углом λ .

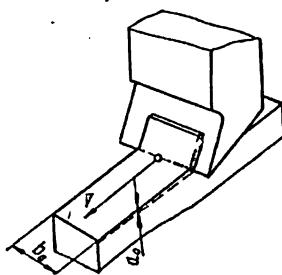


Рис. 11.7. Простейший вариант отделения стружки режущей кромкой.

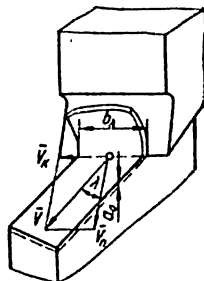


Рис. 11.8. Вариант отделения стружки режущей кромкой, осуществляющий движение со скоростями $\vec{v}_n$ и $\vec{v}_k$.

разрываясь на отдельные части, перемещаться по передней поверхности в различных направлениях.

Действительный угол λ_p наклона для любой точки главной режущей кромки токарного резца можно найти по формуле

$$\sin \lambda_p = \cos \varphi \cos \lambda \sin \sigma + \sin \varphi \cos \lambda \cos \sigma \sin \varepsilon + \sin \lambda \cos \sigma \cos \varepsilon, \quad (11.7)$$

где σ — угол между векторами номинальной $\vec{v}$ и истинной $\vec{v}_n$ скорости резания; $\text{tg } \sigma = s/(\pi D)$; φ — статический главный угол в плане; $\varepsilon = \arcsin(h/p)/h$ — смещение точки M по высоте относительно центра вращения заготовки.

Острота режущего клина и его размещение относительно поверхности резания определяется задним α (угол между задней поверхностью инструмента и поверхностью резания) и передним γ (угол между передней поверхностью и основной плоскостью) углами (рис. 11.4). Основная плоскость проводится нормально к вектору скорости резания в каждой точке режущей кромки. Угол заострения β измеряется между передней и задней поверхностями инструмента. Направление измерения действительного заднего угла должно совпадать с поверхностью движения или с касательной к ней плоскостью.

При продольном точении, сверлении, зенкерении и развертывании поверхностью движения является круговой цилиндр, при поперечном точении, фрезеровании, строгании — плоскость, при зубофрезеровании — тор и т. д. Схема определения заднего угла в процессе резания приведена на рис. 11.9.

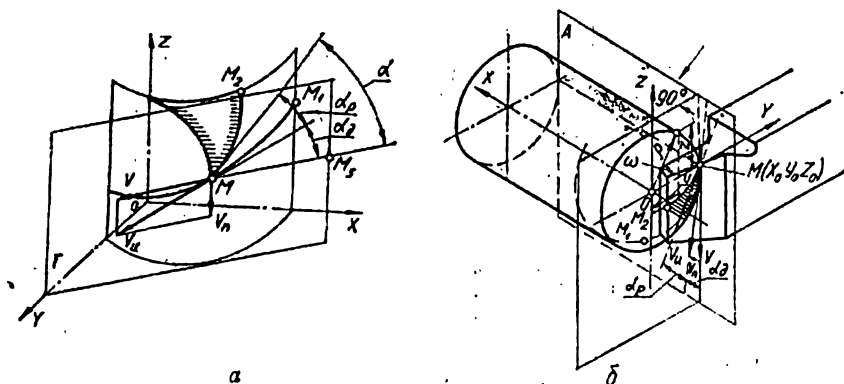


Рис. 11.9. Схема определения действительного заднего угла.

Действительный задний угол α_p измеряется между касательной к траектории рабочего движения данной точки режущей кромки и касательной к следу пересечения задней поверхности инструмента поверхностью движения. Как видно из рис. 11.9, а, действительный задний угол α_p меньше статического заднего на угол между векторами номинальной $\vec{v}$ и истинной $\vec{v}_n$ скоростей резания, называемый задним углом движения α_d .

При продольном точении действительный задний угол для любой точки главной режущей кромки резца (рис. 11.9, б) определяется по формуле

$$\cos \alpha_p = \frac{s/(2\pi) (\cos \varphi \sin \varepsilon - \text{tg } \alpha \cos \varepsilon) + \rho \sin \varphi}{\sqrt{\sin^2 \varphi + (\cos \varphi \sin \varepsilon - \text{tg } \alpha \cos \varepsilon)^2} \sqrt{[s/(2\pi)]^2 + \rho^2}}, \quad (11.8)$$

где s — подача, мм; ρ — радиус поверхности движения, на которой лежит траектория рассматриваемой точки M ; φ — статический главный угол в плане; α — статический задний угол.

Действительный главный угол в плане φ_p измеряется между касательной к главной режущей кромке в рассматриваемой точке и вектором $\vec{v}_n$ скорости подачи (рис. 11.10). От значения этого угла зависят размеры площадки кон-

такта стружки с передней поверхностью инструмента. Угол φ_p определяется по формуле $\cos \varphi_p = \cos \varphi \cos \lambda$.

Аналогична формула для определения действительного вспомогательного угла в плане φ_{1p} .

Действительный передний угол следует измерять в направлении схода стружки по передней поверхности инструмента, между плоскостью S , касательной к передней поверхности, и плоскостью P , нормальной к вектору истинной скорости резания v_n (рис. II.11). Направление схода стружки MM_2 составляет с перпендикуляром MM_3 к режущей кромке в точке M угол η , который зависит от действительного угла наклона режущей кромки λ_p .

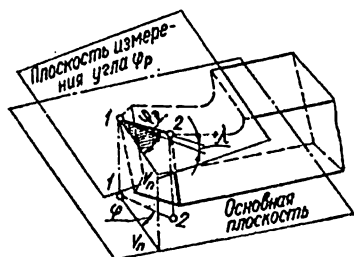


Рис. II.10. Схема определения действительного главного угла в плане.

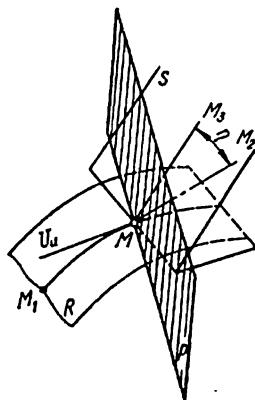


Рис. II.11. Схема определения действительного переднего угла.

В случае обтачивания действительный передний угол

$$\sin \gamma_p = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \lambda_p} [\sin (\varphi + \lambda'_p) \sin \sigma + \cos (\varphi + \lambda'_p) \times \cos \sigma \sin \varepsilon] + \sin \gamma \cos \lambda_p \cos \sigma \cos \varepsilon, \quad (II.9)$$

где $\lambda' = \arctg (\tg \lambda_p / \cos \gamma)$.

Действительный передний угол можно измерять также в направлении MM_3 , перпендикулярном к режущей кромке (рис. II.11) между передней поверхностью и плоскостью, нормальной к вектору истинной скорости резания.

Глава III

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

1. ПРОЦЕСС СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

Процесс резания характеризуется структурной схемой, которая включает входные и выходные параметры. Входные (первичные) параметры задаются конструктором (материал, размеры и допуски детали) и технологом (станок, приспособление, инструмент, технологическая среда, элементы режима резания). Вторичные (выходные) параметры, определяющие результаты выполнения механической обработки, включают такие эксплуатационные характеристики детали, как точность и качество поверхности, стойкость и прочность инструмента, производительность и экономичность обработки.

Процесс резания определяется характером стружкообразования, который оказывает решающее влияние на работоспособность инструмента, производительность труда и качество изделия.

Превращение срезаемого слоя в стружку происходит в зоне стружкообразования *ЛОМ* (рис. III.1). Объем зоны стружкообразования зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента,

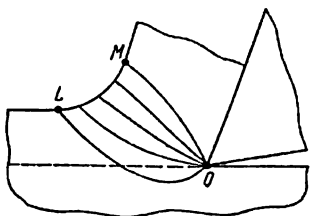


Рис. III.1. Схема линий скольжения в зоне стружкообразования.

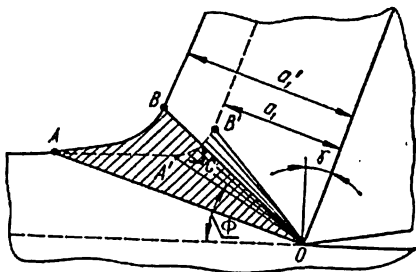


Рис. III.2. Схема процесса плоского стружкообразования.

режима резания. Чем больше пластичность металла, тем больше этот объем. При резании хрупких металлов, например, чугуна, толщина зоны стружкообразования очень мала.

С увеличением скорости резания объем зоны стружкообразования резко уменьшается (от *OAB* до *OA'B'*). Это приводит к снижению степени пластической деформации и уменьшению толщины стружки (от α_1 до α'_1). При высокой скорости резания зона стружкообразования сужается настолько, что пластические деформации можно считать происходящими в плоскости пластических сдвигов *ОС*, расположенной под условным углом сдвига Φ (рис. III.2).

В зависимости от условий резания образуется стружка: элементная, суставчатая, сливная, надлома (рис. III.3). Элементная стружка (рис. III.3, а), состоящая из отдельных не связанных между собой частиц, образуется при резании твердых и маловязких металлов с малой скоростью резания.

Суставчатая стружка (рис. III.3, б) состоит из прочно связанных между собой частиц, которые хорошо обозначены зубцами на внутренней стороне; прирезцовая сторона стружки — гладкая. Суставчатая стружка получается при резании стали и других пластичных металлов со средней скоростью.

Сливная стружка (рис. III.3, в), представляющая собой ленту с гладкой блестящей прирезцовой поверхностью и малозаметными зубцами на внутренней стороне, получается при резании стали и других металлов с высокой скоростью. Для образования сливной стружки требуется затратить меньше энергии, обработанная поверхность получается чище. Однако сливная стружка может быть опасна для рабочего, повреждает обработанную поверхность, трудно транспортируется из зоны резания и от станка (см. параграф 5 гл. III).

Стружка надлома (рис. III.3, г) образуется при резании хрупких материалов (чугуна, бронзы, керамики) и состоит из отдельных мало деформиро-

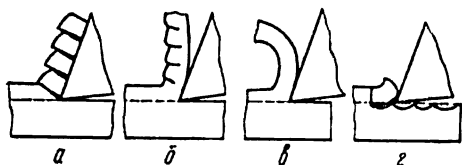


Рис. III.3. Типы стружки:

а — элементная; б — суставчатая; в — сливная; г — надлома.

ванных шероховатых частиц различной формы и величины. Обработанная поверхность получается шероховатой с зазубринами и вырывами.

Образование сливных стружек происходит при установившемся процессе пластического течения. Обтекая режущий клин, часть деформированного материала перемещается по передней поверхности и превращается в стружку, а другая часть (ниже линии среза) — по задней поверхности, образуя поверхностный слой детали (рис. III.4). Условно в деформированном объеме выделяют несколько зон с различными характеристиками напряженно-деформированного состояния материала [44].

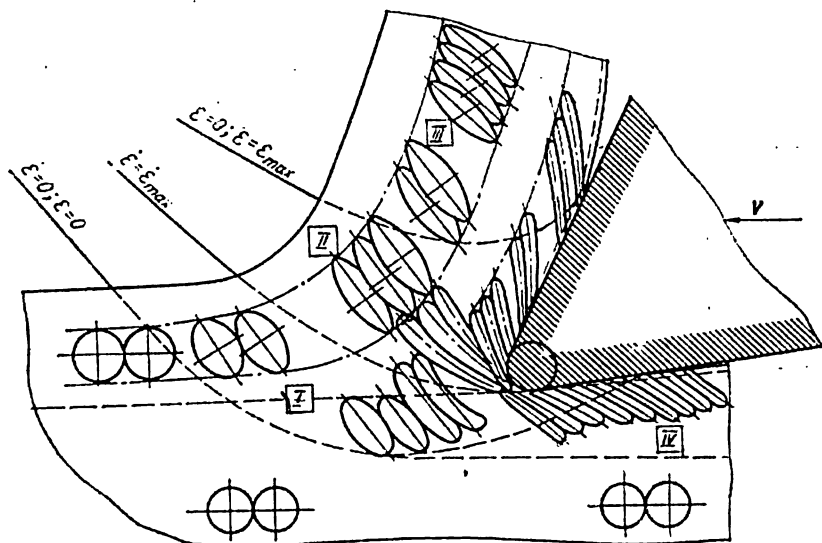


Рис. III.4. Схема процесса деформирования материала при образовании сливной стружки.

В зоне I упругих и малых пластических деформаций зерна металла слегка вытягиваются и поворачиваются, появляется текстура. Напряжения в зоне достигают предела текучести. Начальная граница зоны характерна тем, что относительная деформация ε и скорость деформации $\dot{\varepsilon}$ равны нулю. Конечная граница первой зоны представляет собой поверхность, на которой скорость деформации достигает максимума ($\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_{\max}$).

Зона II характеризуется наибольшей интенсивностью деформации. Зерна металла максимально вытягиваются, поворачиваются и перемещаются. Четко выявляется текстура. На площадках контакта стружки и заготовки с передней и задней поверхностями вследствие торможения силами трения происходит дополнительное деформирование, а также частичное снятие округленной режущей кромкой. Расположение конечной (верхней) границы второй зоны зависит от скорости резания, толщины срезаемого слоя, свойств обрабатываемого материала, условий резания. После этой границы материал полностью деформирован и переходит в стружку. Напряженно-деформированное состояние материала во второй зоне характеризуется большими (конечными) пластическими деформациями, меньшими скоростями деформации $\dot{\varepsilon}$, увеличенной интенсивностью деформаций $\dot{\varepsilon}_i$ и напряжений σ_i .

Вблизи режущей кромки возникает сетка микротрещин. Вытянутые волокна обрабатываемого материала разрываются у вершины режущего клина, длина трещины становится соизмерима с толщиной срезаемого слоя. Если при резании пластичных металлов трещина выходит на наружную поверхность второй зоны, образуется стружка скалывания (элементарная или суставчатая). При образовании стружки надлома происходит хрупкое разрушение и трещина, распространяющаяся со скоростью, близкой к скорости звука, полностью отделяет частицу стружки от основного материала. Распространяясь ниже линии среза, трещины вызывают появление на обработанной поверхности вырывов и зазубрин.

В зоне III деформированный металл переходит в стружку. Сливная и суставчатая стружка может сходиться в виде прямой ленты, которая при помощи специальных устройств заливается или дробится.

Зона IV — поверхностный слой обработанной детали. Обработанная поверхность характеризуется шероховатостью, а поверхностный слой — особыми физическими свойствами, значительно отличающимися от свойств исходного материала заготовки.

При резании пластичных металлов на передней поверхности инструмента, у режущей кромки и над ней образуется нарост, который состоит из упрочненного обрабатываемого металла и имеет форму скошенного клина с притупленной вершиной (рис. III.5). Твердость нароста в 2—3 раза превосходит исходную твердость обрабатываемого материала.



Рис. III.5. Нарост при резании стали.

Потому нарост может выполнять роль режущей кромки. При этом увеличивается действительный передний угол, что способствует уменьшению степени пластической деформации и теплообразования в зоне резания; силы резания и мощность уменьшаются. Нарост способствует образованию задиров на обработанной поверхности, а частицы разрушенного нароста, запрессованные в поверхность, увеличивают шероховатость.

Нарост не появляется при резании малопластичных, хрупких металлов, когда образуется элементарная стружка и стружка надлома. Образование нароста можно избежать, увеличивая передний угол, тщательно заточивая инструмент, используя СОЖ, нагревая зону резания.

Величина нароста и частота его разрушений в большой мере определяются скоростью резания. Так, при обработке конструкционной углеродистой стали нарост наблюдается в диапазоне скоростей от 0,1 до 1 м/с. При скорости 0,4—0,5 м/с он достигает наибольшей величины.

Усадка стружки характеризуется коэффициентом усадки, который определяется по формуле

$$\xi_l = l/l_1 = f_1/f = \xi_f,$$

где ξ_l и ξ_f — коэффициенты усадки соответственно по длине и площади; l и f — соответственно длина и площадь поперечного сечения срезаемого слоя ($f = ab$); l_1 и $f_1 = a_1 b_1$ — соответственно длина и площадь поперечного сечения стружки (рис. III.6); a и b — соответственно толщина и ширина срезаемого слоя; a_1 и b_1 — соответственно толщина и ширина стружки. Зависимость между коэффициентом усадки и условным углом сдвига Φ выражается формулой

$$\xi = \cos(\Phi - \gamma)/\sin \Phi. \quad (\text{III.1})$$

В результате преобразований формулы (III.1) можно получить выражение для определения условного угла сдвига:

$$\operatorname{tg} \Phi = \cos \gamma / (\zeta - \sin \gamma). \quad (\text{III.2})$$

Относительный сдвиг в стружке

$$g = (\zeta^2 - 2\zeta \sin \gamma + 1) / (\zeta \cos \gamma). \quad (\text{III.3})$$

Из зависимости относительного сдвига от коэффициента усадки для различных передних углов (рис. III.7) следует, что усадка стружки лишь внешне

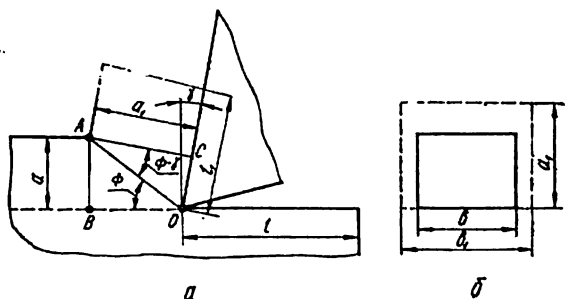


Рис. III.6. Схема определения усадки стружки в продольном (а) и поперечном (б) сечениях.

отражает пластические деформации при стружкообразовании, но коэффициент усадки нельзя использовать в качестве количественной характеристики степени деформации.

Коэффициент усадки стружки в большой степени зависит от свойств обрабатываемого материала (табл. III.1). Чем пластичнее металл, тем легче он деформируется и тем больше его усадка. Хрупкие металлы, имеющие малое сопротивление отрыву, претерпевают незначительные пластические деформации и стружка получает малую усадку. При обработке весьма прочных, но мало пластичных титановых сплавов усадка стружки мала.

III. 1. Усадка стружки при обработке различных материалов

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/с	Коэффициент усадки
Молибденовый сплав ВМ-1, кованный	1—1,7	7,3—5
Медь ($\sigma_n = 245$ МПа)	1,1	6,5
Сталь 20Х (НВ 135)	1—1,7	3,4—2,9
Сталь 40 ($\sigma_n = 630$ МПа)	1,1—2,3	2,2—2,1
Титановый сплав ВТ2 ($\sigma_n = 1075$ МПа)	0,1—1	1,4—0,7
Чугун серый (НВ 210)	0,03—6,7	1,2

Значительное влияние на усадку стружки оказывают скорость резания, передний угол, толщина срезаемого слоя и СОЖ. При резании пластичных металлов коэффициент усадки изменяется немонотонно с увеличением скорости резания (рис. III.8). Это объясняется влиянием пароста и изменяющегося коэффициента трения.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ

Направление силы резания $\vec{P}_R$ не совпадает с направлением движения резания. На рис. III.9 а—в показаны схемы сил резания соответственно при продольном и поперечном точении и при строгании. Результирующая сила $\vec{P}_R$ раскладывается на составляющие

$$\vec{P}_R = \vec{P}_z + \vec{P}_y + \vec{P}_x \quad (\text{III.4})$$

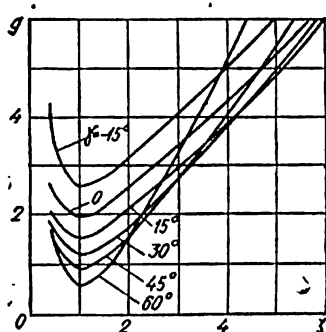


Рис. III.7. Связь между усадкой стружки и относительным сдвигом при различных передних углах.

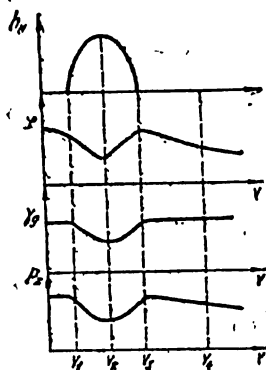


Рис. III.8. Влияние скорости резания на высоту нароста h_n , коэффициент усадки ξ , действительный передний угол γ_d , тангенциальную силу резания P_z .

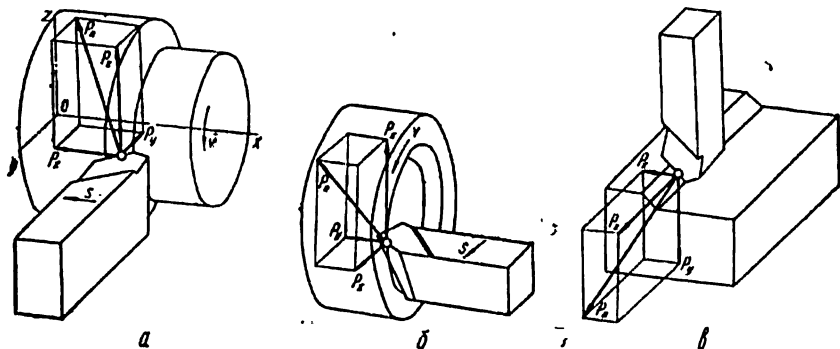


Рис. III.9. Схемы сил резания.

или

$$P_R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \quad (\text{III.5})$$

где P_z — тангенциальная (главная) сила резания; P_y — нормальная сила резания; P_x — сила подачи.

Ось oz совпадает с вектором скорости резания, ось oy — нормальная к обработанной поверхности, ось ox совпадает с направлением подачи.

Силы P_y и P_x могут быть определены по следующим приближенным формулам:

для быстрорежущих резцов ($v \leq 1$ м/с)

$$P_y = (0,4 \dots 0,6) P_z; \quad P_x = (0,3 \dots 0,5) P_z;$$

для резцов, оснащенных твердыми сплавами ($v > 1$ м/с),

$$P_y \approx P_x \approx (0,3 \dots 0,4) P_z.$$

Сила P_y не выполняет полезной работы, так как направление ее действия перпендикулярно к направлениям рабочих движений инструмента. Работа силы P_x весьма мала, так как скорость перемещения (подача) в этом направлении значительно меньше скорости резания. При определении мощности N , затрачиваемой на резание, влиянием силы P_x пренебрегают:

$$N = P_z v, \quad (III.6)$$

где N — мощность, Вт; P_z — сила резания, Н; v — скорость резания, м/с.

При расчете мощности сверления и фрезерования следует использовать формулу

$$N = M \omega,$$

где M — момент, Н·м; ω — угловая скорость, рад/с.

Для ориентировочного определения силы резания можно применять простейшую формулу

$$P_z = p F, \quad (III.7)$$

где p — удельная сила резания, Па; F — площадь поперечного сечения срезаемого слоя, м².

При обработке стали и высокопрочного перлитного чугуна

$$p \approx 3\sigma_B, \quad (III.8)$$

где σ_B — предел прочности при растяжении, Па; серого чугуна

$$p \approx 0,6 HB. \quad (III.9)$$

Для экспериментального определения сил резания применяют электрические, гидравлические и механические динамометры. Наибольшее распространение получили электрические динамометры: индуктивные, емкостные, пьезоэлектрические, с проволочными датчиками сопротивления. Электрические динамометры компактны, достаточно чувствительны, малоинерционны и обеспечивают высокую точность измерения в широком диапазоне изменения сил.

Широко используется универсальный динамометр Б. И. Мухина (УДМ) с проволочными датчиками. Он может применяться для одновременного измерения составляющих сил резания и крутящего момента при различных видах обработки (точение, сверление, фрезерование).

Гидравлические динамометры конструктивно просты, но громоздки, имеют малую чувствительность, большую инерционность. Поэтому они применяются редко и не пригодны для регистрации быстро изменяющихся сил резания.

Сила резания зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются: 1) размеры сечения срезаемого слоя; 2) скорость резания; 3) геометрические параметры и шероховатость режущей части инструмента; 4) степень затупления инструмента; 5) род и механические свойства обрабатываемого материала; 6) структурное состояние обрабатываемого материала; 7) материал режущей части инструмента; 8) смазка или охлаждение режущей части инструмента в процессе резания. Влияние ряда факторов (1, 2, 3, 5) на силы резания может быть выражено математическими формулами, влияние остальных (4, 6, 7, 8) — учитывается с помощью поправочных коэффициентов.

Зависимость силы резания от размеров сечения срезаемого слоя является основой для расчета оптимальных режимов резания, элементов станка, приспособлений и инструментов. Эта зависимость описывается эмпирической формулой

$$P_z = K_z b^{x_{P_z}} a^{y_{P_z}}, \quad (III.10)$$

где K_z — коэффициент, зависящий от условий процесса резания (факторы 2—8); b — ширина срезаемого слоя; a — толщина срезаемого слоя. Показатель степени x_{P_z} равен или весьма близок к единице, а показатель y_{P_z} находится в пределах от 2/3 до 3/4.

Зависимость удельной силы резания от толщины срезаемого слоя можно найти, если в формулу (III.7) подставить P_z из уравнения (III.10), учитывая, что $x_{P_z} = 1$, $F = ba$:

$$P = K_z/a^{1-y_{P_z}}. \quad (III.11)$$

Формулы (III.10) и (III.11) выражают основную силовую зависимость для различных видов обработки лезвийными инструментами (точение, строгание, протягивание, сверление, фрезерование). Для каждого вида обработки выводятся частные формулы, учитывающие влияние подачи и глубины резания на силу резания, крутящий момент. Запись этих формул зависит от вида режущих инструментов, формы и расположения режущих кромок и кинематики процесса резания (см. гл. VIII).

Влияние скорости резания на силу резания учитывается при обработке стали твердосплавными резцами и может быть описано графически (рис. III.10). С увеличением скорости резания сила P_z сначала уменьшается, а затем, пройдя минимум, несколько увеличивается и, достигнув максимума, при скорости v_0 снова уменьшается. При увеличении скорости резания свыше 6—7 м/с (400 м/мин) сила P_z практически не изменяется. Такое изменение силы резания обычно связывают с изменением действительного переднего угла, коэффициента трения и усадки стружки [62].

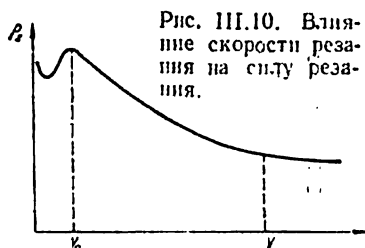


Рис. III.10. Влияние скорости резания на силу резания.

III.2. Показатели степени в формулах (III.13) и (III.14)

Показатель степени	Материал реза	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
q_z	0,8—0,9	1,0
q_y	2—4	
q_x	2,5—4,5	
l_z	—0,18	—0,18 ($\varphi < 55^\circ$)* 0,22 ($\varphi > 55^\circ$)*
l_y	—0,85	—0,13** —1,2*
l_x	0,4	+0,85**

- * При обработке стали.
- ** При обработке чугуна.

В интервале скорости резания от 1 до 6,5 м/с (60—400 м/мин) сила резания определяется по формуле

$$P_z = C v^n, \quad (III.12)$$

где $n = -1/8 \dots -1/6$ (в нормативах принято $n = -0,15$); C — постоянная.

Наибольшее влияние на силу резания оказывают передний угол γ и главный угол в плане φ . Это влияние учитывается с помощью поправочных коэффициентов, которые определяются по формулам вида

$$P_i = C_i (90 - \gamma)^{q_i}; \quad (III.13)$$

$$P_i = C_\varphi \varphi^{l_i}, \quad (III.14)$$

где $i = z, y, x$; q_i ; l_i — показатели степени (табл. 2).

Влияние угла наклона и радиуса переходной режущей кромки на силы резания учитывается поправочными коэффициентами, значение которых приведено в табл. III.3 [55].

Затупление инструмента при обработке стали сначала приводит к некоторому уменьшению, а затем к увеличению сил резания. При обработке чугуна силы резания растут непрерывно с увеличением высоты площадки износа по задней поверхности.

Влияние обрабатываемого материала на силы резания учитывается приближенными эмпирическими зависимостями, которые действительны для однородных групп материалов (углеродистая конструкционная сталь, серый чугун и т. д.).

III.3. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров реза на составляющие силы резания при точении и строгании заготовок из стали и чугуна

Составляющая силы резания	Угол наклона главной режущей кромки $\lambda, \dots^\circ$				Радиус переходной режущей кромки $r, \text{мм}^{**}$				
	-5	0	5	10	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0
P_z	1,0				0,87	0,93	1,0	1,04	
P_y	0,75	1,0	1,25	1,7	0,66	0,82	1,0	1,14	
P_x	1,07	1,0	0,85	0,65	1,0				

* Для твердосплавного реза.

** Для реза из быстрорежущей стали.

Поправочный коэффициент на силу резания, учитывающий влияние обрабатываемого материала,

$$\text{для стали } K_{MP_z} = (\sigma_b/750)^{n_{P_z}};$$

$$\text{серого чугуна } K_{MP_z} = (HB/190)^{n_{P_z}};$$

$$\text{ковкого чугуна } K_{MP_z} = (HB/150)^{n_{P_z}}.$$

Показатели степени для различных материалов и инструментов приведены в гл. VIII.

3. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПЕРЕДнюю И ЗАДнюю ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

Особенности контакта стружки и поверхности резания с передней и задней поверхностями инструмента оказывают значительное влияние на силы резания и затупление инструмента. Ширина площадки контакта стружки с передней поверхностью инструмента увеличивается с увеличением толщины срезаемого слоя.

Удельные контактные нагрузки на передней поверхности инструмента можно рассчитать по формулам

$$\tau_F + F/f_0; \quad \sigma_N = N/f_0,$$

где τ_F и σ_N — удельные касательная и нормальная нагрузки; F и N — касательная и нормальная сила на передней поверхности; f_0 — площадь контакта стружки с передней поверхностью.

Средний коэффициент трения μ можно представить как отношение касательной и нормальной удельной силы:

$$\mu = F/N = \tau_F/\sigma_N,$$

откуда $\tau_F = \mu\sigma_N$.

Нормальная удельная нагрузка возрастает от нуля в месте отрыва стружки от инструмента до максимума у режущей кромки (рис. III.11). Касательная удельная нагрузка, возрастая от нуля в месте отрыва стружки, резко замедляет свой рост в середине контакта и дальше остается почти постоянной. На длине $s - s_1$ имеет место упругий контакт, на длине s_1 — пластический. На участке s_1 прирезовый слой стружки тормозится и удельные касательные силы остаются постоянными: $\tau_F = \tau_S = \text{const}$. Тогда $\mu = \tau_F/\sigma_N =$

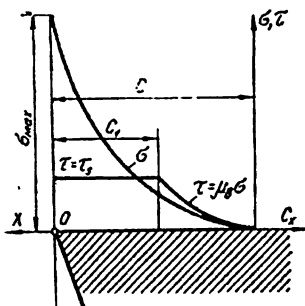


Рис. III.11. Эпюры нормальных и касательных удельных нагрузок на передней поверхности инструмента.

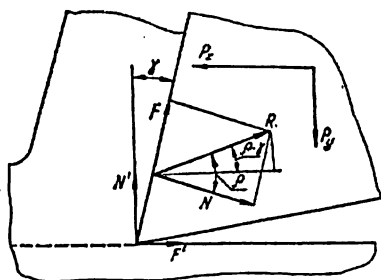


Рис. III.12. Схема сил, действующих на резец.

$= \text{const}/\sigma_N$, т. е. средний коэффициент трения является показателем, зависящим в основном от нормальной удельной нагрузки. При этом с увеличением нормальной удельной силы средний коэффициент трения резко уменьшается.

Практически при любых условиях резания на части площадки контакта стружки и передней поверхности реза происходит внешнее скольжение. В результате средний коэффициент трения является комплексной характеристикой напряженного состояния нижних слоев стружки и внешнего трения. При этом с увеличением нормальной силы средний коэффициент трения уменьшается.

Зависимость между силами, действующими на поверхностях инструмента, и внешними силами определяется формулами

$$P_z = F' + R \cos(\rho - \gamma); \quad (\text{III.15})$$

$$P_y = N' + R \sin(\rho - \gamma), \quad (\text{III.16})$$

где R — сила стружкообразования; F' — сила трения на задней поверхности; N' — нормальная сила на задней поверхности; ρ — угол трения на передней поверхности (рис. III.12).

Сила стружкообразования вычисляется как сумма нормальных и касательных сил, действующих на передней поверхности инструмента, т. е.

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{F} \quad \text{или} \quad R = \sqrt{N^2 + F^2}.$$

4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ

Работа резания затрачивается на диспергирование (отрыв стружки и образование новых поверхностей); упругие деформации, которые преобразуются в затухающие упругие колебания; пластические деформации срезаемого и поверхностного слоя; трение по передней и задним поверхностям инструмента.

Работа диспергирования и работа упругих сил малы по сравнению с общей работой резания и ими можно пренебречь.

При резании стали работа пластической деформации составляет в среднем 46—62 %, работа сил трения по передней поверхности—38—33 %, по задней — 16—5 % от общей работы резания.

Работа сил трения и большая часть работы пластического деформирования переходят в тепло. Лишь небольшая часть энергии деформирования (0,5—5 %) накапливается в форме потенциальной энергии искаженной кристаллической решетки.

В результате при резании лишь 0,5—3 % механической энергии затрачивается полезно, остальные 99,5—97 % превращаются в тепло.

Источниками возникновения тепла при резании являются: зона пластической деформации; площадка контакта стружки с передней поверхностью инструмента; площадка контакта задних поверхностей инструмента с поверхностью резания и обработанной поверхностью.

Тепло распределяется между стружкой, заготовкой, инструментом и непосредственно излучается в окружающую среду.

Рис. III.13. Упрощенная схема тепловых потоков.

Уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$Q_0 = Q_d + Q_{т.п} + Q_{т.з} = Q_c + Q_3 + Q_{II} + Q_{0.c} \quad (\text{III.17})$$

где Q_0 — общее количество тепла при резании; Q_d — тепло пластического деформирования; $Q_{т.п}$ — тепло трения на передней поверхности; $Q_{т.з}$ — тепло трения на задних поверхностях; Q_c — тепло, передаваемое стружке; Q_3 — тепло, переходящее в заготовку; Q_{II} — тепло, переходящее в инструмент; $Q_{0.c}$ — тепло, излученное в окружающую среду.

Упрощенная схема тепловых потоков показана на рис. III.13. Тепло, эквивалентное работе пластической деформации, распределяется между стружкой $Q_{д.с}$ и заготовкой $Q_{д.з}$. Тепло, возникающее в результате трения по передней поверхности, уходит в стружку $Q_{т.п.с}$ и в инструмент $Q_{т.п.н}$.

Количество тепла, поступившего в заготовку, стружку и инструмент, определяется по формулам

$$Q_3 = Q_{д.з} + Q_{т.з.з};$$

$$Q_c = Q_{д.с} + Q_{т.п.с};$$

$$Q_{II} = Q_{т.п.н} + Q_{т.з.н};$$

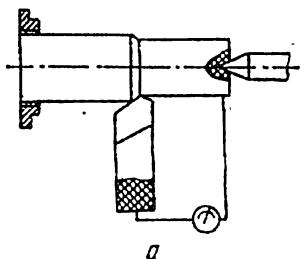
где $Q_{д.з}$ — тепло деформации, переходящее в заготовку; $Q_{т.з.з}$ — тепло трения по задней поверхности, переходящее в заготовку; $Q_{т.з.н}$ — тепло трения по задней поверхности, переходящее в инструмент.

Интенсивность каждого источника тепла можно определить расчетно-аналитическим методом. Тепло, поглощаемое каждым элементом системы инструмент — заготовка — стружка, может быть определено расчетно-аналитическим и экспериментальным методами [45].

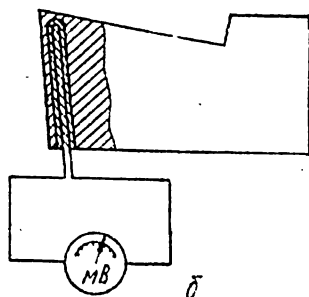
Температура при резании может быть измерена непосредственно или определена косвенными экспериментальными и расчетно-аналитическими методами.

Непосредственно температура резания измеряется с помощью термопар и дистанционных фотоэлектрических устройств [45].

Естественная термопара (рис. III.14,а) позволяет наиболее просто и доступно измерить температуру резания. Элементами термопары являются инструмент и заготовка, поверхность соприкосновения которых служит местом горячего спая. ЭДС, регистрируемая гальванометром, пропорциональна



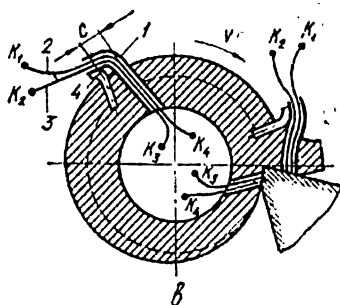
а



б

Рис. III.14. Схемы естественной (а), искусственной (б) и бегущей (в) термопар:

1 — защитная трубка; 2, 3 — изолированные проводники термопары; 4 — опорная трубка; K_1, K_2, K_3, K_4 — контакты осциллографа.



в

температуре резания. Ток от вращающейся заготовки или инструмента передается подвижными ртутными контактами.

Закладные термопары (рис. III.14,б) широко используются для измерения температуры малых объемов (точек), исследования температурных полей в инструменте и заготовке, а также на поверхностях контакта.

Бегущая термопара (рис. III.14,в) позволяет исследовать закон распределения температуры на поверхности сгруппки и поверхности резания.

С помощью фотоэлектрических устройств (пирометров) можно непрерывно измерять температуру участков зоны резания диаметром до 1 мм с дистанционной передачей и обработкой выходного сигнала (рис. III.15). Эти свойства могут быть использованы для автоматизации измерения и управления ходом технологического процесса по заданной температуре.

К косвенным методам определения температуры относится микроструктурный метод, основанный на появлении остаточных изменений микроструктуры и твердости режущей части инструмента при нагревании. Он позволяет получить качественную картину температурных полей стальных инструментов.

Для приближенного определения температуры на поверхности в пределах 150—700 °C применяются термокраски, которые под действием тепла приобретают определенный оттенок, не изменяющийся при остывании. Определение

температуры стружки по цветам побежалости основано на том, что на нагретой стружке образуются тончайшие разноцветные пленки окислов.

Расчетно-аналитические методы основаны на решении дифференциального уравнения теплопроводности [45].

Аналитическое исследование температурных полей позволяет составить тепловой баланс при резании. На рис. III.16 показана диаграмма изменения количества тепла с изменением скорости резания при точении стали ШХ15 острым резцом из твердого сплава Т14К8, построенная расчетно-аналитическим методом.

При электрическом моделировании тепловых явлений используется аналогия между математическим описанием процессов распространения тепла в твердом теле и процессов протекания электрического тока в проводящей среде.

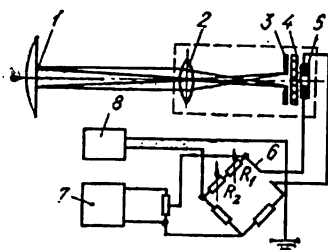


Рис. III.15. Схема фотоэлектрического пирометра:

1 — изучаемый участок поверхности; 2 — линза; 3 — диафрагма; 4 — фильтр; 5 — фотоспротивление; 6 — измерительный мост; 7 — стабилизатор тока; 8 — вольтметр.

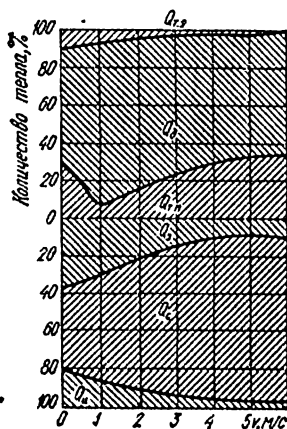


Рис. III.16. Диаграмма изменения количества тепла при резании.

5. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Затупление режущих инструментов вызывается пластическим (вязким) разрушением, хрупким разрушением (выкрашиванием) и износом в результате трения.

Пластическая деформация металла режущей части происходит в инструментах из стали, сохраняющей высокую вязкость и пластичность в закаленном состоянии. Каждой паре обрабатываемого и инструментального материалов соответствует область режимов резания, в пределах которой происходит пластическая деформация инструмента.

При точении стали средней твердости с толщиной срезаемого слоя 0,3 мм резцы из углеродистой инструментальной стали теряют работоспособность при скорости резания свыше 0,25—0,35 м/с; из быстрорежущей — 1,35—2 м/с; из твердого сплава — 10—17 м/с.

Хрупкое разрушение режущей части инструмента происходит при толщине срезаемого слоя, превышающей предельную величину, характерную для данной пары обрабатываемого и инструментального материалов и формы инструмента.

Вид разрушения (вязкое или хрупкое) зависит от свойств инструментального материала и способа нагружения инструмента. Если предел прочности на отрыв меньше, чем на срез, то имеет место хрупкое разрушение. В противном случае происходит вязкое разрушение. Минералокерамические

материалы плохо сопротивляются растяжению и разрушаются хрупко. Инструментальная сталь и твердые сплавы в зависимости от условий нагружения претерпевают разрушение либо отрывом (хрупко), либо срезом (вязко).

Износ в результате трения характерен для всех без исключения инструментов. Различают абразивный, адгезионный, химический, диффузионный износ.

Абразивный износ обычно преобладает при обработке чугуна, даже с невысокой скоростью резания, в особенности при обдирке по литейной корке, имеющей частицы свободного цементита и включения формовочного материала. Этот же вид износа наблюдается при прерывистом резании (строгание, фрезерование), когда температура ниже, чем при непрерывном точении. Абразивный износ инструмента при обработке стали возрастает с увеличением содержания углерода и карбидообразующих легирующих элементов.

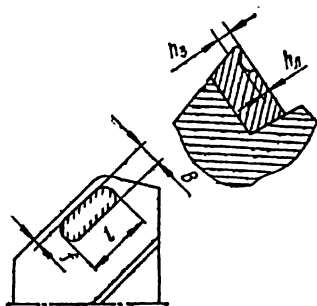


Рис. III.17. Схема износа по передней и задней поверхностям.

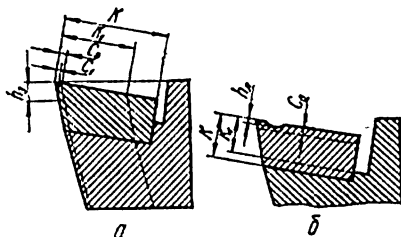


Рис. III.18. Схема определения расчетной толщины стачивания при износе по задней (а) и по передней (б) поверхностям.

Адгезионный износ чаще происходит при обработке стали твердосплавным инструментом со скоростями, вызывающими температуру ниже 500 °С. Адгезионный износ быстрорежущей стали менее интенсивен, чем твердого сплава, вследствие меньшей ее хрупкости и большей циклической прочности.

Химический износ имеет решающее значение при резании стали, молибдена и других материалов инструментом из быстрорежущей стали в присутствии химически активных веществ.

При температуре свыше 500—600 °С наблюдается взаимная диффузия материалов заготовки и инструмента. В результате в поверхностных слоях инструмента происходят структурные превращения, вследствие чего уменьшается его твердость и прочность [41]. Это приводит к диффузионному износу.

Износ происходит как по передней, так и по задней поверхностям инструмента (рис. III.17). Интенсивный износ передней поверхности характерен для черновой обработки стали без охлаждения инструментами, чувствительными к высокой температуре, при большой толщине срезаемого слоя ($a \geq 0,5$ мм). Глубина лунки h_d достигает 0,6—0,8 мм и более.

Задняя поверхность резцов изнашивается в основном при обработке чугуна, точении стали с охлаждением и малой подачей, при обработке стали износостойкими твердыми сплавами, а также при обдирке литья по корке. Износ по задней поверхности преобладает при таких видах обработки, как фрезерование, протягивание, обработка резьбы, зубьев. О степени затупления можно судить по наибольшей высоте h_n площадки износа, которая обычно наблюдается непосредственно у вершины инструмента. При обдирке литья по корке наибольший износ наблюдается в месте контакта режущей кромки с наружной поверхностью литейной корки.

При срезании слоя толщиной 0,10...0,15 мм с малой или средней для данного инструментального материала скоростью резания износ происходит одновременно по задней и передней поверхностям. Такой износ характерен для чистовых резцов из быстрорежущей стали при работе с охлаждением резцов, оснащенных твердым сплавом, торцовых и дисковых фрез, сверл, зенкеров.

В табл. III.4—III.8 приведены значения допускаемого износа для наиболее часто применяемых инструментов.

При чистовой обработке допустимый износ определяется требуемой точностью обработки или шероховатостью обработанной поверхности и должен быть значительно меньше, чем при черновой. Период стойкости T определяется временем работы режущего инструмента до принятой величины затупления.

Общий срок службы инструмента

$$T_{\text{общ}} = T(i + 1), \quad (\text{III.18})$$

где i — количество переточек, поддерживаемых инструментом.

Количество переточек $i = K'/c_0$ (рис. III.18), где K' — общая допускаемая величина стачивания (табл. III.9); $c_0 = c_1 + \Delta$ — расчетная величина стачивания; здесь c_1 — минимально необходимая величина стачивания; Δ — дополнительная величина стачивания, значения которой для различных инструментов приведены ниже:

Инструмент	Δ , мм
Резцы	0,1—0,25
Сверла	0,2—0,3
Зенкеры	0,1—0,2
Развертки	0,2—0,3
Фрезы	0,1—0,2
Метчики, плашки, резьбонарезные круглые гребенки	0,05—0,1
Зубострогальные резцы	0,05—0,15
Долбки	0,1
Протяжки	0,05

При износе по задней поверхности $c_1 \approx h_z \lg \alpha$, где α — задний угол по передней поверхности $c_1 = h_d$.

III.4. Допускаемый износ режущей части резцов

Резцы	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Износ при обработке	
			черновой	чистовой
Токарные проходные, подрезные, расточные	Быстрорежущая сталь	Сталь углеродистая и легированная	1,5—2	
		Сталь жаропрочная, нержавеющей и сплавов	1,0	
	Твердый сплав	Сталь углеродистая и легированная	1,0—1,4	0,4—0,6
		Чугун серый	0,8—1,0	0,6—0,8
Токарные резьбовые	Быстрорежущая сталь	Сталь	2,0	0,3
	Твердый сплав		0,8	
		Чугун	1,0	

Резцы	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Износ при обработке	
			черновой	чистовой
Строгальные и долбежные проходные	Быстрорежущая сталь	Сталь	1,5—2,0	
	Твердый сплав	Чугун	3,0—4,0	1,5—2,0
			0,8—1,0	0,6—0,8
Отрезные и прорезные	Быстрорежущая сталь	Сталь	0,8—1,0	
		Чугун	1,5—2,0	
	Твердый сплав	Сталь	0,8—1,0	
		Чугун	0,6—0,8	
Профильные	Быстрорежущая сталь	Сталь	0,4—0,5	
	Твердый сплав	Чугун		

III.5 Допускаемый износ режущей части сверл, зенкеров, разверток

Инструмент	Обрабатываемый материал и характер работы	Марка материала режущей части инструмента	Критерий затупления	Диаметр инструмента D, мм	Износ по задней поверхности h _з , мм
Сверла	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности	≤20	0,4—0,8
				>20	0,8—1,0
			По ленточке	≤20	1,0—1,2
	Чугун, без охлаждения	BK8		>20	1,3—1,5
			По уголкам	≤20	0,5—0,8
				>20	0,8—1,2
Зенкеры	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности	—	1,2—1,5
			По уголкам	—	0,8—1,5
	Сталь и чугун	T15K6, BK8	По задней поверхности	≤20	1,0
				≤40	1,2
				≤60	1,4
				≤80	1,6
Развертки машинные	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности заборного конуса	—	0,6—0,8
	Чугун, без охлаждения				
	Сталь и чугун	T15K6, BK8		—	0,4—0,7

III.6. Допускаемый износ режущей части фрез

Фрезы	Материал режущей части	Обрабатываемый материал	Износ по задней поверхности h_3 , мм, при обработке	
			черновой	чистовой
Торцовые	Твердый сплав	Сталь	1,0—1,2	
	Быстрорежущая сталь		1,5—2,0	0,3—0,5
	Твердый сплав	Чугун	1,5—2,0	
Дисковые	Быстрорежущая сталь	Сталь	1,0—1,2	
		Чугун	0,4—0,6	0,15—0,25
Цилиндрические	Твердый сплав	Сталь	0,5—0,6	
	Быстрорежущая сталь		0,4—0,6	0,15—0,25
	Твердый сплав	Чугун	0,7—0,8	
	Быстрорежущая сталь		0,5—0,8	0,2—0,3
Прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	Сталь и чугун	0,15—0,2	
Концевые	Твердый сплав	Сталь	0,2—0,3*	0,3—0,5**
	Быстрорежущая сталь		0,2—0,5	
Профильные незатылованные	Все материалы	Сталь и чугун	0,6—0,7	0,2—0,3
затылованные			0,3—0,4	0,2

* Фрезы с коронками.

** Фрезы с напаянными пластинами.

III.7. Допускаемый износ режущей части зуборезных инструментов

Инструмент	Износ по задней поверхности h_3 , мм, при обработке	
	черновой	чистовой
Модульные дисковые фрезы	0,8—1,0	0,2—0,4
Модульные червячные фрезы при обработке:		
стали	1,0—1,5	0,2—0,4
чугуна	0,6—0,8	0,2—0,4
Долбяки	0,8—1,0	0,10—0,15
Гребенки зуборезные с		
$m < 2$	0,4—0,5	—
$m > 2$	0,8	—
Резцовые головки	0,8—1,2	0,2—0,4
Червячные шлицевые фрезы	0,7—0,8	0,2—0,4

III.8 Допускаемый износ режущей части резбонарезных инструментов

Инструмент		Вид обработки		Износ по задней поверхности K_3 , мм
Резцы и гребенки резбовые		Черновая		0,8—1,7
		Чистовая		0,3—0,4
Фрезы резбовые, групповые		Обработка стали	$s \leq 1,25$	0,1—0,2
			$s \leq 1,75$	0,2—0,3
			$s > 1,75$	0,3—0,6
		Обработка ковкого чугуна	$s \leq 1,25$	0,15—0,25
			$s \leq 1,75$	0,25—0,4
			$s > 1,75$	0,4—0,8
Плашки	круглые	Обработка стали		$0,1d^{0,5}$
	тангенциальные	На болторезных станках		0,8—2,0
	машинные	Обработка стали		$0,125d$
		Обработка чугуна		$0,07d$
	гаечные автоматные	Обработка гаек	горячекатаных	$0,125d$
			холодноштампованных и горячекатаных травленых, сверленых	$0,5d$
Резцы с пластинами из твердого сплава		Черновая		0,8—1,0
		Чистовая		0,3—0,4
Резцы с пластинами из твердого сплава к вращающимся головкам		Обработка неточной резьбы и предварительная		0,8—0,1
		Обработка точной резьбы за один проход		0,3—0,4

Потребное количество инструмента определяется по формуле

$$A = T_0 n K_y / T_{\text{общ}}$$

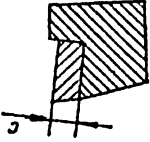
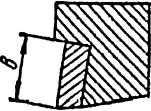
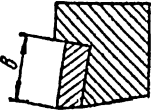
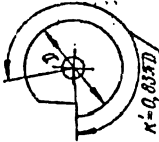
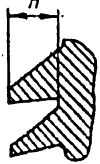
где T_0 — основное технологическое время обработки одной заготовки, мин;
 n — расчетное количество заготовок, шт.; K_y — коэффициент случайной убыли, равный 1,05—1,3.

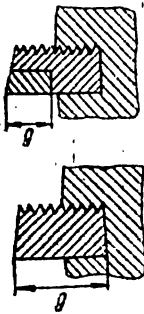
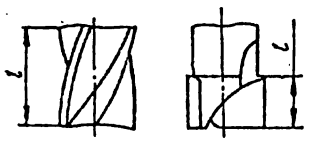
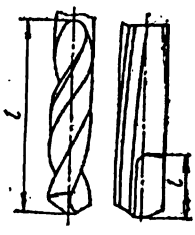
Зависимость периода стойкости от скорости резания имеет экстремальный характер. Во многих случаях применяемые режимы резания соответствуют нисходящей ветви кривой, для которой справедливы формулы

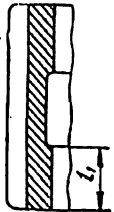
$$T = C/v^z; \quad (III.19)$$

$$v = C/T^m, \quad (III.20)$$

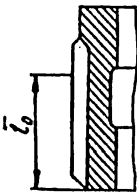
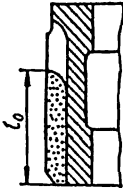
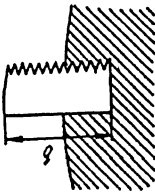
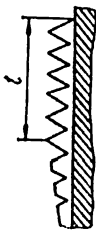
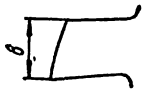
III.9. Допускаемая величина стачивания K' режущей части инструмента

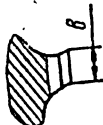
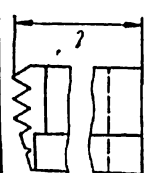
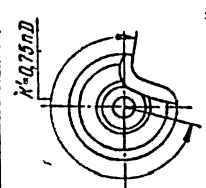
Инструмент		Эскиз	Размер, лимитирующий число переточек	K' , мм
Резцы призматические	из быстрорежущей стали		Толщина пластины c	$(0,7-0,9) c$
	из твердого сплава			$(0,6-0,7) c$
	затачиваемые по задней поверхности		Ширина пластины b	$(0,6-0,7) b$
Резцы дисковые из быстрорежущей стали			Длина окружности	$0,8 \pi D$
Фрезы цельные	цилиндрические дисковые		Высота зуба H	$1H$
	концевые			$0,6H$
	угловые			$(0,5-2)H$

Фрезы со встав- ными ножами	из быстрорежущей стали		Ширина ножа b	$(0,6—0,7) b$
	из твердого сплава		Ширина пластины b	$(0,5—0,7) b$
Фрезы	Шпоночные		Длина рабочей части l Длина пластины l	$(0,5—0,7) l$
	с заточенным зубом		Толщина зуба b	$(0,7—0,8) b$
Сверла винтовые			Длина рабочей части l Длина пластины l	$(0,6—0,8) l$

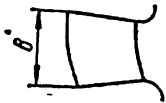
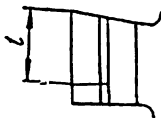
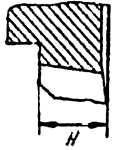
Инструмент	Эскиз	Размер, лимитирующий число переточек	K', мм
с коническим хвостовиком		Длина рабочей части l_0	$(0,5-0,6) l_0$
цельные насадные		Длина отверстия до выточки l_1	0,7 l_1
с ножами из быстрорежущей стали		Длина ножа l	0,7 l
с пластинами из твердого сплава		Длина пластины l	$(0,5-0,6) l$

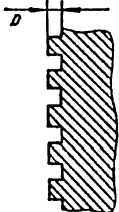
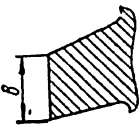
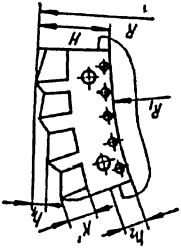
Зенкеры

Развертки	цельные		Длина калибрующей части l_0	$(0,6—0,7) l_0$
	с пластинами из твердого сплава			$0,5 l_0$
	с вставными ножами		Ширина ножа b	$(0,3—0,6) b$
	машинные		Длина калибрующей части l	$(0,6—0,7) l$
Метчики	для конической резьбы		Ширина пера b	$(0,5—0,7) b$

Инструмент	Эскиз	Размер, лимитирующий число переточек	K^* , мм
Пластины		Ширина пера b	$(0,5-0,7) b$
		Длина пластины l	$(0,6-0,65) l$
Гребенки круглые к винторезным головкам		Длина окружности	$0,75\pi D$
Фрезы резбовые гребенчатые		Величина первой затыловки a	$1a$

Резцы зубострогальные

Фрезы червячные	модульные		Длина режущей части резца l	0,7l
			Толщина зуба b	0,7b
	для шлицевых валов		Длина первой заготовки l	1l
	дискковые чашечные		Высота зуба долбяка H	(0,6—0,7) H
Долбяки	хвостовые			(0,46—0,5) H

Инструмент	Эскиз	Размер, лимитирующий число переточек	K', мм
Шеверы дисковые для цилиндрических зубчатых колес		Глубина канавки <i>a</i>	0,6а
Протяжки круглые, шлицевые, шпоночные		Длина спинки зуба <i>b</i>	0,6b
Пилы круглые сегментные для металлов		Высота сегмента <i>H</i>	$M = R - (R_1 + h_2 + \frac{d_2}{2} + h_1)$

где T — период стойкости, мин; C — коэффициент пропорциональности, который зависит от условий резания; z — показатель относительной скорости, зависящий от вида обработки и инструментального материала; $m = 1/z$ — показатель относительной стойкости (см. гл. VIII).

В ряде случаев стойкость инструмента исчисляется количеством n_T изделий, объемом Q_T срезаемого слоя, площадью S_T поверхности, обработанной инструментом за период стойкости, которые определяются по формулам

$$n_T = T/T_0 = tsuT/A;$$

$$Q_T = tsuT;$$

$$S_T = suT,$$

где A — коэффициент из формулы (VI.3).

Путь, проходимый инструментом в металле за период стойкости,

$$L_T = vT. \quad (III.21)$$

Зависимость периода стойкости от непрерывно изменяющейся скорости резания выражается формулой

$$T = C^z (z + 1) (v_n - v_{вн}) / (v_n^{z+1} - v_{вн}^{z+1}), \quad (III.22)$$

где v_n и $v_{вн}$ — соответственно начальная (большая) и конечная (меньшая) скорость резания.

Оптимальный период стойкости выбирается по производительности или себестоимости обработки. Период стойкости при наибольшей производительности $T_{пр}$ отвечает наименьшему времени обработки:

$$T_{пр} = (z - 1) T_{см}. \quad (III.23)$$

Экономический период стойкости $T_{эк}$ соответствует минимальной себестоимости обработки:

$$T_{эк} = (z - 1) (T_{см} + S/E), \quad (III.24)$$

где $T_{см}$ — время на замену и подналадку инструмента в связи с затуплением; z — показатель относительной скорости; S — затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за период его стойкости; E — стоимость одной минуты машинного времени, включая зарплату рабочего.

В основу расчета режимов резания положены нормативные периоды стойкости T режущих инструментов, которые соответствуют некоторым средним значениям экономического периода стойкости. Рекомендуемые нормативные периоды стойкости рассматриваются в гл. VIII.

При многоинструментной наладке расчетный период стойкости выбирается таким образом, чтобы замена и подналадка затупившихся инструментов выполнялись во время перерывов в работе. Рекомендуемые периоды стойкости T_m при многоинструментной обработке приводятся в табл. III.10 и III.11.

При выборе периода стойкости необходимо учитывать влияние количества станков, обслуживаемых рабочими-станочниками.

Экономическая скорость резания $v_{эк}$ соответствует экономическому периоду стойкости $T_{эк}$, скорость при наибольшей производительности $v_{пр}$ — периоду стойкости при наибольшей производительности $T_{пр}$, нормативная скорость резания v_n — нормативному периоду стойкости T_n .

Количество станков или агрегатов	Коэффициент увеличения периода стойкости
2	1,4
3	1,9
4	2,2
5—6	2,6
7 и более	3,1

III.10. Рекомендуемые периоды стойкости T_M , мин, для многоинструментных наладок токарных станков

Группа наладок	Характеристика группы	Число инструментов в наладке, шт.						
		3	5	8	10	15	20	Св. 20
Наладки с равномерной загрузкой инструментов	Диаметры обрабатываемых поверхностей отличаются не более чем в 1—2 раза; количество фасочных и подрезных резцов не более 20 % от общего количества инструментов наладки	150	200	300	350	400	—	—
Наладки средние по равномерности загрузки инструментов	Все наладки, не относящиеся к 1 и 3-й группам	100	120	150	180	230	260	300
Наладки с большой разницей по загрузке инструментов	Диаметры обрабатываемых поверхностей отличаются более чем в 2 раза; количество фасочных и других малонагруженных инструментов составляет свыше 50 % от общего количества инструментов	70	90	110	130	150	170	180

III.11. Рекомендуемые периоды стойкости T_M , мин, для многоинструментных наладок сверлильных станков

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки D , мм	Число инструментов в наладке, шт.				
	3	5	8	10	16 и более
10	50	80	100	120	140
15	80	110	140	150	170
20	100	130	170	180	200
30	120	160	200	220	250
50	150	200	240	260	300

Примечание. В случае применения зенкеров и резцовых головок диаметром более 60 мм $T_M = 150—300$ мин (в зависимости от сложности наладки).

Отношение фактической скорости резания v к нормативной v_n называется коэффициентом использования инструмента по стойкости:

$$\eta_n = v/v_n. \quad (III.25)$$

При $\eta_n = 1$ инструмент используется на 100 %, при $\eta_n > 1$ период стойкости меньше нормативного.

Так как $v_{пр} > v_{зк}$, то работа со скоростью, соответствующей наибольшей производительности, приводит к сильной перегрузке инструмента, расход которого на единицу продукции возрастает в 4—5 раз и более. При этом существенно повышается себестоимость продукции. Поэтому работа на режимах наибольшей производительности может применяться лишь в исключительных случаях, когда решающую роль играет фактор времени.

При заданном периоде стойкости зависимость скорости резания от размеров сечения срезаемого слоя выражается эмпирической формулой

$$v_T = C_T / (b^{x_v} a^{y_v}), \quad (III.26)$$

где a и b — толщина и ширина срезаемого слоя; C_T — коэффициент, учитывающий влияние всех факторов процесса резания, за исключением параметров a и b ; x_v и y_v — показатели степени, определяемые экспериментально ($1 > y_v > x_v > 0$).

Формула (III.26) справедлива для всех лезвийных инструментов.

Коэффициенты пропорциональности C_v действительны для строго определенных условий обработки. При изменении этих условий вводится поправочный коэффициент $K_v = \prod K_{iv}$.

Количество частных поправочных коэффициентов K_{iv} зависит от вида обработки, типа и материала инструмента. Так, при тчении стали быстрорежущими инструментами $K_v = K_{\varphi_v} K_{\varphi_{1v}} K_{\phi_v} K_{r_v} K_{q_v} K_{c_v} K_{n_v} K_{m_v} K_{o_v} K_{обр_v}$, стали и чугуна твердосплавными резцами $K_v = K_{\varphi_v} K_{\varphi_{1v}} K_{n_v} K_{m_v} K_{обр_v}$, где главный угол в плане учитывается коэффициентом K_{φ_v} ; форма передней поверхности — $K_{\varphi_{1v}}$; состояние поверхности заготовки — K_{n_v} ; механические свойства материала заготовки — K_{m_v} ; вид обработки (обтачивание, растачивание и т. п.) — $K_{обр_v}$; вспомогательный угол в плане — $K_{\varphi_{1v}}$; радиус переходной режущей кромки — K_{r_v} ; сечение державки резца — K_{q_v} ; состояние стали (прокат горячекатаный, холоднокатаный и т. д.) — K_{c_v} ; наличие охлаждения — K_{o_v} ; марка инструментального материала — K_{n_v} .

Рекомендуется также вводить поправку на скорость резания в зависимости от качества заточки и доводки режущих инструментов. При централизованной заточке и безалмазной доводке резцов $K_{з_v} = 1$; при алмазной заточке $K_{з_v} = 1,08$. При отсутствии централизованной заточки скорость резания следует снижать на одну ступень.

6. ЗАВИВАНИЕ И ДРОБЛЕНИЕ СТРУЖКИ

Критерий обрабатываемости металла — объемный коэффициент стружки [6] — вычисляется по формуле

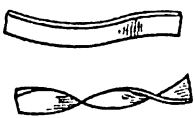
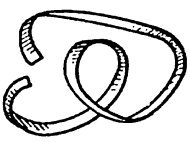
$$\omega = V_{стр} / V_{мет},$$

где $V_{стр}$ — объем стружки, определяемый с помощью какой-либо смкости (сосуда), m^3 ; $V_{мет} = m_{стр} / \rho$ — объем сплошного металла ($m_{стр}$ — масса стружки в объеме $V_{стр}$, кг; ρ — плотность металла, kg/m^3).

В табл. III.12 приведены объемные коэффициенты для различных видов стружки.

Дробление и завивание стружки достигается следующими основными способами: подбором соответствующего режима резания и геометрических параметров инструмента (хорошие условия для дробления стружки создаются при углах резца $\gamma = -5...-10^\circ$; $\lambda = 10...15^\circ$; $\phi = 60...80^\circ$ и $t/s = 5...10$);

III.12. Объемные коэффициенты различных видов стружки

Вид стружки	Объемный коэффициент	Эскиз
Лентообразная	300—400	
Спиральная	200—300	
Длинная	60—80	
Короткая	40—50	
Короткая петлевидная	16—20	
Плоская спираль	10—15	
Суставчатая	8—9	
Элементная (дробленая)	5—6	

образованием канавки (лунки) на передней поверхности; заточкой различной формы уступов (порогов) на передней поверхности; установкой накладных стружколомов; применением принудительных колебаний резца; прорезкой канавок по образующей цилиндра заготовки; нанесением рифлений на поверхности резания впереди резца.

Размеры лунки на передней поверхности (рис. III.19) выбираются в зависимости от глубины резания, подачи, скорости резания, свойств обрабатываемого материала. Увеличение глубины резания и скорости резания, уменьшение подачи приводит к ухудшению процесса дробления и завивания стружки. При обработке стали ($\sigma_s \leq 800$ МПа) с глубиной резания $t = 1...5$ мм и подачей $s \geq 0,3$ мм/об принимают $B = 2...3$ мм, $R = 4...6$ мм и $f = 0,2...0,3$ мм.

При наличии уступа на передней поверхности (рис. III.20) заметно улучшается процесс образования стружки. Ширина уступа K должна выбираться оптимальной (табл. III.13), а остальные элементы уступа должны иметь следующие размеры: $h = 0,6 \dots 1,5$ мм, $R = 0,2 \dots 0,5$ мм, $\epsilon = 100...115^\circ$.

С увеличением скорости резания ширина уступа выбирается меньше.

Названные способы рекомендуются для обработки с установившимися режимами при соблюдении постоянной величины припуска на обработку.

Стружколомы из твердого сплава и быстрорежущей стали, напаянные на передней поверхности (рис. III.21), также применяются при установившихся режимах. Расстояние B выбирается в зависимости от режима резания и свойств обрабатываемого материала. Толщина пластины равна 4—8 мм. При расположении пластины параллельно режущей кромке (рис. III.21,а) стружка завивается в спираль различного диаметра, а при расположении под углом (рис. III.21,б) происходит ломание стружки.

Стружколом, напавленный из сормайта (твердого сплава на железохромовой основе) на стержень резца (рис. III.22), имеет размеры, приведенные в табл. III.14.

III.13. Оптимальная ширина K стружколомающего уступа, мм

Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об		
	0,15—0,44	0,45—0,7	0,71—1,03
0,4—1,4	1,6; 2	2,4; 2,8	3; 3,2
1,5—6,5	1,6; 3,5	4; 4,8	4,8; 5
7—13	3,4	5; 5,5	5; 6

III.14. Размеры напавленного стружколома, мм

Размер	Сечение державки резца, мм			
	10×16	12×23	16×25, 20×30	25×40, 30×45
h	4	5	6	8
b	4	5	8	8

Накладные стружколомы позволяют регулировать расстояние между режущей кромкой и уступом (порогом) в зависимости от условий резания.

Особенностью накладного стружколома конструкции государственного проектного института является независимая от резца установка на резцедержателе (рис. III.23).

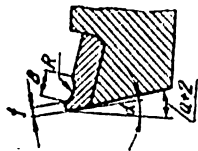


Рис. III.19. Размещены лунки (канавки) на передней поверхности реза.

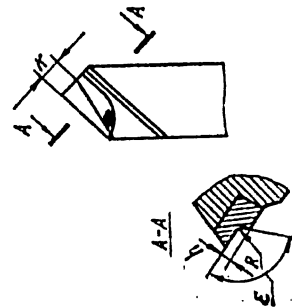


Рис. III.20. Стружколомающий уступ на передней поверхности реза.

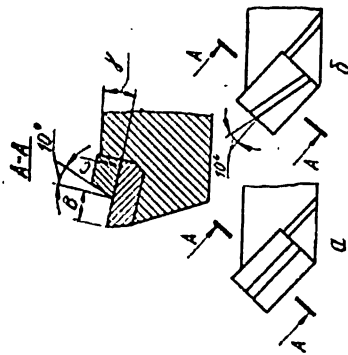


Рис. III.21. Припаяемый стружколом.

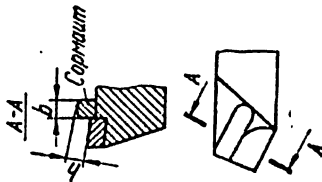


Рис. III.22. Наплавленный стружколом.

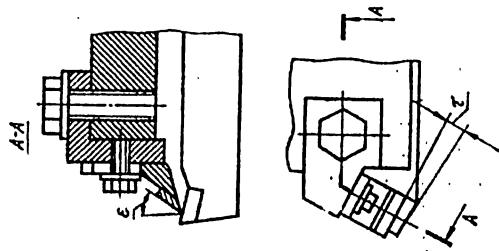


Рис. III.23. Накладной стружколом ($\epsilon = 15...25^\circ$; $\tau = 10...15^\circ$).

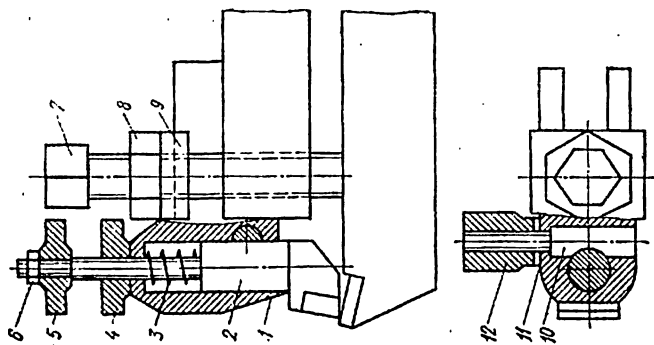


Рис. III.24. Накладной регулируемый стружколом:
1 — корпус; 2 — стержень; 3 — пружина; 4, 5, 6, 8, 12 — гайки; 7 — болт; 9, 11 — шайбы; 10 — стопор.

Для закрепления накладного регулируемого стружколома (рис. III.24) в резцедержателе используется болт 7, закрепляющий резец. С целью удаления стружки из рабочей зоны стайка накладной стружкойлом может устанавливаться вместе со стружкоотражательным экраном (рис. III.25). Дробление и отвод стружки осуществляются с помощью экранных стружколомов, устанавливаемых непосредственно на резцедержателе (рис. III.26).

Рис. III.25. Накладной стружкойлом и стружкоотражательный экран конструкции Уралмашзавода.

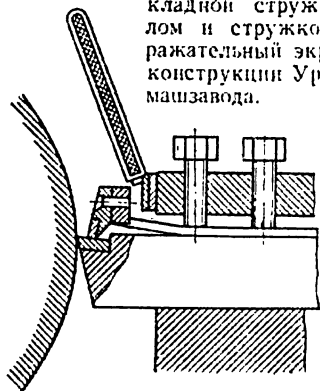
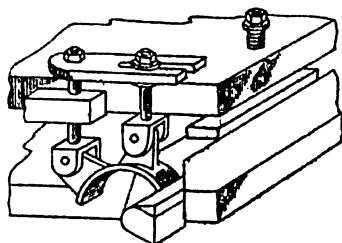


Рис. III.26. Экранный стружкойлом конструкции завода им. Свердлова.



Глава IV

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

1. КЛАССИФИКАЦИЯ

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) оказывают непосредственное влияние на процесс обработки металлов резанием, позволяя существенно повысить производительность и качество обработки, увеличить стойкость инструментов, защитить поверхности станков и обрабатываемых деталей от коррозии. В процессе эксплуатации СОТС оказывают охлаждающее, смазывающее и моющее действия. Охлаждающее действие СОТС заключается в отводе тепла от обрабатываемой детали и режущего инструмента, смазочное проявляется в уменьшении сил трения на поверхностях контакта инструмента с деталью и стружкой, моющее состоит в удалении стружки и других отходов обработки из зоны резания.

Применяемые СОТС должны обладать не только высокими технологическими, но и эксплуатационными и сопутствующими свойствами, важнейшими из которых являются нетоксичность, антикоррозионность, стабильность, бактерицидность, гигиеничность, слабая испаряемость и воспламеняемость, легкость приготовления в условиях предприятия-потребителя, отсутствие растворяющего действия на краску станка и изоляцию электрооборудования, возможность нейтрализации перед сбрасыванием в сточные воды. Степень проявления указанных свойств зависит как от состава СОТС, так и от способа их подачи (подвода) в зону резания.

При обработке металлов резанием применяются СОТС в различном агрегатном состоянии (твердом, жидком и газообразном), разного состава и с различными физико-химическими свойствами. Основная масса СОТС пред-

ставляет собой смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), классифицируемые по их химическому составу на эмульсионные, синтетические и полусинтетические, а также масляные (углеводородные). Иногда в качестве СОЖ применяют консистентные смазки или пасты с графитом, дисульфидом молибдена и другими наполнителями.

Эмульсионные СОЖ

Эмульсионные СОЖготавливаются предприятием-потребителем из эмульсолов, являющихся сложными коллоидными системами, включающими базовые минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, бактерициды, вещества-связки, антипенные присадки и другие компоненты. Содержание масла в эмульсолое обычно составляет 70—85 %, остальное — эмульгаторы и другие добавки.

Минеральные масла, используемые в эмульсолоах в качестве базовых, чаще всего имеют нафтенное или смешанное основания вязкостью $(15—30) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при 50 °С.

Эмульгаторы представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), понижающие поверхностное натяжение на границе раздела фаз вода — масло и тем самым способствующие эмульгированию. Кроме того, эмульгаторы частично выполняют роль смазочных веществ и ингибиторов коррозии. При растворении эмульсолоа в воде молекулы эмульгатора могут обволакивать частицы масла, образуя трехфазную систему вода — масло — эмульгатор.

Вещества-связки предназначены для обеспечения совместимости базового минерального масла с эмульгатором. Ингибиторы коррозии защищают поверхности станка и обрабатываемой детали от коррозии при консервировании готовых изделий на период межоперационного хранения. Бактерициды защищают СОЖ от микробиологического поражения. Антипенные присадки добавляются для уменьшения пенообразования эмульсий.

Разновидностью эмульсий являются водорастворимые масла (коллоидные дисперсии), диспергирующие в воде благодаря введению в них эмульгаторов-сульфонатов, аминов жирных кислот, спиртов. Эмульсии растворимых масел весьма перспективны, так как они, обладая хорошими охлаждающими, смазочными, смачивающими и антикоррозионными свойствами, являются в то же время достаточно прозрачными, что позволяет наблюдать за обработкой.

При резании обычно применяются 1,5—20 %-ные эмульсии (здесь и далее в процентах по массе).

Синтетические и полусинтетические СОЖ

Синтетические СОЖ делятся на электролиты (водные растворы ингибиторов коррозии типа неорганических солей), водные растворы полимеров и ПАВ. Применяются и комбинированные составы, состоящие из растворов солей и ПАВ. Полусинтетические СОЖ отличаются от синтетических наличием в их составе минерального масла или других углеводородных жидкостей.

Синтетические и полусинтетические СОЖ из концентратов обычноготавливаются 2—10 %-ной концентрации, в некоторых случаях процентный состав входящих компонентов берется в соответствии с разработанными рекомендациями.

Масляные (углеводородные) СОЖ

К масляным (углеводородным) СОЖ относят чистые минеральные и растительные масла и масла, наполненные различными присадками. Чистые минеральные масла не всегда эффективны при резании и нередко вызывают значительный разброс стойкости инструментов, а растительные масла дороги и дефицитны. Поэтому в составе СОЖ чаще используются минеральные масла, являющиеся базовыми, к которым добавляются антифрикционные, анти-

износные и антизадирующие присадки, ингибиторы коррозии, антиоксиданты, антипенные и антигуманные присадки. Животные и растительные жиры обычно применяются в качестве присадок. Минеральное масло в масляных СОЖ составляет 60—95 %.

2. СОСТАВ СОЖ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

СОЖ, рекомендуемые для обработки металлов резанием, приведены в табл. IV.1.

IV.1. Рекомендуемые СОЖ для обработки металлов резанием

№ п/п	Наименование и состав СОЖ, % по массе	ГОСТ или ТУ на исходный продукт	Завод-изготовитель
Эмульсионные			
1	1,5—3 %-ная эмульсия из эмульсола Укринол-1	ТУ 38-101197—76	Пермский ОПНМЗ
2	3—5 %-ная эмульсия из эмульсола Укринол-1	ТУ 38-101197—76	» »
3	7—10 %-ная эмульсия из эмульсола Укринол-1	ТУ 38-101197—76	» »
4	16—20 %-ная эмульсия из эмульсола Укринол-1	ТУ 38-101197—76	» »
5	3—5 %-ная эмульсия из эмульсола Аквол-2	ТУ 38-УССР-201220—79	Бердянский ОНМЗ
6	7—10 %-ная эмульсия из эмульсола Аквол-2	ТУ 38-УССР-201220—79	» »
7	5—10 %-ная эмульсия из эмульсола ИХП-45Э	ТУ 38-101581—75	Институт химии присадок (ИХП) АН АзССР (г. Баку) Ростовский ОНМЗ
8	5—10 %-ная эмульсия из эмульсола РЗ-СОЖ8	ТУ 38-101258—74	
9	3 %-ная эмульсия из эмульсола НГЛ-205	ТУ 38-101547—75	Московский ОПЗ ВНИИП То же
10	5 %-ная эмульсия из эмульсола НГЛ-205	ТУ 38-101547—75	» »
11	5—10 %-ная эмульсия из эмульсола НГЛ-205	ТУ 38-101547—75	» »
12	5 %-ная эмульсия из эмульсола ЭМУС	ТУ 38-101174—76	» »
13	5 %-ная эмульсия из эмульсола СДМУ-2	ТУ 38-101546—75	» »
14	3—5 %-ная эмульсия из эмульсола Э-2 (ЭТ-2, ЭГТ)	Э-2 ГОСТ 1975—75	Ростовский ОНМЗ
15	5 %-ная эмульсия из эмульсола Э-2 (ЭТ-2, ЭГТ)	ЭТ-2 ТУ 38-101599—75	» »
16	10 %-ная эмульсия из эмульсола Э-2 (ЭТ-2, ЭГТ)	ЭГТ ТУ 38-101149—75	» »
17	5—7 %-ная эмульсия из эмульсола Т	ТУ 6-14254—79	Ивановский химический завод им. Батурина
Синтетические и полусинтетические			
18	2—3 %-ный раствор синтетической СОЖ Аквол-10М	ТУ 38-40188—81	Дрогобычский НПЗ, ВНИИПКнефтехим То же
19	3—5 %-ный раствор синтетической СОЖ Аквол-10М	ТУ 38-40188—81	» »
20	5—10 %-ный раствор синтетической СОЖ Аквол-10М	ТУ 38-40188—81	» »
21	2—3 %-ный раствор полусинтетической СОЖ Аквол-11	ТУ 38-40146—79	» »
22	3—5 %-ный раствор полусинтетической СОЖ Аквол-11	ТУ 38-40146—79	» »
23	5—10 %-ный раствор полусинтетической СОЖ Аквол-11	ТУ 38-40146—79	» »
24	10 %-ный раствор полусинтетической СОЖ ИСК-5У	ТУ 38-001304—78	Институт химии присадок (ИХП) АН АзССР (г. Баку) Завод-потребитель
25	0,5—2 % кальцинированной соды, 0,2—1 % нитрата натрия, остальное — вода	См. примеч. 3	

№ п/п	Наименование и состав СОЖ, % по массе	ГОСТ или ТУ на исходный продукт	Завод-изготовитель
26	0,7—1 % триэтаноламина, 0,25—0,3 % нитрита натрия, остальное — вода	См. примеч. 3	Завод-потребитель
27	0,5 % триэтанолamina, 0,2—0,5 % мылонафта, 0,2 % олеиновой кислоты, 0,2 % смачивателя ОП-7 или ОП-10, 0,2 % тринатрийфосфата, остальное — вода	» » »	»
28	0,5—1,8 % триэтанолamina, 0,25—0,6 % нитрита натрия (или мылонафта), до 0,6 % глицерина, остальное — вода	» » »	» »
29	СОЖ АВК-1 (ТНТСБО): 0,2 % триэтанолamina, 0,4 % нитрита натрия, 0,1 % тринатрийфосфата, 0,2 % буры, 0,3 % кальцинированной соды, 0,1 % смачивателя ОП-7, остальное — вода	» » »	» »
30	СОЖ АВК-2: 0,6 % мылонафта, 0,4 % триэтанолового мыла олеиновой кислоты (получают путем тщательного перемешивания олеиновой кислоты и триэтанолamina в пропорции 2 : 1), 0,2 % борной кислоты, 0,3 % кальцинированной соды, 0,1 % нитрита натрия, 0,5 % смачивателя ОП-7 или ОП-10, остальное — вода	» » »	» »
31	СОЖ АВК-2/ал (улучшенная): 0,6 % мылонафта, 0,14 % триэтанолamina, 0,3 % борной кислоты, 0,1 % кальцинированной соды, 0,3 % нитрита натрия, 0,1—0,2 % смачивателя ОП-7 или ОП-10, остальное — вода	» » »	» »
32	СОЖ ТУ11: 0,16 % триэтанолamina, 0,16 % уротропина, 0,3 % нитрита натрия, остальное — вода	» » »	» »
33	1 % буры, 0,25 % триэтанолamina, остальное — вода	» » »	» »
34	0,6 % триэтанолamina, 0,25 % буры, 0,25 % нитрита натрия, остальное — вода	» » »	» »
35	3—5 % трехзамещенного фосфорнокислого калия, 0,2—0,3 % кальцинированной соды, 0,5—1 % гексаметафосфата натрия, остальное — вода	» » »	» »
36	СОЖ МОТ-2 : 0,2 % мылонафта, 1 % олеиновой кислоты, 0,5 % триэтанолamina, остальное — вода	» » »	» »
37	0,6 % тринатрийфосфата, 0,5 % элизаринового масла, 0,25 % буры, 0,25 % нитрита натрия, остальное — вода	» » »	» »
38	Жидкость ВНИИалмаза: 0,6 % тринатрийфосфата, 0,5 % лазелинового масла, 0,3 % буры, 0,25 % триэтанолamina (или кальцинированной соды), 0,1 % нитрита натрия, остальное — вода	» » »	» »
Масляные			
38	МР-1У	ТУ 38-101731—78	Горьковский ОПНМЗ
39	МР-2У	ТУ 38-УСССР-201205—77	Бердянский ОПНМЗ
40	МР-3	ТУ 38-УСССР-201254—76	Горьковский ОПНМЗ
41	МР-4	ТУ 38-101481—76	Горьковский ОПНМЗ

№ п/п	Наименование и состав СОЖ, % по массе	ГОСТ или ТУ на исходный продукт	Завод-изготовитель
42	МР-5У	ТУ 38-101780—79	Бердянский ОПМЗ
43	МР-6	ТУ 38-УССР-201290—78	»
44	ОСМ-1	ТУ 38-УССР-201228—78	Львовский НПЗ
45	ОСМ-3	ТУ 38-УССР-201152—75	»
46	ОСМ-5	ТУ 38-УССР-201249—76	»
47	Уркинол-14	ТУ 38-001305—78	Бердянский ОПМЗ
48	ЛЗ-СОЖ 2СО	ТУ 38-101115—75	Ленинградский ОПМЗ
49	ЛЗ-СОЖ 2СИО	ТУ 38-101115—75	»
50	ЛЗ-СОЖ 1ПО	ТУ 38-101116—79	»
51	ЛЗ-СОЖ 1ПНО	ТУ 38-101116—79	»
52	ЛЗ-СОЖ 1СП	ТУ 38-101126—79	»
53	ЛЗ-СОЖ 1Т	ТУ 38-101185—79	»
54	Н-12А	ГОСТ 20799—75	Новокуйбышевский нефтеперерабатывающий комбинат
55	Н-5А	ГОСТ 20799—75	То же
56	ВИ-4	ТУ 38-101308—78	»
57	Индустриальное 12 или индустриальное 20	ГОСТ 20799—75	Львовский НПЗ
58	Индустриальное 45	ГОСТ 20799—75	»
59	Сульфорезол	ГОСТ 122—54	Бердянский ОПМЗ
60	В-29б, В-32к, В-35	ТУ 38-10188—75	Пермский ОПМЗ
61	В-31	ТУ 38-10189—75	»
62	Керосин	ГОСТ 4753—68	»
63	Смесь 10—20 % керосина (дизельного топлива) и 90—80 % сульфорезола	См. примеч. 3	Завод-потребитель
64	Смесь 30—50 % керосина и 70—50 % масла индустриального 20	» » »	» »
65	Смесь 25 % керосина, 60 % сульфорезола, 15 % олеиновой кислоты	» » »	» »
66	Смесь 92—96 % керосина (масла индустриального 12 или 20), 8—4 % олеиновой кислоты	» » »	» »

Примечания: 1. ОПМЗ — опытно-промышленный нефтемаслозавод; ОНМЗ — опытный нефтемаслозавод; ОПЗ — опытно-промышленный завод; НПЗ — нефтеперерабатывающий завод.

2. При применении СОЖ № 60 необходимо руководствоваться инструкцией, предусматривающей усиленные средства защиты работающих, разработанной Институтом гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР.

3. Перечень стандартов и технических условий на компоненты СОЖ частного приготовления: масло кисторное — ГОСТ 6990—75; масло пазелиновое — ГОСТ 3164—74; глицерин — ГОСТ 6269—75; тринатрийфосфат технический — ГОСТ 201—76; бура техническая — ГОСТ 8429—77; нитрит натрия технический — ГОСТ 19906—74; триэтилоламин — ТУ 6-02-916—79; уротропин технический — ГОСТ 1331—73; сода кальцинированная — ГОСТ 10689—75; мылонафт — ГОСТ 13302—77; кислота борная — ГОСТ 9656—75; кислота соляная — ГОСТ 10475-75; трехзамещенный фосфорнокислый калий — ГОСТ 10075—75; мылыватель ОП-7, ОП-10 — ГОСТ 8433—57.

Для получения эмульсионных, синтетических и полусинтетических СОЖ концентраты разводятся в воде. Масляные СОЖ применяются в состоянии поставки, кроме марок МР-5У, ЛЗ-СОЖ 2СО и ЛЗ-СОЖ 2СИО, которые готовятся на заводах-потребителях из концентратов путем их разведения в масле. СОЖ МР-5У применяется в виде 5—100 %-ных растворов концентрата в минеральных маслах вязкостью (4—35) 10^{-6} м²/с при 50 °С. СОЖ ЛЗ-СОЖ 2СО представляет собой 20 %-ный раствор присадки ЛЗ-26СО в средневязком минеральном масле, СОЖ ЛЗ-СОЖ 2СИО — смесь минеральных масел, активированную присадкой ЛЗ-26СО (8 %).

Выбор СОЖ для конкретной операции металлообработки зависит от материала обрабатываемой детали и инструмента, заданных режимов резания, качества обработанной поверхности детали, конструкции инструмента, типа применяемого металлообрабатывающего оборудования, экономических и других факторов. Общие рекомендации по применению СОЖ приведены в табл. IV.2, где СОЖ указаны под условными номерами, соответствующими их порядковым номерам в табл. IV.1.

IV.2. Рекомендации по применению СОЖ при обработке металлов резанием

Способ обработки	Рекомендуемый номер СОЖ при обработке материалов							
	Чугуны	Стали кон- структивные	Стали кон- структивные	Инструмен- тальные	Цинк-стали	Нержавею- щие стали	Высокопроч- ные стали и жаропроч- ные сплавы	Титановые сплавы
Точение	2, 9, 10, 19, 45, 62	2, 10, 15-17, 19, 22, 29-31, 35, 38, 39, 40, 45, 46, 48, 57, 59	2, 5, 7, 10, 15-17, 19, 22, 38, 39, 40, 45, 48, 49, 57, 59	3, 5, 8, 10, 11, 13, 15-17, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 49, 59, 63	3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 15-17, 20, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 49, 59, 63	3, 5, 8, 10, 11, 13, 15-17, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 48, 49, 59, 63	3, 8, 38, 41	1, 10, 15-17, 39, 57, 61
								3, 10, 15-17, 23, 39, 41, 45, 57, 61, 64
Сверление	2, 9, 10, 19, 45, 62	2, 10, 13, 15-17, 19, 22, 29-31, 35, 38, 39-41, 45, 46, 49, 57, 59	2, 7, 10, 13, 15, 16, 19, 22, 38, 39, 40, 42, 45, 49, 57, 59	3, 5, 8, 10, 11, 13, 15-17, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 59, 60, 63	3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 15-17, 20, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 59, 60, 63	3, 5, 8, 10, 11, 13, 15-17, 22, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 59, 60, 63	3, 8, 38, 41, 43, 60	1, 10, 15-17, 39, 57, 61
								1, 2, 3, 10, 15-17, 23, 39, 41, 45, 61, 64
Развертывание	1, 2, 3, 9, 10, 19, 30, 45, 62, 63	3, 11, 13, 15-17, 20, 23, 38, 39-41, 45, 46, 49	2, 3, 11, 13, 15, 16, 20, 23, 38, 39-41, 45, 49	3, 6, 8, 11, 13, 15-17, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 60, 63	3, 6, 8, 11, 13, 15-17, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 59, 60, 63	3, 6, 8, 11, 13, 15-17, 23, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 59, 60, 63	3, 8, 38, 41, 43, 45, 60	1, 2, 10, 15, 16, 39, 57, 61
								3, 4, 15-17, 23, 39, 41, 45, 61, 62, 64
Нарезание резьбы	3, 9, 10, 19, 20, 30, 35, 45, 57	3, 13, 15-17, 20, 23, 38,	3, 13, 15, 16, 20, 23, 38, 39,	3, 6, 11, 15-17, 23, 38, 40, 41,	3, 6, 11, 15-17, 23, 38, 40, 41,	3, 11, 15- 17, 38, 40, 41, 42, 43,	38, 41, 43, 60	1, 10, 15, 16, 39, 57, 61
								3, 4, 10, 13, 15-17, 41, 45,

	62, 64	40—42, 45, 46, 49, 53, 57, 59	40—42, 45, 49, 53, 59	42, 43, 45, 57, 59, 60, 63, 65	42, 43, 45, 57, 59, 60, 63, 65	45, 57, 59, 60, 63, 65			61, 64
	19, 45, 57, 62, 64	38, 40— 42, 45, 49, 53, 57, 59	38, 39, 40—42, 45, 49, 53, 57, 59	38, 40—43, 45, 59, 60, 63, 65	38, 40—43, 45, 59, 60, 63, 65	38, 40—43, 45, 59, 60, 63, 65	38, 41, 43, 60	1, 2, 10, 15, 16, 39, 57, 61	10, 13, 15—17, 41, 45, 61, 64
Точение на станках-автоматах		—	38, 39, 42, 45, 46, 49	38, 41, 42	38, 41, 42	38, 41, 42	38, 41	39	41, 42
Протягивание		2, 3, 19, 45, 57, 59, 62	3, 13, 15—17, 20, 23, 38, 41, 42, 45, 48, 52, 57, 59, 64	3, 13, 15, 16, 20, 23, 38, 41, 42, 45, 48, 52, 57, 59, 64	3, 6, 11, 13, 15, 16, 23, 38, 39—41, 43, 57, 59, 60, 63, 65	3, 6, 11, 13, 15, 16, 23, 38, 40, 41, 43, 57, 59, 60, 63, 65	3, 8, 38, 41, 43, 60	3, 10, 15, 16, 39, 48, 57, 61	3, 4, 10, 11, 13, 15—17, 23, 41, 45, 61, 64
Фрезерование	концевое	2, 19	2, 3, 11, 15, 19, 22	2, 3, 7, 11, 15, 19, 22	3, 5, 11, 13, 15—17, 23, 38, 39, 45	3, 8, 11, 13, 15—17, 22, 38, 39, 45	3, 8, 45	1, 10, 15, 16, 57, 61	1, 10, 15—17, 23, 61
	дисковое	2, 19	2, 3, 11, 15, 19, 22, 45, 54	2, 3, 7, 11, 15, 19, 22, 45, 54	3, 5, 11, 13, 15—17, 38, 39, 45, 54	3, 8, 11, 13, 15—17, 23, 38, 39, 41, 45, 54	3, 8, 41, 45	1, 10, 15, 16, 54, 57, 61	1, 10, 15—17, 23, 45, 54, 61
Глубокое сверление		38, 45, 62, 66	38, 39—41, 45, 57, 59	38, 39, 40, 41, 45, 50, 57, 59	38, 39, 40, 41, 45, 59, 60, 63	38, 39, 40, 41, 45, 59, 60, 63	41	39, 54, 57, 61, 64	1, 10, 15—17, 41, 45, 61

Способ обработки	Рекомендуемый номер СОЖ при обработке материалов							
	Чугун	Сталь кон- струкционные	Сталь кон- струкционные легированные	Листовые таблицы быстро- режущие	Легирован- ные стали	Высокопроч- ные стали и жаропроч- ные сплавы	Титановые сплавы	Медь и мед- ные сплавы
Зубодобление	45, 54, 57, 59	3, 9, 11, 16, 17, 38, 42, 45, 48, 49, 54, 57, 59	10, 11, 16, 38, 42, 45, 48, 49, 54, 57—59	38, 41, 45, 48, 49, 59, 63	38, 41, 42, 45, 48, 49, 59, 63	38, 41, 42, 45, 48, 49, 59, 63	8, 41, 45, 60	38, 57, 61, 64
								1, 10, 15—17, 41, 45, 54, 57, 61, 64
Зубофрезерование	45, 54, 57, 59	3, 9, 11, 16, 17, 38, 42, 45, 48, 49, 54, 57, 59	10, 11, 16, 38, 42, 45, 48, 49, 54, 57—59	38, 45, 48, 49, 59, 63	38, 42, 45, 48, 49, 59, 63	38, 41, 42, 45, 48, 49, 59, 63	8, 41, 45, 60	39, 54, 57, 61, 64
								1, 10, 15—17, 41, 45, 57, 61, 64
Шевингование	45, 57, 59	3, 9, 11, 16, 17, 38, 42, 45, 46, 48, 49, 57, 59	10, 11, 16, 38, 42, 45, 46, 48, 49, 57—59	38, 45, 48, 49, 59, 63	38, 41, 42, 45, 48, 49, 59, 63	38, 42, 45, 48, 49, 59, 63	8, 41, 60	54, 57, 61, 64
								1, 10, 15—17, 41, 57, 61, 64
Шлифование абразивное	1, 2, 9—16, 18, 19, 24, 25, 26, 28—31, 62—64	1, 2, 7, 9, 10, 12—15, 17, 18, 19, 21, 22, 25—30, 32, 35, 40,	1, 2, 7, 8, 9, 10, 12—15, 17, 18, 19, 21, 22, 25—30, 32, 35,	2, 3, 6, 7, 10—13, 15—17, 18, 19, 21, 22, 24, 26—29, 38, 40, 41,	2, 3, 6, 7, 10—13, 15—17, 18, 19, 21, 22, 24, 26—29, 38, 40, 41,	2, 3, 6, 7, 10—13, 15—17, 18, 19, 26—29, 38, 40, 41, 45, 47, 54,	1, 8, 18, 19, 21, 22, 25, 34, 41	1, 2, 9, 10, 12—17, 18, 19, 25, 26, 29, 32, 38, 54
								2, 9, 14—16, 21, 22, 27, 29, 30, 39, 41, 63—66

			46, 51, 57, 63	40, 46, 51, 57, 63	45, 47, 54, 59, 63, 66	45, 47, 54, 59, 63, 66	59, 63, 66			
профильное	2	39, 40, 45, 51, 54	38—41, 45, 51, 54	38, 40, 41, 45	38, 40, 41, 45	38, 40, 41, 45	38, 40, 41, 45	1, 8, 41	39, 54	39, 41
Шлифование алмазное и зальбировое	18, 19, 25, 26, 45	1, 2, 6, 7, 9—12, 15, 16, 18, 19, 24, 25—29, 32, 33, 36, 37	1, 2, 6—8, 9—12, 15, 16, 18, 19, 24, 25—29, 32, 33, 36, 37	2, 3, 6—8, 9—12, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25—29, 32, 33, 36—38, 41, 45, 57, 59	2, 3, 6—8, 9—12, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25—29, 32, 33, 36—38, 41, 45, 57, 59	2, 3, 6—8, 9—12, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25—29, 32, 33, 36—38, 41, 45, 57, 59	2, 3, 6—8, 9—12, 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24, 25—29, 32, 33, 36—38, 41, 45, 57, 59	1, 9, 18, 19, 21, 22, 34, 41	—	25, 26
профильное	—	38, 39	38—41, 45	38—41, 45	38—41, 45	38—41, 45	38—41, 45	—	—	—
Полирование	56	42, 53	42, 53	—	—	—	—	—	—	—
Хонингование и супер- финишование	23, 24, 44, 45, 51, 55, 62	24, 41, 44, 45, 47, 55, 56, 62, 66	24, 41, 44, 45, 47, 55, 56, 62, 66	7, 24, 38, 40, 44, 45, 62, 63	7, 24, 38, 41, 44, 45, 62, 63	7, 24, 38, 41, 44, 45, 62, 63	7, 24, 38, 40, 44, 45, 62, 63	41	44	7, 41, 44

Примечания: 1. Полушарным шрифтом выделены СОЖ, рекомендованные к применению НИИМаш [49]. 2. В графе «Хонингование и суперфинишование» полушарным шрифтом выделены СОЖ, рекомендованные НИИМаш к применению при алмазном хонинговании

3. СПОСОБЫ ПОДАЧИ СОЖ В ЗОНУ РЕЗАНИЯ

Эффективность использования СОЖ зависит не только от их состава, но и от способа подвода в зону резания. В зависимости от вида механической обработки различают способы подачи СОЖ в зону резания при лезвийной обработке и при шлифовании.

Лезвийная обработка

При лезвийной обработке применяются следующие основные способы: полив свободно падающей струей жидкости; подача жидкости под давлением; струйно-напорная подача СОЖ; подача СОЖ в распыленном состоянии; периодическая (импульсная) подача жидкости.

Подача СОЖ в зону резания свободно падающей струей жидкости является самым простым и наиболее распространенным в промышленности способом. Его эффективность зависит от расхода СОЖ в зоне резания, размеров, формы и направления струи.

Для некоторых технологических операций (глубокое сверление, резьбо-нарезание) применяется способ подачи жидкости под давлением 0,1—2 МПа и более. Указанный способ подачи СОЖ эффективнее обычного полива, так как обеспечивает более интенсивный теплоотвод и надежное вымывание стружки из зоны резания, в результате чего повышается стойкость инструмента и качество обработанной поверхности. Обычно СОЖ подается в зону резания через специальные каналы в стеблях инструментов или кольцевое пространство между стеблем инструмента и обработанной поверхностью.

Сущность струйно-напорного способа заключается в подаче жидкости тонкой струей в зону контакта инструмента с обрабатываемой деталью со стороны задней поверхности. Струя жидкости подается под давлением 0,05—0,2 МПа через сопла с отверстиями диаметром 2—5 мм и под давлением более 1,5 МПа через сопла с отверстиями диаметром не более 0,8 мм. Обычно применяются сопла с диаметром выходного отверстия 0,4—0,6 мм при давлении жидкости 1,5—2 МПа.

Исследования и опыт промышленного применения показали существенные преимущества подачи СОЖ струйно-напорным способом по сравнению с поливом при точении, строгании, фрезеровании и протягивании, а также при обработке деталей из высоколегированных сталей, жаропрочных сплавов и чугунов.

Струйно-напорный способ подачи СОЖ целесообразно комбинировать со свободным поливом, так как это позволяет предотвратить разбрызгивание жидкости и повысить производительность обработки на 20—25 % по сравнению с производимостью при подаче СОЖ только напорной струей.

Недостатками указанного способа являются необходимость тщательной очистки СОЖ от механических примесей, трудность обеспечения высокой точности направления струи на режущую кромку инструмента, сильное разбрызгивание жидкости и необходимость оснащения станка специальной высоконапорной насосной станцией.

Следующий способ подачи СОЖ заключается в распылении жидкости (минерального масла или эмульсии) в небольшом количестве сжатым воздухом и вводе воздушно-жидкостной смеси в зону резания. Рекомендуются такие условия подачи СОЖ в распыленном состоянии: давление сжатого воздуха — до 0,2 МПа; расход 1,5 %-ной эмульсии — до 100 мг/с (при обработке чугунов — до 150 мг/с); расход масла (И-20А, И-12А) — до 0,8 мг/с.

Подачу СОЖ в распыленном состоянии целесообразно применять в следующих случаях: на технологических операциях, где нельзя применять другие способы подачи СОЖ (фрезерная обработка по разметке, обработка крупногабаритных деталей, обработка на высоких скоростях резания, обработка чугуна, заточка); при резании некоторых труднообрабатываемых материалов, когда данный способ оказывается эффективнее полива СОЖ; при необходимости улучшить условия труда (гашение пыли при обработке чугуна, замена раздражающих СОЖ — керосина, сульфидфрезола

и др.); для уменьшения температурных деформаций деталей в процессе обработки.

Достоинствами способа подачи СОЖ в распыленном состоянии являются малый расход жидкости, отсутствие необходимости сбора и очистки СОЖ, поданной в зону резания, хороший обзор зоны резания, что позволяет вести обработку по разметке, уменьшение запыленности на рабочем месте при абразивной обработке и при обработке чугуна.

Для реализации этого способа станок должен быть оснащен специальным устройством, осуществляющим распыление жидкости, и соплом, обеспечивающим подачу воздушно-жидкостной смеси в зону резания.

Периодическая (импульсная) подача жидкости заключается в нанесении дозированного количества смазки на режущий инструмент перед началом резания. Наиболее часто такой способ применяется на операциях резьбонарезания метчиками, при развертывании неглубоких отверстий и других аналогичных операциях, где требуется небольшое количество СОЖ для смазки инструмента.

Шлифование

При абразивном и алмазном шлифовании применяются следующие основные способы подвода СОЖ: 1) свободно падающей струей (поливом); 2) напорной струей; 3) в виде воздушно-жидкостной смеси; 4) через поры круга; 5) струйно-напорный врезонный способ подачи СОЖ; 6) с ультразвуковыми колебаниями; 7) контактный; 8) гидроаэродинамический; 9) в среде СОЖ. В ряде случаев используются комбинации указанных способов: 10) поливом (напорной струей) и через поры круга; 11) поливом (напорной струей) и струйно-напорный врезонный; 12) поливом и с ультразвуковыми колебаниями; 13) поливом (напорной струей) и контактный; 14) струйно-напорный врезонный и контактный; 15) поливом (напорной струей) и гидроаэродинамический. Принципиальные схемы основных способов показаны на рис. IV.1.

Способ подачи СОЖ свободно падающей струей (поливом) широко применяется на универсальных круглошлифовальных станках и наиболее просто реализуется. Принципиальная схема способа показана на рис. IV.1,а. Этот способ целесообразно применять только в единичном и мелкосерийном производстве при обработке материалов, отличающихся хорошей шлифуемостью (например, закаленных углеродистых сталей).

Принципиальная схема способа подачи СОЖ напорной струей та же, что и при подаче СОЖ свободно падающей струей, но в этом случае давление жидкости повышается до 1—1,5 МПа и более. Повышение давления приводит к увеличению скорости потока жидкости, что улучшает отвод тепла от шлифуемой детали и способствует проникновению СОЖ в зону резания. Подача СОЖ напорной струей сопровождается повышенным разбрызгиванием жидкости, что требует надежной герметизации рабочей зоны станка.

Подача СОЖ в виде струи воздушно-жидкостной смеси осуществляется так же, как в первом способе (рис. IV.1,а), только через сопло поступает воздушно-жидкостная смесь. При абразивно-алмазной обработке способ не нашел широкого распространения из-за низкой его эффективности. Применяется главным образом при шлифовании крупногабаритных деталей, ленточном шлифовании, а также на операциях, выполнявшихся ранее всухую.

При подаче СОЖ через поры круга (рис. IV.1,б) хорошо очищенная от механических примесей жидкость подводится во внутреннюю полость шлифовального круга и при его вращении под действием центробежной силы проходит через поры на рабочую поверхность круга. В качестве СОЖ при этом способе обычно применяются минеральные масла с присадками.

Струйно-напорный врезонный способ подачи СОЖ (рис. IV.1,в) заключается в подаче жидкости под давлением на рабочую поверхность шлифовального круга через одно или несколько сопел, расположенных вне зоны резания. Струи СОЖ пробивают воздушный поток, окружающий шлифовальный круг, и очищают поры и абразивные зерна круга от частиц металла и шлама.

Поверхность круга хорошо смачивается СОЖ и на ней образуются смазочные пленки.

При подаче СОЖ с ультразвуковыми колебаниями (рис. IV.1,а) на небольшом расстоянии от рабочей поверхности шлифовального круга устанавливается волновод, жестко соединенный с магнитострикционным вибратором, преобразующим электромагнитные колебания ультразвуковой частоты в упругие. СОЖ, поступающая в зазор между торцом волновода и рабочей поверхностью шлифовального круга, образует промежуточную среду для передачи ультразвуковых волн от волновода к поверхности круга. Подача СОЖ

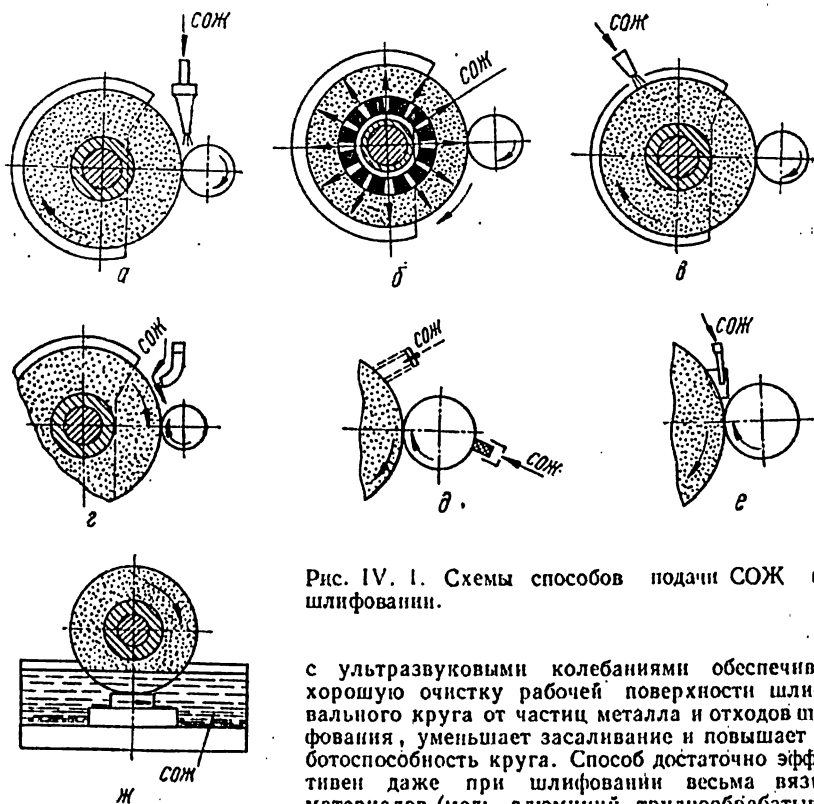


Рис. IV. 1. Схемы способов подачи СОЖ при шлифовании.

с ультразвуковыми колебаниями обеспечивает хорошую очистку рабочей поверхности шлифовального круга от частиц металла и отходов шлифования, уменьшает засаливание и повышает работоспособность круга. Способ достаточно эффективен даже при шлифовании весьма вязких материалов (медь, алюминий, труднообрабатываемые сплавы на никелевой основе). Однако при

использовании этого способа необходимо выдерживать в узких пределах зазор между рабочей поверхностью круга и торцом волновода, что создает определенные трудности.

При контактом (рис. IV.1,б) способе одновременно с поливом зоны резания свободно падающей струей СОЖ на обрабатываемую поверхность детали, в зоне резания непрерывно наносится тончайший слой активной смазки путем поджима к обрабатываемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой. Малые расходы смазки (250—500 мг/с) позволяют применять технологически эффективные, но относительно дорогие составы.

Гидроаэродинамический (рис. IV.1,в) способ заключается в использовании воздушных потоков, создаваемых вращающимся шлифовальным кругом, для повышения скорости движения потока СОЖ относительно рабочей поверхности круга и шлифуемой детали. С помощью специальных устройств по-

ток СОЖ направляется на рабочую поверхность круга, очищает и сминает ее, а затем попадает в зону контакта круга с деталью. Гидроаэродинамический способ подачи СОЖ эффективен практически для всех операций круглого наружного, плоского и бесцентрового шлифования деталей из любых материалов.

Шлифование в среде СОЖ (рис. IV.1, ж) из-за конструктивных трудностей применяется сравнительно редко, главным образом при ленточном и плоском шлифовании и разрезании (отрезании) небольших деталей.

Рекомендации по применению способов подачи СОЖ при абразивном и алмазно-эльборовом шлифовании в зависимости от обрабатываемых материалов приведены в табл. IV. 3.

4. ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ, ПЛАСТИЧНЫХ, ИМПРЕГНИРУЮЩИХ, ВОЗДУШНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕДСТВ

В ряде случаев в качестве СОТС применяются твердые смазки — дисульфид молибдена, нитрид бора BN, графит, мыла, воски, твердые жиры, мягкие металлы (свинец, олово, цинк, медь, барий), полимерные пленки. Наиболее часто используются дисульфид молибдена и графит.

Твердые смазки целесообразно применять в тех случаях, когда использование обычных СОЖ затруднительно или недопустимо, например: при отсутствии на станке системы подачи СОЖ, нарезание резьбы в металлах, склонных к сильному налипанию на режущий инструмент, обработке титановых сплавов и нержавеющей сталей. Твердые смазки чаще всего применяются при обработке быстрорежущим, а иногда и твердосплавным инструментом.

Твердые смазки выпускаются в виде паст, порошков, суспензий, брикетов и карандашей. При резании металлов они используются в виде твердых поверхностных покрытий инструментов и в качестве присадок к СОЖ (например, дисульфида молибдена в масляные СОЖ).

Пластичные смазки представляют собой загущенные смазочные масла — солидолы, констатины, технический вазелин, алюминиевые смазки и др. Пластичные смазки при резании металлов применяются в мелкосерийном производстве при нарезании резьбы метчиками и плашками, на отдельных операциях протягивания, развертывания, дорнования, полирования. На инструмент смазка наносится вручную (кистью или деревянной лопаткой) или путем погружения его в смазку.

Пропитка как способ применения СОТС производится для формирования на поверхностях абразивных зерен и связки смазочного покрытия и заполнения пор инструмента смазкой. В процессе эксплуатации инструмента твердая или пластичная смазка размягчается под действием теплоты, выделяющейся при резании, и перемещается в зону обработки.

В качестве пропитывающих (импрегнирующих) составов чаще всего используются дисперсии графита, дисульфида молибдена, нитрида бора в углеводородных жидкостях, легированные присадками, содержащими серу, хлор, фосфор.

Пропитку абразивно-алмазного инструмента можно производить за счет свободного капиллярного поднятия, вакуумированием, ультразвуковым способом, за счет создания высоких гидростатических давлений [64]. Пропитка позволяет существенно повысить стойкость шлифовальных кругов, снизить их засаливаемость и уменьшить шероховатость обработанной поверхности.

В ряде случаев, когда невозможна подача жидкости в зону обработки, применяется подача сжатого воздуха (обычного или охлажденного). Охлаждение сжатого воздуха осуществляется специальным вихревым холодильником, обеспечивающим разделение подаваемого воздуха на два потока с перераспределением их теплосодержания: поток холодного воздуха имеет температуру от -10 до -40°C , горячего — от $+60$ до $+70^\circ\text{C}$. Поток холодного воздуха направляется в зону резания. Стойкость лезвийного режущего инструмента при подаче охлажденного от -5 до -25°C воздуха повышается

IV.3. Применение способов подачи СОЖ при абразивном и алмазно-эльборовом шлифовании

Материал детали	Шлифование						алмазно-эльборовое				отрасль, предприятие
	крупное, на ружье, плоское, периферийное, грав. бесцент.	внутреннее, плоское торцовое	резьбовое, профильное, шлифование	отрасль, предприятие	мелточное	крупное, внутреннее, плоское, периферийное, бесцент.	плоское торцовое	профильное (гравированное), резьбовое	отрасль, предприятие		
Конструкционные углеродистые стали	1, 9, 6, 15, 11, 2	1, 2, 6, 11, 10	11, 2, 9, 15, 6, 10	2, 1, 5, 11	5, 1, 3	—	—	—	—		
Легированные и высоколегированные стали	9, 15, 6, 11, 2, 10, 13, 12, 1	11, 2, 10, 1, 6	11, 2, 6, 9, 15, 1, 10	2, 11, 1, 5, 15, 6	5, 1, 3	11, 2, 13, 12, 1	11, 2, 1	2, 11, 5, 1	2, 11, 5		
Титан и сплавы на его основе	11, 2, 15, 13, 12, 1, 6, 9, 10	2, 11, 6, 1, 10	11, 2, 12, 1	2, 11, 1, 5, 15	5, 1	—	—	—	—		
Медь, алюминий и сплавы на их основе	9, 15, 11, 12, 13, 1, 2, 6	11, 2, 6, 1	11, 2, 12, 1	11, 2, 15, 5, 1	5, 1	—	—	—	—		
Чугуны	1, 9, 15, 11, 2, 6, 3	11, 1, 2	11, 2, 1	2, 11, 1, 5, 15	5, 1, 3	1, 11, 2, 3	11, 1, 2	2, 11, 5, 1	2, 11, 1		

Примечания: 1. Нумерация способов подачи СОЖ: 1 — поливом; 2 — напорной струей; 3 — в виде воздушно-жидкостной смеси; 5 — в среде СОЖ; 6 — струйно-напорный внеосевой; 9 — гидрозонадинамический; 10 — поливом (напорной струей) и через поры круга; 11 — поливом (напорной струей) и струйно-напорный внеосевой; 12 — поливом с ультразвуковыми колебаниями; 13 — поливом (напорной струей) и контактный; 15 — поливом (напорной струей) и гидрозонадинамический.

2. Способы подачи СОЖ через поры круга, с ультразвуковыми колебаниями и контактный применяются только в сочетании с другими способами и поэтому отдельно в таблицу не включены.

3. Способы подачи СОЖ указаны в порядке убывающей предпочтительности.

в 2,5—3 раза по сравнению с обработкой без охлаждения. Недостатками использования вихревого холодильника являются большой расход сжатого воздуха и высокий уровень шума.

При резании труднообрабатываемых и специальных материалов на отдельных технологических операциях применяется охлаждение газами низкой температуры. В этих случаях используется углекислый газ (в сжиженном и газообразном состоянии), азот и кислород (в сжиженном состоянии). Жидкий азот подается к режущему инструменту через специальное сопло с диаметром выходного отверстия 0,25—0,40 мм. Углекислый газ удобнее использовать в газообразном состоянии, а не в жидком, при котором возможно замерзание сопла и прекращение подачи газа в зону резания.

При резании труднообрабатываемых и высоковязких сталей целесообразно применять жидкий азот, обеспечивающий глубокое охлаждение металлов, переводя их из вязкого в хрупкое состояние, позволяющее интенсифицировать процесс резания за счет уменьшения затрат энергии на пластическое деформирование.

В среде кислорода можно производить точение и сверление кислотостойких и жаропрочных сталей и сплавов, обработку цветных металлов, заточку инструментальных сталей. Для кислорода характерно проявление противозносных и противозадирных эффектов.

Общими недостатками способа применения СОЖ с использованием охлажденных газов являются необходимость использования специального дорогостоящего оборудования и соблюдения специальных мер предосторожности.

Глава V

КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ

Качество поверхности деталей машины — комплексное понятие, определяемое совокупностью признаков. Классификация параметров качества поверхности слоя приведена в табл. V.1 [57].

V.1. Классификация параметров качества поверхности

Группа параметров	Подгруппа параметров	Параметр	Обозначение	Единица измерения
Неровности поверхности	Шероховатость	Среднее арифметическое отклонение профиля	R_a	мкм
		Высота неровностей профиля по десяти точкам	R_z	мкм
		Наибольшая высота неровностей профиля	R_{max}	мкм
		Средний шаг неровностей профиля	S_m	мкм
		Средний шаг неровностей профиля по вершинам	S	мкм
		Относительная опорная длина профиля	t_p	мкм

Группа параметров	Подгруппа параметров	Параметр	Обозначение	Единица измерения
Неровности поверхности	Направление неровностей	Форма и направление неровностей по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования	—	—
	Волнистость	Высота волнистости Шаг волнистости	$H_{нл}$ $L_{нл}$	мкм мкм
Физическое состояние поверхностного слоя	Степень деформации	Степень деформации отдельных зерен Степень деформации слоев (совокупности зерен)	$\epsilon_{зр}$ ϵ	% %
	Деформационное упрочнение	Глубина наклепа Степень наклепа Градиент наклепа	h_n U_n $U_{гр. н}$	мкм % МПа
	Субструктура	Размеры фрагментов	l_f	мкм
		Размеры блоков	$l_{бл}$	мкм
		Угол разориентировки фрагментов Угол разориентировки блоков	α_f $\alpha_{бл}$	...° ...°
	Кристаллическая структура	Параметры решетки Плотность дислокаций Концентрация вакансий	a, b, c $\alpha, \beta, \gamma, \rho$ c	Å см ⁻² —
Напряженность поверхностного слоя	Остаточные напряжения	Технологические макронапряжения	$\sigma'_{ост}$	МПа
		Микронапряжения	$\sigma''_{ост}$	МПа

2. ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Шероховатость поверхностей деталей машин оказывает существенное влияние на их эксплуатационные свойства и характер процессов, происходящих на поверхностях (например, на трение и износ, контактные деформации, концентрацию напряжений, усталостную и ударную прочность, коррозионную стойкость, герметичность и прочность соединений, магнитные свойства, прочность и качество покрытий).

Требования к шероховатости поверхности регламентированы ГОСТ 2789—73. Сравнение величин параметров и классов шероховатости приведено в табл. V.2.

В процессе обработки резанием формирование микропрофиля обработанной поверхности происходит под влиянием следующих основных факторов: геометрических (главный угол в плане ϕ , вспомогательный угол в плане ϕ_1 ,

V.2. Параметры и классы шероховатости поверхности
(по приложению 1 к ГОСТ-2789—73)

Класс	Ra , мкм	Rz , мкм	Класс	Ra , мкм	Rz , мкм	Класс	Ra , мкм	Rz , мкм
1	80	320	6	2,5	10	11	0,08	0,4
2	40	160	7	1,25	6,3	12	0,04	0,2
3	20	80	8	0,63	3,2	13	0,02	0,1
4	10	40	9	0,32	1,6	14	0,01	0,05
5	5	20	10	0,16	0,8			

радиус при вершине r , шероховатость формообразующей поверхности режущего инструмента $R_{\text{и}}$, количество участвующих в работе режущих кромок z ; кинематических (подача s , смещение режущих кромок δ_z , неодинаковость углов в плане на участвующих в работе режущих кромок δ_φ и δ_{φ_1}); факторов, влияющих на условия пластического деформирования материала в зоне резания (скорость резания v , время работы инструмента t , радиус округления режущей кромки ρ , износ инструмента h , глубина резания t , передний угол γ , задний угол α); свойств обрабатываемого материала M ; свойств инструментального материала H ; динамического состояния D системы СПИД; свойств и способов подвода СОЖ, а также вторичных — температуры T и коэффициента трения μ в зоне резания.

Функциональный граф формирования шероховатости обработанной поверхности под действием этих факторов приведен на рис. V.1. Шероховатость поверхности формируется как композиционная, содержащая детерминированную (регулярную, периодическую) основу и налагающуюся на нее случайную компоненту (рис. V.2).

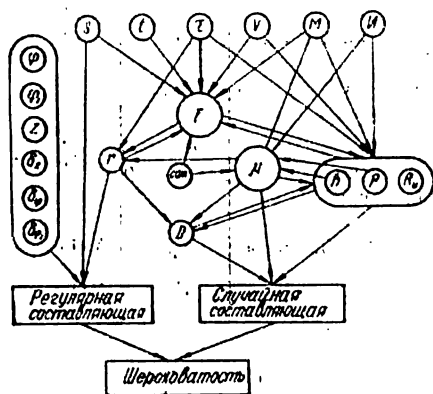


Рис. V.1. Функциональный граф формирования шероховатости поверхности при обработке резанием.

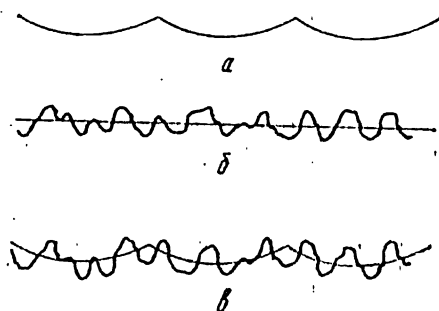
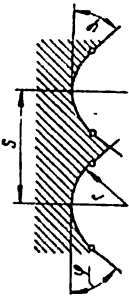
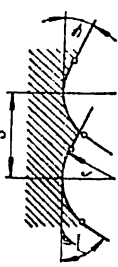
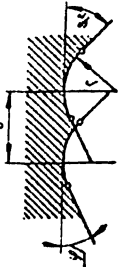


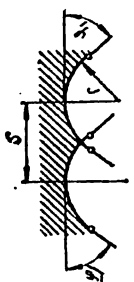
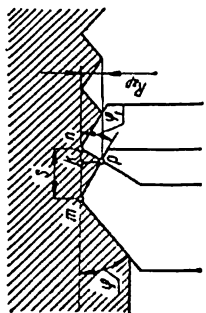
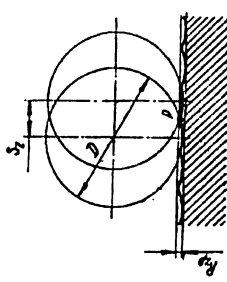
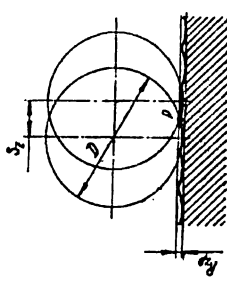
Рис. V.2. Композиционная модель шероховатости:

a — детерминированная основа; $б$ — случайная составляющая; $в$ — суммарная шероховатость.

При обработке лезвийным инструментом, как правило, возникает лишь одна периодическая компонента, частотные характеристики которой определяются кинематическими факторами, прежде всего подачей, а амплитудные — геометрическими. При точении, растачивании и строгании период регулярной компоненты равен подаче s , при цилиндрическом и торцевом фрезеровании — подаче на зуб s_z . Расчетные схемы и формулы для определения амплитуды регулярной компоненты приведены в табл. V.3 [41].

8 V.3. Формулы для определения высоты неровности расчетного профиля

Вид обработки	Условия обработки	Расчетная схема	Расчетная формула
Строгание, точение, растачивание, торцовое фрезерование	$\varphi < \arcsin \frac{s_z}{2r}$ $\varphi_1 < \arcsin \frac{s_z}{2r}$		$R_{zp} = \frac{\sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin (\varphi + \varphi_1)} \left[s_z - r \times \right. \\ \left. \times \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right]$
	$\varphi > \arcsin \frac{s_z}{2r}$ $\varphi_1 > \arcsin \frac{s_z}{2r}$		$R_{zp} = r (1 - \cos \varphi_1) + \\ + s_z \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \times \\ \times \sqrt{s_z \sin \varphi_1 (2r - s_z \sin \varphi_1)}$
	$\varphi < \arcsin \frac{s_z}{2r}$ $\varphi_1 > \arcsin \frac{s_z}{2r}$		$R_{zp} = r (1 - \cos \varphi) + \\ + s_z \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi \times \\ \times \sqrt{s_z \sin \varphi (2r - s_z \sin \varphi)}$

Цилиндрическое фрезерование	$\varphi > \arcsin \frac{s_z}{2r}$ $\varphi_1 > \arcsin \frac{s_z}{2r}$		$R_{z\ p} = r - \frac{\sqrt{4r^2 - s_z^2}}{2} \approx \frac{s_z^2}{8r}$
			$R_{z\ p} = \frac{s_z \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin (\varphi + \varphi_1)}$
	$r = 0$		$R_{z\ p} = \frac{s_z^2 \pi^2 R}{2zs_z + 2\pi R^2} \approx \frac{s_z^2}{8R}$
	Встречное Попутное		$R_{z\ p} = \frac{s_z^2 \pi^2 R}{2zs_z - 2\pi R^2} \approx \frac{s_z^2}{8R}$

При абразивной обработке шероховатость поверхности образуется как сумма следов зерен, расположенных на рабочей поверхности круга и проходящих через зону резания. В каждом сечении круга абразивные зерна составляют элементарный профиль, отличный от профилей в других сечениях (рис. V.3) [65]. В результате последовательного наложения элементарных профилей образуется эффективный профиль шлифовального круга, огибающий сумму наложенных элементарных. Профиль шлифованной поверхности при этом является отображением эффективного профиля (рис. V.4) [61].

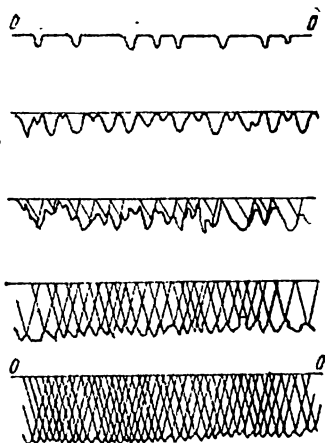
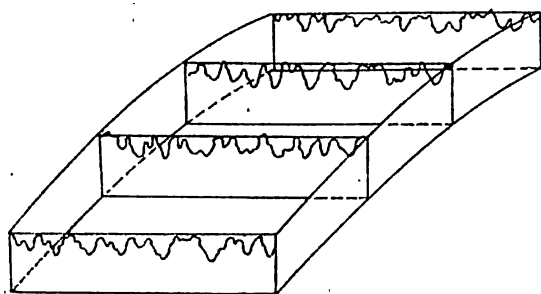


Рис. V.3. Поверхность шлифовального круга, представленная в виде набора элементарных профилей.

Рис. V.4. Схема образования эффективного профиля шлифовального круга.

Число элементарных профилей, образующих эффективный профиль, может быть рассчитано по формуле Филимонова Л. Н.

$$n_{\text{эф}} = N_{\text{акт}} \frac{v}{v_{\text{кр}}} \sqrt{R_z \frac{R_{\text{кр}} r_{\text{дет}}}{R_{\text{кр}} \pm r_{\text{дет}}} \left(\frac{H}{s} \right)^v}, \quad (\text{V.1})$$

где: $N_{\text{акт}}$ — количество элементарных режущих профилей, расположенных на единице длины рабочей поверхности круга; v — скорость вращения детали, м/мин; $v_{\text{кр}}$ — скорость вращения круга, м/с; $R_{\text{кр}}$ — радиус круга, мм; $r_{\text{дет}}$ — радиус детали, мм; H — ширина круга, мм; s — продольная подача, мм/мин; v — показатель степени, учитывающий износ круга (для кругов средних зернистостей $v = 0,3 \dots 0,5$).

Важнейшей характеристикой при анализе реального микропрофиля поверхности является уровень γ случайной компоненты [65]

$$\gamma = \frac{\sigma_1^2}{R_q^2}, \quad (\text{V.2})$$

где R_q — среднее квадратическое отклонение профиля, измеряемое на профилограмме поверхности; σ_1 — среднее квадратическое отклонение случайной компоненты.

В свою очередь, для приближенно синусоидальной формы микронеровностей, свойственной, например, поверхности после обработки лезвийным инструментом, $\sigma_1 = R_q^2 - 0,5 A^2$. В этом случае $A = R_{z_p}$. Значения уровня γ для различных условий обработки приведены ниже:

Вид обработки	Уровень	Вид обработки	Уровень
Строгание		Разпирывание	0,63—0,88
черновое	0,15—0,3	Шлифование	
получистовое	0,3—0,58	черновое	0,6—0,7
чистовое	0,58—0,8	получистовое	0,7—0,8
Фрезерование		чистовое	0,8—0,92
цилиндрическое		Полірование	
черновое	0,15—0,35	черновое	0,78—0,82
получистовое	0,35—0,75	получистовое	0,82—0,90
Фрезерование торцовое		чистовое	0,90—0,96
черновое	0,2—0,31	Гладкое обкатывание	0,35—0,70
получистовое	0,31—0,66	Вибрационное обкатывание	0,15—0,35
чистовое	0,66—0,78	Электронская обработка	0,85—0,97
Точение		Доводка	
черновое	0,15—0,31	черновое	0,75—0,84
получистовое	0,31—0,62	получистовое	0,81—0,92
чистовое	0,62—0,72	чистовое	0,92—0,97
Зенкерование	0,45—0,75	Хонингование	
Сверление	0,50—0,80	получистовое	0,76—0,83
Протягивание		чистовое	0,83—0,96
черновое	0,66—0,75		
чистовое	0,75—0,92		

При лезвийной обработке отклонение реального микропрофиля от расчетного детерминированного происходит в результате вторичных пластических деформаций в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности, упругого восстановления поверхностного слоя и появления вибраций при резании.

Вторичные пластические деформации происходят в зоне контакта главной и вспомогательной задних поверхностей инструмента или нароста с обрабатываемым материалом. В результате на обработанной поверхности наблюдаются задиры, вырывы, происходит деформация остаточных гребешков. Задирки появляются в местах повышенных коэффициентов трения и контактных нагрузок на заднюю поверхность. Периодически повторяющиеся вырывы на обработанной поверхности наблюдаются в местах отрыва поверхностного жидко-текучего слоя от кристаллической основы при течении обрабатываемого материала относительно

инструмента. Нерегулярные вырывы неповторяющейся формы вызваны, как правило, образованием нароста. Деформация остаточных гребешков особенно существенна при малых значениях подачи, вызывающих увеличение не только высоты микронеровностей, но и уровня случайной составляющей в результате неравномерного распределения деформаций по длине гребешка.

Отклонение реальной шероховатости от расчетной в значительной степени зависит от динамической жесткости системы СПИД.

В ряде случаев вероятность расхождения реальной шероховатости и расчетной детерминированной компоненты целесообразно определять с помощью критерия K . Для этого на профилограмму поверхности наносятся амплитудные уровни регулярной составляющей x и y (рис. V.5). Величина K определяется по формуле

$$K = 1 - P(B) = P(A) + P(C).$$

Вероятности нахождения шероховатости соответственно в областях A , B или C

$$P(A) = \frac{P_{cb}P_{ba}}{P_{ba}P_{cb} + P_{bc}P_{ab} + P_{ab}P_{cb}};$$

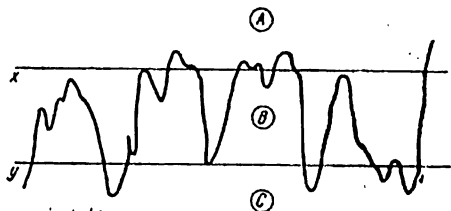


Рис. V.5. Профилограмма поверхности для определения критерия K .

$$P(B) = \frac{P_{ab}P_{cb}}{P_{ba}P_{cb} + P_{bc}P_{ab} + P_{ab}P_{cb}};$$

$$P(C) = \frac{P_{ab}P_{bc}}{P_{ba}P_{cb} + P_{bc}P_{ab} + P_{ab}P_{cb}};$$

где $P_{ba} = \frac{N_x^+}{n_b}$; $P_{ab} = \frac{N_x^-}{n_a}$; $P_{cb} = \frac{N_y^+}{n_c}$; $P_{bc} = \frac{N_y^-}{n_b}$ — переходные вероятности.

Здесь N_x , N_y — количество пересечений профилограммы соответственно с уровнями x и y , причем знак «+» соответствует пересечению уровня с положительной производной (снизу вверх), знак «-» — с отрицательной производной (сверху вниз); n_a , n_b , n_c — количество шагов квантования профилограммы, соответствующих нахождению ее в области A , B или C ; n_a и n_c измеряются на уровнях соответственно x и y , n_b находится из соотношения $n_b = n_0 - (n_a + n_c)$; n_0 — общее количество шагов квантования по всей длине профилограммы; в пределах одного шага профилограмма не должна пересекать уровни x и y более одного раза.

Критерий K изменяется от 0, когда реальная шероховатость полностью находится в пределах расчетной детерминированной, до 1, когда реальная шероховатость полностью выходит за эти пределы.

В качестве базового может быть выбран не только расчетный детерминированный профиль. Например, можно анализировать реальный профиль шлифованной детали, приняв за исходный эффективный профиль шлифовального круга. В этом случае уровни x и y являются границами исходного профиля.

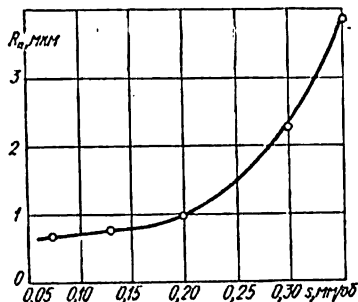


Рис. V.6. Влияние подачи на шероховатость при точении стали 11Х14К13М5НФБЛ при $v = 1$ м/с, $t = 1$ мм.

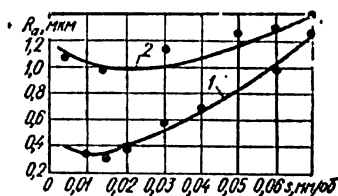


Рис. V.7. Изменение шероховатости поверхности при точении с малыми подачами:
1 — сталь 45; 2 — сталь ЭП378.

Из технологических факторов наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывает подача (толщина среза). Характерная зависимость показателя Ra от подачи приведена на рис. V.6. С увеличением s зависимость шероховатости от подачи приближается к виду $Ra = f(s^2)$, т. е. к расчетной детерминированной составляющей. С уменьшением подачи эта зависимость нарушается в результате увеличения доли случайной составляющей и возрастания влияния вторичных пластических деформаций. При $s < 0,05 \dots 0,02$ мм/об (рис. V.7), особенно при обработке вязких материалов, шероховатость практически не зависит от s и даже может увеличиваться при дальнейшем ее уменьшении. Объясняется это тем, что при таких малых пода-

цах величина остаточных гребешков становится сопоставимой и даже меньше неровностей, вызываемых вторичными пластическими деформациями.

Изменение шероховатости в зависимости от скорости обусловлено температурой и условиями трения в зоне резания. При малых скоростях резания сравнительно низкая пластичность материала способствует увеличению случайной составляющей шероховатости, особенно при скоростях резания, соответствующих интенсивному наростообразованию. Дальнейшее увеличение v вызывает плавное уменьшение шероховатости за счет увеличения пластичности обрабатываемого материала и уменьшения коэффициентов трения в зоне резания. При достаточно больших скоростях резания доля случайной составляющей может уменьшиться настолько, что реальная шероховатость практически сравняется с расчетной детерминированной. Характерная зависимость влияния скорости на показатель R_z показана на рис. V.8.

Глубина резания (ширина срезаемого слоя) практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности. Из геометрических параметров режущего инструмента наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывают углы в плане φ и φ_1 , а также радиус при вершине реза r . Их воздействие на формирование поверхностного слоя в основном геометрическое и практически соответствует расчетным зависимостям, приведенным в табл. V.3.

Во всех случаях уменьшению шероховатости способствует создание на режущих кромках фасок с углом в плане $\varphi = 0$ длиной $l > 1,5 s_z$.

Увеличение переднего и уменьшение заднего углов инструмента способствует некоторому (до 15 %) уменьшению шероховатости обработанной детали [66], однако в реальных пределах их изменения этим влиянием можно пренебречь; выбирать значение этих углов следует с учетом сил резания, стойкости инструментов.

Влияние инструментального материала на шероховатость обработанной поверхности обусловлено трением на рабочих поверхностях инструмента и износом. Изменение марки инструментального материала в пределах одной группы (быстрорежущие стали, твердые сплавы — вольфрамовые, титано-вольфрамовые) почти не влияет на шероховатость обработанной поверхности, так как условия трения в зоне резания для всех материалов одной группы практически одинаковы. При использовании твердых сплавов шероховатость несколько уменьшается с уменьшением содержания кобальта; применение титано-вольфрамовых твердых сплавов способствует некоторому уменьшению шероховатости по сравнению с вольфрамовыми. Применение инструментов из синтетических или натуральных минералов способствует резкому снижению шероховатости обработанной поверхности за счет уменьшения сил трения на контактных поверхностях инструмента и, как результат, уменьшения уровня случайной составляющей. Использование в качестве инструментального материала алмаза, имеющего наименьший коэффициент трения в паре с металлами, способствует резкому уменьшению R_a и приближению реальной шероховатости к расчетной детерминанте (рис. (рис. V.9).

По мере изнашивания инструмента шероховатость обработанной поверхности возрастает и к концу периода стойкости увеличивается при точении на 57 %, цилиндрическом фрезеровании — 115, торцевом фрезеровании — 45, сверлении — 30, развертывании — на 20 %.

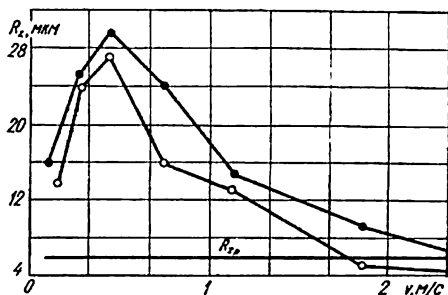


Рис. V.8. Влияние скорости резания на шероховатость поверхности.

Шероховатость поверхности в значительной степени зависит также от свойства обрабатываемого материала, его химического состава и состояния (табл. V.4).

Применение СОЖ способствует уменьшению шероховатости за счет уменьшения сил трения на границе контакта обрабатываемого материала с инструментом (рис. V.10). Степень влияния СОЖ на шероховатость уменьшается с увеличением скорости резания и после $v = 1...2$ м/с становится

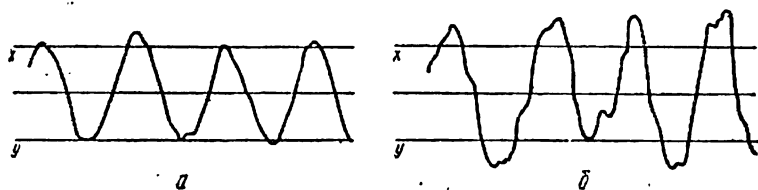


Рис. V.9. Профилограммы поверхностей, обработанных алмазным и твердосплавным резцами (латунь Л59; $v = 2,5$ м/с; $s = 0,07$ мм/об; $t = 0,2$ мм):

a — резец А, $R_a = 0,58$ мкм; *б* — резец ВК3, $R_a = 1,21$ мкм.

равной нулю. Это явление можно объяснить тем, что при больших скоростях обработки СОЖ не попадает в зону резания и выполняет лишь охлаждающие функции.

При абразивной обработке факторами, оказывающими наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности, являются скорость шлифовального круга, скорость детали, зернистость абразива, качество правки круга. Характерная зависимость параметра R_a от скорости резания при шлифовании приведена на рис. V.11. С увеличением скорости вращения детали при

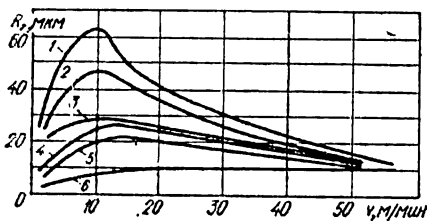


Рис. V.10. Влияние СОЖ на шероховатость обработанной поверхности:

1 — всухую; 2 — масло; 3 — осеребренный керосин; 4 — вода; 5 — очищенный керосин; 6 — четыреххлористый углерод.

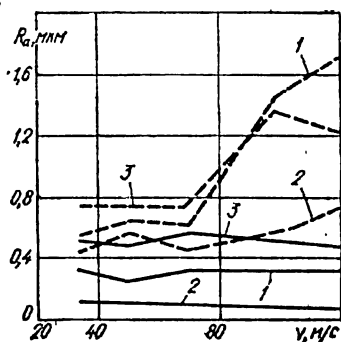


Рис. V.11. Зависимость шероховатости шлифованной поверхности от скорости резания:

1 — сталь 45; 2 — сталь P18; 3 — сталь 1X18H9T (— — шлифование с продольной подачей; ---- — врезное шлифование).

круглом и внутреннем шлифовании шероховатость обработанной поверхности увеличивается в результате уменьшения количества элементарных профилей, пересекающих заданное сечение детали. Мелкозернистые круги при прочих равных условиях всегда обеспечивают меньшую высоту микронеровностей [24]. В пределах используемых для шлифовальных кругов зернистостей абразивных материалов величина R_a может изменяться в два раза

У.4. Влияние особенностей структуры сталей на различные показатели обрабатываемости

Показатели обрабатываемости	Особенности структуры сталей						
	Лементит в виде зерен (сферичный перлит)	Лементит в виде пластинчатой перлитной структуры	Много феррита в виде крупных зерен или ферритная структура	Очень мелкое зерно перлита при относительно большом количестве феррита	Сорбитообразный перлит (очень тонкие пластинки цементита)	Карбиды легирующих элементов в виде сетки или скопления	Сорбит с высокой твердостью
Качество поверхности при работе с низкими скоростями резания (для отделочных инструментов из быстрорежущей стали)	Плохое	Хорошее	Плохое	Плохое	Хорошее	Удовлетворительное	Плохое
Качество поверхности при работе с относительно высокими скоростями резания (более 70 м/мин)	Очень хорошее	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное	»	То же	Очень хорошее
Величина сил резания и склонность к вибрациям	Большая	Относительно небольшая	Относительно небольшая	Повышенная	Относительно небольшая	Относительно небольшая	Большая
Наличие обрабатываемого металла на заданной поверхности	То же	Незначительное	Большое	Большое	Очень незначительное	Очень незначительное	Нет

При правке круга на его поверхности создаются винтовые неровности — следы правящего инструмента, — которые могут влиять на шероховатость обработанной поверхности в большей степени, чем зернистость круга. При проведении правки круга с малыми подачами ($s < 0,1$ мм на один оборот круга) влияние его остаточных неровностей становится малым.

Для расчета шероховатости обработанной поверхности на практике используются эмпирические зависимости. Высоту микронеровностей при точении сталей можно определить из обобщенного уравнения [7]

$$Rz = \frac{s}{r^{0.53} \Delta\varphi_1^{0.04}} (98 - 0,5v), \quad (V.3)$$

где $\Delta\varphi_1 = \arcsin \frac{s}{2r} - \varphi_1$.

Формула (V.3) действительна при $10 < v < 193 - \frac{243s}{r^{0.52}}$ м/мин. При

$v > 193 - \frac{243s}{r^{0.52}}$ достаточно точные результаты можно получить по форму-

лам, приведенным в табл. V.3, так как при таких скоростях резания доля случайной составляющей будет незначительна (при условии достаточной жесткости системы СПИД и отсутствии вибрации).

При абразивной обработке шероховатость поверхности рассчитывается по формуле

$$Ra = \frac{C_{Ra} v_d^p l^z s^q}{v_{кр}^\omega d^\mu H^h} K_1 K_2 K_3, \quad (V.4)$$

где C_{Ra} — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала; v_d — скорость вращения детали; $v_{кр}$ — скорость вращения круга; d — диаметр круга; H — ширина круга; p, z, q, ω, μ, h — показатели степени; K_1, K_2, K_3 — коэффициенты, учитывающие изменение условий резания. Применительно к шлифованию закаленной стали 50Г формула (V.4) примет вид

$$Ra = \frac{490 v_d^{0.68} l^{0.56} s^{0.75}}{v_{кр}^{0.97} d^{0.15} H^{0.15}}.$$

Следует отметить, что расчеты по формулам (V.3) и (V.4) дают весьма ориентировочные результаты, так как реальная шероховатость детали в зависимости от состояния обрабатываемого материала, состояния и качества оборудования, а также других факторов может колебаться в широких пределах.

Ориентировочные значения параметра шероховатости Ra в зависимости от вида обработки приведены ниже:

Вид обработки	Ra , мкм	Вид обработки	Ra , мкм
Опиливание		финишное	1,6—0,2
черновое	125—12,5	алмазное	0,2—0,032
чистовое	12,5—1,6	Зенкерование	100—6
финишное	2,5—0,63	Сверление	100—6
Строгание		Растачивание	
черновое	125—2,5	черновое	125—9
чистовое	2,5—3,2	чистовое	9—2,5
финишное	3,2—0,63	финишное	2,5—0,6
Фрезерование		алмазное	0,6—0,1
черновое	100—18	Протягивание	
чистовое	18—3,2	черновое	4,8—1,2
финишное	3,2—0,4	чистовое	1,2—0,2
Точение		Развертывание	
черновое	125—6,3	предварительное	9—1,2
чистовое	6,3—1,6	окошательное . . .	1,2—0,1

Шлифование		Зубофрезерование об-	
черновое	6,3—1,2	каткой	
чистовое	1,2—0,4	черновое	100—9
финишное	0,4—0,075	чистовое	9—0,8
Шабрение		Зубодолбление копи-	
черновое	6,3—0,8	рованием	
чистовое	0,8—0,2	черновое	50—9
финишное	0,2—0,05	чистовое	9—1,2
Полирование		Зубодолбление обкат-	
черновое	1,6—0,4	кой	
чистовое	0,4—0,1	черновое	50—6,3
отделочное	0,1—0,05	чистовое	6,3—1,2
Притирка		Зубошлифование	2,5—0,25
черновая	0,8—0,2	Зубошлифование ко-	
чистовая	0,2—0,05	пированием	
финишная	0,05—0,01	чистовое	4,5—0,8
Хонингование		финишное	0,8—0,2
чистовое	0,8—0,1	Зубошлифование об-	
финишное	0,1—0,025	каткой	
Суперфиниширование		чистовое	1,6—0,2
чистовое	0,8—0,1	финишное	0,2—0,075
финишное	0,1—0,025	Зубопритирка	0,15—0,05
Зубофрезерование ко-			
пированием			
черновое	100—12,5		
чистовое	12,5—1,6		

3. НАПРАВЛЕНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ

Типы направлений неровностей регламентирует ГОСТ 2789—73. Расположение и форма неровностей зависят от метода обработки — взаимного расположения и формы следов формообразующей поверхности режущего инструмента, определяющих микропрофиль обработанной поверхности. Классификация расположения неровностей в зависимости от способа обработки поверхности приведена в табл. V.5.

Волнистость поверхности образуется не в результате особенностей формообразования поверхности в зоне резания, а вследствие технологического взаимодействия элементов системы СПИД.

4. ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Этот вид упрочнения поверхностного слоя характеризуется тремя показателями: глубиной, степенью и градиентом наклепа. Эти параметры определяются путем измерения микротвердости приповерхностных слоев, так как деформационное упрочнение сопровождается повышением микротвердости металла пропорционально степени деформации. Микротвердость измеряется на поверхности косых срезов образцов с помощью микротвердомеров типа ПМТ-3. Применение косых срезов (под углом $\varepsilon = 1...2^\circ$ к поверхности) позволяет увеличить масштаб глубины слоя и повысить точность измерений. Фактическую величину угла ε рекомендуется контролировать на инструментальном микроскопе.

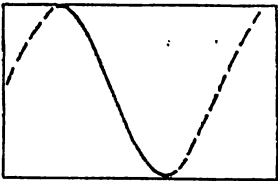
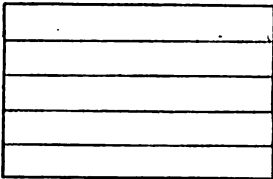
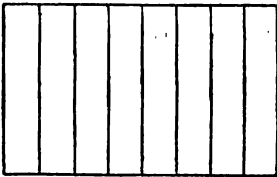
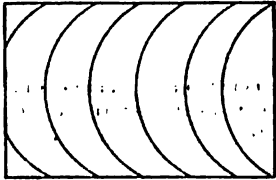
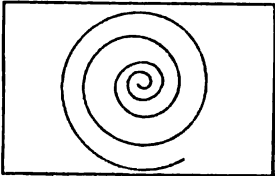
Глубина наклепа $h_n = l \sin \varepsilon$, где l — расстояние от исследуемой поверхности до границы исследуемой зоны.

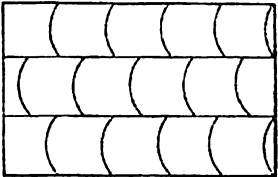
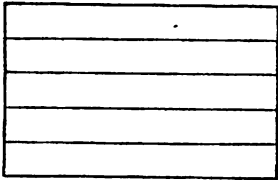
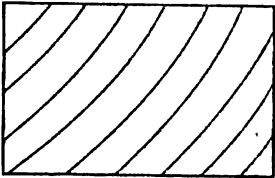
Определение наклепанной зоны проводится путем последовательных измерений микротвердости на поверхности косого среза; ее границей считается крайняя (наименее удаленная от поверхности) точка с исходной микротвердостью. Более точные результаты дает рентгеноструктурный анализ, однако его применение связано с рядом технических трудностей. Степень наклепа

$$U_n = \frac{H_{\mu_{\text{пов}}} - H_{\mu_{\text{исх}}}}{H_{\mu_{\text{исх}}}} 100 \%,$$

где $H_{\mu_{\text{пов}}}$ — микротвердость обработанной поверхности; $H_{\mu_{\text{исх}}}$ — микротвердость исходного недеформированного металла.

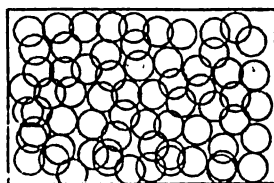
V.5. Расположение неровностей в зависимости от способа обработки

Способ обработки	Эскиз
<i>Детерминированный микропрофиль со случайной компонентой</i> Точение, растачивание, сверление, зенкерование, развертывание	
Строганье	
Цилиндрическое фрезерование	
Торцовое фрезерование	
Торцовое точение	

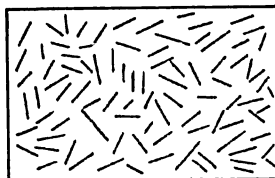
Способ обработки	Эскиз
Зубофрезерование	
Зубодолбление	
Зубшевнигование	

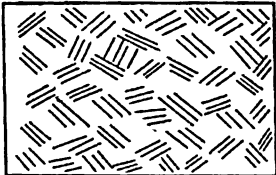
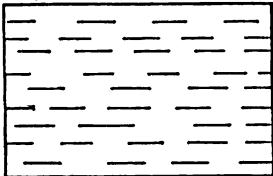
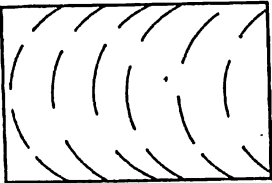
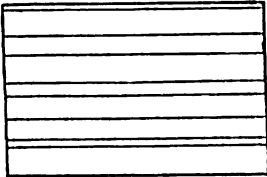
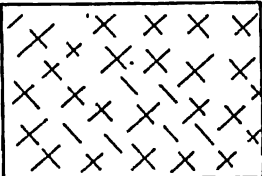
Случайный изотропный микропрофиль

Электронская, виброабразивная, дробеструйная, ультразвуковая обработка



Доводка свободным абразивом



Способ обработки	Эскиз
Шабрение	
<i>Случайный анизотропный микропрофиль</i>	
Шлифование цилиндрической поверхностью круга	
Шлифование торцевой поверхностью круга	
Протягивание	
Хонингование, суперфиниширование	

$$U_{\text{гр}} = \frac{H_{\text{ион}} - H_{\text{исх}}}{h_{\text{н}}} = \frac{\Delta H_{\text{и}}}{h_{\text{н}}}$$

Глубину наклепа можно определить аналитически с помощью формул, применяемых в теории пластичности. При несвободном резании

$$h_{\text{н}} = s \frac{1 - \sin \beta_1}{2 \sin \beta_1} \sin 2\varphi. \quad (\text{V.5})$$

Угол скалывания (сдвига) определяется по формуле

$$\text{tg } \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma}. \quad (\text{V.6})$$

С помощью формул (V.5) и (V.6) можно получить достаточно точные результаты, в большей степени совпадающие с данными рентгеноструктурного анализа, чем с результатами измерения микротвердости [20]. Тем не менее они могут быть рекомендованы для практического использования лишь в качестве формул первого приближения.

В результате деформационного упрочнения поверхностного слоя микротвердость его возрастает по сравнению с исходной [62]: у алюминия — на 90—100 %, латуни — 60—70, мягкой конструкционной и аустенитной стали — 40—50, твердой конструкционной стали — 20—30 %. Глубина наклепанного слоя у сталей средней твердости составляет при черновой обработке резцом 0,4—0,5 мм, чистовой обработке резцом — 0,07—0,09, шлифовании — 0,04—0,06, полировании 0,02—0,04. Глубина наклепа в значительной степени зависит от свойств обрабатываемого материала. Мягкие материалы подвергаются наклепу в большей степени, чем твердые, высокопластичные труднообрабатываемые материалы, например стали аустенитного класса, наклепываются значительно сильнее, чем конструкционные. Так, глубина наклепа при обработке жаропрочной стали ЭИ437А в среднем в три раза больше, чем при обработке стали 45.

На степень и глубину наклепа влияют также режимы резания, геометрия режущего инструмента, степень его затупления, т. е. все факторы, определяющие протекание пластической деформации в зоне резания.

Увеличение скорости резания способствует уменьшению глубины и степени наклепа, а подачи и глубины резания — их увеличению. В табл. V.6 приведены значения $h_{\text{н}}$ и $U_{\text{н}}$ при точении стали ЭИ437А с различными режимами резания [57].

V.6. Глубина и степень наклепа при точении стали

Параметр	v , м/с				s , мм/об				f , мм		
	0,03	0,10	0,41	1,25	0,05	0,12	0,5	1,0	0,25	1,0	2,0
$h_{\text{н}}$, мкм	141,4	128,4	103,4	96,4	120,4	101,7	170,2	219,7	90,6	169,5	194,8
$U_{\text{н}}$, %	49,73	44,79	42,39	35,37	48,92	40,01	49,92	51,49	40,74	54,12	59,56

Наиболее сильное влияние на наклеп поверхности оказывает подача, несколько меньше — глубина и скорость резания. Для большинства мате-

риалов (углеродистых сталей, жаропрочных и титановых сплавов) зависимость глубины и степени наклепа от скорости резания является экстремальной, причем точке минимума соответствует оптимальная, определенная для каждого материала температура контакта.

Изменение переднего и заднего углов в приемлемых на практике пределах вызывает изменение характеристик наклепа на 20 %.

Увеличение износа инструментов, особенно задней поверхности, вызывает значительное увеличение глубины наклепанного слоя (на 200—250 %) в пределах нормативного износа; степень наклепа при этом увеличивается в 1,3—2,0 раза. На рис. V.12 приведена зависимость глубины и

степени наклепа от радиуса округления режущих кромок фрезы при фрезеровании сплава ЭИ437. При шлифовании сохраняются аналогичные зависимости.

5. СУБСТРУКТУРА И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Пластическая деформация поверхностного слоя приводит к резкому изменению структуры: фрагментации зерен, возникновению микронакажаний, увеличению на несколько порядков плотности дислокаций [20]. Микроструктура поверхностного слоя рассматривается в поперечном (нормальном) сечении или на косых срезах в зависимости от толщины деформированного слоя. Как правило, в поперечном сечении структура поверхностного слоя состоит из зерен твердого раствора, вытянутых в направлении движения инструмента.

Микроструктура поверхностного слоя зависит от факторов, определяющих протекание пластических деформаций в зоне резания. Увеличение степени изменения микроструктуры происходит с увеличением подачи, радиуса округления режущей кромки, уменьшением переднего угла, а также при повышенном износе инструмента. Влияние скорости

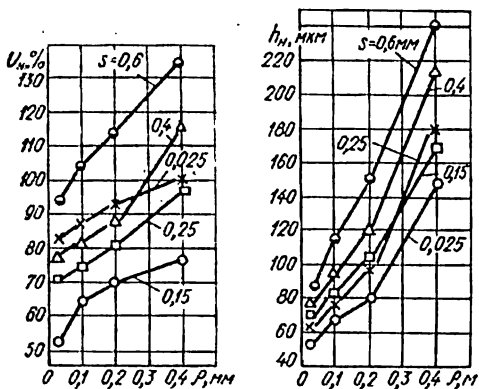


Рис. V.12. Влияние радиуса округления режущей кромки на глубину и степень наклепа при фрезеровании сплава ЭИ437 с различными подачами.

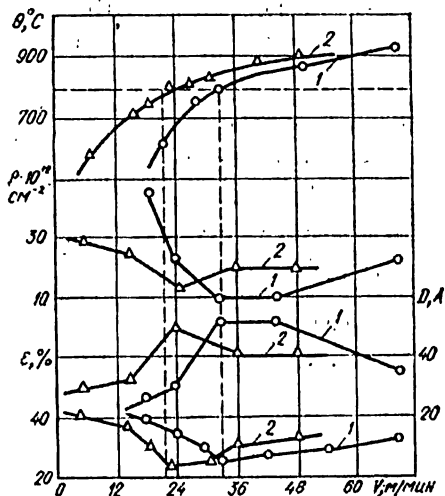


Рис. V.13. Влияние скорости резания на степень пластической деформации ϵ , размер блоков D , плотность дислокаций ρ и температуру резания θ при точении сплава ХН77ТЮР с подачей:

1 — 0,08 мм/об; 2 — 0,2 мм/об.

резания носит экстремальный характер (рис. V.13). Минимальные микроструктурные изменения поверхностного слоя наблюдаются при скоростях резания, соответствующих минимальному коэффициенту трения.

6. ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

Остаточные напряжения характеризуются внутренними напряжениями, которые сохраняются в детали после снятия внешней нагрузки (завершения процесса резания). При этом напряжения первого рода уравниваются в объеме всей детали или большей ее части; напряжения второго рода проявляются в объеме одного или нескольких зерен (например, из-за разных степеней их деформаций в результате различной ориентации кристаллографических плоскостей), напряжения третьего рода уравниваются в пределах объемов одного зерна.

Определение остаточных напряжений первого рода в поверхностном слое после механической обработки проводится по методике, разработанной академиком Н. Н. Давыденковым. Методика эта заключается в том, что с поверхности образца стравливаются химическим или электрохимическим путем слои металла с одновременным измерением деформации образца, вызываемой перераспределением напряжений. Обычно для определения напряжений используются плоские образцы толщиной 4—6 мм, шириной 10—30 мм и длиной 60—100 мм, закрепляемые при травлении консольно или на двух опорах, а также на кольцах толщиной 4—10 мм с наружным диаметром 50—100 мм. Электролиты для травления образцов обычно состоят на основе ортофосфорной кислоты H_3PO_4 с добавкой серной кислоты (до 15 %), глицерина (до 7 %), воды (до 12 %). Электрохимическое травление производится при плотности тока до 1 А/см²; не подлежащие травлению поверхности защищаются лаком, например хлорвиниловым.

Вид формул для расчета остаточных напряжений на расстоянии x от поверхностного слоя зависит от формы, размеров, способа установки образца и расположения исследуемой поверхности.

Для плоских образцов, закрепленных консольно,

$$\sigma = \frac{4E}{3L^2} (a - x)^2 \frac{df}{dx},$$

установленных на двух опорах

$$\sigma = \frac{4E}{3L^2} \left[(a - x)^2 \frac{df}{dx} - 1 (a - x) f + 2 \int_0^a f(\xi) d\xi \right],$$

где E — модуль упругости материала; L — длина рабочего участка исследуемого образца; a — исходная толщина образца; x — толщина удаляемого слоя; f — стрела прогиба образца.

Для кольцевых образцов при снятии внутренних слоев

$$\sigma = - \frac{Ea^2d}{3(D-a)^2} \frac{d(D)}{da}; \quad (V.7)$$

наружных

$$\sigma = \frac{Ea^2d}{3(d+a)^2} \frac{d(D)}{da}, \quad (V.8)$$

где a — расстояние от середины рассматриваемого слоя до наружной в формуле (V.7) и внутренней в формуле (V.8) поверхностей кольца; D — наружный диаметр кольца; d — внутренний диаметр кольца.

На остаточные напряжения, их величину и знак влияют режимы резания (скорость и подача), геометрические параметры режущего инструмента и его износ, свойства обрабатываемого материала. Характерная энора распределения остаточных напряжений в поверхностном слое после обработки резанием показана на рис. V.14.

Во всех случаях обработки в обработанной поверхности можно выделить три слоя, отличающихся знаком и величиной остаточных напряжений [41]. В первом слое на глубине до 2—3 мкм действуют сжимающие напряжения, которые резко переходят в напряжения растягивающие, возникающие на глубине 20—60 мкм, и далее переходящие в сжимающие напряжения.

Сжимающие напряжения в первом слое являются результатом трения между металлом поверхностного слоя и задней поверхностью инструмента. Величина их обычно не превышает 150—200 МПа.

Растягивающие напряжения второго слоя определяются условиями образования поверхностного слоя между округленной поверхностью режущей кромки и основной массой металла. Величина этих напряжений может достигать 300—400 МПа при обработке конструкционных сталей и 700—900 МПа

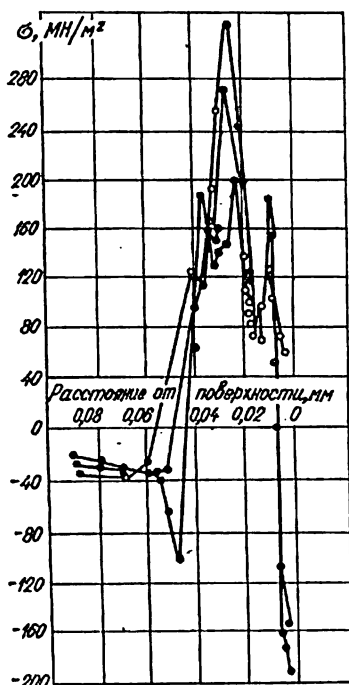


Рис. V.14. Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое.

при обработке нержавеющей и жаропрочных сталей.

Сжимающие напряжения в третьем слое являются реакцией на напряжения второго слоя, а также могут возникать в связи с переходом в этот слой металла, деформированного растяжением в зоне стружкообразования. Величина этих напряжений колеблется от 20—60 МПа для конструкционных сталей до 200—300 МПа для труднообрабатываемых материалов.

При обработке хрупких материалов в поверхностном слое преобладают сжимающие напряжения, при обработке пластичных материалов — растягивающие. При шлифовании остаточные напряжения образуются прежде всего под воздействием теплового фактора и являются, как правило, растягивающими.

Схема влияния основных факторов на характер распределения остаточных напряжений показана на рис. V.15.

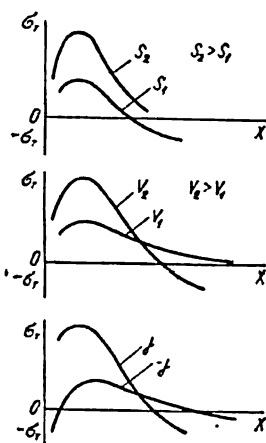


Рис. V.15. Влияние подачи, скорости резания и геометрии инструмента на характер распределения остаточных напряжений.

При малых толщинах среза, значительно меньших радиуса округления режущей кромки, преобладают сжимающие напряжения как результат выглаживающего действия инструмента. С увеличением подачи растут растягивающие напряжения, а также глубина их распространения за счет интенсивного пластического деформирования и повышения температуры поверхностного слоя.

С увеличением скорости резания до 3 м/с снижается глубина распространения и увеличивается величина остаточных растягивающих напряжений за счет сужения пластической зоны и увеличения угла скалывания. Этому способствует также уменьшение коэффициента трения на задней поверхности инструмента. Дальнейшее увеличение скорости резания вплоть до 10—15 м/с не оказывает существенного влияния на характер распределения остаточных напряжений. При шлифовании увеличение скорости резания приводит к большему нагреву шлифусомой поверхности и соответственно к росту напряжений растяжения и увеличению глубины их залегания.

Уменьшение переднего угла способствует некоторому уменьшению величины остаточных напряжений растяжения, но увеличивает глубину их распространения.

Уменьшение углов в плане и увеличение радиуса при вершине реза вызывают незначительное уменьшение величины и глубины распространения остаточных растягивающих напряжений, что связано с уменьшением толщины среза и снижением температур в зоне резания.

Увеличение износа инструмента повышает напряженность поверхностного слоя.

При увеличении времени шлифования растягивающие напряжения заметно возрастают, а область их распространения расширяется. Обработка без поперечной подачи позволяет устранить этот недостаток [62].

Глава VI

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

1. ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Оптимальным является такой режим резания, при котором обработка осуществляется с наибольшей производительностью или с наименьшей себестоимостью. При этом не должно нарушаться динамическое равновесие системы СПИД и полностью должны соблюдаться требования к качеству обработанных деталей.

При обработке одним инструментом режимом наибольшей производительности является, как правило, режим наименьшей себестоимости.

Производительность труда P определяется количеством изделий (деталей), изготавливаемых в единицу времени: $P = 1/T_k$, где T_k — общее нормированное (калькуляционное) время на одну деталь.

От режима резания зависит основное технологическое время T_0 и время $T'_{см}$ на замену и подналадку затупившегося инструмента, которое при постоянном расчетном периоде стойкости T пропорционально времени T_0 и определяется по формуле

$$T'_{см} = T_{см} \frac{T_0}{T},$$

где $T_{см}$ — время на однократную замену и подналадку инструмента. Если другие элементы калькуляционного времени, не зависящие от режима резания и машинного времени, обозначить через T_d , тогда $T_k = T_0 + T'_{см} + T_d$ или $T_k = cT_0 + T_d$, т. е.

$$P = 1/(cT_0 + T_d), \quad (VI.1)$$

где $c = (1 + T_{см}/T)$.

Таким образом, повысить производительность труда можно как путем уменьшения машинного времени, благодаря интенсификации режимов резания, так и путем уменьшения дополнительного времени, затрачиваемого на трудовые действия рабочего и на холостые движения органов станка.

Основное технологическое время механической обработки

$$T_0 = Li/(nsf), \quad (VI.2)$$

где $L = l + l_1 + l_2 + l_3$ — длина пути, проходимого инструментом в направлении подачи, мм; l — длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 — длина пути врезания инструмента, мм; l_2 — перебеги инструмента; l_3 — дополнительная длина (на взятие пробных стружек, наладку станка, ввод и вывод инструмента для дробления и удаления стружки и т. п.); $i = h/t$ — число проходов; h — припуск на механическую обработку, мм.

Если в формулу (VI.2) подставить $n = 1000 \pi D$ и $i = h/t$, то

$$T_0 = A/(sf), \quad (VI.3)$$

где $A = \pi DLh/1000$.

Интенсивность процесса резания характеризуется объемом металла (стружки), снимаемого в единицу времени:

$$Q = fsv, \quad (VI.4)$$

Из формул (VI.3) и (VI.4) следует, что $T_0 = A/Q$.

Режим резания может выбираться либо по стойкости инструмента, либо по мощности станка в зависимости от соотношения между скоростью резания v_n , допускаемой стойкостью инструмента, и скоростью резания $v_{ст}$, допускаемой мощностью станка. Если $v_n < v_{ст}$, то режим резания выбирается по стойкости инструмента. В этом случае скорость резания ограничивается режущими свойствами инструмента, которые используются полностью; станок при этом остается недогруженным. Если $v_{ст} < v_n$, то режим резания выбирается по мощности станка. Тогда скорость резания ограничивается мощностью станка, которая используется полностью, но режущие свойства инструмента при этом реализуются не в полной мере (характерно для маломощных и недостаточно быстроходных станков, на которых нельзя использовать потенциальные возможности современных инструментальных материалов).

Коэффициент использования инструмента по стойкости $\eta_n = v_n/v_{ст}$ равен единице лишь в редких случаях. Поэтому всегда инструмент или станок оказывается недогруженным.

2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

Расчет режимов резания осуществляется в такой последовательности:

1. По нормативным документам или справочникам выбирается марка инструментального материала и геометрические параметры режущей части инструмента. Основные размеры инструмента назначаются по стандартам в зависимости от размеров обрабатываемых поверхностей и крепежных элементов станка.

2. Назначается максимально возможная глубина резания, равная припуску на обработку.

3. Рассчитываются наибольшие допускаемые силы резания и наибольшая допускаемая подача.

4. Сравниваются подачи, допускаемые по силам резания и по шероховатости обработанной поверхности. Дальнейший расчет ведется по меньшей подаче.

5. Найденная подача сопоставляется с имеющейся на станке, выбирается наиболее подходящая.

6. Рассчитывается или подбирается по нормативам период стойкости инструмента.

7. Рассчитывается скорость резания, допускаемая по стойкости инструмента и по мощности станка. В качестве расчетной принимается меньшая ве-

личина. Если меньшей окажется скорость резания, допускаемая по мощности станка, то необходимо уточнить глубину резания или число проходов.

8. Определяется потребная частота вращения шпинделя и сравнивается с имеющимися на станке. Делается выбор между ближайшими меньшим и большим значениями.

9. Для станков с разделенным приводом подачи определяется скорость подачи и выбирается наиболее подходящая из имеющихся на станке.

Для расчета необходимы следующие исходные данные: форма и размеры детали и заготовки (с операционными припусками и допусками); материал заготовки, его механические свойства и, следовательно, величины коэффициентов и показателей степени в формулах для расчета силы резания; порядок обработки поверхностей (по запроектированному технологическому процессу), типы применяемых инструментов; материал и предварительно выбранные (стандартные) геометрические параметры режущей части инструментов; основные паспортные данные станка (эффективная мощность, частота вращения шпинделя, эффективный крутящий момент, подача); наибольшая подача, допускаемая по заданной шероховатости обработанной поверхности; наибольшие допускаемые силы резания по всем ограничивающим факторам.

Для определения режимов резания, обеспечивающих наибольшую производительность (интенсивность) процесса резания, необходимо предварительно выбрать инструмент и станок.

Выбор инструмента

Окончательный выбор материала режущей части инструмента, а также оптимальных геометрических параметров осуществляется на последней стадии — при расчете режимов резания на конкретном станке. Однако еще до уточнения модели и настройки станка надо предварительно выбрать материал режущей части инструмента, так как от этого зависит требуемая техническая характеристика станка (мощность, частота вращения шпинделя и т. д.).

Данные для выбора марки инструментального материала приведены в табл. VI.1 [31].

Выбор и настройка станка

При подробной разработке технологии, связанной с расчетом режимов резания, определяется полезная мощность станка, необходимая для использования режущих свойств инструментальных материалов при принятых размерах сечения срезаемого слоя. Расчетные зависимости для определения сил резания и мощности приведены в табл. VI. 2.

Расчет следует вести для наибольших возможных подач и глубин резания.

Полезная мощность N_d должна быть равна или на 10—25 % больше рассчитанной мощности резания (с учетом коэффициента K_n допускаемой перегрузки), т. е.

$$(1,10 \dots 1,25)N < N_d K_n.$$

Выбирать станок, полезная мощность которого значительно (на 40—50 % и более) превышает расчетную, не следует, так как при неполной загрузке снижается КПД станка.

Параллельно с выбором станка по мощности следует рассчитать требуемый крутящий момент и частоту вращения шпинделя, учитывая допускаемые для станка силы резания и диапазон подач.

Оптимальная угловая скорость или частота вращения шпинделя определяется по формуле (II.1).

Выбранной угловой скорости или частоте вращения соответствует полезный крутящий момент M_n на шпинделе станка, который должен быть больше или равен моменту резания $M_{кр}$:

$$M_d = \frac{M_{кр}}{K_n} = \frac{P_z D}{2K_n}.$$

VI.1. Выбор марки инструментального материала

Характер и условия обработки	Жесткость системы СПИД	Сравнительная оценка инструментального материала по производительности	Рекомендуемые
			углеродистой и легированной стали

Обтачивание наружных и торцовых

Черновое точение поковок, штамповок и отливок по окалине и корке при неравномерном припуске и прерывистом резании (с ударами)	Повышенная	Наивысшая	T5K10
	Нормальная	Средняя	BK8, P18, P6M5
Черновое точение по корке при неравномерном припуске и непрерывном резании	Недостаточная	Пониженная	P18, P6M5
	Повышенная	Наивысшая	T15K6
Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании	Нормальная	Средняя	T14K8
	Недостаточная	Пониженная	T5K10, P18*
Получистовое и чистовое точение при непрерывном резании	Повышенная	Наивысшая	T15K6
	Нормальная	Средняя	T14K8
Тонкое точение (типа алмазной обработки)	Недостаточная	Пониженная	T5K10, P18*
	Повышенная	Наивысшая	T30K4
	Нормальная	Средняя	T15K6
	Недостаточная	Пониженная	T30K4
			T15K6

Обработка

Сплошное сверление	Повышенная	Наивысшая	T14K8, P18*
	Нормальная	Средняя	T5K10, P18*
Рассверливание	Недостаточная	Пониженная	BK8, P18*
	Повышенная	Наивысшая	T15K6, P18*
Черновое зенкерование	Нормальная	Средняя	T15K6, P18*
	Недостаточная	Пониженная	T14K8, P18
Чистовое зенкерование	Повышенная	Наивысшая	T14K8, P18*
	Нормальная	Средняя	T5K10, P18*
Развертывание	Недостаточная	Пониженная	BK8, P18*
	Повышенная	Наивысшая	T30K4, P18*
	Нормальная	Средняя	T15K6, P18*
	Недостаточная	Пониженная	T15K6, P18*
			T30K4, P18*
			T15K6, P18*

Фрезеро

Черновое фрезерование	Повышенная	Наивысшая	T15K6, P18*
	Нормальная	Средняя	T14K8, P18*
	Недостаточная	Пониженная	T5K10, P18*

* При одно- и многоинструментной обработке в том случае, когда невозможно обеспе

при различных видах лезвийной обработки

марки инструментального материала для обработки

специальной труднообра- батываемой стали	закаленной стали	чугуна	цветных металлов и сплавов	неметалли- ческих материалов
---	---------------------	--------	----------------------------------	------------------------------------

поверхностей, растачивание отверстий

ВК8	—	ВК6	ВК6, P18*	—
P18	—	ВК6	ВК6, P18*	—
P18	—	ВК8	ВК8, P18*	—
T5K10	—	ВК6	ВК6, P18*	ВК2, ВК3
ВК8	—	ВК6	ВК6, P18*	ВК6
P18	—	ВК8	ВК6, P18*	ВК8
T5K10	T14K8	ВК6	ВК6	ВК2, ВК3
ВК8, P18	T5K10	ВК6	ВК6	ВК6
P18	ВК8	ВК8	ВК6	ВК6
T15K6	T15K6	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3
T14K8	T14K8	ВК6	ВК3	ВК2, ВК3
—	T30K4	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3
—	T15K6	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3
T5K10	T5K10	ВК6	ВК6	ВК6

отверстий

ВК8, P18*	ВК6	ВК6, P18	P18	ВК2, P18
ВК8, P18*	ВК6	ВК6, P18	P18	ВК6, P18
P18	ВК8	ВК8, P18	P18	ВК8, P18
T5K10, P18	ВК2, ВК3	ВК2, ВК3, P18	P18	ВК2, ВК3, P18
ВК6, P18*	ВК6	ВК6, P18	P18	ВК6, P18
ВК6, P18*	ВК8	ВК8, P18	P18	ВК6, P18
T5K10, P18*	—	ВК2, P18	P18	ВК2, ВК3, P18*
ВК6, P18*	—	ВК3, ВК6, P18*	P18	ВК6, P18*
ВК8, P18*	—	ВК8, P18*	P18	ВК6, P18*
T15K6, P18*	T15K6	ВК2, ВК3, P18*	P18	ВК2, ВК3, P18*
T14K8, P18*	T14K8	ВК6, P18*	P18	ВК6, P18*
T5K10, P18*	T14K8	ВК6, P18*	P18	ВК6, P18*
T30K4, P18*	T30K4	ВК2, ВК3, P18*	P18	ВК2, ВК3, P18*
T15K6, P18*	T15K6	ВК6, P18*	P18	ВК6, P18*
T15K6, P18*	T15K6	ВК6, P18*	P18	ВК6, P18*

в а н н е

T5K10, P18*	—	ВК6, P18*	P18	ВК2, ВК3, P18*
ВК8, P18*	—	ВК6, P18*	P18	ВК2, ВК3, P18*
ВК8, P18*	—	ВК8, P18*	P18	ВК6, P18*

чить достаточно высокую скорость резания,

VI.2. Формулы для определения сил резания и мощности, потребной на резание

Вид обработки	Формулы
Точение	$N = P_z v / 6120; P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} P_z v^n K_{P_z};$ $M_{кр} = P_z D / 2000$
Сверление, рассверливание, зенкерование	$N = M_{кр} n / 975; M_{кр} = C_M D^{q_M} t^{x_M} s^{y_M} M K_M;$ $P_o = C_P D^{q_P} t^{x_P} P_P$
Фрезерование	$N = C_N 10^{-5} D^{q_N} t^{x_N} s^{y_N} B^{u_N} n^{z_N} P_N K_N;$ $M_{кр} = 975 N / n; P_z = 2000 M_{кр} / D$

Примечание. P_z — тангенциальная сила резания; P_o — осевая сила резания; $M_{кр}$ — крутящий момент; C_{P_z} , C_M , C_P , C_N — коэффициенты пропорциональности; K_{P_z} , K_M , K_P , K_N — поправочные коэффициенты для измененных условий работы; x_{P_z} , y_{P_z} , n , q_M , x_M , y_M , q_P , x_P , y_P , q_N , u_N , p_N , z_N — показатели степени в эмпирических формулах соответственно тангенциальной силы резания при точении, крутящего момента и осевой силы при сверлении, зенкеровании, мощности, потребной на резание, при фрезеровании.

Далее следует проверить наибольшее усилие резания, допускаемое механизмом подачи станка. Если оно окажется значительно меньше требуемого, то необходимо либо усилить слабое звено механизма подачи, либо уменьшить силу резания (уменьшить подачу), либо подобрать другой станок.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Наибольшая допускаемая подача определяется из условия

$$[s] = \min \{ [s]_p, [s]_{ш} \},$$

где $[s]_p$ — наибольшая подача, допускаемая по силе резания; $[s]_{ш}$ — наибольшая подача, допускаемая по шероховатости обработанной поверхности.

Найденная подача $[s]$ сопоставляется с имеющимся на станке рядом подач. Обычно оказывается, что $s_q < [s] < s_{q+1}$. Окончательно выбранная подача s не должна превышать расчетную более чем на 10 %, т. е. $s = s_{q+1}$, если $s_{q+1} \leq 1,1 [s]$; $s = s_q$, если $s_{q+1} > 1,1 [s]$.

Допускаемая сила резания $[P_z]$ ограничивается рядом факторов, связанных с прочностью и жесткостью заготовки, приспособления, инструмента, станка. В качестве расчетной принимается наименьшее из всех вычисленных значений.

Расчетная скорость резания определяется из условия

$$v_{\text{опт}} = \min (v_{\text{ст}}, v_n).$$

Скорость резания $v_{\text{ст}}$, допускаемую станком, находят из условий $N < N_s K_n$; $N_s = N_{\text{дв}} \eta$, где N — мощность, затрачиваемая на резание, Вт (кВт); N_s — эффективная мощность станка; $N_{\text{дв}}$ — мощность электродвигателя при-

вода шпинделя, Вт (кВт); η — КПД кинематической цепи от вала электродвигателя до шпинделя. При обработке твердосплавным инструментом $K_n = 1,25$, быстрорежущим — $K_n = 1$.

Скорость резания, допускаемая по стойкости инструмента, определяется по формулам, приведенным в табл. VI.3.

VI.3. Формулы для определения допускаемой скорости резания

Вид обработки	Скорость резания, допускаемая	
	инструментом	станком
Точение, строгание, долбление	$v_n = C_v K_v / T m_t^{x_v} s^{y_v}$	$v_{ст} = [6120 N_{эф} K_n / (C_{P_z} t^{x_{P_z}} P_z^{y_{P_z}} \times K_{P_z})]^{1/(1+n)}$
Сверление, рас- сверливание, зенкерование, развертывание	$v_n = \frac{C_v D^{q_v} K_v}{T m_t^{x_v} s^{y_v}}$	$v_{ст} = \frac{3,06 N_{эф} K_n}{C_M D^{q_M - 1} t^{x_M} s^{y_M} K_M}$
Фрезерование	$v_n = \frac{C_v D^{q_v} K_v}{T m_t^{x_v} s^{y_v} B^{u_v} P_z^{p_v}}$	$v_{ст} = \left(\frac{100 \pi N_{эф} K_n}{C_N D^{q_N - 1} t^{x_N} s^{y_N} B^{u_N} P_z^{p_N} K_N} \right)^{1/z_N}$

Примечание. $C_v, K_v, m, x_v, y_v, q_v, u_v, p_v$ — соответственно коэффициент пропорциональности, поправочный коэффициент на скорость резания для измененных условий работы и показатели степени в формулах скорости резания, допускаемой инструментом; $N_{эф}$ — эффективная мощность станка; K_n — коэффициент допускаемой перегрузки станка по мощности.

Для расчета оптимального числа проходов необходимо найти коэффициент использования инструмента по стойкости при работе в один проход $\eta_n = v_{ст}/v_n$. Если $\eta_n \geq 1$, то режим резания выбирается по инструменту и следует работать с глубиной резания, равной припуску на обработку, т. е. черновую обработку следует проводить в один проход. Если $\eta_n < 1$, то необходимо проверить выгодность работы в два и более проходов. Условие выгодности работы в i проходах записывается следующим образом:

$$1/i^q > \eta_n > 1/(i+1)^q,$$

где $q = -[x_{P_z}(1 - y_v) + n(y_v - x_v) - n_{P_z}(1 - x_v)]/(n_{P_z} - n_{y_v})$.

Показатели степени в формулах для определения параметров режима резания при точении стали и чугуна приведены в табл. VI.4. При определении оптимального числа проходов необходимо учитывать, что с уменьшением глубины резания возрастает подача, допускаемая силами резания. В результате может оказаться, что подача станет больше допускаемой по шероховатости обработанной поверхности. Поэтому дальнейшее увеличение числа проходов не будет сопровождаться соответствующим увеличением подачи и приведет к уменьшению производительности процесса резания.

В табл. VI.5 приведены количественные значения η_n для выбора оптимального числа проходов при черновом точении стали и чугуна. Практически обработка в четыре и более прохода может встретиться лишь при чрезмерно большом припуске на обработку.

VI.4. Показатели степеней в формулах для определения силы и скорости резания, оптимального числа проходов при точении

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Подача	Показатели степеней					
			x_{P_2}	y_{P_2}	n	x_v	y_v	a
Конструкционная углеродистая, легированная сталь и стальное литье	Быстрорежущая сталь	$s \leq 0,25$	1	0,75	0	0,25	0,33	-0,14
		$s > 0,25$					0,66	0,30
	Твердый сплав	$s \leq 0,3$					0,20	-0,19
		$0,3 < s \leq 0,75$	1	0,75	-0,15	0,15	0,35	0,02
		$s > 0,75$					0,45	0,16
Серый чугун		$s \leq 0,4$	1	0,75	0	0,15	0,20	-0,21
		$s > 0,4$					0,40	0,05

VI.5. Критерии для выбора оптимального числа проходов при точении стали и чугуна

Число проходов	Сталь конструкционная углеродистая и легированная		Чугун серый
	Материал заготовки; подача, мм/об		
	Твердый сплав; $s > 0,75$	Быстрорежущая сталь; $s > 0,25$	Твердый сплав; $s > 0,4$
1	$\eta_{n_1} \geq 0,90$	$\eta_{n_1} \geq 0,81$	$\eta_{n_1} \geq 0,96$
2	$0,90 > \eta_{n_1} \geq 0,71$	$0,81 > \eta_{n_1} \geq 0,57$	$0,96 > \eta_{n_1} \geq 0,75$
3	$0,71 > \eta_{n_1} \geq 0,61$	$0,57 > \eta_{n_1} \geq 0,46$	$0,75 > \eta_{n_1} \geq 0,64$
4	$0,61 > \eta_{n_1} \geq 0,55$	$0,46 > \eta_{n_1} \geq 0,39$	$0,64 > \eta_{n_1} \geq 0,57$

Приведенные рекомендации для выбора оптимального числа проходов могут применяться без каких-либо ограничений лишь в том случае, если на станке имеется бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя и подачи. При ступенчатом регулировании скорости и подачи нет возможности осуществить расчетный режим резания, что вынуждает вносить коррективы в выбор числа проходов. Оптимальным признается режим, для которого $Q_t = f_{ts} v_t \rightarrow \max$.

На станке с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя выбор режима резания этим заканчивается. На станках со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя с знаменателем ряда $\Phi_{ш}$, как правило, не может быть осуществлена оптимальная скорость $\omega_{\text{опт}}$ или частота вращения $n_{\text{опт}}$. Поэтому приходится выбирать между ближайшими большей $\omega_{k+1} (n_{k+1})$ и меньшей $\omega_k (n_k)$. Условие выгодности работы с ближайшей большей угловой скоростью (частотой вращения) шпинделя записывается следующим образом:

$$z > \varphi^{1-y}, \quad (\text{VI.5})$$

где $z = v_{\text{опт}}/v_k = \omega_{\text{опт}}/\omega_k = n_{\text{опт}}/n_k$; $\varphi = \omega_{k+1}/\omega_k = n_{k+1}/n_k$; $y = y_v$ (при выборе режима резания по инструменту); $y = y_{P_2}/(1+n)$ при выборе режима

резания по станку). Для конкретных случаев обработки, когда известны показатели степени и знаменатели ряда частоты вращения шпинделя станка, формула (VI.5) сводится к весьма простым соотношениям, пример которых приведен в табл. VI.6. При выборе режима резания по станку, а также при черновом точении стали быстрорежущими резцами в большинстве случаев выгоднее использовать ближайшую большую частоту вращения шпинделя.

VI.6. Условия выбора частоты вращения шпинделя при точении

Элемент, опре- деляющий режим резания	Материал заготовки	Материал резца	Подача s , мм/об	Условие выбора ближайшей большой частоты вращения шпинделя			
				Общая формула	$\varphi^{1-\mu}$ при знаме- нателе ряда		
					1,26	1,41	1,58
Резец	Сталь конструкцион- ная углеродистая и легированная	Твердый сплав	До 0,3	$v > \varphi^{0,80}$	1,20	1,32	1,44
			До 0,75	$v > \varphi^{0,65}$	1,16	1,25	1,35
			Св. 0,75	$v > \varphi^{0,55}$	1,13	1,21	1,29
		Быстроре- жущая сталь	До 0,25	$v > \varphi^{0,67}$	1,16	1,26	1,35
			Св. 0,25	$v > \varphi^{0,34}$	1,08	1,12	1,17
			Чугун серый	Твердый сплав	До 0,4	$v > \varphi^{0,8}$	1,20
	Св. 0,4	$v > \varphi^{0,6}$			1,14	1,23	1,31
	Стан- ок	Сталь конструкцион- ная	Быстроре- жущая сталь	—	$v > \varphi^{0,12}$	1,02	1,04
Чугун серый		Твердый сплав	$v > \varphi^{0,25}$	1,06	1,09	1,12	

При работе с ближайшей большей частотой вращения шпинделя для сохранения равновесия в системе необходимо уменьшать подачу. Расчетная подача, соответствующая ближайшей большей частоте вращения,

$$[s]_{k+1} = s_{\text{опт}} (v/\varphi_{\text{ш}})^{1/\mu},$$

где μ выбирается в соответствии с формулой (VI.5).

При расчете режимов резания чистовой обработки число проходов и глубину резания при отдельных проходах выбирают, исходя из требуемой точности обработки.

4. ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО ТАБЛИЦАМ НОРМАТИВОВ

Аналитический расчет режимов резания связан со значительными затратами времени и рекомендуется лишь для массового и крупносерийного производства при использовании быстродействующих вычислительных средств.

Режим резания может быть выбран по таблицам нормативов. В них содержатся основные таблицы (карты) для выбора подачи и скорости резания, допускаемой инструментом, а также для определения мощности, затрачиваемой на резание. В таблицах приводятся необходимые сведения для выбора марки

материала, геометрических параметров и допускаемого износа режущей части инструмента, расчета основного технологического (машинного) времени, проверки выбранного режима резания по крутящему моменту, тангенциальной силе и силе подачи, прочности державки реза и пластины твердого сплава, жесткости системы СПИД.

Режим резания определяется в таком порядке:

1. По припуску на обработку с учетом последующих переходов устанавливается глубина резания.
 2. В зависимости от глубины резания, размеров инструмента и заготовки, требуемой шероховатости поверхности выбирается подача. После сопоставления с паспортными данными станка принимается рабочая подача. При черновой обработке проверяется подача по силе, допускаемой станком.
 3. Для принятой глубины резания и подачи по соответствующей карте находится скорость резания по инструменту.
 4. По найденной скорости резания определяется необходимая угловая скорость или частота вращения шпинделя и после корректировки по паспорту станка — фактическая скорость резания.
 5. Выбранный режим резания проверяется по мощности станка.
 6. Основное технологическое время определяется по формуле (VI.2).
- Расчет режимов резания может выполняться также с помощью специальных и универсальных логарифмических линеек, по номограммам и циклограммам, картам наладки, а также на электрических счетных приборах.

5. РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ЭВМ

Для автоматизации расчета режимов резания необходимо математическое описание (теоретическая модель) процесса резания. Математическая модель должна содержать систему уравнений и неравенств, характеризующих критерии оптимальности для оценки режимов резания и закономерностей процесса резания, а также технические ограничения, в рамках которых протекает этот процесс.

В качестве критерия оптимальности чаще всего принимается себестоимость выполнения операции, несколько реже — производительность. За основу расчетов при этом берется соответственно экономический период стойкости инструмента T_s или период стойкости наибольшей производительности $T_{пр}$.

Уравнение оценочной функции, т. е. уравнение для определения критерия оптимальности как функции элементов режима резания $t, s, v(n)$, в случае, когда критерием оптимальности служит себестоимость или производительность, имеет вид

$$f = c/(nsf). \quad (IV.6)$$

Уравнения технических ограничений составляются с учетом ряда факторов, действующих в процессе обработки и накладывающих ограничения на режим резания.

Наиболее важные ограничения, которые следует учитывать, и соответствующие им уравнения и неравенства для случая обработки одним резцом приведены ниже.

1. Режущие возможности инструмента учитываются экономической скоростью резания. После преобразования формулы для v_s следует, что $ns^3 v_s^{1/3} = 1000 C_v K_v / (\pi D T_s^m)$.

2. Эффективная мощность на шпинделе станка должна быть больше или равна мощности, затрачиваемой на резание, т. е. $N_s K_n = N_d \eta K_n \geq P_2 v / 6120$. После преобразований и подстановки значений P_2 и v получается

$$ns^3 v_s^{1/3} x_{P_2} \leq 1000 \cdot 6120 N_d \eta K_n / (\pi D C_{P_2} K_{P_2}).$$

3. Заданная производительность станка должна быть меньше или равна достигнутой при выполнении операции. С учетом формул (VI.2) и (VI.1) можно записать $nsf \geq c L h (1/\pi - T_d)$.

4. Наименьшая допустимая скорость резания ограничивается либо условиями стружкообразования (увеличение шероховатости обработанной

поверхности, выкрашивание режущих кромок), либо имеющейся на станке частотой. Эти ограничения сводятся к такому неравенству:

$$n \geq \max \{1000v_{\min}/(\pi D); n_{\text{ст min}}\}.$$

5. Наибольшая возможная скорость резания в ряде случаев ограничивается условиями резания (размерный износ, ухудшение качества изделий) или различной скоростью вращения изделия станка. Аналогично предыдущему $n \leq \min \{1000v_{\max}/(\pi D); n_{\text{ст max}}\}$.

6. Наибольшая подача, допускаемая силами или шероховатостью поверхности, $s \leq \min \{[s]_p; [s]_{\text{ш}}\}$.

7. Наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка, $s \geq s_{\text{ст min}}$.

8. Наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка, $s \leq s_{\text{ст max}}$.

9. Наименьшая технологически допускаемая глубина резания ограничивается условиями срезания сверхтонких стружек (повышение износа инструмента, ухудшение качества поверхности): $t \geq t_{\min}$.

10. Наибольшая возможная глубина резания ограничивается припуском на обработку $t \leq h$.

Приведенное выше уравнение критерия оптимальности (VI.6), уравнения и неравенства технических ограничений (п. 1—10) служат основой для решения задачи о выборе оптимального режима резания методом линейного программирования. Однако эти уравнения и неравенства надо преобразовать в линейные формы (линеаризировать) путем логарифмирования. Так как входящие в формулы величины t, s, h могут быть меньше единицы, то им будут соответствовать отрицательные логарифмы. Чтобы исключить возможность появления отрицательных логарифмов, подачу, глубину резания и припуск на обработку умножают на 100. Для удобства действий на вычислительных машинах пользуются натуральными, а не десятичными логарифмами. После необходимых преобразований и подстановок получается следующая смешанная система (A) линейных уравнений и неравенств и линейная функция, подлежащая оптимизации:

$$W(A) \left\{ \begin{array}{l} x_1 + x_0 x_2 + t_0 x_3 = b_1; \\ x_1 + x_{p_2} x_2 + t_{p_2} x_3 \leq b_2; \\ x_1 + x_2 + x_3 \geq b_3; \\ x_1 \leq b_4; \\ x_1 \geq b_5; \\ x_3 \leq b_6; \\ x_3 \geq b_7; \\ x_3 \leq b_8; \\ x_3 \geq b_9; \\ x_2 \leq b_{10}; \\ f_0 = c_0 - x_1 - x_2 - x_3 \rightarrow \min; \end{array} \right.$$

где $f_0 = \ln f$; $c_0 = \ln c_0$; $x_1 = \ln n$; $x_2 = \ln (100 t)$; $x_3 = \ln (100 s)$; $b_1 = -\ln \{100^{x_0} 1000 C_v K_0 g / (\pi D T_3^n)\}$; $b_2 = \ln \{100^{x_{p_2} + t_{p_2}} 1000 \cdot 6120 A_v \eta K_1 / (\pi D C_p K_{p_2})\}$; $b_3 = \ln \{1000 c L (100 h L P) / (1 - P T_3)\}$; $b_4 = \ln \{\max [1000 \times v_{\min} / (\pi D); n_{\text{ст min}}]\}$; $b_5 = \ln \{\min [1000 v_{\max} / (\pi D); n_{\text{ст max}}]\}$; $b_6 = \ln \{\min [100 [s]_p; 100 [s]_{\text{ш}}]\}$; $b_7 = \ln (100 s_{\text{ст min}})$; $b_8 = \ln (100 s_{\text{ст max}})$; $b_9 = \ln (100 t_{\min})$; $b_{10} = \ln (100 h)$.

Совокупность W представляет собой математическую модель оптимального режима резания для одионструментной обработки на универсальном станке. Этой модели в трехмерном пространстве соответствует система плоскостей, образующих выпуклый многогранник, одна из вершин которого отвечает оптимальному решению и имеет координаты $x_{1\text{опт}}$; $x_{2\text{опт}}$; $x_{3\text{опт}}$. Решение задачи упрощается, если систему (A) с тремя неизвестными привести к

системе (А') с двумя неизвестными. В этом случае графическое решение выполняется на плоскости и график математической модели представляет собой многоугольник.

Найденное из первого уравнения системы (А) неизвестное x_1 подставляется во все неравенства технических ограничений и в уравнение критерия оптимальности:

$$x_1 = b_1 - x_v x_2 - y_v x_3.$$

В результате получается новая система (А'), содержащая только два неизвестных x_2 и x_3 :

$$W(A') \left\{ \begin{array}{l} (x_{p_2} - x_v) x_2 + (y_{p_2} - y_v) x_3 \leq b_2 - b_1; \\ (1 - x_v) x_2 + (1 - y_v) x_3 \geq b_3 - b_1; \\ \vdots \\ x_v x_2 + y_v x_3 \geq b_1 - b_4; \\ \vdots \\ x_3 \leq b_6; \\ \vdots \\ x_3 \geq b_7; \\ \vdots \\ x_3 \leq b_8; \\ \vdots \\ x_2 \geq b_9; \\ \vdots \\ x_2 \leq b_{10}; \end{array} \right.$$

$$f_0 = (c_0 - b_1) - [(1 - x_v) x_2 + (1 - y_v) x_3].$$

Так как разность $(c_0 - b_1)$ в условиях конкретной задачи остается постоянной, то линейная форма f_0 достигает максимума, когда линейная форма $f_0 = [(1 - x_v) x_2 + (1 - y_v) x_3]$ минимальна.

Для расчета на ЭВМ составляются прежде всего исходные данные, содержащие все сведения об изделии, заготовке, инструменте, станке, условиях выполнения операции, и вносятся в специальный бланк-задание. При точении количество исходных данных составляет 102, при обработке отверстий — 71, фрезеровании — 91, обработке резьбы — 60. Время, необходимое для заполнения сведений на один переход, находится в пределах 1—3 мин. Исходные данные для расчета записываются во внешнюю или оперативную память машины (в зависимости от ее конструкции) и берутся оттуда по мере необходимости.

На рис. VI.1 приведена логическая схема программы определения оптимальных режимов резания при одноинструментной обработке в несколько проходов.

В соответствии с программой машина определяет

свободные члены b , проверяет совместность системы уравнений и неравенств и выдает на печать значения $n_{\text{опт}} = e^{x_{1\text{опт}}}$; $t_{\text{опт}} = e^{x_{2\text{опт}}}/100$; $s_{\text{опт}} = e^{x_{3\text{опт}}}/100$; $T_{\text{опт}}$; T_D ; $T_{\text{шт}}$.

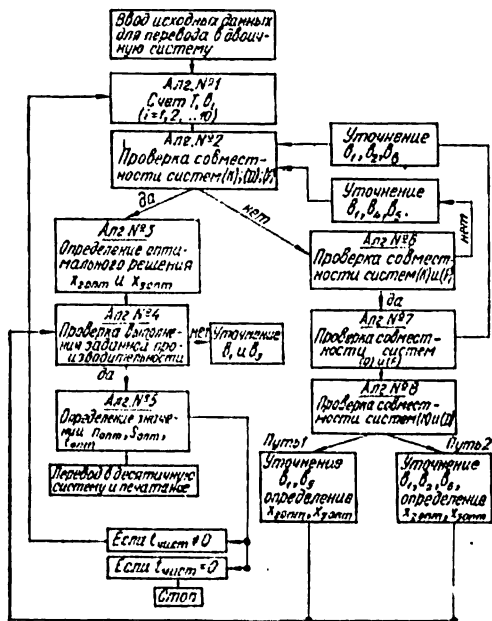


Рис. VI.1. Укрупненная логическая схема программы определения оптимальных режимов резания на универсальном станке.

Рассмотренная методика расчета режимов резания при помощи ЭВМ может быть использована для любой универсальной цифровой машины [10].

Глава VII

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ

Обрабатываемость материалов (способность подвергаться обработке резанием) — комплексное понятие, критериями которого являются скорость резания v_r , допускаемая инструментом при заданном периоде стойкости T ; силы резания; качество (шероховатость) обработанной поверхности; форма стружки и условия ее отвода из зоны резания.

На обрабатываемость влияют характеристики металлов: химический состав, структура, теплофизические (теплоемкость, теплопроводность) и механические свойства (прочность, твердость, пластичность), а также способность к наклепу.

Показатели обрабатываемости имеют относительный характер. Так, скорость резания зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но и от геометрических параметров, материала, качества заточки и доводки режущей части инструмента и свойств СОЖ. Качество обработанной поверхности и силы резания зависят, кроме перечисленных факторов, еще и от скорости резания.

Обрабатываемость различных металлов в значительной степени зависит от специфических особенностей того или иного вида обработки. Например, одни металлы хорошо обрабатываются лезвийными инструментами, но хуже поддаются обработке абразивными инструментами и т. д.

Таким образом, оценка обрабатываемости может быть исчерпывающей, если она дополнена рекомендациями о наиболее подходящем материале и геометрических параметрах инструмента, о рациональных режимах резания, а также другими практическими советами, относящимися к обработке данного материала.

Обрабатываемость металлов может быть улучшена путем термической обработки, специального легирования, применения смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), подогревания или охлаждения металла перед обработкой или в процессе резания.

Улучшение обрабатываемости конструкционных сталей достигается введением в их состав различных добавок, которые либо оказывают существенное влияние на количество, состав, строение и распределение в структуре неметаллических включений, содержащих серу, селен, теллур, кальций, либо образуют металлические включения (свинца), либо изменяют свойства металлической матрицы (фосфор, азот) [9]. При точении сталей с перечисленными добавками повышается скорость резания на 15—25 %, снижаются силы резания на 15—25 %, значительно уменьшается шероховатость обработанной поверхности, образуется легко ломающаяся стружка. Считают, что улучшение обрабатываемости достигается главным образом благодаря уменьшению адгезионного взаимодействия между обрабатываемым материалом и инструментом [41].

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ

Обрабатываемость металлов заданным инструментом определяют, проводя испытание на заготовках, применяемых в производственных условиях. Ее определяют по скорости и силе резания, а также по шероховатости обработанной поверхности. При установлении обрабатываемости по скорости и силе резания токарными проходными резцами обрабатывают заготовки диаметром $D \geq 60$ мм и длиной $L \leq 8D$. В лабораторных условиях необходимо

проверить характеристики механических свойств заготовки, химический состав, структуру металла и режим предшествующей термической обработки. При определении обрабатываемости по шероховатости обработанной поверхности форма и размеры образцов должны соответствовать показанным на рис. VII.1. Для установления обрабатываемости по скорости резания заготовки предварительно обтачиваются с глубиной резания не менее 1 мм и с подачей 0,5 мм/об, а по шероховатости обработанной поверхности — с подачей 0,15 мм/об. Колебания твердости образцов не должны превышать 10—15 единиц по Бринеллю.

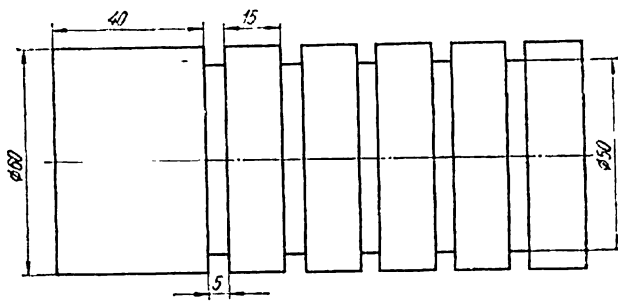


Рис. VII.1. Образец для испытаний шероховатости обработанной поверхности.

Испытания проводятся на токарном станке с высотой центров не менее 200 мм и расстоянием между центрами не менее 1000 мм с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя в пределах 12,5—1000 мин⁻¹ и мощностью двигателя не менее 5 кВт. Измерение сил резания выполняется токарным динамометром.

Определение обрабатываемости металлов по скорости резания методом продольного обтачивания

Обычно для определения обрабатываемости выбирается скорость резания, близкая к экономической. Например, для точения используется скорость резания v_{00} при периоде стойкости 60 мин, для торцового фрезерования — скорость резания $v_{1,0}$ при периоде стойкости 180 мин. С целью экономии металла обрабатываемость определяют также на скоростях резания, примерно соответствующих периоду стойкости наибольшей производительности: при точении — $v_{2,0}$ и при фрезеровании — $v_{6,0}$ [25, 26].

Чтобы найти скорость резания v_{00} для каждого испытуемого материала по данным опытов устанавливают зависимость периода стойкости резца от скорости резания по пяти скоростям v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 , соответствующим периоду стойкости резцов в пределах от 10 до 80 мин. Обработка стали проводится без охлаждения резцами из быстрорежущей стали P18 и твердого сплава Т5К10 со следующими параметрами: $\gamma = 20^\circ$ (P18) и $\gamma = 10^\circ$ (Т5К10), $\alpha = 8^\circ$; $\phi = 60^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $R = 1$ мм. Критерием затупления служит износ по задней поверхности, равный 1,0 мм.

Рис. VII.2. Зависимость периода стойкости от скорости резания.

Резание выполняется с постоянным сечением срезаемого слоя (по ОМТМ 0058-001—65 рекомендуется $t \times s \approx 1,5 \times 0,2$) и другими постоянными параметрами резания. По результатам испытаний

строят графики зависимости $T = f(v)$ в логарифмической системе координат (рис. VII.2), из которых определяют v_{80} .

При определении относительной обрабатываемости полученную скорость резания v_{80} сравнивают со скоростью резания v_{80} для эталонной конструкционной углеродистой стали 45 ($\sigma_n = 650$ МПа, твердость HB 179), принятой за единицу и равной для резания быстрорежущим резцом 1,2 м/с, твердосплавным — 2,25 м/с.

Определение обрабатываемости металлов по силам резания

Условия испытаний такие же, как при определении обрабатываемости по скорости резания. Силы резания измеряют с помощью универсального динамометра конструкции ВНИИ при работе острым резцом через 1—2 мин после начала резания. Чтобы установить относительную обрабатываемость испытуемого материала, полученные результаты сравнивают с силами резания стали 45.

Определение обрабатываемости по шероховатости обработанной поверхности

Критерием обрабатываемости служит высота шероховатости Ra или Rz , которая определяется с помощью профилометров, профилографов или оптических приборов (см. гл.V). По результатам испытаний строят графики зависимости высоты шероховатостей от скорости резания и подачи, которые сравнивают с аналогичными графиками для эталонного материала (например, стали 45).

3. УСКОРЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ

Метод торцевой обточки позволяет быстро и без затруднений получить для принятых условий зависимость между скоростью резания и периодом стойкости резцов [41].

Для этого обрабатывают торцы образца от центра к периферии (рис. VII.3), пока на некотором диаметре не наступит затупление резца. Момент затупления определяется полным разрушением режущей кромки — появлением блестящей полоски на поверхности резания.

По результатам опытов строят график. По оси абсцисс откладывают радиус R , на котором произошло затупление резца, а по оси ординат — угловую скорость (частоту вращения) шпинделя станка (рис. VII.4). Из графика определяют $\tan \alpha$ и находят показатель z относительной скорости по формуле

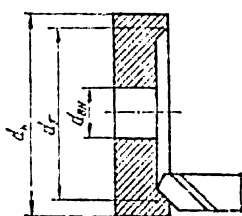


Рис. VII.3. Схема торцевой обточки.

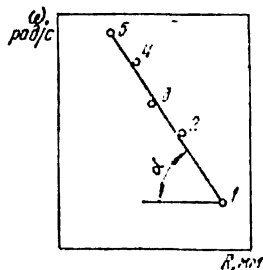


Рис. VII.4. Зависимость радиуса затупления от угловой скорости при поперечном точении.

где α — угол наклона прямой (рис. VII.4); z — показатель относительной скорости.

$$\tan \alpha = (z + 1)/(z - 1), \quad (VII.1)$$

где α — угол наклона прямой (рис. VII.4); z — показатель относительной скорости.

$$C = v_n \sqrt[2]{2\pi R / [\omega s (z+1)]} \{ C = v_n \sqrt[2]{R / [ns (z+1)]} \}, \quad (\text{VII.2})$$

где v_n — скорость резания, при которой произошло затупление, м/с (м/мин); R — радиус, на котором произошло затупление, м(мм); $\omega(n)$ — угловая скорость (частота вращения) шпинделя, рад/с (мин⁻¹); s — подача, мм/об; z — показатель относительной скорости.

Время работы резца

$$\tau = (d_n - d_{\text{н}}) / (2ns),$$

где τ — время, мин.

Для повышения достоверности нахождения показателя относительной скорости z необходимо, чтобы диапазон изменения угловой скорости (частоты вращения) шпинделя был достаточно большим ($\omega_{\text{max}}/\omega_{\text{min}} \geq 8$). Это условие обеспечивается только при большом диаметре образцов ($d \geq 300$ мм).

Скорость резания v_{60} определяется следующим образом. Образец протачивают пять-восемь раз при различной угловой скорости (частоте вращения) шпинделя станка, которую подбирают так, чтобы резцы затупились за один проход. Наименьший диаметр, на котором происходит затупление, должен быть, по крайней мере, вдвое больше диаметра $d_{\text{н}}$ отверстия.

Полученные значения $\omega(n)$ и R наносят на график и через эти точки проводят прямую под углом $\alpha = \arcs \lg z$. Затем значения R и $\omega(n)$ подставляют в формулу (VII.2). Зная C и z , можно легко найти v_{60} при данных t и s :

$$v_{60} = C/60^{1/2}.$$

Метод торцевой обточки имеет ряд существенных недостатков. Главный из них — это доведение режущей кромки до полного разрушения. Кроме того, из-за изменения скорости резания изменяются тепловой режим работы и условия износа резца. Вследствие малого периода стойкости резцов не обеспечивается стабильность результатов. Метод торцевой обточки не применим для резцов из твердого сплава.

Однако для сравнения обрабатываемости различных металлов этот метод может применяться, так как отклонения, вызванные изменением условий резания, оказывают примерно одинаковое влияние при всех испытаниях, и потому не должны давать существенного искажения их результатов.

Рис. VII.5. Зависимость интенсивности износа от скорости резания.

Методика определения обрабатываемости в производственных условиях, предложенная А. С. Кондратовым, позволяет заменить лабораторные исследования наблюдениями в цехе и устанавливать зависимость $v = C/T^m$, сокращая в шесть-десять раз объем экспериментальных работ. Эта методика основана на допущении о том, что интенсивность износа не зависит от его величины. Сущность методики заключается в следующем [41].

Определяют интенсивность износа резца $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ для каждой скорости резания $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$, с которой выполнялась обработка в период стойкости резца: $H_1 = \delta_1/T_1$; $H_2 = \delta_2/T_2$; $H_3 = \delta_3/T_3, \dots, H_n = \delta_n/T_n$. Здесь $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ — износ резца по задней поверхности за время работы $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$.

Далее в логарифмических координатах строится график (рис. VII.5) зависимости износа от скорости резания $H = f(v)$, представляющий собой прямую, направленную под углом α' к оси H , причем $\lg \alpha' = m$. Затем опреде-

ляется эквивалентная интенсивность износа за период стойкости резца $H_{\text{экв}} = (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n) / (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n)$, по которой из графика $H = f(v)$ определяется соответствующая этой интенсивности износа скорость резания $v_{\text{экв}}$. В зависимости $v = C/T^m$ коэффициент $C = v_{\text{экв}} T^m$, где $T = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n$.

С целью уменьшения расхода материала и сокращения длительности опытов рекомендуется доводить затупление резца по задней поверхности до 0,4 мм.

Пользуясь рассмотренной методикой, можно определить стойкость на станках со ступенчатым изменением скорости вращения шпинделя.

Метод Кеснера (Кип-Лоренца, Бауэра) заключается в обработке испытуемого металла сверлом диаметром 10 мм при постоянной частоте вращения шпинделя 400 мин⁻¹ ($v = 0,21$ м/с). Характеристикой обрабатываемости служит глубина проникновения сверла в металл за 100 оборотов (l_{100} , мм). Поддача сверла осуществляется с помощью постоянного груза (50 кг). Величина l_{100} сопоставляется с величиной l углубления сверла в металл, принятый в качестве эталонного. Обрабатываемость оценивается коэффициентом, который вычисляется по формуле

$$K_{\text{обр}} = (l_{100}/l) 100 \, \%.$$

Этот метод не дает достаточно достоверных сведений для расчета оптимальных режимов резания, но может быть использован для классификации металлов по обрабатываемости. При испытании хрупких материалов методом Кеснера получаются лучшие результаты, чем при испытании пластичных вязких материалов. Метод Кеснера, в частности, широко применяется для оценки обрабатываемости меди и ее сплавов.

4. ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали

Обрабатываемость углеродистой стали зависит от содержания углерода. Наилучшей обрабатываемостью обладают термически не обработанные стали, содержащие 0,2—0,3 % углерода. И уменьшение, и увеличение содержания углерода приводят к ухудшению обрабатываемости. Присадки серы и фосфора, несколько снижающие эксплуатационные свойства стали, улучшают ее обрабатываемость. Так, сталь с содержанием серы 0,08—0,3 % и фосфора до 0,15 % обрабатывается значительно лучше аналогичной малоуглеродистой стали. Таким же образом сказывается содержание до 1 % марганца. Автоматные стали, содержащие до 0,3—0,4 % серы, до 0,15 % фосфора и до 0,7 % марганца, обрабатываются со скоростями в 1,5—2 раза больше, чем малоуглеродистые стали.

Влияние легирующих элементов на обрабатываемость определяется их способностью растворяться в феррите или образовывать карбиды. Элементы, растворяющиеся в феррите, повышают его вязкость и ухудшают обрабатываемость. Добавка карбидообразующих элементов до определенного предела существенно не изменяет обрабатываемости стали.

Металлургические факторы — способы изготовления и прокатки стали — заметно влияют на ее обрабатываемость. Конвертерные малоуглеродистые стали с повышенным содержанием серы и фосфора обрабатываются хуже сталей, выплавленных в мартеновских и электрических печах и содержащих меньше серы и фосфора. По этой же причине ухудшается обрабатываемость резанием стали, выплавленной с использованием электрошлакового переплава и рафинированной синтетическими шлаками. Обрабатываемость спокойных сталей с контролируемым размером зерна выше, чем полуспокойных и особенно кипящих. Раскисление стали алюминием и кремнием приводит к образованию алюминатов и силикатов, обладающих повышенной истирающей

способностью, и ухудшению обрабатываемости. Холоднотянутая углеродистая сталь с содержанием углерода до 0,3 % обрабатывается лучше, чем горячекатаная; обрабатываемость холоднотянутой и горячекатаных сталей с содержанием углерода 0,3—0,4 % одинакова; при большем содержании углерода холоднотянутая сталь обрабатывается хуже горячекатаной.

Сильное влияние на обрабатываемость оказывает термическая обработка и структура стали. Наилучшей обрабатываемостью обладает перлит. Однако обрабатываемость перлита зависит от формы входящего в него цементита. Сталь со структурой зернистого перлита, цементит которого имеет форму мелких шарообразных зерен, имеет меньшую истирающую способность, чем сталь с пластинчатым перлитом, в котором цементит имеет форму пластинок различной толщины. Обрабатываемость стали ухудшается при переходе от точечного перлита к зернистому и пластинчатому. Вместе с тем пластинчатый перлит обеспечивает меньшую шероховатость обработанной поверхности, и для окончательных операций эта структура предпочтительна. Хуже обрабатывается металл со структурой сорбитособразного перлита, сорбита, троостита и мартенсита.

На обрабатываемость стали оказывает также влияние размер зерна. Крупнозернистые стали на ферритной основе обрабатываются лучше, чем мелкозернистые.

Малоуглеродистые стали должны иметь структуру феррита и пластинчатого перлита, что обеспечивает при содержании углерода до 0,3 % удовлетворительную обрабатываемость. Необходимо, чтобы феррит был равномерно распределен между зернами перлита. Крупные скопления феррита значительно ухудшают обрабатываемость.

В среднеуглеродистой стали с содержанием углерода 0,35—0,55 % предпочтительна структура пластинчатого перлита и феррита в виде сетки, так как затраты, связанные с переводом пластинчатого перлита в зернистый, не окупаются некоторым улучшением обрабатываемости. Для высоколегированных среднеуглеродистых сталей такое превращение перлита может оказаться весьма эффективным.

Шероховатость поверхности высокоуглеродистой стали, имеющей структуру зернистого перлита, хотя и более высока, однако сталь можно обрабатывать с большей скоростью резания.

Инструментальная легированная и быстрорежущая сталь обрабатывается при невысоких скоростях резания. Шероховатость ее поверхности после обработки высока. При наличии вольфрама свыше 10 % ухудшение обрабатываемости вызывается образованием сложных карбидов. Ванадий и кобальт, растворяясь в феррите, повышают его вязкость. Хром и молибден образуют карбиды и, кроме того, растворяются в феррите. Оптимальной структурой инструментальной стали для обработки лезвийными инструментами является зернистый перлит с равномерно распределенными карбидами. Ее получают после тщательной проковки и сфероидизирующего отжига.

В табл. VII.1 приведены коэффициенты обрабатываемости стали и сплавов, в табл. VII.2 — обрабатываемость стали для отливок.

VII.1. Коэффициент обрабатываемости резанием стали и сплавов [21, 22]

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Твердость HB	Коэффициент обрабатываемости K_u	
				твердым сплавом	быстрорежущей сталью

Углеродистая сталь обыкновенного качества
(ГОСТ 380—71*)

Ст0	Горячекатаный	470	103—107	2,10	1,65
Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп		—	137	1,8	1,6

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Твердость HB	Коэффициент обрабатываемости K_0	
				твердым сплавам	быстро-режущей сталью
СтЗкп, СтЗас, СтЗсп, СтЗГпс	Горячекатаный	410	124	1,8	1,6
Стбпс, Стбсп, Стбпс, Стбсп		550 650	158	1,2	1,2

Углеродистая сталь качественная конструкционная
(ГОСТ 1050—74*)

08	Горячекатаный	320—420	131	2,1	1,65
10, 10кп		460	98—107		1,6
15, 15кп		—	143	1,8	—
20		460—500	126—131	1,7	1,6
25		480	—		
30		470	143	—	1,7
35		520	144—156	—	1,3
40		530	170	—	1,2
45		660	170—179	1,0	1,0
50		650	196—202		0,7
55	Нормализованный	—	212—225		0,65
60		—	241	0,7	
65Г	Закаленный и отпущенный	840	—	0,85	0,8

Легированная сталь (ГОСТ 4543—71*)

20X	Горячекатаный	470	131	1,7	1,3
35X		620	163	—	0,95
40X, 45X			163—168	1,20	
50X		640	207	0,85	0,80
20Г	Нормализованный	—	143—187	1,00	0,95
30Г			149—197		0,3
40Г			171—207	0,95	0,70

Продолжение табл. VII.1

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Твердость HB	Коэффициент обрабатываемости K_B	
				твердым сплавом	быстро-режущей сталью
50Г	Закаленный и отпущенный	730	202	0,90	—
45Г2	Нормализованный	—	229	0,8	0,55
18ХГТ		540	156—159	1,1	1,0
30ХГТ		880	364	0,45	0,25
30ХМ, 30ХМА	Закаленный и отпущенный	950	229—269	0,7	0,3
35ХМ		810	240—250	—	0,5
40ХФА		—	241	0,75	0,65
40ХН	Горячекатаный	700	166—170	1,0	0,9
12ХН3А, 12Х2Н4А		—	183—187	1,25	0,95
30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА		720	207—217	0,85	0,75
38ХГН	Закаленный и отпущенный	650	187—236	1,0	0,9
20Х2Н4А	Кованный	—	156—163	1,40	0,75
40ХН2МА	Горячекатаный	570	228—235	0,7	0,4
18Х2Н4МА	Кованный	—	265	1,40	—
38Х2МЮА	Закаленный и отпущенный	800	240—277	0,75	0,55

**Инструментальная углеродистая сталь
(ГОСТ 1435—74)**

У7, У7А	Отожженный	630	187	1,2	1,1
У8, У8А	Горячекатаный	590	182	—	1,0
У10, У10А	Отожженный	550	170	—	1,1
У12, У12А		—	207	1,0	0,9

**Инструментальная легированная сталь
(ГОСТ 5950—73)**

9Х, 9ФХ	Отожженный	690	187—196	0,95	0,60
9ХС	Горячекатаный	—	>221	0,9	0,5
ХВГ		780	235	0,75	0,35

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Твердость HB	Коэффициент обрабатываемости K_D	
				твердым сплавом	быстрорежущей сталью
X12M, X12Φ1	Горячекатаный	730	217—228	0,8	0,3
5XГМ	Отожженный	920	≥207	0,6	0,3
5XНМ		920	286	0,6	—
3X2B8Φ		730	202—217	0,9	0,45
4X2B2MΦC (45X2CB2MΦ)	Закаленный и отпущенный	—	44—48*	0,26	—

Быстрорежущая инструментальная сталь
(ГОСТ 19265—73)

P18	Отожженный	—	212—228	—	0,3
-----	------------	---	---------	---	-----

Подшипниковая сталь (ГОСТ 801—60)

ШХ15, МХ15СГ	Горячекатаный	760	202	0,9	0,36
9Х18 (Х18)	Отожженный	710	212—217	0,86	0,35

Сталь для валков холодной и горячей прокатки

55Х	Нормализованный	740	217—229	0,8	0,6
60ХГ	Нормализованный и отпущенный	680	236—285	0,9	0,75
50ХН		—	170—217	0,8	0,7
60ХН	Нормализованный	—	—	0,9	
45ХНМ	Закаленный и от- пущенный	700	197—269		
75ХМ	Нормализованный	—	—		0,6

Рессорно-пружинная сталь (ГОСТ 14959—69)

55С2	Горячекатаный	—	255—269	0,65	0,3
60С2, 60С2А		1100	270—320	0,7	0,27

Высоколегированные коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные стали и сплавы
(ГОСТ 5632—72**)

15Х5М (Х5М, 12Х5МА)	Горячекатаный	400	170	2,7	2,0
(15Х11МΦ) 1Х11МΦ	Закаленный и отпущенный	730	217	1,0	0,6

* Твердость HRC.

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Твердость HB	Коэффициент обрабатываемости K_p	
				твердостью сплавом	быстро-режущей сталью
18X11MНФБ, 2X11MФБН	Закаленный и отпущенный	770	269	0,9	0,5
15X12ВНМФ (1X12ВНМФ), 20X12ВНМФ (15X12ВМФ)	Отожженный	620	187	—	0,6
20X13 (2X13), 30X13 (3X13)	Закаленный и отпущенный	750	241	0,7	0,45
40X13 (4X13)			340	0,6	0,4
18X12ВМБФР (2X12ВМБФР)	Закаленный и отпущенный	930	277—293	—	
12X13 (1X13)		750	235	0,8	0,5
14X17H2 (1X17H2)		1100	430	0,2	0,15
08X13 (0X13)		600	149—159	1,4	0,7
15X25T (X25T)	Отожженный	—	149—163	0,9	0,6
12X21H5T (1X21H5T)				0,75	0,35
37X12H8Г8МФБ (4X12H8Г8МФБ)	Термообработанный	—	269	0,4	0,2
45X14H14B2M (4X14H14B2M)	Закаленный	710	200	—	0,15
09X14H19B2BP (1X14H18B2BP)	Отожженный	520	200	1,0	0,35
09X14H12B2BP1 (1X14H18B2BP1)	Термообработанный	580	158	0,8	0,4
08X16H13M2B (1X16H13M2B)	Отожженный	630	182	—	0,4
08X15H24B4TP (X15H24B1T)	Термообработанный	800	215—228	0,2	0,15
12X18H10T (X18H10T)	Закаленный	620	169	0,85	0,35
12X18H9T (1X18H9T)		480	≥170		
12X18H12T (X18H12T)					
31X19H9MBBT (3X19H9MBBT)	Термообработанный	600	175	0,6	0,3

Марка стали и сплава	Состояние металла	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Твердость НВ	Коэффициент обрабатываемости $K_{\text{об}}$	
				твердым сплавом	быстро-режущей сталью
20Х23Н18 (Х23Н18)	Нормализованный и отпущенный	620	178	—	0,4
ХН35ВТ (ЭИ612)	Термообработанный	970	269	0,3	0,15
ХН35ВТЮ (ЭИ787)		950	340—364	0,15	0,1
ХН78Т (ЭИ435)		720	156	0,5	0,3
ХН80ТБЮ (ЭИ607)		750	165	0,2	0,15
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)		1080	262		0,08
ХН70ВМЮТ (ЭИ765)		1000	302	0,15	
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)		830	202	0,2	0,1
ХН67ВМТЮ (ЭП202)		1060	217	0,1	0,08
ХН65В9М4ЮТ (ЭИ893)		940	285—293	0,15	0,07
ХН75МВЮ (ЭИ827)		1110	278—293	0,1	0,05

Сталь для отливок (ГОСТ 977—75*)

15Л, 20Л	Нормализованный	400	121—126	1,5	1,35
25Л, 30Л	Отожженный	—	160	1,25	1,0
35Л	Термообработанный			1,2	0,9
40Л			200	1,1	1,0
45Л	Отожженный			0,7	
55Л	Термообработанный	600	196—207	0,7	0,55
35ГЛ	Отожженный	—	202—207	0,75	0,55
40ХЛ	Закаленный и отпущенный	630	196—217	1,1	0,6
80ГСЛ	Отпущенный	1040	241—255	0,55	0,35
35ХГСЛ	Отожженный	600	187	0,9	0,7

Высоколегированная сталь (ГОСТ 2126—77)

110Г13Л	Закаленный	—	229	0,25	—
---------	------------	---	-----	------	---

Примечание. Обрабатываемость определена для условий полустого точения без охлаждения по чистому металлу резцами, оснащенными твердыми сплавами Т5К10, ВК8 (для аустенитных сталей и сплавов на нежелезной основе) и резцами из быстро-режущей стали марок Р18, Р12 (для углеродистых и легированных марок стали) при по-

стоянных значениях глубины резания $t = 1,5$ мм, подачи $s = 0,2$ мм/об и главного угла в плане резцов $\varphi = 60^\circ$. Она оценивается по скорости резания $v_{\text{рез}}$ и выражается коэффициентом K_c , представляющим собой отношение скорости резания рассматриваемого материала к скорости резания эталонной стали 45 ($\sigma_B = 750$ МПа, твердость $HB 179$), скорость резания $v_{\text{рез}}$, которой принята за единицу и равна 2,4 и 1,2 м/с при точении соответственно твердосплавным и быстрорежущим резцами.

VII.2. Обрабатываемость резанием стальных отливок

Стали	σ_B , МПа	δ , %	Твердость HB	E , ГПа	Обрабатываемость резанием
Углеродистые:					
содержащие 0,2 %С	350—580	26—38	108—150	200—210	Удовлетворительная
» 0,2—0,5 %С	490—840	12—32	140—240	200—210	То же
» 0,5—1,0 %С	700—1400	2—23	200—400	200—210	Удовлетворительная, пониженная*
Низколегированные	500—1750	2—35	105—500	200—210	Удовлетворительная
Высоколегированные:					
жаропрочные	450—1400	2—35	130—400	190—200	Удовлетворительная, пониженная*
коррозионно-стойкие	490—1400	8—60	140—400	190—200	То же
износостойкие (аустенитные)	560—1400	15—55	180—550	190	Пониженная

* В зависимости от марки стали.

Нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

Стали и сплавы с особыми свойствами, которые содержат в больших количествах хром, никель, вольфрам, молибден, ванадий, титан и другие элементы, обрабатываются значительно хуже конструкционных легированных сталей. Это связано с рядом особенностей их механических и физических свойств.

Так, стали и сплавы аустенитного класса отличаются высокой степенью наклепа при превращении срезаемого слоя в стружку. В некоторых жаропрочных сталях и сплавах в процессе пластического деформирования происходят структурные превращения, заключающиеся в переходе аустенита в мартенсит и в выделении карбидов и интерметаллидов. Все жаропрочные стали и сплавы обладают низкой теплопроводностью и температуропроводностью, что затрудняет отвод тепла из зоны резания в стружку и заготовку и приводит к повышению температуры резания и интенсивности затупления инструмента. Наличие в структуре стали и сплавов сложных карбидов и интерметаллических соединений, имеющих высокую твердость, вызывает ускоренное изнашивание режущих инструментов, особенно быстрорежущих. При резании большинства жаропрочных сталей и сплавов происходят значительные колебания силы резания, что вызывается образованием суставчатой и даже элементной стружки. Вследствие этого возникают вибрации, приводящие к ускоренному затуплению инструмента и служащие причиной его хрупкого разрушения.

При резании жаропрочных сталей и сплавов из-за недостаточной прочности не могут применяться твердые сплавы группы ТК. Обработка же более прочными, но менее теплостойкими однокорбидными твердыми сплавами и быстрорежущими сталями ведется со значительно меньшей скоростью резания.

Обрабатываемость жаропрочных сталей и сплавов в большой мере зависит от термической обработки. В результате отпуска и отжига аустенитных ста-

лей происходит выделение из твердого раствора и коагуляция карбидов, что сопровождается снижением прочности и улучшением обрабатываемости. Закалка и нормализация, наоборот, ухудшают обрабатываемость несмотря на то, что твердость многих аустенитных сталей снижается.

Деформируемые жаропрочные сплавы на никелевой основе после закалки обрабатываются лучше, так как происходит растворение высокодисперсных интерметаллических соединений и снижение прочности. После отжига и отпуска, вызывающих выделение интерметаллидов и упрочнение сплавов, обрабатываемость ухудшается.

В табл. VII.3 приведены ориентировочные скорости резания сталей и сплавов с особыми свойствами.

Титановые сплавы

При резании титановых сплавов с высокой скоростью образуется сучающаяся и элементная стружка, длина которой может быть больше длины срезаемого слоя, т. е. коэффициент усадки стружки меньше единицы. Ширина площадки контакта стружки с передней поверхностью инструмента в 1,5—2 раза меньше, чем при резании конструкционной стали такой же прочности. Титановые сплавы очень плохо проводят тепло. Коэффициент теплопроводности равен примерно 8,5 Дж/(м · с · К), что примерно в пять-шесть раз меньше, чем у стали 40. Перечисленные свойства приводят к тому, что температура на контактных площадках и интенсивность затупления инструмента значительно выше, чем при обработке стали. Вследствие меньшей прочности твердых сплавов группы ТК и химического родства их с обрабатываемым материалом обработку титановых сплавов ведут менее теплостойкими, но более прочными инструментами из быстрорежущей стали и твердых сплавов группы ВК.

Ориентировочные скорости резания при обработке титановых сплавов приводятся в табл. VII.3.

Чугун

Обрабатываемость чугуна зависит от многих факторов и в первую очередь от химического состава, структуры, физико-механических свойств. Положительное влияние на обрабатываемость оказывает увеличение содержания графита, дисперсности и равномерности распределения структурных составляющих. Легирующие элементы, как правило, создают равномерные, дисперсные структурные составляющие, и поэтому при одинаковой твердости обрабатываемость легированных чугунов подчас выше, чем у обычных.

Во всех случаях необходимо учитывать отрицательное влияние литейной корки на обрабатываемость.

Улучшению обрабатываемости способствуют повышение содержания углерода, увеличение углеродного коэффициента, повышение содержания меди и в меньшей степени никеля и молибдена.

Существенно улучшает обрабатываемость серого чугуна рафинирование жидкого расплава, снижающее содержание неметаллических включений и повышающее качество чугуна: модифицирование, вакуумирование, продувка газами и др.

Обрабатываемость ковкого чугуна при одинаковых механических и физических свойствах зависит от его марки. Это связано с изменениями в структуре, иногда очень незначительными. Так, при содержании 5—7 % включений эвтектического цементита твердость и прочность ковкого чугуна изменяются незначительно, но стойкость режущего инструмента снижается резко.

Основной причиной, нарушающей зависимость между обрабатываемостью ковкого чугуна и его твердостью и прочностью, является неоднородность структуры, особенно у перлитного ковкого чугуна. Так, чугун с крупнопластичным перлитом обрабатывается хуже, чем более твердый чугун с зернистым перлитом.

При повышении содержания углерода и кремния увеличивается количество свободного углерода в структуре ковкого чугуна, понижается его

VI.3. Ориентировочные скорости резания и коэффициент обрабатываемости K_0 сталей и сплавов с особыми свойствами [43]

Группы сталей	Марка	Термическая обработка	σ_0 , МПа	Ориентирующая скорость резания, м/мин, при обработке инструментом		K_0 по сравнению со сталью
				из твердого сплава	из быстрорежущей стали	
Теплостойкие хромистые, хромоникелевые и хромомолибденовые стали перлитного и аустенитного классов	34XНЗМ	Отжиг	600	200—250	60—70	0,9
	34XНЗМФ, 20XЗМВФ (ЭИ415)	Закалка и отпуск	≥ 900	150—180	30—40	0,6
	X6CM (ЭСХ6М)	Отжиг	≥ 650	200—250	60—70	0,9
	12X13 (1X13)	Закалка и отпуск	≥ 600	170—220	25—50	0,7
	25X13Н2 (ЭИ474)	Отжиг	700—1000			
Коррозионностойкие, нержавеющие хромистые и сложнелегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов	1X12Н2ВМФ (ЭИ961)	Закалка и отпуск	900	180—210	30—45	0,65
	20X13 (2X13)		≥ 700			
	30X13 (3X13)		≥ 850	140—180	28—42	0,6
	40X13 (4X13)	Нормализация и отпуск	≥ 950			
	14X17Н2 (1X17Н2, ЭИ268)	Закалка и отпуск	1100	120—150	25—35	0,5
	09X16Н4Б (ЭП56)		1000	130—160	28—38	0,55
			1300	70—90	15—20	0,3

Коррозионностойкие, жаростойкие, жаростойкие хромо-никелевые стали аустенитного и переходного аустенитно-мартенситного классов	07X16H6 (X16H6, ЭП288)	Нормализация и отпуск	1100	120—150	25—35	0,5	1,0
	23X13HВ.МФЛ (ЭП165)	Отжиг	850	140—180	28—42	0,6	1,2
	ЭП311 (ВНС-6)	Закалка и отпуск	1550	60—75	13—18	0,25	0,5
	12X18H10T (X18H10T)	Закалка	1750	35—45	7—10	0,15	0,3
	20X23H18 (ЭИ417)		>550	120—150	25—35	0,5	1,0
	X15H5Д2Т (ЭП410, ЭП225, ВНС-2)		1000				
	12X21H5T (ЭИ811)		>700	100—130	20—30	0,42	0,85
	X15H9Ю (ЭИ904)	Нормализация	850—1100	110—130	22—32	0,45	0,9
	X17H5M3 (ЭИ925, СНЗ)		1000				
	45X14H1462M (ЭИ69)		>700	100—130	20—28	0,40	0,80
	08X15H124B4T (ЭП164)			70—90			
	ЭИ935		>800	80—100	15—25	0,30	0,60
	07X21Г7ΛH5 (ЭП222)		1000	80—100			
	12X25H16Г7AP (ЭП1835)		>800				
	57X12H8Г8MФБ (ЭИ4481)		>900	50—60	12—20	0,23	0,45
	10X11H20T3P (ЭИ696)						
Жаропрочные, жаростойкие, жаростойкие хромо-никелевые, хромо-никеле-мартеновские, хромо-никеле-мартеновские сложнотермические стали аустенитного класса							

Группы сталей	Марка	Термическая обработка	σ_b , МПа	Оrientировочная скорость резания, м/мин, при обработке инструментом		K_u по сравнению со сталью	
				из твердого сплава	из быстрорежущей стали	45	12Х18Н10Т
Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие хромоникелевые, хромоникелемарганцовистые легированные стали аустенитного класса	10Х11Н2Г3МР (ЭИ696М, ЭИ133)	Закалка и старение	>900	50—60	12—20	0,23	0,45
	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	Закалка	700—750				
Жаропрочные деформируемые сплавы на железоникелевой и никелевой основе	36НХТЮ (ЭИ702)	Закалка и старение	1200	40—50	8—12	0,16	0,32
	ХН60В (ВЖ98, ЭИ868)	Закалка	800				
	ХН77ТЮ (ЭИ437А), ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	Закалка и старение	1000				
	ХН35ВТЮ (ЭИ787)		950	22—28		0,12	0,24
	ЭП99		1150—1300				
	ХН56ВМТЮ (ЭП199)	Закалка	900	20—25	6—10	0,10	0,20
	ХН67ВМТЮ (ЭП202), ХН75МВЮ (ЭП1827)		1000				
	ХН72МВКЮ (ЭИ867)	Закалка и старение	1250	18—20	5—10	0,08	0,15
	ХН60МВТЮ (ЭП487)		1150				
	ХН82ТЮМБ (ЭП460)		1350				

Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе	ВЖ 36-Л2	Закалка и старение	80	18—20	—	0,05	0,1
	АНВ-300		85				
	ЖС6К, ЖСЗДК		100				
	ХН67ВМТЮЛ (ЭП202Л)		75				
	ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2		45—70				
Сплавы на титановой основе	ВТ3	Отжиг	95—115	100—150	30—40	0,6	1,2
	ВТ3-1		95—120	50—70	18—25	0,28	0,56
	ОТ4		70—90	70—100	25—35	0,4	0,8
	ОТ4-1		60—75				
	ВТ5, ВТ5-1		70—95				
	ВТ6, ВТ6С		90—100	60—80	20—30	0,32	0,65
	ВТ14, ВТ15		100	50—75	20—28	0,3	0,6
	ВТ14	Закалка и старение	115—130	45—60	15—20	0,24	0,48
	ВТ15		130—150				
Высокопрочные стали	28ХЗСНМВА (СП28), 30Х2ГСН2ВМ (ВЛ-1)	Закалка и отпуск	≥160	45—65	5—10	0,22	0,44
	33ХЗСНМВФА (СП33), 38ХЗСНМВФА (СП38), 42Х2ГСНМ (ВКС-1) 38Х5МСФА (ЭП257)		170	40—50	4—5	0,18	0,36
			190	28—38	2—3	0,14	0,28
			195	25—35	1—2	0,13	0,25
	43ХСНМВФА (СП43)		210	20—30	—	0,12	0,24
Тугоплавкие металлы и их сплавы	Вольфрам	—	—	25—40	5—8	0,10	0,20
	Молибден		—	90—120	12—16	0,20	0,40
	Никобий, тантал		—	70—100	30—50	0,40	0,80

твердость и улучшается обрабатываемость. Для получения более чистой поверхности необходимо стремиться к мелким включениям углерода отжига, равномерно расположенным в металлической основе. Шероховатость обработанной поверхности перлитного ковкого чугуна ниже (меньше), чем ферритного, что имеет особое значение при обработке резьбы.

Сильно ухудшают обрабатываемость ковкого чугуна поверхностные дефекты, возникающие при отжиге в недостаточно герметизированной печи, имеющей окислительную атмосферу. В результате такого отжига образуется слой окалины, которая глубоко внедряется в приповерхностные слои отливки по границам зерен в безуглеродженном слое на глубину до 0,7—1 мм и не удаляется при пескоструйной и дробеструйной обработках.

Обрабатываемость чугуна с шаровидным графитом зависит от его прочности и твердости, которые, в свою очередь, зависят от структуры металлической основы. Чугун с ферритной структурой имеет наиболее низкую прочность, сравнительно низкую твердость и наилучшую обрабатываемость. По сравнению с ним чугун с перлитной структурой металлической основы имеет более высокие прочность и твердость и несколько худшую обрабатываемость. Стойкость резцов при точении ферритного чугуна вдвое выше, чем при точении перлитного чугуна.

При механической обработке высокопрочного чугуна с шаровидным графитом усилие резания на 50—60 % выше, чем при обработке обычного серого чугуна с пластинчатым графитом той же твердости. При наличии в чугуне карбидов его обрабатываемость резко ухудшается.

Скорость резания чугуна с ферритной структурой металлической основы достигает 3—5 м/с. Шероховатость обработанной поверхности меньше, чем у серого чугуна с пластинчатым графитом, и параметр $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм.

Обрабатываемость чугуна с шаровидным графитом при эквивалентной прочности или твердости лучше, чем серого чугуна и стали. Стойкости резания при его обработке могут быть на 25 % выше.

Чугун с перлитной структурой, полученной в литом состоянии и после нормализации, обрабатывается практически одинаково.

Белый износостойкий хромистый чугун с содержанием хрома 28 % и марганца 5 % обрабатывается плохо, при содержании хрома 12—15 % и марганца 0,5—3,8 % — удовлетворительно.

Никельхромистый мартенситный чугун (нихард) лезвийным инструментом практически не может быть обработан. Возможна лишь зачистка шлифовальными кругами.

Обрабатываемость немагнитного чугуна резанием обычным инструментом обуславливается вязкостью аустенита и формой графитовых выделений (включений). Наличие в чугуне крупных выделений графита улучшает обрабатываемость, так как облегчает отламывание стружки еще до того, как действие резца приведет к наклепу аустенита.

Наиболее распространенный никельмарганцевый чугун (2,6—3,2 % С, 2,5—3,5 % Si, 5,0—7,5 % Mn, 9—12 % Ni, $\leq 0,1$ % S, $\leq 1,1$ % P) хорошо обрабатывается резанием.

Для улучшения обрабатываемости резанием аустенитного чугуна иногда применяют отжиг при 1000 °С с выдержкой до 1 ч и охлаждением в воде, что приводит к распаду части карбидов и к увеличению содержания графита.

В табл. VII.4 приведена обрабатываемость резанием чугуна.

VII.4. Обрабатываемость резанием чугуна, предназначенного для работы в условиях абразивного износа [26]

Чугун	Основная характеристика	Марка	Обрабатываемость резанием
Серый: низколегированный мартенситный с игольчатой структурой	—	—	Хорошая

Чугун	Основная характеристика	Марка	Обрабатываемость резанием
высококремнистый	—	C-15, C-17	Не обрабатывается
Нелегированный и низколегированный отбеленные	С твердым износостойким рабочим слоем при относительно мягкой сердцевине	—	Затруднительна
Белый	Низко- и среднелегированный	ОИ-1, ОИ-3, ОИ-4, ИЧХ4Г7Д, ИЧХ3ТД	По специальным режимам отдельные марки
	Никельхромистый мартенситный	«Нихард»	Не обрабатывается
	Высокохромистый	ИЧХ28Н2, ИЧХ28Н2М2, ИЧХ12Т5	
		ИЧХ15М3, ИЧХ12Г3М, ИЧХ12М	Удовлетворительная

Цветные металлы и сплавы

Обрабатываемость меди оценивается как удовлетворительная, однако чистовая обработка мягкой меди ввиду большой вязкости затруднена. Поэтому для деталей, обрабатываемых резанием, рекомендуют применять нагартованную (твердую) медь.

Наилучшей обрабатываемостью среди медных сплавов обладают свинцовистые латуни. Свинец выступает в роли своеобразной смазки, уменьшающей износ инструмента. Стружка легко отделяется, обработанная поверхность получается гладкой и чистой. В табл. VII.5 приведены коэффициенты обрабатываемости резанием меди и ее сплавов. Она определена на приборе Кеснера и дана в процентах. За 100 % принята обрабатываемость латуни ЛС63-3.

Скорость резания при точении быстрорежущими резцами бронзы и латуни примерно в 3,5—4 раза больше скорости резания чугуна с пластинчатым графитом равной твердости.

Алюминиевые сплавы обрабатываются примерно с такими же скоростями резания, как и медные сплавы равной твердости. Обрабатываемость их в значительной степени зависит от термической обработки. Так, ряд сплавов в отожженном состоянии обрабатывается неудовлетворительно, а в закаленном и состаренном удовлетворительно.

В табл. VII.6 приведена обрабатываемость наиболее распространенных марок алюминиевых сплавов.

Магнєвые сплавы хорошо обрабатываются резанием. Удельная мощность, расходуемая на снятие единицы объема магниевого сплава, в 1,5—2,5 раза меньше, чем при обработке алюминиевых сплавов, и в 6—7 раз меньше, чем при обработке стали. Скорость резания вдвое больше, чем при обработке алюминиевых сплавов, и в десять раз больше, чем при обработке стали [19].

VII.5. Обрабатываемость резанием меди и ее сплавов [25, 52]

Материал	Марка	Обрабатываемость, %
Двойные (простые) деформируемые латуни	Медь	18
	Л96, Л90	20
	Л85, Л80, Л75*, Л70, Л66*, Л68	30
	Л63, Л60	35
Специальные деформируемые латуни	ЛА77-2	30
	ЛАЖ60-1-1	25
	ЛАН59-3-3	15
	ЛЖМц59-1-1	25
	ЛН 65-5	30
	ЛАНКМц 75-2-2, 5-0, 5-0,5	20
	ЛАМш 77-2-0,05	25
	ЛМц 58-2	22
	ЛМцА 57-3-1	22
	ЛО 50-1	30
	ЛО 70-1, ЛО62-1, ЛО60-1	40
	ЛС 63-3	100
	ЛС74-3	80
	ЛС64-2	90
	ЛС60-1	75
	ЛС59-1, ЛС59-1В	80
	ЛЖС 58-1-1	70
	ЛК 80-3; ЛМш 69-0,05; ЛОМш 70-1-0,05	30
Литейные латуни	ЛК 80-3Л	30
	ЛКС 80-3-3	50
	ЛАЖМц 66-6-3-2	25
	ЛА 67-2,5	30
	ЛАЖ 60-1-1Л	30

Материал	Марка	Обрабатываемость, %
Литейные латуни	ЛМцНЖА 60-2-1-1-1	20
	ЛС 59-1Л	80
	ЛМцОС 58-2-2-2	35
	ЛМцС 58-2-2	60
	ЛМцЖ 55-3-1	25
	ЛВОС	60
Литейные оловянные бронзы**	БрОФ 10-1	40
	БрОЦ 10-2	55 (50)
	БрОЦН 5-2-5	50 (40)
	БрОНС 11-4-3	70 (60)
	БрОЦС 6-6-3	80 (70)
	БрОЦС 5-5-5	90 (85)
	БрОЦСН 3-7-5-1	80—90 (80)
	БрОЦС 4-4-17	97 (90)
Деформируемые оловянные бронзы***	БрОФ 6,5-0,4; БрОФ 4-0,25	25 (20)
	БрОЦ 4-3	30
	БрОЦС 4-4-2,5	90 (80)
Алюминиевые бронзы	БрА5, БрА7, БрАЖ9-2, БрАЖН 10-4-2, БрАМц 9-2	20
	БрАЖМц 10-3-1,5	29
Безоловянные бронзы	Бр Мц 5	15
	БрКМц 3-1, БрКН 1-3	30
	БрБ2	10
	БрХ 0,5	8
	Бр С 30	50
	БрСи 60-2,5	60
	БрСуН 7-2	70

• Нестандартные.

•• Без скобок — литье в земляные формы, в скобках — литье в кокиль

••• Без скобок — в мягком состоянии, в скобках — в твердом.

VII.6. Обрабатываемость резанием алюминиевых сплавов [25]

Марка сплава	Состояние	Обрабатываемость резанием
--------------	-----------	---------------------------

Деформируемые сплавы

АД, АД1	Отожженное	Неудовлетворительная
	Нагартованное состояние	Удовлетворительная
АМц	Отожженное	Неудовлетворительная
АМг2, АМг3	Полунагартованное	Удовлетворительная
АМг5, АМг6	Отожженное	Пониженная
	Полунагартованное	Удовлетворительная
Д1, Д6, Д16*, Д19*	Отожженное	Пониженная
	Нагартованное состояние	Удовлетворительная
Д20, Д21, Д23	Отожженное	Неудовлетворительная
АВ		
АЛ31, АД33, Д18П; В65	—	Удовлетворительная
АК2, АК4, АК4-1, АК6, АК6-1, АК8, В95, В95-1, В93, В96, В96а1, ВД17		Хорошая

Литейные сплавы

АЛ2, АЛ4	—	Пониженная
АЛ9, ВАЛ9, АЛ3, АЛ5, АЛ6, АЛ4М		Удовлетворительная
АЛ8, АЛ27, АЛ27-1, АЛ7, АЛ19, АЛ11, АЛ24, АЛ1, АЛ7-4, АЛ20, АЛ21, АЛ23, АЛ23-1, АЛ13, АЛ22, АЛ25, АЛ26, АЛ30, АЦР1		Хорошая

• Обрабатываются химическим фрезерованием.

Это объясняется низкой твердостью и высокой теплопроводностью магниевых сплавов.

Подача выбирается в зависимости от прочности и жесткости системы СПИД и требований к шероховатости обработанной поверхности. Не допускается работа с подачей менее 0,05 мм из-за возможности воспламенения стружки. По этой же причине затупление инструмента по задней поверхности не должно превышать 0,25 мм.

Скорость резания при точении твердосплавным резцом должна находиться в пределах 3,5—50 м/с, быстрорежущим — 1,5—15 м/с. При обработке высокопрочных сплавов типа ВМЛ6, ВМЛ7 скорость резания снижается на 15 %.

Скорость резания для фрез, оснащенных твердым сплавом, должна составлять 10—25 м/с.

Сверление отверстий $\varnothing 2$ —30 мм сверлами из легированной стали выполняют с подачей $s = 0,15 \dots 1,5$ мм/об и скоростью резания $v = 7 \dots 12$ м/с, развертывание — с подачей $s = 0,5 \dots 1,2$ мм/об и скоростью $v = 1,5 \dots 7$ м/с.

Глава VIII

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Конструктивные особенности токарных инструментов разнообразны. Классификация токарных резцов приведена ниже:

Отличительный признак	Наименование резцов
Вид станков	Токарные, расточные, резцы для полуавтоматов, автомат-револьверные, специальные
Вид обработки	Проходные, подрезные, упорные, прорезные, расточные, отрезные, галтельные, фасонные, резьбовые, фасонные
Характер обработки	Обдирочные (черновые), чистовые, для тонкого (алмазного) точения
Сечение стержня	Прямоугольные, квадратные, круглые
Конструкция головки	Прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые
Способ изготовления	Цельные, с приваренной встык головкой, с припаянной пластиной, с приваренной пластиной, с наплавленной головкой, с механическим креплением пластины, вставки для державок
Положение главного режущего лезвия	Правые, левые
Инструментальный материал	Из быстрорежущей стали, из углеродистой или легированной стали, с пластинами из твердого сплава, с пластинами из минералокерамики, с закрепленным алмазом

Применяются одиннадцать типов цельных и армированных быстрорежущей сталью резцов (ГОСТ 10043—62). Их характеристики приведены в табл. VIII.1.

VIII.1. Типы цельных и армированных резцов

Тип	Характеристика резцов	ϕ , град	Сечение державки, мм
Быстрорежущие резцы			
I	Проходные отогнутые правые и левые	—	От 16×10 до 40×25
II	Проходные прямые правые и левые	45; 60; 75	От 4×4 до 32×20
III	Проходные прямые правые и левые	90	От 4×4 до 32×20

Тип	Характеристика резцов	φ, град	Сечение державки, мм
IV	Проходные упорные правые и левые	90	От 16×10 до 40×25
V	Подрезные торцовые правые и левые	—	То же
VI	Расточные для сквозных отверстий	60	От 16×16 до 25×25
VII	Расточные для глухих отверстий	—	То же
VIII	Прорезные	—	От 4×4 до 16×16
IX	Отрезные правые и левые шириной от 1,5 до 6 мм	—	От 6×6 до 32×20
X	Фасочные двусторонние	45	От 8×8 до 32×20
XI	Фасочные односторонние правые и левые	45	От 8×8 до 16×16

Твердосплавные резцы

I	Проходные упорные правые и левые	45	От 10×10 до 50×40
II	Проходные прямые правые и левые	45; 60; 75	От 8×8 до 50×40; От 8×8 до 50×40
III	Проходные упорные прямые правые и левые	90	
IV	Проходные упорные отогнутые правые и левые	90	От 8×8 до 50×40
V	Подрезные отогнутые правые и левые	—	От 16×12 до 50×32
VI	Чистовые широкие	—	От 12×10 до 50×32
VII	Расточные для сквозных отверстий	60	От 16×12 до 40×32
VIII	Расточные для глухих отверстий	—	От 12×12 до 40×32
IX	Отрезные правые и левые шириной от 3 до 10 мм	—	От 16×10 до 50×32

Согласно ГОСТ 10044—62, применяются четыре типа расточных державочных резцов из быстрорежущей стали:

Тип	Характеристика резца
I	Расточные для прямого крепления
II	Расточные упорные для прямого крепления
III	Расточные для косого крепления под углом 45°
IV	Расточные для косого крепления под углом 60°

Расточные резцы I, II и III типов изготавливаются с сечением державок от 6 × 6 до 16 × 16 мм, IV типа — с сечением от 8 × 8 до 16 × 16 мм.

Такие же типы расточных державочных резцов изготавливаются по ГОСТ 9795—61 с пластинами из твердых сплавов. Ниже приведены сечения державок упомянутых резцов:

Тип	Сечение державки, мм
I	От 10×10 до 25×25
II	» 6×6 » 40×40
III	» 6×6 » 16×16
IV	» 10×16 » 40×40

Резцы токарные с пластинами из твердого сплава изготавливаются согласно ГОСТ 18877—83—ГОСТ 18884—83 девяти типов (табл. VIII.1).

В инструментальном производстве цельные резцы вытесняются резцами с механическим креплением пластин. При этом сокращаются расходы на

эксплуатацию резцов, повышается их стойкость (на 30 % и более), уменьшается число переточек (в случаях применения резцов с неперетачиваемыми пластинами).

Неперетачиваемые пластины твердого сплава закрепляются через планку в открытом пазу державки с помощью накладки и винта. Штифт предохраняет пластину от смещения вдоль паза в процессе работы.

Резцы с многогранными неперетачиваемыми пластинками из твердых сплавов марок Т14К18, Т15К6, ВК6, ВК8 применяют для токарной обработки деталей на автоматических линиях и станках-автоматах.

Фасонные резцы применяются для обработки внутренних, наружных, в том числе и торцовых, поверхностей разнообразного профиля. Они различаются по форме, способу заточки, установке в рабочее положение и по характеру главного движения резания. По конструктивной форме фасонные резцы

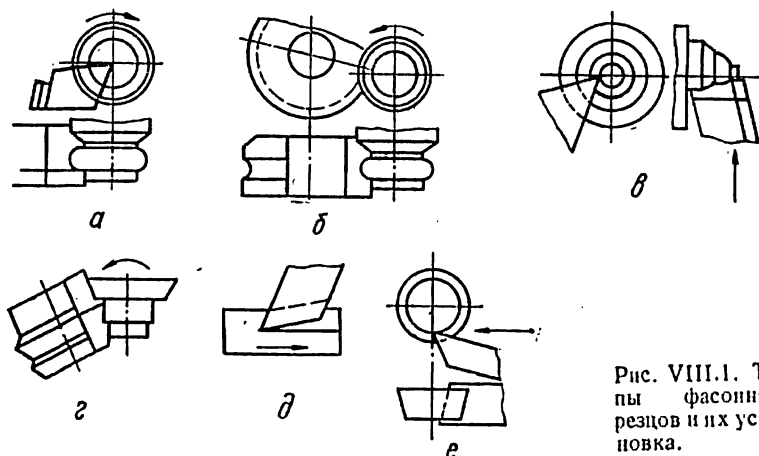
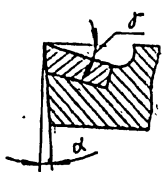


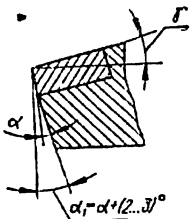
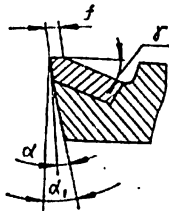
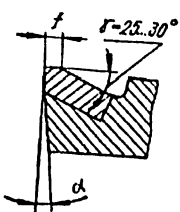
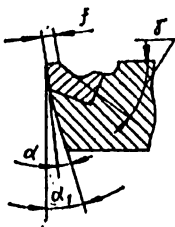
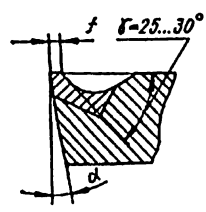
Рис. VIII.1. Типы фасонных резцов и их установка.

разделяются на плоские или стержневые, призматические и круглые. По характеру главного движения резания фасонные резцы могут быть разделены на токарные и строгально-долбежные. В свою очередь они по направлению подачи разделяются на радиальные и тангенциальные. Основные типы фасонных резцов и их установка относительно обрабатываемой детали показаны на рис. VIII.1.

Геометрические параметры инструментов оказывают заметное влияние на показатели механической обработки. Формы передней поверхности резцов приведены в табл. VIII.2.

VIII.2. Форма передней поверхности резцов

Форма	Эскиз	Область применения
Плоская		Обработка чугуна, стали при $s < 0,2$ мм/об фасонными резцами сложного контура

Форма	Эскиз	Область применения
Плоская		Обработка стали с $\sigma_{вр} > 800$ МПа при высокой жесткости и виброустойчивости заготовки (необходим стружколоматель)
Плоская с фаской		Обработка стали при $s > 0,2$ мм/об
		Обработка серого и ковкого чугуна, обработка стали с $\sigma_{вр} > 800$ МПа при высокой жесткости и виброустойчивости заготовки (необходим стружколоматель)
Радиусная с фаской		Обработка стали
		Обработка стали с $\sigma_{вр} < 800$ МПа при $t = 1...5$ мм, $s > 0,3$ мм/об. (Стружколомание обеспечивается лункой с $B = 2...2,5$ мм, $R = 4...8$ мм и глубиной $0,1-0,15$ мм.)

Фаска шириной $f = 0,15 \dots 0,3$ мм затачивается под углом $\gamma_{\phi} = -2 \dots -10^\circ$ у твердосплавных резцов и под углом $\gamma_{\phi} = 5 \dots 10^\circ$ у быстрорежущих. Передний угол выбирают в зависимости от обрабатываемого материала:

Материал	Передний угол, $\gamma \dots^\circ$
Мягкая сталь, цветные металлы и сплавы	25—30
Сталь и серый чугун средней твердости	15—20
Сталь, серый и ковкий чугун высокой твердости	8—15

Задний угол принимают равным $6 \dots 10^\circ$ при черновой обработке и $12 \dots 15^\circ$ при чистовой.

Углы в плане выбираются по табл. VIII.3.

VIII.3. Углы заточки резцов, ...°

Резцы	Операции обработки	φ	φ_1
Проходные: из быстрорежущей стали с пластинами из твердого сплава	Обтачивание ступенчатых заготовок малой жесткости, обтачивание, растачивание ступенчатых поверхностей в упор без врезания	90	5—10 15
	То же, с врезанием, мм: до 3 свыше 3		20—30
	Точение жестких заготовок	45—60	5—10
	Точение жестких заготовок на проход	30—60	
Подрезные и расточные: из быстрорежущей стали с пластинами из твердого сплава	Точение на проход заготовок малой жесткости, растачивание чугуна	60—75	10—15 20
	Прорезные и отрезные	90	1—2
Отогнутые с сечением: до 20×30 мм свыше 20×30 мм	Точение жестких заготовок проходными резцами	30—60	45 30
Широкие	Чистовое точение с малой глубиной резания и большими подачами (4—6 мм)	10—30	0

Угол наклона главной режущей кромки λ выбирают в зависимости от формы передней поверхности резца и условий работы. У резцов, имеющих переднюю поверхность формы III, угол $\lambda = 0^\circ$, у резцов с плоской поверхностью $\lambda = -4 \dots -14^\circ$, подрезных, прорезных, отрезных $\lambda = 0^\circ$, для обработки прерывистых поверхностей угол $\lambda = 10 \dots 20^\circ$.

Радиус r сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок резцов, длина переходного лезвия f_0 и угол φ (рис. VIII.2) приведены в табл. VIII.4, геометрические параметры режущей части резцов с неперетачиваемыми пластинами — в табл. VIII.5.

При изготовлении резцов для токарной обработки конструкционных сталей и чугуна широко применяются быстрорежущие стали, твердые сплавы, металлокерамика [42]. Наиболее часто для обработки конструкционных сталей используют сплавы Т30К4, Т5К10 и ВК6-М. Твердый сплав Т30К4 для черновой обработки применять не рекомендуется из-за хрупкости. Его используют для тонкой расточки и обточки. Сплав Т5К10 используют для грубой обработки с неравномерными припусками, при прерывистом резании или невысокой жесткости СПИД. При чистовом точении его не применяют. Сплав ВК6-М для черновой обработки не пригоден из-за недостаточной прочности. Он рекомендуется при точении и растачивании в случае небольших сечений среза и относительно невысоких скоростей резания.

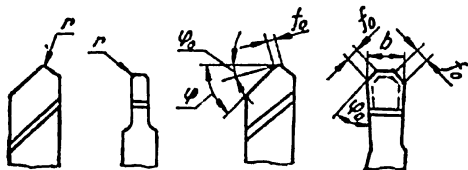


Рис. VIII.2. Элементы сопряжений режущих лезвий резцов.

Применяя твердые сплавы, необходимо учитывать, что при обработке сталей инструментами с Т5К10 необходимо повышать скорости резания на 40—50 % по сравнению с применяемыми при работе быстрорежущими инструментами, так как при равных скоростях твердый сплав может показать худшие результаты. В случае, когда необходимо работать со

скоростями резания более низкими, чем принятые для сплавов группы ТК, являющихся основными для обработки стальных деталей, лучшие результаты по стойкости показывают сплав ВК6-М (срезание тонких стружек) и в ряде случаев сплав ВК6 (черновая обработка). Скорости резания, при которых целесообразно применять эти сплавы, зависят от свойств обрабатываемого материала, сечения среза, конструкции инструмента, состояния оборудования и т. п. Покрытие неперетачиваемых пластинок тонким слоем карбида титана позволяет повысить их стойкость более чем в два раза.

Из твердых сплавов, рекомендуемых для обработки чугунов, лучшие результаты при тонком точении обеспечивает, как правило, твердый сплав ВК3-М. Для черновой обработки использовать его не рекомендуется из-за хрупкости. Твердый сплав ВК6-М более износостойкий, чем сплавы ВК4 и ВК6 при скоростях резания $v = 0,06 \dots 0,1$ м/с. При более высоких скорос-

VIII.4. Радиус сопряжения r , длина f_0 и угол φ_0 .

Резцы и условия работы	r	f_0	$\varphi_0 \dots^\circ$
	мм		
Проходные и расточные при s , мм/об:		$\leq 2,0^*$	15—20
$\leq 0,2$	0,5—3	—	—
$> 0,2$	1—3	—	—
Подрезные	0,5—2,0	—	—
Прорезные	0,2—0,3	0,25	75
Отрезные	0,2—0,5	0,5—1,0	45
Расточные при обработке:			
чистовой	0,2—0,5	—	—
черновой	0,75—1,5	—	—

* Твердосплавных проходных.

VIII.5. Геометрические параметры режущей части резца с неперетачиваемыми пластинами, ...°

Пластины	Φ	Φ_1	γ_1	γ	α	α_1
Трехгранные	90	10	12	12	7,5	7,5
Четырехгранные	45	45	—	10	10	3
	60	30	10	12	7	7
	75	15	—	12	—	—
Пятигранные	60	12	—	—	8	8
Шестигранные	15	14	20	10	10	5

Примечания: 1. Приведенные углы соответствуют пластинам с лунками.

2. Ширина фаски равна 0,2 мм. При работе с ударами ее следует увеличить до 0,4—0,5 мм.

тах он уступает сплаву ВК3-М по эксплуатационной прочности. Он используется при чистовом точении с относительно невысокими скоростями резания. При черновом применять его не рекомендуется из-за невысокой прочности.

Сплав ВК4 применяется для черновой обработки при равномерном припуске и жесткости системы СПИД и для чистового точения.

Сплав ВК8 при чистовой обработке использовать нецелесообразно. Им выполняется грубая обработка с ударами в случае неравномерного припуска и невысокой жесткости системы СПИД.

Для обработки цветных сплавов и металлокерамических материалов применяют сплавы группы ВК. При обработке металлокерамических желевографитовых композиций перлитной и перлитно-ферритной структур целесообразно применять мелкозернистые твердые сплавы ВК6-М [42].

2. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Скорость резания, допускаемая резцом при точении, определяется по следующей формуле:

$$v = \frac{C_v}{60 T m_f^x v_s^y} K_v, \quad (\text{VIII.1})$$

где C_v — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки; T — период стойкости резца, мин; l — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; x_v , y_v , m — показатели степеней; K_v — общий поправочный коэффициент.

Коэффициент K_v представляет собой произведение отдельных поправочных коэффициентов:

$$K_v = K_{m_v} K_{\Phi_v} K_{n_v} K_{c.n_v} K_{o_v}, \quad (\text{VIII.2})$$

где K_{m_v} — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал; K_{Φ_v} — коэффициент, учитывающий величину главного угла в плане (табл. VIII.6); K_{n_v} — коэффициент, характеризующий материал режущей части инструмента (табл. VIII.7); $K_{c.n_v}$ — коэффициент, учитывающий характеристику поверхностного слоя заготовки; K_{o_v} — коэффициент, учитывающий влияние охлаждения на скорость резания (табл. VIII.8).

Значения коэффициентов C_v при обработке резцами, оснащенными твердым сплавом, приведены в табл. VIII.9.

VIII.6. Поправочные коэффициенты K_{Φ} для резцов, оснащенных твердым сплавом

Угол Φ , ...°	Закаленная и незакаленная сталь	Серый чугун
10	1,55	1,68
20	1,30	1,40
30	1,13	1,20
45	1,00	1,00
60	0,92	0,88
70	0,86	0,83
90	0,82	0,73

VIII.7. Поправочный коэффициент K_{H_0} в зависимости от материала режущей части инструмента

Материал режущей части резца	Марка материала	K_{H_1}
Сталь: малолегированная быстрорежущая	9ХС	0,12—0,15
	P6M5	0,25—0,30
Твердые сплавы	T15K6	1
	T14K8	0,8—0,9
	T5K10	0,75
	BK8	0,8
	BK6	0,9
	T30K1	1,3—1,5

VIII.8. Значения коэффициентов K_{O_0} при обработке с охлаждением

Обрабатываемый материал	Характеристика прочности и твердости материала	K_{O_0}	Обрабатываемый материал	Характеристика прочности и твердости материала	K_{O_0}
Сталь	$\sigma_B = 300...500$ МПа	1,25	Ковкий чугун	мягкий средней твердости твердый	1,20
	$\sigma_B = 500...700$ МПа	1,20			1,15
	$\sigma_B = 800...1000$ МПа	1,15			1,05—1,10

VIII.9. Значения коэффициента C_0 и показателей степеней в формуле для определения скорости резания при работе резцами, оснащенными твердым сплавом

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Марка твердого сплава	C_0	τ_0	η_0	m	Условия обработки
Конструкционные стали с $\sigma_B = 750$ МПа	Наружное продольное точение	T5K10	273	0,15	0,20	0,20	$s \leq 0,30$
			227		0,35		$s \leq 0,75$
			221		0,45		$s > 0,75$
	Отрезка	T15K6*	292	0,30	0,15	0,18	$l \leq s$
				0,15	0,30		$l > s$
							—
Серый чугун HB 190	Наружное продольное точение	BK6*	292	0,15	0,20	0,20	$s \leq 0,40$
			243		0,40		$s > 0,40$
			324*		0,20		$l \leq s$
	Отрезка	BK6		0,20	0,40	0,28	$l > s$
			68,5	0	0,40		—
Ковкий чугун с твердостью HB 150	Продольное точение	BK8	317	0,15	0,20	0,20	$l \leq 2,0$
			251		0,45		$s \leq 0,4$
							$l > 2,0$

* Для резцов с зачистной режущей кромкой.

Как правило, $x_b < y_t < 1$. Глубина резания и подача оказывают существенное влияние на скорость резания. С увеличением t и s повышается температура резания, но в то же время улучшается теплоотвод, так как увеличивается рабочая длина лезвия (влияние t) и становится больше площадь контакта стружки с резцом (влияние t и s). Для обеспечения более высокой скорости резания целесообразно работать с большей глубиной резания и меньшей подачей. Это объясняется тем, что увеличение t в большей мере, чем увеличение s , влияет на улучшение теплоотвода.

Формула VIII.1 справедлива для условия $t > s$. Если $s > t$, то показатели степени x и y надо поменять местами.

Геометрические параметры резцов выбираются в зависимости от свойств обрабатываемого материала, вида обработки (черновая или чистовая), жесткости системы СПИД и других условий резания.

При наружной обработке детали сечение стержня резца должно быть возможно большим (насколько позволяют габариты резцедержателя). Размеры стержня резца для расточных работ зависят от диаметра обрабатываемого отверстия.

Материал режущей части выбирается в зависимости от обрабатываемого материала, характеристики заготовки, состояния его поверхностного слоя, а также от условий резания.

Глубина резания при черновой обработке принимается равной припуску. Получистовая обработка быстрорежущими резцами при припуске на сторону $h > 2$ мм производится за два прохода. Первый проход осуществляется с $t = \left(\frac{2}{3} \dots \frac{3}{4}\right)h$, а второй — при $t = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}\right)h$. Если $h \leq 2$, получистовая обработка выполняется за один проход.

Фактором, ограничивающим подачу инструмента при точении, может быть жесткость СПИД.

Подача s , мм/об, инструмента рассчитывается с учетом способа крепления детали на станке. При этом деталь подвергается изгибу силой

$$Q = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}, \quad (\text{VIII.3})$$

где P_y — радиальная сила резания, $P_y = 0,4P_z$; P_z — сила резания.

При креплении детали в патроне подача инструмента

$$s = \sqrt[3]{\frac{y_{P_z}}{1,1L^3C_{P_z}t^{x_{P_z}}}} \sqrt{\frac{3EI\bar{f}}{48EI\bar{f}}}, \quad (\text{VIII.4})$$

где E — модуль упругости обрабатываемого материала; I — момент инерции сечения детали; $\bar{f}$ — допускаемая стрела прогиба детали; L — длина детали; C_{P_z} — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки; y_{P_z} , x_{P_z} — показатели степеней.

В случае крепления детали в центрах

$$s = \sqrt[3]{\frac{y_{P_z}}{1,1L^3C_{P_z}t^{x_{P_z}}}} \sqrt{\frac{48EI\bar{f}}{100EI\bar{f}}}. \quad (\text{VIII.5})$$

При креплении детали в патроне с поджатием задним центром подача

$$s = \sqrt[3]{\frac{y_{P_z}}{1,1L^3C_{P_z}t^{x_{P_z}}}} \sqrt{\frac{100EI\bar{f}}{48EI\bar{f}}}. \quad (\text{VIII.6})$$

Для чернового точения прогиб детали $\bar{f}$ принимается равным 0,2...0,4 мм, для получистового — $\bar{f} = 0,1$ мм, для точных работ — $\bar{f} = 0,2\Delta$, где Δ — допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм.

Из сопоставления формул (VIII.4...VIII.6) следует, что наибольшей жесткостью обладают детали, закрепленные в патроне с поджатием задним центром.

Приближенно подачу по прочности и жесткости стержня резца рассчитывают, исходя из условия плоского изгиба с учетом действия только силы P_z . При этом принимается минимальная величина подачи. Для прямоугольного сечения

$$s = \sqrt[3]{\frac{y_{P_z}}{6C_{P_z} l l^{x_{P_z}}}} \sqrt{\frac{BH^3 \sigma_l v}{6C_{P_z} l l^{x_{P_z}}}}, \quad (\text{VIII.7})$$

где B и H — соответственно ширина и высота стержня резца; $[\sigma_l]$ — допускаемое напряжение на изгиб материала стержня резца; v — скорость резания; l — вылет резца.

Исходя из жесткости стержня подача

VIII.10. Зависимость подачи инструмента s_0 , мм/об, от глубины резания

$$s = \sqrt[3]{\frac{y_{P_z}}{4C_{P_z} l l^{x_{P_z}}}} \sqrt{\frac{BH^3 E f v}{4C_{P_z} l l^{x_{P_z}}}}, \quad (\text{VIII.8})$$

где f — допускаемая стрела прогиба резца, мм.

Вылет резца должен быть по возможности минимальным (обычно $l < 1l$). Допускаемая стрела прогиба резца f при черновом точении равна 0,1 мм, при чистовом — 0,03—0,05 мм.

Определение подачи по прочности твердосплавной или минералокерамической пластины и по заданной чистоте обработки производится опытным путем.

В производственных условиях обычно подачи не рассчитываются, их выбор осуществляется на базе статистических данных. Так, рекомендуемые величины подач можно выбрать в зависимости от суммарной глубины резания по табл. VIII.10.

Выбранная из табл. VIII.10 величина подачи должна быть скорректирована. В случае жесткой системы СПИД подача увеличивается до полутора раз, а при нежесткой, наоборот, во столько раз уменьшается.

VIII.11. Зависимость подачи инструмента s_0 , мм/об, от шероховатости поверхности

Обрабатываемый материал	Скорость резания, м/с	Параметры шероховатости, мкм					
		$Rz = 40$		$Rz = 20$		$Ra = 2,5$	
		при радиусе переходной кромки резца r , мм					
		1,5...2	0; 5	1	2	1	2
Сталь	0,05—0,09	0,45	0,15	0,2	0,25	—	—
	0,09—0,12	0,55	0,3	0,35	0,4	0,12	0,15
	0,12—0,17	0,6	0,35	0,4	0,45	0,15	0,2
	>0,17	0,65	0,4	0,45	0,5	0,2	0,25
Чугун	Весь диапазон	0,5 0,7	—	0,35	0,45	0,15	0,25

Примечание. Подачи приведены для обработки деталей из стали с $\sigma_B = 700...900$ МПа. Если $\sigma_B = 500...700$ МПа, то табличные значения следует умножить на 0,75, при $\sigma_B = 900...1000$ МПа — на 1,25.

VIII.12. Подачи s , мм/об, для прорезных, фасонных широких резцов и расточных головок с плавающими ножами

Обрабатываемый материал	Резец					Расточная головка с плавающими ножами
	прорезной		фасонный		широкий для цилиндрических и конических поверхностей	
	с канавками шириной до 20 мм		сложный	простой		
	неглубокие	глубокими и точными				
Сталь	0,2	0,08	0,08	0,15	0,12	0,4—0,5
Чугун	0,3	0,15	0,12	0,25	0,20	0,6—0,9

При обработке жестких деталей на одношпиндельных станках при простых наладках и небольшом припуске назначается подача 1,0—1,5 мм/об. Обточка конусов и фасонных поверхностей по копиру производится с подачами 0,3—0,4 мм/об при глубине резания до 2 мм и с подачами 0,2—0,3 мм/об, при больших глубинах резания. Если необходима высокая точность деталей, обрабатываемых на многорезцовых станках, подача принимается равной 0,2—0,3 мм/об.

Для обеспечения шероховатости поверхности в пределах от $Rz = 40$ до $Ra = 2,5$ мкм рекомендуются подачи, приведенные в табл. VIII.11.

Для прорезных, широких (лопаточных), фасонных резцов и расточных головок с плавающими ножами подачи принимаются по табл. VII.12.

Мощность, затрачиваемая на резание,

$$N_z = P_z v, \quad (\text{VIII.9})$$

где v — скорость резания, м/с; P_z — сила резания, Н.

Глава IX

ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

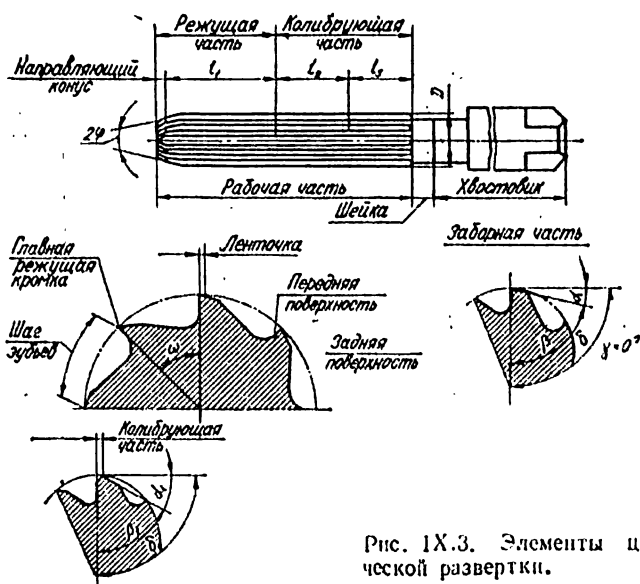
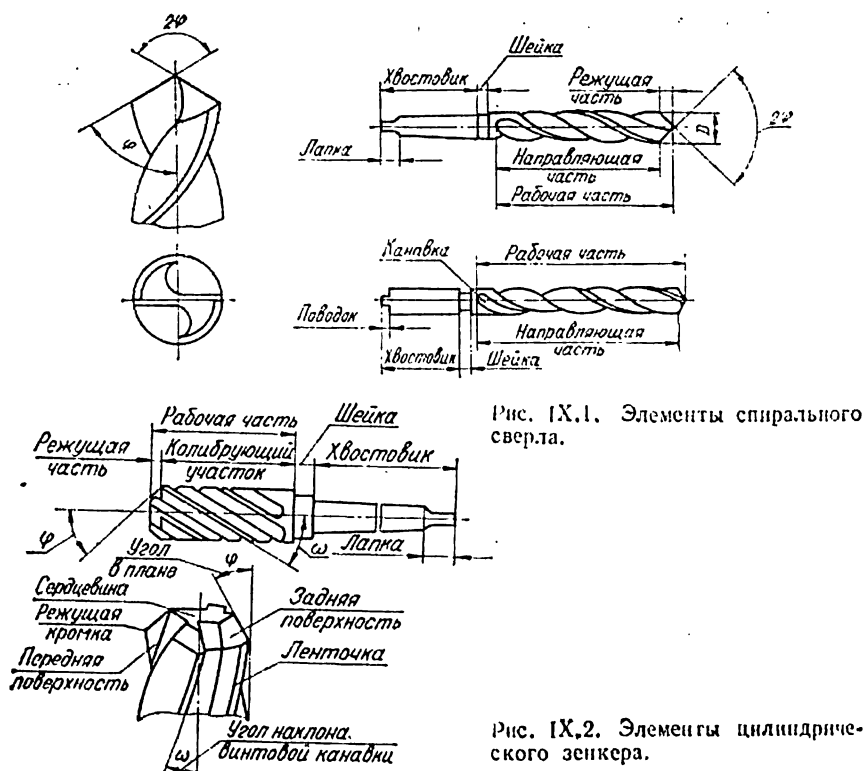
1. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ

Основными видами обработки, выполняемой на сверлильных станках, являются сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание в основном цилиндрических, иногда конических отверстий. Кроме того, на сверлильных станках может осуществляться нарезание резьбы, расточка отверстий, подрезание торцов. Наиболее широкое применение нашли спиральные цилиндрические сверла (рис. IX.1), зенкеры (рис. IX.2) и развертки (рис. IX.3).

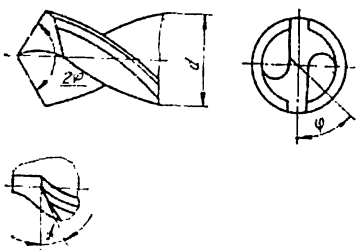
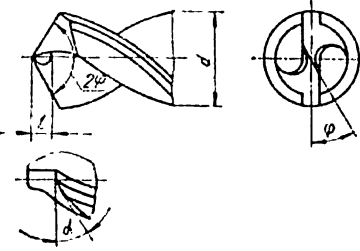
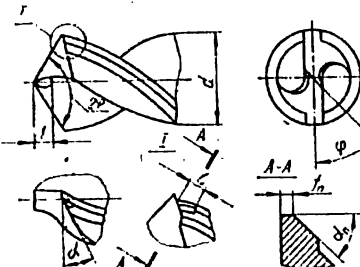
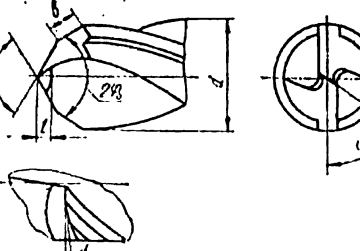
Формы заточки режущей части сверл показаны в табл. IX.1, размеры и геометрические параметры элементов заточки — в табл. IX.2 [13]. Геометрические параметры сверл (ГОСТ 22735—77 и ГОСТ 22736—74) приведены в табл. IX.3 и IX.4.

Зенкеры затачиваются так же, как и сверла. Их геометрические параметры приведены в табл. IX.5.

Формы заточки разверток представлены на рис. IX.4, их геометрические параметры — в табл. IX.6 и IX.7.



IX.1. Формы заточки режущей части сверл

Диаметр сверла, мм	Эскиз	Форма заточки	Обрабатываемый материал
0,25—12		Нормальная (Н)	Сталь, стальное литье и медные сплавы
12—80		Нормальная с подточкой поперечной кромки (НП)	Сталь, стальное литье при $\sigma_b \leq 500$ МПа с неснятой коркой
		Нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки (НПЛ)	То же, со снятой коркой
80—100		Двойная с подточкой поперечной кромки (ДП)	Сталь, стальное литье при $\sigma_b > 500$ МПа с неснятой коркой

2. Большие значения угла 2φ и меньшие значения угла α принимают для более твердых материалов.

3. В таблице приведены значения угла винтовой канавки ω для проектируемых сверл. Для стандартных сверл диаметром $d = 0,25 \dots 30$ мм угол $\omega = 19 \dots 34^\circ$ (меньшие значения соответствуют меньшим диаметрам).

IX.4. Геометрические параметры сверл с твердосплавными пластинами, ...°

Обрабатываемый материал	γ	2φ	$2\varphi_n$
Стальное литье, коррозионностойкая сталь, хромоникелевая сталь с $\sigma_B = 1400$ МПа	0	120	—
Углеродистая и легированная термически обработанная сталь с $\sigma_B > 1000$ МПа и твердостью HRC 45—64	5...15	130—135	65
Инструментальная и марганцовистая сталь	2...3	140	—
Медные и алюминиевые сплавы	4—6	130—140	—
Титановые сплавы	0	—	50

Примечания: 1. Задний угол α стандартных сверл диаметром $d = 5 \dots 30$ мм с пластинами из твердого сплава такой, как у обычных спиральных сверл из быстрорежущей стали.

2. Угол наклона винтовых канавок ω у сверл с пластинами из твердого сплава начинается у конца пластины, а на ее длине выполняются прямые канавки. Для стандартных сверл диаметром $d = 5 \dots 30$ мм угол $\omega = 10 \dots 20^\circ$.

3. Вспомогательный угол в плане φ , задается обратной конусностью на твердосплавных пластинных сверлах. Разница в диаметрах в начале рабочей части и в конце пластины должна быть 0,01—0,08 мм для сверл диаметром до 30 мм.

4. Двойная заточка сверл выполняется по длине переходного лезвия $b = 0,2d$.

IX.5. Геометрические параметры зенкеров

Обрабатываемый материал	γ		α	φ	φ_0	ω	f , мм
	Быстро-режущая сталь	Твердый сплав					
	...°						
Углеродистая и легированная конструкционная сталь, стальное литье, с твердостью HB:	15—20	—	8—10	60	30	25—30	0,8—2,0
180	12—15	0				10—20	—
180—225	5—10	От 0 до —5					
225—270		—10					
270	0—3	—	6—15	30—45	15—20	15—20	0,5—1,0
Сталь:		—15	10	60	15	10—20	0,8—2,0
коррозионнотойкая жаропрочная, жаростойкая							
закаленная, с твердостью HRC 51, $\sigma_B=1600-1800$ МПа							

Обрабатываемый материал	Т		α	φ	φ_0	ω	$l, \text{ мм}$
	Быстро-режущая сталь	Твердый сплав					
	...						
Сплавы:							
жаропрочные	10	—	8—10	30	—	10—20	0,5—1,0
титановые	4—6	—	9—11	45		20	0,3—0,5
алюминиевые и медные	25—30	10—20	10	60		10—20	0,8—2,0
магнелиевые		—		45—60		20—25	0,5—1,0

Примечания: 1. Для увеличения стойкости зеркала необходимо выполнять переходную режущую кромку длиной $l = 3l$ под углом φ ; ленточки зеркала из быстрорежущих сталей следует подтачивать на длине 1,5—2,0 мм от вершины зеркала; заднюю поверхность необходимо затачивать по двум плоскостям под углом $\alpha = 8...10^\circ$ на длину 0,6...1,5 мм, а остальную часть — под углом $\alpha_1 = 15...20^\circ$.

2. Отрицательный передний угол твердосплавных зеркала образуется, если на передней поверхности выполнена фаска шириной 1,5—3,0 мм.

3. Для лучшего отвода стружки угол наклона режущего лезвия λ должен быть равен 0 при обработке стали, при обработке бронзы 3—5°. Чтобы усилить режущие лезвия на зеркала, оснащенные твердым сплавом, λ принимают равным 12—20°.

4. Для твердых материалов следует принимать меньшие значения α , ω и λ , а для мягких — большие.

5. У сборных зеркала с ножами из быстрорежущей стали и твердых сплавов рекомендуется $\gamma = 3^\circ$; при заточке по двум плоскостям $\alpha = 6...8^\circ$, $\alpha_1 = 15...20^\circ$ и $\omega = 20^\circ$; для твердосплавных зеркала $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_0 = 30^\circ$ и $\omega = 12...15^\circ$.

6. При обработке отверстий с прерывистыми стрижками $\omega = 20...30^\circ$ независимо от обрабатываемого материала.

IX.6. Размеры элементов заточки цилиндрических разверток, мм.

D	l ₁ для материала		C	f	l ₂
	вязкого (φ = 15°)	хрупкого (φ = 5°)			
3—4	1,0	2,0	—	0,10	0,3—0,4
4—6					0,4—0,6
6—8					0,5—0,7
8—9	2,0	3,0	1,0	0,15	0,6—0,9
9—10		4,5			
10—17	2,5	5,0	1,5	0,20	0,8—1,2
17—24	3,0	5,5			1,0—1,4
24—30	3,5	6,5		2,0	0,30
30—34	4,0	7,0	1,3—1,8		
34—40	4,5	8,5	1,5—2,0		
40—45	5,5	10,5	2,5	0,35	1,6—2,1
45—50					1,8—2,4

Примечания: 1. Для ручных разверток угол в плане $\varphi = 1^\circ$.

2. Угол $\alpha = 5...8^\circ$ на длине 0,3—1,5 мм и $\alpha_1 = 10...20^\circ$ на остальной части. На калибрующей части оставляют цилиндрическую ленточку, ширина которой f зависит от вида развертки. Для машинных, ручных и котельных f равно соответственно 0,05—0,3; 0,15—0,18 и 0,2—0,3 мм. При обработке вязких материалов машинными развертками принимают $f = 0,05...0,08$ мм.

3. Угол конуса заборной части φ зависит от характера отверстий, вида развертки и обрабатываемого материала (табл. IX.8)

Для снижения шероховатости поверхности режущую часть твердосплавных разверток изготавливают с тремя лезвиями под углом 45, 15 и 2—5° (на длине 0,8—2 мм). При обработке закаленных сталей используют твердосплавные развертки ($\varphi = 15^\circ$) с переходным режущим лезвием ($\varphi = 1^\circ 30' \dots 2^\circ$) длиной 1,5—2,0 мм.

4. Стандартные развертки имеют прямые канавки ($\omega = 0$). Для получения более точных и чистых отверстий, а также при обработке отверстий с продольными пазами применяют винтовые развертки с углом ω , зависящим от материала детали. Для обработки твердой, мягкой стали и стали средней твердости, а также алюминиевых и других легких сплавов ω принимается равным 7—8; 12 и 20 и 35—45°. У регулируемых разверток $\omega = 3^\circ$, у котельных — $\omega = 25 \dots 30^\circ$.

IX.7. Геометрические параметры разверток, ...°

Обрабатываемый материал	Передний угол γ		Задний угол α		Угол наклона спинки зуба α_1
	Быстро-режущая	Твердый сплав	Быстро-режущая	Твердый сплав	
Сталь: конструкционная незакаленная	0	0...—5	6—12	6—8	10—20
та же, закаленная с твердостью HRC 50 и $\sigma_B = 160 \dots 1800$ МПа	—	—(10—15)	—	6	10—15
коррозионностойкая, жаропрочная и жаростойкая	0	—	5—8	—	
Сплавы: жаропрочные		—	6—10	—	15—20
титановые		0	8—10	10	
алюминиевые, медные и магниевые	—	—	10—12	—	15—20

Примечания: 1. Для черновых разверток и при обработке особо вязких металлов $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ (коррозионностойкие стали); в твердосплавных развертках отрицательный передний угол создается на длине фаски $f_\phi = 0,2 \dots 0,3$ мм (для развертывания закаленных сталей $f_\phi = 2 \dots 3$ мм), а на остальной части $\gamma = 0^\circ$.

2. Большие значения α назначают для черновых разверток и разверток малого диаметра, а меньшие — для чистовых. У регулируемых твердосплавных разверток заднюю поверхность затачивают под углом.

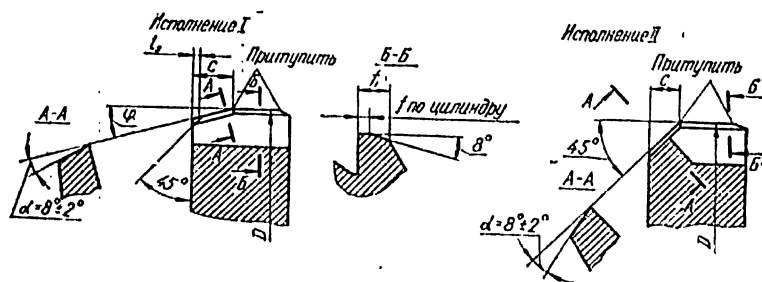


Рис. IX.4. Формы заточки разверток.

IX.8. Угол конуса заборной части в зависимости от вида развертки и обрабатываемого материала

Вид разверток	Материал	Ф. ...
---------------	----------	--------

Сквозные отверстия

Ручные	Все металлы Хрупкие, твердые и трудно- обрабатываемые металлы и сплавы	0,5—1,5
Машинные		12—15
		3—5
Котельные	Все металлы	1,5—3

Глухие отверстия

Ручные	Все металлы	45
Машинные		60
Твердосплавные развертки с заточкой фаски на торце под углом 45°		15
Регулируемые	Сталь	45
	Чугун	5

2. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

Режимы резания устанавливаются в такой последовательности: вначале выбирают глубину резания, ватем подачу и скорость резания.

Глубина резания при сверлении $t = D/2$, при рассверливании, зенкерования и развертывании $t = (D - d)/2$, где d и D — диаметры отверстия, мм, до и после обработки. Поддачи выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, диаметра обработки и других технологических факторов. В зависимости от технологических факторов они разделяются на три группы: I — подачи при сверлении отверстий в жестких деталях без допуска под последующую обработку сверлом, зенкером или резцом; ручные подачи для сверления отверстий диаметром $D < 8$ мм; II — подачи при сверлении отверстий в деталях средней жесткости (тонкостенные детали коробчатой формы, тонкие выступающие части деталей и т.п.) без допуска под последующую обработку сверлом, зенкером или резцом; III — подачи при сверлении точных отверстий с последующей обработкой развертыванием отверстий в деталях малой жесткости и в деталях с неустойчивыми опорами, отверстий, ось которых не перпендикулярна к торцевой плоскости, отверстий, на поверхности которых нарезается резьба метчиком.

Для предупреждения поломки и повышения стойкости сверл в случае сверления сквозных отверстий с автоматической подачей рекомендуется в момент выхода сверл из отверстий выключать подачу и досверливать с ручной подачей. В случае, если это невозможно сделать (например, при обработке на автоматических и полуавтоматических станках), табличные подачи рекомендуется уменьшать на 20—25 %.

При выборе подачи учитывается отношение глубины сверления с помощью поправочного коэффициента K_I :

Отношение глубины сверления к диаметру	K_I
3	1,0
5	0,9
7	0,8
10	0,75

Рекомендуемые подачи для обработки различных материалов приведены в табл. IX.9 и IX.10.

Скорость резания v , м/с, рассчитывают по формуле

$$v = \frac{C_v D^z v_{K_v}}{60 T m t^x v_s^y v_0}$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в табл. IX.11—IX.15.

Рекомендуемые периоды стойкости для одноинструментной обработки сталей, чугунов и медных сплавов даны в табл. IX.16, для многоинструментной — в табл. III.12.

Период стойкости сверл из быстрорежущей стали для обработки титановых сплавов:

Диаметр сверла, мм	1—2	3—5	8—10	12—15	18—20	24	30
Период стойкости, мин	4	6	10	12	15	20	25

Период стойкости сверл из твердых сплавов при сверлении труднообрабатываемых сталей и сплавов на железной и никелевой основе

Диаметр сверла, мм	1—2	3—5	6—8	10—12	15—20
Период стойкости, мин	5	6	10	15	20

Общий поправочный коэффициент на скорость резания вычисляют как произведение:

$$K_v = K_{m_v} K_{n_v} K_{l_v} K_{\phi_v}$$

где K_{m_v} — коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал (табл. IX.17); K_{n_v} — коэффициент, учитывающий влияние материала инструмента (табл. IX.18); K_{l_v} — коэффициент, учитывающий отношение глубины сверления к диаметру (для отношения 3; 4; 5; 6; 8 и 10 он равен соответственно 1,0; 0,85; 0,75; 0,7; 0,6 и 0,5); K_{ϕ_v} — коэффициент, учитывающий заточку инструмента, (для двойной и криволинейной заточки $K_{\phi_v} = 1,0$; для нормальной $K_{\phi_v} = 0,9$).

Крутящий момент, Н · м, и осевую силу, Н, при сверлении, рассверливании и зенкерования рассчитывают по формулам

$$M_{кр} = 10 C_m D^z m t^x m_s^y m_{K_m}$$

$$P_0 = 10 C_p D^z p t^x p_s^y p_{K_p}$$

Коэффициент пропорциональности C_m и C_p и показатели степени приведены в табл. IX.19.

IX 9. Рекомендуемые подачи для обработки чугуна, конструкционных сталей и алюминиевых сплавов, мм/об

Операции	Группа подач	Диаметр отверстия, мм												
		2,5	4	6	8	10	12	16	20	25	32	40	60	80

Ч у г у н

Сверление	I	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,35	0,45	0,5	0,55	0,6				
	II	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,35	0,38	0,45	—	—	—	—
	III	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,27	0,3				
Зенкерование	I				0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,2	1,8	2,0
	II				0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,75	0,9	1,2	1,4	1,5
	III	—	—	—	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,7	0,9	1,0	1,1
Развертывание	I				1,0	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,6	4,2	4,5
	II				0,60	0,75	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	2,3	2,6	3,0

Конструкционные стали

Сверление	I	0,04	0,08	0,12	0,16	0,22	0,28	0,32	0,4	0,45	0,5				
	II	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,23	0,3	0,32	0,35	—	—	—	—
	III	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,2	0,22	0,25				
Зенкерование	I				0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,75	0,85	1,0	1,2	1,4	1,6
	II				0,3	0,32	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	1,1
	III	—	—	—	0,25	0,27	0,30	0,35	0,40	0,45	0,5	0,6	0,7	0,85	0,95
Развертывание	I				0,5	0,6	0,75	0,9	1,0	1,1	1,35	1,5	2,0	2,4	2,7
	II				0,35	0,45	0,5	0,6	0,75	0,8	1,0	1,1	1,5	1,8	2,1

Медные и алюминиевые сплавы

Сверление	I	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	1,0				
	II	0,08	0,15	0,22	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,75	—	—	—	—
	III	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5				
Зенкерование	I						0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	2,2	2,6	3,0
	II				—	—	0,5	0,6	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2
	III	—	—	—			0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5
Развертывание	I				0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2
	II				0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,65	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3

Примечания: 1. Подачи приведены для сталей с твердостью HB 229—270. Если твердость HB < 229, подачу необходимо умножить на 1,3, а если твердость HB > 270 — следует умножить на 0,8.

2. Подачи приведены для серого и ковкого чугуна с твердостью соответственно HB 170—229 и HB < 170. Для серого чугуна с твердостью HB 229 табличные значения следует умножить на 0,8.

3. Подачи для сверл—разверток следует назначать по параметрам сверла.

4. При зенкеровании и развертывании глухих отверстий подачи не должны превышать 0,5 мм/об.

5. Подачи для чистового развертывания отверстий в медных и алюминиевых сплавах в два раза меньше, чем рекомендуются для группы II.

IX.10. Рекомендуемые подачи для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов, мм/об

Материал	Диаметр отверстия, мм	Подача
Обработка быстрорежущим инструментом*		
Теплостойкие хромистые, хромоникелевые и хромо-молибденовые стали перлитного и мартенситного классов, коррозионностойкие нержавеющей хромистые и сложнолегированные стали мартенситного, мартенситноферритного классов при $\sigma_B \leq 1200$ МПа, титановые сплавы при $\sigma_B = 1000$ МПа	1	0,010—0,015
	2	0,020—0,030
	3	0,030—0,070
	5—6	0,050—0,080
	8	0,070—0,120
	10—12	0,090—0,150
	15	0,100—0,180
	18	0,120—0,200
	20	0,120—0,220
	24	0,150—0,250
	30	0,180—0,300
Те же стали при $\sigma_B > 1200$ МПа, хромоникелевые, хромоникелемартанцовые стали аустенитного класса, жаропрочные сплавы на железоникелевой и никелевой основе, титановые сплавы при $\sigma_B > 1000$ МПа	1	0,006—0,010
	2	0,010—0,020
	3	0,020—0,030
	5—6	0,030—0,050
	8	0,050—0,090
	10—12	0,070—0,100
	15	0,080—0,120
	18	0,100—0,150
	20	0,100—0,150
	24	0,120—0,180
	30	0,150—0,200
Обработка твердосплавным инструментом**		
Титановые сплавы с $\sigma_B \leq 1000$ МПа	1	0,006—0,009
	2	0,012—0,018
	3	0,015—0,030
	4	0,030—0,050
	8	0,050—0,080
	10	0,060—0,100
	12	0,070—0,120
	15	0,100—0,150
	20	0,120—0,180
Титановые сплавы с $\sigma_B > 1000$ МПа стали и сплавы с σ_B 1200—1600 МПа	1	0,003—0,006
	2	0,006—0,012
	3	0,010—0,018
	4	0,020—0,040
	8	0,040—0,060
	10	0,050—0,080
	12	0,060—0,100
	15	0,080—0,120
	20	0,100—0,150
Высокопрочные стали с $\sigma_B > 1600$ МПа	1	0,002—0,004
	2	0,004—0,008
	3	0,008—0,015
	4	0,015—0,030
	8	0,030—0,050

Материал	Диаметр отверстия, мм	Подача
Высокопрочные стали с $\sigma_B > 1600$ МПа	10	0,040—0,060
	12	0,050—0,080
	15	0,070—0,090
	20	0,080—0,120

* При рассверливания подачи увеличиваются в 1,5—2 раза.

** Применялись перовые сверла диаметром 1—3 мм из сплавов ВК6-ОМ и ВК10-М, цельные сверла диаметром 4—7 мм из сплава ВК10-М, а также сверла диаметром более 7 мм с пластинами твердых сплавов ВК6-М и ВК8.

IX.11. Коэффициенты в формулах для расчета скорости и сил резания при сверлении труднообрабатываемых сталей и сплавов быстрорежущими сверлами

Марка	σ_B , МПа	C_v	C_p	C_M
34ХН3М, 34ХН3МФ, 20Х3МВФ (ЭИ415)	900	1,07	110	0,08
20Х13 (2Х13), 1Х12Н2ВМФ (ЭИ961), 23Х13НВМФА (ЭП65)	850—900	1,04		
30Х13 (3Х13), 09Х16Н4Б (ЭП56)	900—1000	0,95	140	0,10
40Х13 (4Х13), 14Х17Н2 (ЭИ268)	1000—1100	0,80		
09Х16Н4БА (ЭП56)	1300	0,48	—	—
23Х13НВМФА (ЭП65)	1500	0,40	200	0,13
12Х18Н10Т (Х18Н10Т)	600	0,80	100	0,08
12Х21Н5Т (ЭИ811)	700	0,65	—	—
45Х14Н14В2М (ЭИ69)		0,67		
Х15Н24В4Т (ЭП164), 07Х21Г7АН5 (ЭП222), 12Х25Н16Г7АР (ЭИ835), 37Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)	800—10'000	0,48	140	0,10
10Х11Н23Г3МР (ЭИ696М, ЭП133), 15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	700—900	0,38	120	0,09
36НХТЮ (ЭИ702)	800—1200	0,28	160	0,14
ХН77ТЮ (ЭИ437)	1000			
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	1150—1300	0,21		
ХН67ВМТЮ (ЭП202), ХН56ВМТЮ (ЭП199), ХН75МВЮ (ЭИ827)	900—1000	0,18		
ХН62МВКЮ (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487)	1000—1100			
ХН82ТЮМБ (ЭП460)	1200—1400	0,13	180	0,15
ВЖ36-Л2, АНВ-300, ЖС6К, ЖСЗДК	800—1000	0,09	145	0,12
ХН67ВМТЮЛ	750	0,09		

IX.12. Коэффициенты пропорциональности и показатели степеней в формулах для расчета скорости резания при обработке конструкционной стали, чугуна и медных сплавов

при обработке конструктивных сталей, чугунов и сплавов		Коэффициенты и показатели степеней							
Обрабатываемый материал	Вид обработки	Подача s , мм/об	Материал режущего инструмента	C_{v0}	z_0	x_{v0}	y_{v0}	m	n_0
Конструкционные углеродистые и легированные стали с $\sigma_B =$ = 750 МПа, твердостью HB215	Сверление*	$\leq 0,2$	Быстрорежущая сталь	7,0	0,4	0	0,7	0,2	0,9**
	Рассверливание*	$> 0,2$		9,8			0,5		
	Зенкерование*	—		16,2	0,2	0,5	0,3		
	Развертывание*			16,3				0,65	
	Зенкерование*			10,5				0,3	
Серый чугун с твердостью HB190	Сверление	$\leq 0,3$	Быстрорежущая сталь	18,0	0,6	0	0,3	0,125	1,3
	Рассверливание	14,7		0,55					
	Зенкерование	$> 0,3$		17,1	0,1	0,4	0,125		
	Развертывание	23,4							
	Зенкерование	18,8		0,2					
Ковкий чугун с твердостью HB150	Сверление*	$\leq 0,3$	Быстрорежущая сталь	15,6	0,45	0	0,5	0,3	1,3
	Рассверливание*	$> 0,3$		34,2			0,3		
	Зенкерование	—		105	0,15	0,45	0,4		
	Развертывание			21,8				0,55	
	Зенкерование			25,3				0,25	
Бронза БрАЖ9-4 с твердостью HB100—140	Сверление	$\leq 0,3$	Твердый сплав	34,7	0,2	0,1	0,5	0,3	—
	Рассверливание*	27,9		0,5					
	Зенкерование*	23,2		0	0,4	0,45	0,2		
	Развертывание*	40,4						0,3	
	Зенкерование	14,3						0,45	

* С охлаждением.

** Для углеродистой с $\sigma_B \leq 550$ МПа $n_0 = 0,9$.
 ** Для автоматной стали $n_0 = 1,05$; для углеродистой с $\sigma_B \leq 550$ МПа $n_0 = 0,9$.

IX.13. Коэффициенты в формулах для расчета скорости резания при сверлении труднообрабатываемых материалов твердосплавными сверлами

Марка материала	σ_B , МПа	C_t
36НХТЮ (ЭИ702)	800—1200	0,64
ХН77ТЮ (ЭИ437А), ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	1000	0,64
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	1150—1300	0,48
ХН75МВЮ (ЭИ827), ХН67ВМТЮ (ЭП202)	900—1000	
ХН62МВКЮ (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487)	1000—1100	0,40
ХН62МВКЮ (ЭИ867), ХН60МВТЮ (ЭП487), ХН82ТЮМБ (ЭП460)	1200—1400	0,30
ВЖ36-Л2, ЖС6К, ЖВЗДК, ХН67ВМТЮЛ (ЭП202Л)	750—1000	0,20

IX.14. Коэффициенты C_v в формулах для расчета скорости резания при сверлении титановых сплавов

Марка титанового сплава	σ_B , МПа	Материал сверла	
		Быстрорежущая сталь	Твердый сплав
BT1, BT1-1, BT1-2	450—700	4,2	6,3
BT3, BT3-1	950—1200	2,1	3,1
OT4, OT4-1, BT5, BT5-1	750—950	2,8	4,2
BT6, BT6C	900—1000	2,3	3,4
BT14, BT15	1000	2,1	3,1
BT14, BT15	1300—1400	—	2,5

Примечание. При сверлении сквозных отверстий значения скоростей резания следует умножать на 0,9.

XI.15. Показатели степени в формуле скорости резания при сверлении труднообрабатываемых сталей и сплавов, титановых сплавов

Обрабатываемые материалы	Материал сверла	x_D	ν_D	m
Труднообрабатываемые стали и сплавы	Быстрорежущая сталь	0,75	0,85	0,25
	Твердый сплав			0,75
Титановые сплавы	Быстрорежущая сталь	0,7	0,6	0,5
	Твердый сплав	0,65	0,65	0,55

Примечание. Показатель $x_D = 0$.

IX.16. Периоды стойкости для одноинструментной обработки сталей, чугунов и медных сплавов, мин

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Диаметр инструмента, мм							
			5	10	20	30	40	50	60	80
Сверление и рас- сверливание	Конструкционная сталь	Быстрорежу- щая сталь	15	25	45	50	70	90	110	—
	Нержавеющая и жаропрочная сталь		6	8	15	25	—	—	—	
	Серый и ковкий чугун, медные сплавы		20	35	60	75	110	140	170	
	Серый и ковкий чугун	Твердый сплав	—	40	60	75	—	—	—	100
Зенкеро- вание	Конструкционная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежу- щая сталь и твердый сплав	—	—	30	40	50	60	80	
	Конструкционная сталь	Быстрорежу- щая сталь	—	—	40	80		120		
Развер- тывание	Конструкционная сталь	Твердый сплав	—	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежу- щая сталь	—	—	60	120		180		
		Твердый сплав	—	—	45	75	105	135	165	210

IX.17. Поправочные коэффициенты для различных материалов

Материалы	K_{M_D}	K_{M_M}
Медные гетерогенные сплавы: высокой твердости средней твердости	0,7 1,0	0,75 1,0
Медноспинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	0,62
Медные однородные сплавы	2,0	1,8—2,2
Медные сплавы с содержанием свинца 10 % при основной однородной структуре	4,0	0,65—0,7
Медь	8,0	1,7—2,1
Медные сплавы с содержанием свинца 15 %	12,0	0,25—0,45

Материалы	K_{M_p}	K_{M_M}
Силумины и литейные сплавы с $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа, твердостью $\geq HB65$ (закаленные)	1,0	—
То же, с $\sigma_B = 100 \dots 200$ МПа, $HB < 65$	1,25	
Дуралюмин с $\sigma_B = 400 \dots 500$ МПа, твердостью $HB < 100$ (закаленный)	1,0	
То же, с $\sigma_B = 300 \dots 400$ МПа, $HB < 100$	1,25	
То же, с $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа	1,5	

Примечание. При обработке стали поправочный коэффициент на скорость резания

$$K_{M_p} = (750/v_B)^{1/4},$$

при обработке серого и ковкого чугуна коэффициента вычисляют по формулам

$$K_{M_p} = (190/HB)^{1/4},$$

$$K_{M_p} = (150/HB)^{1/4}.$$

IX.18. Поправочный коэффициент K_{M_p} , учитывающий влияние материала инструмента на скорость резания

Материал инструмента	Конструкционная сталь, серый и кокий чугун	Труднообрабатываемые сплавы и сплавы на железной и никелевой основе	Титановые сплавы	Материал инструмента	Конструкционная сталь, серый и кокий чугун	Труднообрабатываемые сплавы и сплавы на железной и никелевой основе	Титановые сплавы
P18	1,0	—	0,88	BK6-OM	—	1,25	—
P9K5	1,0	—	1,0	BK6-M	—	1,15	—
P10K5Ф5	1,05	—	1,0	BK8	—	1,0	—
P6M5	0,85	—	0,89	BK10-M	—	0,9	—
P9M4K8	1,2	—	1,23	BK15-M	—	0,7	—

Поправочные коэффициенты K_M и K_p вычисляют как произведение частных поправочных коэффициентов:

$$K_M = K_{M_M} K_{M_p},$$

$$K_p = K_{M_M} K_{M_p} K_{\phi_p},$$

где K_{M_M} и K_{M_p} — коэффициенты, учитывающие обрабатываемый материал (табл. IX.17 и IX.20); K_{M_M} , K_{M_p} — коэффициенты, учитывающие состояние режущих кромок сверла; K_{ϕ_M} , K_{ϕ_p} — коэффициенты, учитывающие форму заточки сверла.

При обработке твердыми сплавами $K_{M_p} = K_{M_M}$. В случае использования острого сверла коэффициент K_{M_p} составляет 0,84, затупленного — 1,0. Если сверление выполняется острым сверлом из быстрорежущей стали, $K_{M_p} = 0,90$, $K_{M_M} = 0,87$. Для обработки затупленным сверлом оба коэффициента равны

IX.19. Показатели и коэффициенты пропорциональности формул для расчета сил резания и крутящего момента

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущего инструмента	Коэффициенты и показатели степени в формулах							
			осевой силы				крутящего момента			
			C_p	z_p	x_p	y_p	C_m	z_m	x_m	y_m
Конструкционные стали с пределом прочности $\sigma_s = 750 \text{ МПа}$ и твердостью HB 215	Сверление	Быстрорежущая сталь	68	1,0	0	0,7	0,0345	2,0	0	0,8
	Рассверливание	Твердый сплав	37,8	—	1,3	—	0,09	1,0	0,9	—
	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	0,943	0,75	0,8	0,95
Чугун: серый твердостью HB 190	Сверление	Твердый сплав	42,7	1,0	0	0,8	0,021	2,0	0	—
	Рассверливание	Быстрорежущая сталь	23,5	—	1,2	0,4	0,085	1,0	0,75	0,8
	Сверление	Твердый сплав	42	1,2	0	0,75	0,012	2,2	0	—
ковкий твердостью HB 150	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	0,196	0,85	0,8	0,7
	Сверление	Твердый сплав	43,3	1,0	0	0,8	0,021	2,0	0	0,8
	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	32,5	1,2	—	—	0,01	2,2	0,8	0,7
Бронза Бр.АЖ-9-4 твердостью HB 100...140	Сверление	Твердый сплав	—	—	—	—	0,17	0,85	0,8	0,8
	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	31,5	1,0	0	0,8	0,012	2,0	0	0,8

IX.20. Поправочные коэффициенты в формулах осевой силы и крутящего момента стали и чугуна

Инструмент	Обрабатываемый материал	Осевая сила	Крутящий момент
Сверло и зенкер из быстрорежущей стали, зенкеры с пластинами твердого сплава	Сталь	$K_{M_p} = (\sigma_b/750)^{0,75}$	$K_{M_M} = K_{M_p}$
	Чугун:	$K_{M_p} = (HB/190)^{0,6}$	$K_{M_M} = K_{M_p}$
	серый	$K_{M_p} = (HB/150)^{0,6}$	$K_{M_M} = K_{M_p}$
Сверла с пластинами твердого сплава	ковкий	$K_{M_p} = (HB/150)^{0,6}$	$K_{M_M} = K_{M_p}$
	Чугун:	$K_{M_p} = (HB/190)^{1,03}$	$K_{M_M} = (HB/190)^{0,5}$
	серый	$K_{M_p} = (HB/150)^{1,03}$	$K_{M_M} = (HB/150)^{0,5}$
	ковкий	$K_{M_p} = (HB/150)^{1,03}$	$K_{M_M} = (HB/150)^{0,5}$

Примечание. Значения предела прочности σ_b следует подставлять в мегапаскалях.

единице. При всех видах заточки $K_{\phi_M} = 1,0$. Для нормальной заточки K_{ϕ_p} составляет 1,33, для двойной и с подточкой перемычки соответственно 1,0 и 0,66.

Крутящий момент при сверлении труднообрабатываемых сталей и сплавов на железной и никелевой основе, титановых сплавов рассчитывают по формуле:

$$M_{кр} = 10C_M (60v)^{-0,15} D^{1,9} s_z^{0,8}.$$

Значения коэффициента C_M приведены в табл. IX.11. При сверлении титановых сплавов ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1, коэффициенты $C_p = 85$, $C_M = 0,06$.

Мощность, затрачиваемая на резание, кВт,

$$N = \frac{2M_{кр}v}{D},$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент, Н · м; v — скорость резания, м/с; D — диаметр инструмента, мм.

Для развертывания труднообрабатываемых материалов применяют быстрорежущие и твердосплавные развертки с передними углами $\gamma = 0...5^\circ$.

При обработке развертками из быстрорежущей стали с глубиной резания 0,05—0,15 мм теплостойких хромистых, хромоникелевых и хромомолибденовых сталей перлитного и мартенситного классов скорость резания составляет 0,08—0,1 м/с, нержавеющей хромистых и сложнотлегированных сталей ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов, хромоникелевых, хромоникелемарганцовистых сталей аустенитного и аустенитно-мартенситного классов — 0,016—0,032 м/с, сплавов на титановой основе с пределом прочности $\sigma_b < 700$ МПа — 0,1...0,16, с $\sigma_b > 700$ МПа — 0,025—0,04. Для всех перечисленных материалов $s_z = 0,1...0,15$ мм/зуб.

В случае обработки твердосплавными развертками с глубиной резания 0,05—0,15 мм нержавеющей хромистых и сложнотлегированных сталей ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов с пределом прочности $\sigma_b = 1200...1500$ МПа скорость резания составляет 0,20—0,26 м/с, с $\sigma_b = 1500...1800$ МПа — 0,13—0,16 м/с, жаропрочных деформируемых сплавов на железоникелевой, никелевой основах, литейных сплавов на никелевой основе — 0,011...0,066, сплавов на титановой основе — 0,15...0,2 высокопрочных сталей — 0,1...0,16 м/с. Для всех материалов $s_z = 0,03...0,1$ мм/зуб.

ШЛИФОВАНИЕ И ДОВОДКА

1. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ И ДОВОДОЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

При шлифовании и доводке используются шлифовальные круги, головки, сегменты, бруски, шкурки, ленты, порошки, суспензии, пасты. Указанные инструменты характеризуются абразивным материалом, его зернистостью, твердостью, структурой, связкой, конструктивными формами, размерами. В качестве основных материалов для шлифовальных и доводочных инструментов используют абразивные, алмазные и эльборовые шлифовальные зерна и порошки.

В зависимости от используемого абразивного материала различают абразивные и алмазно-абразивные инструменты. К числу последних относят эльборовые инструменты.

Для изготовления абразивных инструментов в основном используют электрокорунд различных марок (нормальный, белый, хромистый, титанистый, циркониевый), монокорунд, сфорокорунд, карбид кремния зеленый и черный. Области применения указанных материалов приведены в табл. X.1.

Зернистость указывает на размер режущих зерен основной фракции, примененных в данном инструменте. Абразивные материалы по зернистости подразделяются на три группы (ГОСТ 3647—80): шлифзерно 200—16 размером 2500—160 мкм; шлифпорошки 12—4 размером 160—40 мкм; микрошлифпорошки M63—M20 размером 63—14 мкм и тонкие микрошлифпорошки M14—M5 размером 14—3. Зернистость дополняется буквенным индексом В, П, Н, Д, определяющим процент основной фракции в инструменте, который может быть равен 36—60 %. Области применения абразивных инструментов различной зернистости приведены в табл. X.2.

Твердость абразивного инструмента характеризует прочность удержания абразивных зерен связкой в теле инструмента. Области применения инструментов различной твердости приведены в табл. X.3.

Структура характеризует соотношение между объемом абразивных зерен, связки и пор в теле инструмента. Наиболее часто применяются круги со структурами 1—12. Используются и более высокие номера структур (высокопористые круги). Области применения шлифовальных кругов с различной структурой приведены в табл. X.4.

Связка определяет прочность и твердость инструмента. Виды связок и области применения абразивных инструментов на различных связках приведены в табл. X.5.

Форма и размеры абразивных кругов, головок, сегментов и брусков регламентированы государственными стандартами. Ниже приведены основные типы указанных инструментов (подробно все типы и размеры шлифовальных кругов, головок, сегментов и брусков даны в указанных ниже стандартах).

Шлифовальные круги (ГОСТ 2424—75) выпускаются следующих типов: плоские прямого профиля (ПП), плоские с двусторонним коническим профилем (2П), плоские с коническим профилем (3П), плоские с выточкой (ПВ), плоские с конической выточкой (ПВК), плоские с двусторонней конической выточкой (ПВДК), плоские с двусторонней выточкой (ПВД), кольцевые (К), чашечные цилиндрические (ЧЦ), чашечные конические (ЧК), тарельчатые (Т) и специальные (ПР, ПН, С). Шлифовальные круги используются для круглого наружного, внутреннего, бесцентрового, плоского и профильного шлифования и для заточки режущего инструмента.

Шлифовальные головки (ГОСТ 2447—76) изготавливаются следующих типов: цилиндрические (ГЦ), угловые (ГУ), конические (ГК), сводчатые (ГСв), конические с закругленной вершиной (ГКЗ), шаровые (ГШ) и шаровые с цилиндрической боковой поверхностью (ГШЦ). Шлифовальные головки применяются для обработки профильных поверхностей, зачистных и слесарнодо-

Х.1. Области применения абразивных материалов

Абразивный материал		Область применения
Вид	Марка	
Электрокорунд нормальный	12А, 13А, 14А, 15А, 16А	Шлифование углеродистой и легированной стали, легированной бронзы, ковкого чугуна, никелевых и алюминиевых сплавов
	14А, 15А	Черновое шлифование с большими припусками на обработку, получистовое шлифование, отделочные работы шкуркой
	13А, 14А, 15А	Резка металлов и их сплавов
	13А, 14А	Обдирочное шлифование и зачистные работы
Электрокорунд белый	22А, 23А, 24А, 25А	Чистовое (отделочное) и профильное шлифование, резьбошлифование инструментальной и легированной конструкционной стали; заточка режущего инструмента; хонингование и суперфиниширование, шлифование твердой и вязкой бронзы высокопрочного чугуна
	23А, 24А, 25А	Резка металлов и их сплавов, доводка пастами и суспензиями деталей из закаленной стали, цветных металлов и сплавов
Электрокорунд хромистый	32А, 33А, 34А	Шлифование с повышенными припусками на обработку; заточка быстрорежущего инструмента; чистовое, тонкое и профильное шлифование
Электрокорунд титанистый	37А	Предварительное шлифование с увеличенными припусками на обработку
Электрокорунд циркониевый	38А	Обдирочное шлифование с большими усилиями резания
Монокорунд	43А, 44А, 45А	Шлифование труднообрабатываемых и инструментальных сталей, прецизионное шлифование деталей сложных профилей; заточка многолезвийного инструмента
Карбид кремния черный	53С, 54С, 55С	Обработка твердых, хрупких и очень вязких материалов (твердых сплавов, серого и отбеленного чугуна, бронзового и латуниного литья, меди); резка металлов и их сплавов; тяжелые обдирочные и зачистные работы (53С)
Карбид кремния зеленый	63С, 64С	Используется там же, где карбид кремния черный, для окончательного шлифования; заточка трудносплавного инструмента; хонингование, суперфиниширование, доводка пастами и суспензиями цветных металлов и твердых сплавов

Примечание. Первая цифра и буква обозначают абразивный материал (1А — электрокорунд нормальный, 2А — электрокорунд белый, 3А — электрокорунд хромистый и титанистый, 4А — монокорунд, 5А — карбид кремния черный, 6А — карбид кремния зеленый), вторая цифра — сортность материала (чем больше цифра, тем выше сорт).

Х.2. Области применения абразивных инструментов различной зернистости

Номер зернистости	Область применения
200, 160, 125, 100, 80	Зачистные работы, правка шлифовальных кругов, обдирочное шлифование
63, 50	Плоское шлифование торцом круга; предварительная заточка инструмента; предварительное шлифование незакаленной стали и чугуна; шлифование вязких материалов; отрезка
40, 32, 25	Предварительное и окончательное шлифование закаленной стали и чугуна до шероховатости поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм; заточка режущего инструмента
20, 16	Чистовое шлифование до шероховатости поверхности $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм; профильное шлифование; заточка мелкого режущего инструмента
12, 10, 8, 6	Отделочное и профильное шлифование для шероховатости поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм; чистовая заточка и доводка режущего инструмента; предварительное хонингование; шлифование резьбы крупного шага
5, 4, 3	Шлифование резьб мелкого шага; хонингование до шероховатости поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм
M63, M50, M40, M28, M14, M10, M7, M5	Суперфиниширование, доводка, чистовое хонингование до получения шероховатости поверхности $Ra = 0,16$ мкм и ниже

Х.3. Области применения абразивных инструментов различной твердости

Твердость		Область применения
Вид	Обозначение	
Мягкие	M1, M2, M3	Плоское шлифование торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке); заточка и доводка инструмента из твердых сплавов и минерало-керамики; шлифование закаленных углеродистых и легированных сталей; тонкое шлифование, резьбо- и зубошлифование, суперфиниширование; шлифование цветных металлов и сплавов
Среднемягкие	SM1, SM2	
Среднемягкие	SM2	Чистовое круглое наружное, внутреннее, бесцентровое и плоское шлифование деталей из закаленной стали; шлифование крупных резьб; обдирочное шлифование торцом круга
Средние	C1, C2	
Средние	C2	Круглое наружное, бесцентровое, профильное шлифование и резьбошлифование незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов и других вязких материалов, плоское шлифование сегментными кругами; хонингование
Среднетвердые	CT1, CT2, CT3	

Твердость		Область применения
Вид	Обозначение	
Средне-твердые	СТ2	Обдирочное шлифование, шлифование профильных и прерывистых поверхностей; отрезные и зачистные работы; бесцентровое шлифование (ведущие круги); хонингование закаленных сталей
Твердые	T1, T2	
Весьма твердые	BT1, BT2	Силовое и обдирочное шлифование; правка абразивных кругов; шлифование шаров
Чрезвычайно твердые	ЧТ1, ЧТ2	

X.4. Области применения абразивных кругов с различной структурой

Структура		Область применения
Вид	Номер	
Плотная	1—3	Шлифование деталей с малыми припусками на обработку кругами на керамической и бакелитовой связках
	3—4	Шлифование и доводка хрупких и твердых материалов, профильное шлифование и шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой; отрезные работы
Средняя	5—6	Шлифование круглое наружное, бесцентровое, плоское периферийной круга металлов с высоким сопротивлением разрыву
	7—8	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву; плоское шлифование торцом круга, внутреннее шлифование; заточка инструмента
Открытая	9—12	Скоростное шлифование, профильное шлифование мелкозернистыми кругами, шлифование резьбы; заточка твердосплавного инструмента

X.5. Области применения абразивных инструментов на различных связках

Связка		Область применения
Вид	Обозначение	
Керамическая	K0	Внутреннее шлифование малогабаритными кругами
	K1, K2, K4, K5, K6, K8	Все виды шлифования инструментом общего назначения, кроме резки металла

Связка		Область применения
Вид	Обозначение	
Керамическая	К5, К7	Скоростное, врезное, профильное, прецизионное шлифование инструментом повышенной прочности и кромкостойкости
	К3	Все виды шлифования и заточки инструментом из карбида кремния
Бакелитовая	Б	Шлифование деталей, имеющих склонность к прижогам, зачистное и обдирочное шлифование, заточка инструмента, хонингование
	Б1	Шлифование (плоское, внутреннее), заточка инструмента и разрезка металла инструментом общего назначения
	Б2	Торцовое шлифование сегментными кругами
	Б3	Резьбошлифование, резка материала, хонингование
	БУ	Скоростное шлифование ($v_{кр} \leq 80$ м/с), зачистные и отрезные работы
Вулканитовая	В, В1	Бесцентровое и профильное шлифование, резка материала, хонингование незакаленных сталей
	В2	Скоростное шлифование и резьбошлифование
	В3	Профильное шлифование подшипников качения, чистовое шлифование цилиндрических и некруглых поверхностей
Глифталевая	ГФ	Доводочные и полировальные работы
Поливинилформалевая	ПФ	Доводочные работы

водочных работ. Головки ГЦ применяются также для внутреннего шлифования.

Шлифовальные сегменты (ГОСТ 2464—75) выпускают следующих типов: плоские (СП), выпукло-вогнутые (1С), вогнуто-выпуклые (2С), выпукло-плоские (3С), плоско-выпуклые (4С) и трапециевидные (5С). Сегменты используются для плоского шлифования торцом наборных кругов.

Шлифовальные бруски (ГОСТ 2456—75) изготовляют пяти типов: квадратные (БКв), плоские (БП), трехгранные (БТ), круглые (БКр) и полукруглые (БПкр). Области применения шлифовальных брусков — зачистные и слесарно-доводочные работы. Бруски БКв применяются также для хонингования и суперфиниширования.

Указанные выше абразивные инструменты изготовляют из электрокорунда различных марок, монокорунда и карбида кремния зеленого и черного на керамической (К), бакелитовой (Б), вулканитовой (В) и специальных связках,

Для резки металлов и сплавов выпускаются отрезные круги (ГОСТ 21963—76) диаметром 50—1200 мм из электрокорунда нормального

(на бакелитовой и вулканитовой связках), электрокорунда белого (на бакелитовой связке) и карбида кремния черного (на бакелитовой связке).

Пример условного обозначения абразивного круга типа ПП (ГОСТ 2424—75) размерами $D = 300$ мм, $H = 20$ мм, $d = 127$ мм из электрокорунда белого марки 24А, зернистостью 25, твердостью СТ₂, структурой 6 на керамической связке: ПП 300×20×127 24А 25 СТ₂ 6 К ГОСТ 2424—75.

Абразивная шлифовальная шкурка (ГОСТ 5009—75, 6456—75*, 13344—79*, 10054—75*) выпускается на бумажной и тканевой основах в виде листов, лент, дисков, кругов и др. Применяется для машинного и ручного шлифования и доводки всухую и с охлаждением. Водостойкую шкурку изготавливают на синтетических смолах и лаках. Шкурки, изготавливаемые на нездоровом клее, растворяются в воде и водных растворах, поэтому применяются для обработки всухую или с охлаждением маслом, керосином и уайт-спиритом. Шкурки из электрокорунда нормального применяются для обработки углеродистых и легированных сталей, ковкого чугуна; из электрокорунда белого — для обработки жаропрочных и легированных сталей; из карбида кремния — для обработки чугуна, бронзы, алюминия.

Из шлифовальной шкурки изготавливают абразивные ленты (ГОСТ 12439—79), применяемые для шлифования и полирования без охлаждения и с применением СОЖ.

Абразивные пасты и суспензии изготавливают из абразивных микропорошков зернистостью М40—М3 путем смешивания их с неабразивными компонентами: керосином, минеральным маслом, стеарином, олеиновой кислотой, водой. Пасты и суспензии используют для доводки поверхностей деталей из закаленной и незакаленной стали, чугуна, цветных металлов и сплавов.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА АЛМАЗНЫХ И ЭЛЬБОРОВЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В соответствии с ГОСТ 9206—80 (СТ СЭВ 682—77, СТ СЭВ 2172—80) для изготовления алмазных абразивных инструментов применяют природные (А) и синтетические (АС) алмазы в виде шлифпорошков, микропорошков и субмикропорошков. Шлифпорошки из природных алмазов выпускаются пяти марок: А1, А2, А3, А5 и А8 (цифровой индекс показывает содержание зерен изометрической формы, выраженное десятками процентов). Шлифпорошки из синтетических алмазов выпускаются десяти марок: АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50, АРВ1, АРК4 и АРС3 (шлифпорошки марок АРВ1, АРК4 и АРС3 получают путем дробления поликристаллических алмазов соответственно типа «баллас», «карбонадо», «спеки»). Микропорошки из природных и синтетических алмазов выпускаются двух марок: АМ (АСМ) и АН (АСН) — нормальной и повышенной абразивной способности.

Субмикропорошки из природных и синтетических алмазов также выпускаются двух марок: АМ1 (АСМ1) и АМ5 (АСМ5) с содержанием крупной фракции до 1 и до 5 %.

Для изготовления эльборовых абразивных инструментов применяют шлиф- и микропорошки из эльбора (Л) и кубонита (К), выпускаемых двух марок: ЛО (КО) и ЛР (КР) — эльбор (кубонит) соответственно обычной и повышенной прочности.

Марки указанных алмазных и эльборовых материалов и области их применения приведены в табл. X.6.

Зернистость алмазных и эльборовых шлифпорошков, микропорошков и субмикропорошков, а также области применения инструментов различной зернистости приведены в табл. X.7—X.11.

Алмазные шлифовальные круги выпускают на металлической, органической и керамической связках. Круги из эльбора и кубонита марок ЛО и КО изготавливают на органической и керамической связках, марки ЛР и КР рекомендуются для кругов на металлической связке. Алмазные и эльбо-

Х.6. Области применения алмазных и эльборовых материалов

Марка зерна	Область применения
АС2	Инструмент на органических связках, применяемый для доводки твердых сплавов, инструментальных и быстрорежущих сталей
ЛЮ, КО	Инструмент на органических и керамических связках для доводки твердых сплавов, инструментальных и быстрорежущих сталей
АС4	Инструмент на металлических и керамических связках для шлифования и заточки твердых сплавов и хрупких материалов
ЛР, КР	Инструмент на металлических связках для обработки быстрорежущих, нержавеющей, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов
АС6	Инструмент на металлических связках, предназначенный для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов при повышенных режимах
АС32	Инструмент на металлических связках, применяемый для черного хонингования, правки шлифовальных кругов, резки и обработки камня средней твердости
АСС	Монокристаллы размером до 630 мкм, предназначенные для правки абразивных кругов
АРСЗ	Инструмент на металлических связках, работающий в особо тяжелых условиях (правка шлифовальных кругов, обработка камня)
АСМ, АМ, ЛК, КМ	Инструмент, пасты и суспензии для доводки твердых сплавов, труднообрабатываемых конструкционных и инструментальных сталей, закаленных сталей
АСН, АН	Инструмент, пасты и суспензии для обработки природных и синтетических алмазов и других сверхтвердых материалов
АМ5, АСМ5	Микropорошки для доводки и полирования поверхностей изделий из полупроводниковых материалов
АРВ1	Инструмент, применяемый для черного хонингования чугунов, резки стеклопластиков
АРК4	Инструмент, работающий в тяжелых условиях (хонингование, обработка камня)
АС20	Инструмент, работающий в тяжелых условиях (черновое хонингование, резка и обработка стекла, железобетона)

Х.7. Зернистость алмазных шлифпорошков (по ГОСТ 9206—80)

Зернистость	Размеры, мкм, стороны ячейки сита в свету, при котором зерна основной фракции		Зернистость	Размеры, мкм, стороны ячейки сита в свету, при котором зерна основной фракции	
	про- ходят через сито	задер- жива- ются на сите		про- ходят через сито	задер- жива- ются на сите
Широкий диапазон зернистостей			1600/1250	1600	1250
			1250/1000	1250	1000
			1000/800	1000	800
2500/1600	2500	1600	800/630	800	630
1600/1000	1600	1000	630/500	630	500
1000/630	1000	630	500/400	500	400
630/400	630	400	400/315	400	315
400/250	400	250	315/250	315	250
250/160	250	160	250/200	250	200
160/100	160	100	200/160	200	160
100/63	100	63	160/125	160	125
63/40	63	40	125/100	125	100
Узкий диапазон зернистостей			100/80	100	80
			80/63	80	63
2500/2000	2500	2000	63/50	63	50
2000/1600	2000	1600	50/40	50	40

Х.8. Зернистость алмазных микропорошков и субмикропорошков (по ГОСТ 9206—80)

Зерни- стость	Размеры зерен основной фракции, мкм
60/40	60—40
40/28	40—28
28/20	28—20
20/14	20—14
14/10	14—10
10/7	10—7
7/5	7—5
5/3	5—3
3/2	3—2
2/1	2—1
1/0	1 и мельче
0,7/0,3	0,7—0,3
0,5/0,1	0,5—0,1
0,3/0	0,3
0,1/0	и мельче
	0,1
	и мельче

Х.9. Марка, диапазон зернистостей и зернистость алмазного порошка (по ГОСТ 9206—80)

Марка алмаз- ного порош- ка	Диапазон зерни- стостей	Зернистость	Марка алмаз- ного порош- ка	Диапазон зерни- стостей	Зернистость
A1	Широкий	От 630/400 до 63/40	AC15	Широкий	От 400/250 до 63/40
	Узкий	» 630/500 » 50/40		Узкий	» 630/500 » 50/40
A2	Широкий	» 630/400 » 63/40	AC20	Узкий	» 500/400 » 50/40
	Узкий	» 630/500 » 50/40	AC32	Узкий	» 630/500 » 50/40
A3	Широкий	» 630/400 » 63/40	AC50	Узкий	» 800/630 » 50/40
	Узкий	» 630/500 » 50/40	APB1	Узкий	» 2500/2000 » 50/40
A5	Широкий	» 630/400 » 63/40	APK4	Широкий	» 2500/1600 » 63/40
	Узкий	» 800/630 » 50/40		Узкий	» 2500/2000 » 50/40
A8	Широкий	» 630/400 » 63/40	APC3	Узкий	» 2500/2000 » 50/40
	Узкий	» 1250/1000 » 50/40	AM,		
AC2	Широкий	» 160/100 » 63/40	АСМ,		
	Узкий	» 160/125 » 50/40	АН,	Узкий	» 60/40 » 1/0
AC4	Широкий	» 160/100 » 63/40	АСН		
	Узкий	» 200/160 » 50/40	AM1,		
AC6	Широкий	» 250/160 » 63/40	AM5,		
	Узкий	» 250/200 » 50/40	АСМ1, АСМ8	Узкий	» 0,7/0,3 » 0,1/0

Х.10. Области применения алмазного абразивного инструмента различной зернистости

Зернистость инструмента по связке		Область применения
металлической	органической	
315/250—200/160	—	Предварительное шлифование до шероховатости поверхности $Ra = 2,5...1,25$ мкм, заточка режущего инструмента
200/160—125/100	—	Чистовое шлифование до шероховатости поверхности $Ra = 2,5...0,63$ мкм, шлифование профильных поверхностей
125/100—80/63	—	Чистовое шлифование до шероховатости поверхности $Ra = 1,25...0,32$ мкм, заточка инструмента, предварительное хонингование
63/50—50/40	80/63—63/50	Доводка режущего инструмента, шлифование резьбы с мелким шагом, чистовое хонингование до шероховатости поверхности $Ra = 0,63...0,16$ мкм
—	63/50—50/40	Отделочное шлифование до шероховатости поверхности $Ra = 0,32...0,08$ мкм
—	40/28—28/20	Окончательная доводка инструмента, суперфиниширование до шероховатости поверхности $Ra = 0,16...0,04$ мкм
—	20/14—5/3	Окончательное хонингование до шероховатости поверхности $Ra = 0,08...0,02$ мкм, шлифование резьбы с мелким шагом

Х.11. Области применения эльборовых абразивных инструментов различной зернистости

Зернистость по ГОСТ 2-МТ79-2—75	Размер зерна основной фракции, мкм	Область применения	Зернистость по ГОСТ 2-МТ79-2—75	Размер зерна основной фракции, мкм	Область применения
Л-25 Л-20 Л-16 Л-12	325—250 250—200 200—160 160—125	Шлифование	ЛМ-50 ЛМ-40 ЛМ-28	50—40 40—28 28—20	Тонкое шлифование, суперфиниширование
Л-10 Л-8 Л-6	125—100 100—80 80—63	Тонкое шлифование	ЛМ-20 ЛМ-14 ЛМ-10 ЛМ-7 ЛМ-5 ЛМ-3	20—14 14—10 10—7 7—5 5—3 3—1	Полирование
Л-5 Л-4 ЛМ-63	63—50 50—40 63—50	Тонкое шлифование, суперфиниширование	ЛМ-1	1—0	Доводка

ровые бруски для хонингования и суперфиниширования изготовляют на металлической, керамической и реже — на органической связках.

Марки связок и области применения алмазных и эльборовых инструментов на различных связках приведены в табл. X.12.

Х.12. Области применения алмазных и эльборовых абразивных инструментов на различных связках

Марка		Область применения
связки	шлифовальных зерен	
Органические связки		
БП2, Б156, Б2, Б8	АС4	Обдирочное шлифование деталей из твердых сплавов, заточка твердосплавных пластин всухую и с применением СОЖ на повышенных режимах резания
Б1, Б3, ТО2	АС2, АС4, АСМ	Чистовое шлифование деталей из твердых сплавов, чистовая заточка и доводка твердосплавного инструмента всухую и с применением СОЖ
БП2, Б2, Б156	АС2, АС4	Профильное шлифование заготовок из твердого сплава всухую и с применением СОЖ, резбошлифование
Б1	ЛО, ЛМ, КО, КМ	Чистовое шлифование деталей из закаленных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чистовое резбошлифование, заточка и доводка быстрорежущего лезвийного инструмента
Б2	ЛО, КО	Профильное шлифование деталей из закаленных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чистовое шлифование зубчатых колес, резьб и ходовых винтов, заточка и доводка резбо- и зубообрабатывающего инструмента
Б156	ЛО, ЛМ, КО, КМ	Шлифование деталей из закаленных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чистовое шлифование резьб, заточка и доводка быстрорежущего лезвийного инструмента
ТО2	ЛО, ЛМ, КО, КМ	Шлифование деталей из закаленных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чистовая заточка и доводка быстрорежущего лезвийного инструмента
Р1	АС2	Тонкое полирование материалов ($R_a = 0,04 \dots 0,02$ мкм, $R_z = 0,1 \dots 0,025$ мкм)
Р4		Полирование деталей ($R_a = 0,08 \dots 0,02$ мкм)
Р9		Полирование деталей ($R_a = 0,32 \dots 0,04$ мкм)
Р14		Доводка и полирование деталей ($R_a = 0,63 \dots 0,16$ мкм)
Металлические связки		
М1, ТМ2, МВ1, М10, МО13	АС4, АС6, А2	Шлифование профильных поверхностей, резбошлифование, разрезка материала, внутреннее шлифование твердосплавных деталей с применением СОЖ

Марка		Область применения
связки	шлифовальных зерен	
МВ1, М5-5, МК	АС4, АС6	Электролитическое шлифование и заточка твердосплавного инструмента, а также твердосплавных пластин совместно со стальной державкой
М73	АС6	Хонингование закаленных и улучшенных сталей
М13, М73, М23, М24	А2, АС15, АС6	Хонингование закаленных и улучшенных сталей при повышенных удельных давлениях ($p \geq 1,2$ МПа)
М5, МК3	АС6, АС4	Хонингование легированных, цементированных и закаленных сталей после предварительного шлифования
М1, МП1	АС6, АС4	Предварительное хонингование чугуна
М1, МП1	АСМ, АС4	Окончательное хонингование чугуна

Керамическая связка

К1	АС4	Шлифование твердосплавных деталей, заточка твердосплавного инструмента совместно со стальной державкой с применением СОЖ
----	-----	--

Твердость алмазных и эльборовых абразивных инструментов на органической и керамической связках маркируется аналогично абразивным инструментам (см. табл. X.3).

Концентрация определяется количеством алмазного и эльборового порошка в абразивном слое инструмента. Содержание алмазов или эльбора, равное 25 % объема абразивного слоя, принято за 100 %-ную концентрацию. Алмазные круги изготовляют концентрацией 25, 50, 100, 150 и 200 %, круги из эльбора выпускают концентрацией 25, 50, 75, 100, 125 и 150 %.

Форма и размеры алмазных и эльборовых абразивных кругов, головок и брусков регламентированы государственными и отраслевыми стандартами. Ниже приведены основные типы указанных инструментов (подробно все типы и размеры алмазных и эльборовых абразивных кругов, головок и брусков даны в приведенных ниже стандартах).

Алмазные шлифовальные круги выпускают следующих типов: плоские прямого профиля АПП (ГОСТ 16167—80*), плоские прямого профиля без корпуса А1ПП (ГОСТ 16168—80*), плоские прямого профиля трехсторонние А2ПП (ГОСТ 16169—81*), плоские с выточкой АПВ (ГОСТ 16170—81*), плоские с двусторонней выточкой АПВД (ГОСТ 16171—81*), чашечные АЧК (ГОСТ 16172—80*), чашечные конические А1ЧК (ГОСТ 16173—81*), чашечные конические А2ЧК (ГОСТ 16174—81*), тарельчатые АТ (ГОСТ 16175—81*), тарельчатые А1Т (ГОСТ 16176—70*), тарельчатые А3Т (ГОСТ 16177—70*), тарельчатые А4Т (ГОСТ 16178—70*), плоские с двусторонним коническим профилем А2П (ГОСТ 16179—70*), плоские с полукругловыпуклым профилем А5П (ГОСТ 16180—70*).

Шлифовальные эльборовые круги (ГОСТ 17123—79) выпускаются следующих типов: плоские прямого профиля (1А1), плоские прямого профиля без корпуса (А8), плоские с двусторонним коническим профилем (1Е1,

1Е6Q, 1Д1), плоские с односторонним коническим профилем (1V1, 1R1), плоские прямого профиля (1А2), плоские с полукругловыпуклым профилем (1F1X), профильные (4V9), плоские с выточкой (6П2), плоские с двусторонней выточкой (9А3), чашечные конические (12А2—45°, 11А2, 12V5—45°), тарельчатые (12R9, 12V9, 12А2—20°, 12R4, 12V5—20°), плоские прямого профиля (14А1) и плоские с двусторонним коническим профилем (14ЕЕ1Х).

Алмазные и эльборовые шлифовальные круги применяются для круглого наружного, внутреннего, бесцентрового, плоского и профильного шлифования, а также для заточки и доводки режущего инструмента.

Алмазные шлифовальные головки выпускают шести типов: цилиндрические АГЦ (ГОСТ 17116—71*), угловые АГУ (ГОСТ 17117—71*), конические АГК (ГОСТ 17118—71*), конические усеченные АГКу (ГОСТ 17119—71*), сводчатые АГСв (ГОСТ 17120—71*) и полушаровые АГПш (ГОСТ 17121—71*). Алмазные шлифовальные головки применяются для внутреннего шлифования цилиндрических, конических, профильных и других поверхностей.

Алмазные хонинговальные бруски плоско-выпуклого типа выпускаются в соответствии с СТ СЭВ 204—75. Алмазные бруски для суперфиниширования (по ОСТ 2-И73-2—74) выпускаются двух типов: плоские без корпуса (тип 1) и плоские с корпусом (тип 2). Бруски из эльбора (по ОСТ 2-И72-2—75), изготавливаются следующих типов: прямоугольные (ЛПБ; Л1БП), специальные (ЛБС, Л1БС), полукруглые (ЛБПкр) и треугольные (ЛБТ). Бруски типа ЛБП, ЛБС и Л1БС используются для суперфиниширования наружных цилиндрических поверхностей, бруски остальных типов — для ручных шлифовальных и доводочных работ.

Пример условного обозначения алмазного круга типа АПП (ГОСТ 16167—80*) с размерами $D = 300$ мм, $H = 16$ мм, $d = 127$ мм, $s = 3$ мм из алмаза марки АС4, зернистостью 250/200, 100 %-ной концентрации на металлической связке М1: АПП 300×16×127×3 АС4 250/200 100 М1 ГОСТ 16167—80*.

Алмазные и эльборовые пасты изготавливают на основе алмазных и эльборовых микропорошков. Данные о зернистости и концентрации алмазных и эльборовых паст приведены в табл. X.13 и X.14.

X.13. Алмазные пасты
(СТ СЭВ 206—75)

Зернистость алмазного порошка	Концентрация алмазного порошка в пасте, % по массе		
	нормальная	повышенная	высокая
60/40; 40/28	8	20	40
28/20; 20/14; 14/10	6	15	30
10/7; 7/5; 5/3	4	10	20
3/2; 2/1; 1/0	2	5	10

X.14. Эльборовые пасты
(ОСТ 2.035-2—70)

Зернистость эльборового порошка	Концентрация эльборового порошка в пасте, % по массе		
	низкая	средняя	повышенная
ЛМ40	20	40	60
ЛМ28	10	20	40
ЛМ20, ЛМ14	8	10	20
ЛМ10, ЛМ7, ЛМ5	8	8	10
ЛМ3	4	6	8

Примечание. Пасты изготавливают только мажобразного вида.

3. ВИДЫ И РЕЖИМЫ АБРАЗИВНОЙ И АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТОК

Виды шлифования

В зависимости от требований к точности и качеству обработанных поверхностей осуществляют обдирочное (черновое), предварительное, окончательное (чистовое) и тонкое шлифование.

Обдирочное шлифование обычно применяется взамен предварительной обработки лезвийным инструментом. Эта операция чаще всего выполняется на режимах силового и скоростного шлифования. При обдирочном шлифовании часто применяют сегментные круги.

Предварительное шлифование обычно производится после лезвийной обработки. Оно выполняется для создания базовых поверхностей до термической обработки или в качестве промежуточной операции для подготовки поверхности к окончательной обработке.

Окончательное (чистовое) и тонкое шлифование применяются для обеспечения высокой степени точности и низкой шероховатости поверхности.

По характеру обрабатываемых поверхностей схемы шлифования можно разделить на три основных вида: круглое (наружное и внутреннее), плоское и профильное шлифование.

Круглое наружное шлифование в центрах (в патроне) может осуществляться тремя способами: с продольной подачей, с поперечной подачей (врезанием) и глубинным способом. При круглом наружном чистовом шлифовании достигается точность обработки по 6—7-му квалитетам, шероховатость поверхности $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм. Тонкое шлифование дает возможность получить 5—6 квалитет точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,08$ мкм.

Круглое наружное бесцентровое шлифование может производиться двумя способами: с продольной подачей (на проход или до упора) и с поперечной подачей (врезанием). Бесцентровое шлифование на проход обеспечивает обработку по 5—6-му квалитетам точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,16$ мкм.

Круглое внутреннее шлифование производится на проход и врезанием по следующим трем схемам: в патроне, бесцентровое и планетарное. На внутришлифовальных станках обеспечивается обработка до получения 6—7-го квалитетов точности и шероховатости поверхности $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм.

Плоское шлифование выполняется периферией или торцом круга. В обоих случаях обработка может производиться как с поперечной подачей, когда ширина обрабатываемой поверхности больше ширины (диаметра) круга, так и без нее, при съеме припуска за несколько ходов (многопроходное шлифование) или за один ход (глубинное шлифование). При плоском шлифовании периферией круга обеспечивается шероховатость поверхности при чистовой обработке $Ra = 1,0 \dots 0,4$ мкм, при тонкой — $Ra = 0,63 \dots 0,20$ мкм.

К профильному шлифованию относится обработка резьбовых и зубчатых поверхностей, сфер и других профильных поверхностей на специализированных станках.

Режимы резания при шлифовании

Подачи и скорость движения детали можно приблизительно рассчитать по эмпирическим зависимостям. Однако в большинстве случаев режимы шлифования выбирают по опытно-статистическим данным. Выбор режимов резания начинают с установления характеристик инструмента. Некоторые рекомендации по выбору характеристик абразивных кругов приведены в табл. X.15 (см также табл. X.1—X.5). Характеристики алмазных и эльборовых кругов для различных условий обработки можно ориентировочно выбрать по табл. X.6, X.10—X.12.

Режимы резания при шлифовании различных материалов приведены в табл. X.16.

Силы резания и эффективная мощность при шлифовании

В настоящее время еще нет достаточно простых и хорошо согласующихся с практикой теоретических формул для подсчета составляющих силы резания. Поэтому чаще всего для определения составляющих силы резания используют эмпирические формулы типа

$$P = C_p v_d^{\alpha} t_s^{\beta} v_p^{\beta} B^p.$$

Х.15. Выбор характеристик шлифовальных кругов* для различных условий

Вид шлифования	Ra, мкм	Конструкционная (углеродистая и легированная)	
		<30	" 30—50
Круглое наружное с продольной подачей	20—10**	15A50C1K	15A50CM2K
	2,5—1,25	15A40—50C2K	15A40—50C1K
	1,25—0,63	15A, 24A40CT1K	24A40C1K
	0,63—0,32	24A16—25CT1K	24A16—25C2K
Круглое наружное с радиальной подачей	20—10**	15A50C2K	15A50C1K
	2,5—1,25	15A40—50CT1K	15A40—50CM2K
	1,25—0,63	15A, 24A40CT1K	24A40C1K
	0,63—0,32	24A16—25CT2K	24A16—25C2K
Круглое внутреннее	20—10**	24A50C1K	24A50CM2K
	2,5—1,25	24A40C2K	24A40C1K
	1,25—0,63	24A25C2K	24A25C2K
	0,63—0,32	24A16CT1K	24A16C2K
Плоское периферий круга	20—10**	15A50CM2K	15A50CM1K
	2,5—1,25	15A40CM2K	15A40CM1K
	1,25—0,63	15A25C1K	15A25CM2K
	0,63—0,32	15A16C1K	15A16CM2K
Плоское торцом круга	20—10**	15A50CM1B	15A50CM1B
	2,5—1,25	15A40CM1B	15A40CM1B
	1,25—0,63	15A25CM2B	15A25CM1B
	0,63—0,32	15A25CM2B	15A25CM1B
Бесцентровое с продольной подачей	20—10**	15A50C2K	15A50C1K
	2,5—1,25	15A, 24A40—50CT1K	15A40—50C2K
	1,25—0,63	15A, 24A40CT1K	15A, 24A40C2K
	0,63—0,32	24A16—25CT2K	24A16—25CT1K
Бесцентровое с радиальной подачей	20—10**	15A50CT1K	15A50C2K
	2,5—1,25	15A40—50CT1K	15A40—50C2K
	1,25—0,63	15A, 24A40CT2K	15A, 24A40CT1K
	0,63—0,32	24A16—25CT2K	24A16—26CT1K

* Характеристики кругов необходимо уточнять по табл. IX.1—IX.5 в зависимости
 ** Приведен параметр Rz.

шлифования (скорость круга $v_{кр} = 35$ м/с)

сталь с твердостью HRC	Жаропрочная и коррозионностойкая сталь	Чугун и бронза
> 50		
15A50CM1K	15A50CM1B, K	54C50CM1K
15A40—50CM2K	15A40—50CM1B, K	54C40—50CM1K
24A40CM2K	24A40CM2B, K	63C, 24A40CM2K
24A16—25C1K	24A16—25CM2B, K	63C, 25A16—25CM2K
15A50CM2K	15A50CM2B, K	54C50CM2K
15A40—50CM2K	15A40—50CM2B, K	54C40—50CM2K
24A40C1K	24A40C1B, K	63C, 24A40C1K
24A16—25C2K	24A16—25C1B, K	63C, 24A16—25C1K
24A50CM2K	24A50CM1K, B	54C50CM1K
24A40CM2K	24A40CM2K, B	54C40CM2K
24A25C1K	24A25C1K, B	63C, 24A25CM2K
24A16C2K	24A16C1K, B	63C, 24A16C1K
15A50M3K	15A50M3K, B	63C, 54C, 24A50CM2K
15A40M3K	15A40M3K, B	63C, 54C, 24A40CM2K
15A25CM1K	15A25CM1K, B	63C, 54C, 24A25C1K
15A16CM1K	15A16CM1K, B	63C, 54C, 24A16C1K
15A50CM2B	15A50M2B	63C, 54C, 24A50CM2B
15A40M2B	15A40M2B	63C, 54C, 24A40CM2B
15A25M3B	15A25M3B	63C, 54C, 24A25C1B
15A25M3B	15A25M3B	63C, 54C, 24A25C1B
15A50CM2K	15A50CM2B, K	63C, 54C50CM2K
15A40—50CM2K	15A40—50CM2B, K	63C, 54C40—50CM2K
15A, 24A40C1K	15A, 24A40C1B, K	63C, 54C, 15A40C1K
24A16—25C2K	24A16—25C1B, K	63C, 54C, 15A16—25C2K
15A50C1K	15A50C1B, K	63C, 54C50C1K
15A40—50C1K	15A40—50C1B, K	63C, 54C40—50C1K
15A, 24A40C2K	15A, 24A40C2B, K	63C, 54C, 15A40C2K
24A16—25C2K	24A16—25C2B, K	63C, 54C, 15A16—25C2K

от конкретных условий шлифования.

Х.16. Режимы резания для различных видов шлифования конструкционных материалов и инструментальных сталей абразивными кругами ($v_{кр} = 30...35$ м/с)

Шлифование	Элементы режима резания		
	Скорость детали окружная или продольная v_d , м/с	Глубина шлифования t , мм	Подача (продольная или поперечная)
Круглое наружное с продольной подачей на каждый ход:			
предварительное	0,20—0,40	0,01—0,025	(0,3—0,7) B^*
окончательное	0,25—0,90	0,005—0,015	(0,2—0,4) B^*
То же, с продольной подачей на двойной ход	0,35—0,50	0,015—0,05	(0,3—0,7) B^*
Круглое наружное врезанием:			
предварительное	0,50—0,85	—	0,0025—0,075 мм/об
окончательное	0,35—0,70	—	0,001—0,005 мм/об
Круглое внутреннее на станке общего назначения:			
предварительное	0,35—0,70	0,005—0,02	(0,4—0,7) B^*
окончательное	0,33—0,70	0,0025—0,01	(0,25—0,4) B^*
То же, на станках-полуавтоматах:			
предварительное	0,85—2,50	0,0025—0,005	(0,4—0,75) B^*
окончательное	0,85—2,50	0,0015—0,0025	(0,25—0,4) B^*
Круглое бесцентровое на проход:			
предварительное при $d^* < 20$ мм	0,35—2,00	0,02—0,05	500—3800 мм/мин
предварительное при $d^* > 20$ мм	0,35—2,00	0,05—0,20	500—3800 мм/мин
окончательное	0,70—2,00	0,0025—0,01	1200—2000 мм/мин
Круглое бесцентровое врезанием:			
предварительное	0,20—0,75	—	0,001—0,005 мм/об
окончательное	0,20—0,50	—	0,001—0,005 мм/об
Плоское периферией круга на станках с круглым столом:			
предварительное	0,35—1,00	0,005—0,015	(0,3—0,6) B^*
окончательное	0,70—1,00	0,005—0,01	(0,2—0,25) B^*
То же, на станках с прямоугольным столом в серийном производстве:			
предварительное	0,15—0,50	0,015—0,04	(0,4—0,7) B^*
окончательное	0,25—0,35	0,005—0,015	(0,2—0,3) B^*
То же, на станках с прямоугольным столом инструментального типа:			
предварительное	0,05—0,15	0,05—0,15	1,0—2,0 мм/ход
окончательное	0,05—0,15	0,01—0,015	1,0—1,5 мм/ход

Шлифование	Элементы режима резания		
	Скорость детали окружная или продольная v_d , м/с	Глубина шлифования t , мм	Подача (продольная или поперечная)
Плоское торцом круга на станках с прямоугольным столом**:			
предварительное	0,07—0,20	0,015—0,04	—
окончательное	0,03—0,05	0,005—0,01	—
То же, на станках с круглым столом с вертикальной подачей на каждый оборот стола**:			
предварительное	0,20—0,70	0,015—0,03	—
окончательное	0,020—0,70	0,005	—
То же, на станках с круглым столом однократного шлифования с автоматической подачей деталей**:			
предварительное	0,03—0,05	0,1—0,15	—
окончательное	0,03—0,05	0,005	—

* d — диаметр детали, B — ширина круга, мм
 ** $v_{кр} = 25...30$ м/с.

Коэффициент C_p и показатели степени x, y, p, α и β по данным отдельных исследований колеблются в широком диапазоне. Например, для круглого шлифования $\alpha = 0,35...0,8$, $x = 0,4...1,0$, $y = 0,24...1,0$, $\beta = 0,5...1,0$, $p = 0,8...1,0$. Абсолютные значения сил резания, подсчитанные по различным формулам, также существенно отличаются друг от друга и от действительных сил резания, измеренных в процессе шлифования.

Эффективная мощность шлифования N_s может быть рассчитана через параметры режима резания [56]. При круглом наружном шлифовании с продольной подачей

$$N_s = C_N v_d^x t^y s^p D_d^z$$

при круглом наружном врезном шлифовании

$$N_s = C_N v_d^x s^y D_d^z B^p;$$

при шлифовании торцом круга

$$N_s = C_N v_d^x t^y B^p,$$

где D_d — диаметр шлифуемой детали, мм; B — ширина шлифования, мм, равная длине детали при круглом врезном шлифовании и поперечному размеру поверхности при шлифовании торцом круга.

Значения постоянной C_N и показателей степени x, y, z, α и p при шлифовании стали и чугуна кругами соответственно из электрокорунда и карбида кремния приведены в табл. X.17.

Х.17. Коэффициенты и показатели степени в формулах для расчета эффективной мощности при шлифовании абразивными кругами

Вид шлифования	Обрабатываемый материал	Характеристики круга		С _Н	α	x	y	z	p
		Зернистость	Твердость						
Круглое шлифование с поперечной подачей на двойной ход стола	Незакаленная и закаленная сталь	50—40	СМ1, СМ2	1,3	0,75	0,85	0,7	—	—
			СМ1—СМ2	2,2	0,5	0,5	0,55	—	—
			С1	2,7	0,8	0,8	—	0,2	1,0
Круглое врезное шлифование	Незакаленная сталь	50	СМ1	0,20	0,5	0,4	0,4	—	—
			С1	0,27	0,35	—	—	0,3	—
			СМ1	0,36	0,55	1,0	0,7	—	—
Круглое внутреннее шлифование	Закаленная сталь	40	С1—СТ1	0,1	0,85	0,6	0,7	—	—
			СМ2	0,075	0,6	—	—	—	—
			СТ1	0,1	0,6	—	—	—	—
Круглое бесцентровое шлифование на проход	Незакаленная сталь	25	СМ1—С1	0,07	0,65	0,65	—	—	—
			СМ1	0,28	0,6	—	—	—	—
			С1	0,34	0,6	—	—	—	—
Круглое врезное шлифование	Незакаленная и закаленная сталь	40	СМ1—С1	0,07	0,65	0,65	—	—	—
			СМ1	0,28	0,6	—	—	—	—
			С1	0,34	0,6	—	—	—	—

Плоское шлифование периферий круга на станках с прямоугольным столом	Незакаленная сталь	50	СМ2	0,52	1,0	0,8	0,8	—	0,6
		50—40	С1	0,59	0,8	0,65	0,7		
			СТ1	0,68	0,7	0,5	0,5		
То же, на станках с круглым столом	Закаленная сталь	125	МЗ—С1	0,53	0,7	0,5	0,5	—	0,3
			МЗ—С1	0,7	0,7	0,4	0,4		
			М2*	0,17	0,7	0,5	0,5		
Плоское шлифование торцом круга на станках с прямоугольным столом	Незакаленная сталь	80	С1*	0,39	0,5	0,5	0,5	—	0,45
		50	СТ1*	0,59	0,5	0,5	0,5		
		80	М1**	1,8	0,5	0,5	0,5		
То же, на станках с круглым столом	Закаленная сталь	50	МЗ***	1,3	0,5	0,5	0,5	—	0,3
		80	СМ2**	2,0	0,5	0,5	0,5		
		80	М1**	5,6	0,5	0,5	0,5		
То же, на станках с круглым столом	Закаленная сталь	50	МЗ***	4,0	0,3	0,25	0,25	—	0,45
		80	СМ2**	3,4	0,3	0,25	0,25		
		80	СМ1**	4,8	0,3	0,25	0,25		
То же, на станках с круглым столом	Чугун	50	СМ2***	4,0	0,4	0,4	0,4	—	0,45
		80	СМ2***	2,6	0,4	0,4	0,4		
		80	СМ2**	3,9	0,4	0,4	0,4		

* Круги на бакелитовой связке. Во всех остальных случаях связка керамическая.

** Кольцевые круги.

*** Сегментные круги.

4. ХОНИНГОВАНИЕ

Хонингование является отделочным видом обработки и применяется для повышения точности формы, размеров и снижения шероховатости поверхности обрабатываемых деталей. Обработку производят с помощью абразивных, алмазных или эльборовых брусков, которым сообщают три основных движения по отношению к детали: вращательное, возвратно-поступательное и радиальное. Типы абразивных, алмазных и эльборовых брусков приведены ранее. Рекомендуемые характеристики абразивных и алмазных хонинговальных брусков в зависимости от припуска, которым обрабатываемого материала и шероховатости поверхности детали даны в табл. X.18 и X.19.

В последнее время для хонингования сталей все более широкое применение находят бруски из эльбора. Исследованиями установлено, что производительность эльборовых брусков на керамической связке выше, чем алмазных брусков на металлической связке, но выше и износ. Практика свидетельствует об эффективности применения эльборовых брусков при хонинговании сталей.

Рекомендации по выбору режимов алмазного и абразивного хонингования приведены в табл. X.20.

X.18. Рекомендуемые характеристики абразивных хонинговальных брусков в зависимости от припуска, обрабатываемого материала и шероховатости поверхности детали [47]

Обрабатываемый материал	Припуск, мм	Шероховатость R_a , мкм		Характеристика абразивных брусков
		исходная	достигаемая	
Закаленная сталь	0,08—0,14	2,5	1,25	24A10CT1—CT2K 24A6C2—CT2K 24A5C2—CT2K 63C3—5C1—CT1K 24A3—5C1—CT1K
	0,04—0,08		0,63	
	0,03—0,04	1,25	0,32	
	0,01—0,03		0,32	
Незакаленная сталь	0,04—0,07	2,5	0,63	63C10CT2—T1K 24A10C2—CT2K
	0,02—0,04	1,25	0,63	63CM40CT2—T2K 63C4CT2—T2K
	0,003—0,005	0,63	0,16	63CM14—M28CT1—CT2K
Серый закаленный чугун	0,08—0,16	2,5	1,25	63C16T1—T2K* 63C10—12T1—T2K* 63CM40CM2—C2K 63CM4CM2—C2K
	0,04—0,08	1,25	0,63	
	0,01—0,03	0,63	1,32	
Серый незакаленный чугун	0,08—0,16	5,0	2,5	63C12—16T1—T2K 63C10T1—T2K 63C10CT2—T2K 63C6CT2—T2K 63CM20—M28CT2—T2I 63CM14—M20CT2—T2
	0,05—0,08	2,5	1,25	
	0,03—0,05		1,25	
	0,02—0,03	1,25	0,63	
	0,005—0,008	0,63	0,32	
			0,16	

* Бруски бакелитизированы.

Х.19. Рекомендуемые марки и зернистость алмазных порошков хонинговальных брусков для получения требуемой шероховатости Ra и Rz , мкм, при различных припусках на диаметр Δ , мм [47]

Обрабатываемый материал	$Rz = 20 \dots 10$ $\Delta = 0,15 \dots 0,11$	$Ra = 2,5 \dots 2,0$ $\Delta = 0,11 \dots 0,08$	$Ra = 1,25 \dots 1,00$ $\Delta = 0,08 \dots 0,04$	$Ra = 0,63 \dots 0,50$ $\Delta = 0,04 \dots 0,02$	$Ra = 0,32 \dots 0,25$ $\Delta = 0,02 \dots 0,01$	$Ra = 0,160 \dots 0,125$ $\Delta = 0,01 \dots 0,005$	$Ra = 0,080 \dots 0,063$ $\Delta = 0,005$
Серый легированный чугун	АС6315/250, АС6250/200	АС4200/160, АС4160/125, АС4125/100	АС4100/80, АС480/63	АС463/50, АС250/40	АСМ28/20, АСМ20/14	АСМ20/14, АСМ14/10	АСМ10/7
	АС15630/500, АС15500/400	АС15400/315, АС15315/250	АС15250/200, АС15200/160, АС15160/125	АС6125/100, АС6100/80	АСМ40/28, АСМ28/20	АСМ20/14, АСМ14/10	АСМ10/7
Нетермообработанная сталь	АС6315/250, АС6250/200	АС6200/160, АС6160/125, АС6125/100	АС6100/80, АС680/63	АС463/50, АС250/40	АСМ40/28, АСМ28/20	АСМ20/14	—
	АС6315/250, АС6250/200	АС6200/160, АС6160/125	АС6125/100, АС6100/80	АС680/63, АС463/50	АСМ40/28, АСМ28/20	АСМ20/14	АСМ14/10

Х.20. Режимы абразивного и алмазного хонингования

Обрабатываемый материал	Характер операции	Алмазное хонингование				Абразивное хонингование			
		v , м/с	v_t , м/с	p , МПа	p , МПа	v , м/с	v_t , м/с	p , МПа	p , МПа
Серый закаленный чугун	Черновая	0,85—1,35	0,25—0,30	1,3—1,5	0,85—1,35	0,85—1,35	0,25—0,35	0,8—1,2	0,8—1,2
	Предварительная	0,75—1,15	0,20—0,25	0,5—0,9	0,85—1,00	0,85—1,00	0,20—0,25	0,8—1,2	0,8—1,2
Серый незакаленный чугун	Окончательная	0,65—0,85	0,12—0,20	0,4—0,6	0,65—0,85	0,65—0,85	0,12—0,20	0,6—0,8	0,6—0,8
	Предварительная	0,85—1,35	0,25—0,30	0,8—1,2	0,65—1,35	0,65—1,35	0,30—0,35	0,8—1,0	0,8—1,0
Незакаленная сталь	Окончательная	0,65—1,15	0,10—0,20	0,4—0,6	0,50—0,85	0,50—0,85	0,12—0,25	0,3—0,5	0,3—0,5
	Предварительная	0,40—0,60	0,05—0,12	0,2—0,4	0,25—0,50	0,25—0,50	0,12—0,20	0,4—0,8	0,4—0,8
Закаленная сталь	Окончательная	0,65—0,85	0,085—0,120	0,8—1,4	0,15—0,50	0,085—0,120	0,085—0,120	0,2—0,4	0,2—0,4
	Предварительная	0,65—0,90	0,065—0,100	0,4—0,8	0,35—0,65	0,35—0,65	0,085—0,120	1,0—1,5	1,0—1,5
Анодированный алюминий	Окончательная	0,35—0,40	0,18—0,20	0,3—0,4	0,35—0,50	0,35—0,50	0,065—0,120	0,6—1,0	0,6—1,0
	Бронза	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	0,65—1,15	0,65—1,15	0,065—0,120	0,3—0,5	0,3—0,5

Примечание. v — окружная скорость хона; v_t — скорость возвратно-поступательного перемещения хона или детали вдоль оси шлифдвигателя; p — давление бруска на обрабатываемую деталь.

5. СУПЕРФИНИШИРОВАНИЕ

Суперфиниширование — процесс отделочной обработки поверхностей деталей мелкозернистыми абразивными или алмазно-абразивными брусками. Процесс осуществляется колеблющимися с определенной частотой и амплитудой брусками при вращении детали или при ее одновременном вращении и возвратно-поступательном перемещении. Суперфиниширование позволяет получить шероховатость поверхности $Ra = 0,08...0,04$ мкм при зернистости абразива М28—М7 и $Rz = 0,1...0,04$ мкм при зернистости М3—М1 практически без волнистости и с минимальной огранкой (0,5 мкм). Припуск на сторону назначается на 10—30 % больше высоты микронеровностей, полученных от предшествующей обработки.

Типы брусков для суперфиниширования приведены в § 1 главы X. Рекомендации по выбору припуска и характеристик брусков в зависимости от исходной и требуемой шероховатостей поверхности детали даны в табл. X.21.

Окружная скорость детали $v_{пр}$ принимается равной 0,65—1,65 м/с. Скорость колебательного движения бруска $v_{кол} = 0,15...0,25$ м/с при амплитуде колебаний 2—3 мм и частоте колебаний 1500—2500 дв. ход/мин. Давление брусков при обработке деталей из стали составляет 0,1—0,3 МПа, чугуна — 0,1—0,2 МПа, цветных сплавов — 0,05—0,1 МПа. При суперфинишировании в центрах продольная подача $s_{пр} = 500...1200$ мм/мин, при бесцентровом суперфинишировании $s_{пр} = 300...500$ мм/мин. Обработку целесообразно вести с переменными режимами: в начале цикла $v_{пр} = (2...4) v_{кол}$, в конце цикла $v_{пр} = (8...16) v_{кол}$.

6. ДОВОДКА

Доводка является финишной обработкой поверхностей деталей (плоских, профильных, сферических, отверстий). В результате доводки достигается погрешность размеров и формы 0,5—1,0 мкм и шероховатость $Rz = 0,1...0,04$ мкм.

Различают два вида доводки: свободным абразивом (пастами, суспензиями) и закрепленным (абразивными кругами, шаржированными притирами). Наиболее распространенными материалами для притиров являются серый чугун, латунь, медь. Характеристики алмазных и эльборовых паст приведены в табл. X.13, X.14.

Доводочные операции разделяют на черновые (точность 3—5 мкм, шероховатость $Ra = 0,32...0,16$ мкм), чистовые (точность 1—2 мкм, шероховатость $Ra = 0,16...0,08$ мкм) и тонкие (точность 0,1—0,5 мкм, шероховатость $Ra = 0,04...0,02$ мкм, $Rz = 0,1...0,04$ мкм).

Основными факторами, определяющими качество и производительность процесса доводки, являются давление на площадь контакта притир — деталь, скорость рабочего движения и время доводки. При обработке закаленных сталей оптимальные значения давления на предварительных операциях обычно составляют 0,1—0,2 МПа, на окончательных — 0,05—0,1 МПа. При высоких скоростях доводки и больших количествах одновременно обрабатываемых деталей указанные давления могут быть снижены на 50—60 %. Скорость рабочего движения на предварительных операциях равна 0,67—2,00 м/с; на окончательных — 0,25—0,50 м/с. Прецизионная доводка осуществляется при скорости 0,08—0,17 м/с.

7. ПОЛИРОВАНИЕ И ЛЕНТОЧНОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Полирование является процессом безразмерной отделочной обработки, предназначенным для снижения шероховатости поверхности без исправления погрешностей геометрической формы. В качестве абразивного инструмента при полировании используют эластичные круги, абразивные шкурки и ленты. При полировании эластичными кругами достигается шероховатость по-

Х.21. Рекомендации по выбору припуска и характеристик суперфинишных брусков в зависимости от исходной и требуемой шероховатости поверхности детали

Обрабатываемый материал	Шероховатость поверхности R_a , мкм		Припуск, мм	Характеристика брусков						
	исходная	требуемая		абразивных		алмазных				
				Материал	Зернистость	Твердость	Материал	Зернистость		
Чугун	2,5—1,25	1,25—0,63	10—20	63С	8—6	C1—CT1	АС4	50/40		
	2,5—0,63	0,63—0,32	15—25		M40	CM2—C2	—	40/28		
			6—10		M28	CM2—C1				
			8—12		M20	CM1—C1	АСМ	20/14—14/10		
	1,25—0,32	0,32—0,16	5—8		M14	M3—CM2	—	14/10—10/7		
	0,32—0,08	0,16—0,04	6—10		M10	M2—CM1	—	—		
	0,16—0,08	0,08—0,02	3—4		M7	M1—M3				
	2,5—1,25	1,25—0,63	10—20		8—6	C1—CT1	АС6	50/40		
	2,5—0,63	0,63—0,32	15—25		5—4	CM2—C2	40/28—28/20			
			6—10		4—M40	CM1—C1	20/14—14/10			
Закаленная сталь	2,5—1,25	1,25—0,63	8—12	23А	M40—M28	M3—CM2	АСМ	20/14—14/10		
	2,5—0,32	0,16—0,08	5—10		M28—M20	—	14/10—10/7			
			6—10		M14			M2—CM1		
	0,32—0,16	0,08—0,04	4—6		M14—M10	—	—			
	0,16—0,08	0,08—0,02	3—4		M7			M1—M3		
			4—5		M7—M5	M1—M2	40/28—28/20			
	0,16—0,08	0,08—0,02	10—20		M5	C2—CT2	АСМ	20/14—14/10		
			15—25		8—6	C1—CT1				
	Незакаленная сталь	2,5—1,25	0,63—0,32		6—10	63С	M40	CM2—C2	—	—
		2,5—0,63	0,32—0,16		8—12		M40; M28	CM1—C1	—	—
6—8				M20	M3—CM2					
1,25—0,32		0,16—0,08	8—12	M14—M10	M7					

верхности $Ra = 1,25 \dots 0,025$ мкм. В табл. X.22 и X.23 приведены области применения эластичных кругов и абразивных материалов для полирования.

X.22. Области применения кругов на эластичной связке

Тип круга	Область применения	Достижимая шероховатость Ra , мкм
Войлочный с накатанным абразивным зерном	Предварительное полирование	2,5—0,32
Фетровый и войлочный с подводом абразивной пасты в зону резания	Чистовое полирование	0,32—0,08
Текстильный с подводом абразивной пасты в зону резания	Чистовое и зеркальное полирование	0,16—0,02
На вулканитовой связке	Полирование прецизионных поверхностей с сохранением исходных геометрических параметров	—
Лепестковые (ленточные барабаны)	Предварительное и получистовое полирование	1,25—0,08

X.23. Области применения абразивных материалов для полировальных кругов

Абразивный материал	Область применения
Электрокорунд, наждак	Предварительное и получистовое полирование стали и ковкого чугуна
Карбид кремния	Полирование чугуна и цветных металлов
Карбид бора	Полирование цветных металлов и твердых сплавов
Оксид хрома	Чистовое полирование черных и цветных металлов, особенно после металлопокрытий
Оксид железа, оксид алюминия, венская известь	Чистовое и зеркальное полирование цветных металлов (оксид алюминия и венская известь применяются для более мягких материалов)
Пасты ГОИ	Получистовое и чистовое полирование черных и цветных металлов

Полирование абразивной шкуркой и лентой выполняется по двум схемам резания: с высокими ($v = 10 \dots 40$ м/с) и с низкими ($v = 0,15 \dots 1,00$ м/с) скоростями резания. При высокоскоростном полировании используют абразивные ленты и гибкие абразивные вращающиеся диски, изготовляемые из шкурки. Предварительное полирование с большим съемом металла осуществляется лентами зернистостью 40—25, которые обеспечивают шероховатость поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм. При окончательном полировании с помощью лент зернистостью 16—8 достигается шероховатость поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,16$ мкм, зернистостью 6—3 — шероховатость $Ra = 0,16 \dots 0,04$ мкм. Для получения более низкой шероховатости поверхности ленты покрывают абразивными пастами. Наибольшее применение при полировании имеют шкурки из электрокорунда и карбида кремния на тканевой и бумажной основе. Шкур-

Х.24. Рекомендации по выбору технологических параметров, обеспечивающих шероховатость поверхности $Ra = 1,25$ мкм при шлифовании и $Ra = 0,32$ мкм при полировании различных материалов абразивными лентами

Обрабатываемый материал	Зернистость ленты		Скорость резания, м/с		Удельное давление, МПа		Охлаждающая среда
	при шлифовании	при полировании	при шлифовании	при полировании	при шлифовании	при полировании	
Сталь (HRC 60)	40—16	M28—M14	22—30	25—32	0,2—0,4	0,15—0,30	Водный раствор нитрида натрия, триэтанолламин, сульфокрезол, масляные эмульсии, масло
Чугун			20—25	25—30			Водные растворы соды, эмульсии
Медь и ее сплавы			25—32	30—38		$\leq 0,08$	Масляные эмульсии, масло, сжатый воздух
Алюминий и его сплавы	40—25	M40—M28	25—35	30—40	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$	Масляные эмульсии, масло, сжатый воздух
Титан и его сплавы	40—14	M28—M14	12—18	16—22		0,03—0,10	Водные растворы нитрида натрия, фосфата калия, гексаметафосфата натрия и триэтанолламина, сульфокрезол, водные растворы хлористого калия и йода
Жаропрочные сплавы	40—25	M40—M28	22—25	22—28	0,15—0,25	0,08—0,15	Водные растворы соды, масляные эмульсии, сульфокрезол, масло

ки зернистостью 8—М40 позволяют получить шероховатость поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,08$ мкм, зернистостью М20—М14 — шероховатость $Ra = 0,16 \dots 0,04$ мкм.

Ленточное шлифование применяют для обработки плоских, цилиндрических (наружных и внутренних) и сложных профильных поверхностей, а также для снятия заусенцев, заточки и доводки режущего инструмента, подготовки деталей под покрытия.

В зависимости от требований к точности детали и ее формы шлифование лентой производят по двум основным схемам: на свободной ветви ленты или с поджатием ленты к поверхности детали с помощью ролика, жесткого копира или упругого элемента. На свободной ветви ленты шлифуют при невысоких требованиях к геометрической точности поверхности или при съеме малых припусков. Обработку с поджимным элементом применяют для обеспечения высокой точности при съеме больших и малых припусков.

Рекомендации по выбору технологических параметров, обеспечивающих шероховатость поверхности $Ra = 1,25$ мкм при шлифовании и $Ra = 0,32$ мкм при полировании различных материалов абразивными лентами приведены в табл. X.24.

Характеристики абразивных шкурок и лент приведены в § 3 настоящей главы. Применяются также алмазные и эльборовые шкурки зернистостью 12—М3, отличающиеся большой стойкостью.

Глава XI

ОБРАБОТКА НА ЗУБО- И РЕЗЬБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

1. ЗУБОНАРЕЗАНИЕ

Зубчатые передачи в современном машиностроении находят широкое применение. В отличие от других видов передач (ременных, цепных, фрикционных) они обеспечивают возможность передачи больших моментов, неизменность передаточных отношений, долговечность.

Зубчатые колеса получают литьем, штамповкой, накаткой в горячем и холодном состоянии с применением накатных инструментов, а также путем нарезания зубьев на станках зуборезными инструментами. Нарезание зубчатых колес осуществляется методами копирования и обкатки.

Метод копирования основан на использовании фасонного режущего инструмента, профиль режущей части которого точно соответствует профилю впадины между зубьями. В качестве режущего инструмента применяют дисковые и пальцевые модульные фрезы, зубодолбежные головки.

При обкатке эвольвентный профиль зубьев нарезаемых колес получается в результате того, что режущий инструмент и заготовка совершают не только обкаточное, но и дополнительное движение, обеспечивающее процесс резания. Зубчатые колеса по методу обкатки нарезаются на специальных зуборезных станках червячными модульными фрезами, зуборезными долбками и гребенками, зубострогальными резцами, зуборезными головками и другими инструментами.

Цилиндрические прямозубые колеса нарезаются модульными червячными фрезами, прямозубыми гребенками и долбками, косозубые (винтовые) червячными фрезами, косозубыми гребенками и долбками. Конические колеса с прямыми зубьями нарезаются методом огибания на зубострогальных станках двумя зубострогальными резцами, с помощью двух фрез и круговыми протяжками. Для отделочных работ применяют дисковые и гребенчатые шеверы.

Дисковая и пальцевая модульные фрезы (рис. XI.1 и XI.2) относятся к группе фасонных фрез с затылованной формой зубьев. Профилирование зубьев фрез производится методом аналитического нахождения координат точек эвольвентных кривых профиля зубьев. Профилирование фрез, произво-

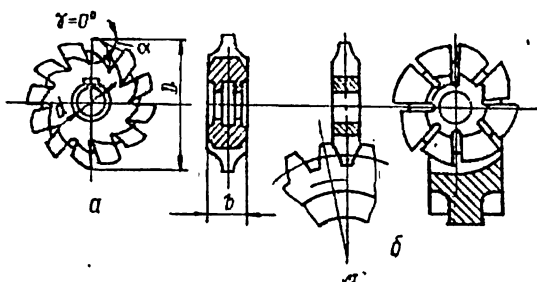


Рис. XI.1. Дисковая модульная фреза:
а — элементы фрезы; б — схема установки и работы.

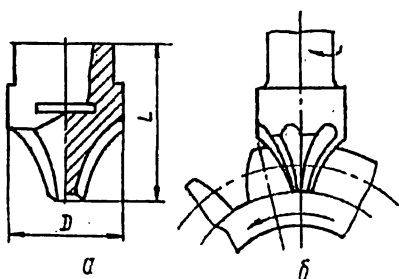


Рис. XI.2. Пальцевая модульная фреза:
а — элементы фрезы; б — схема установки и работы.

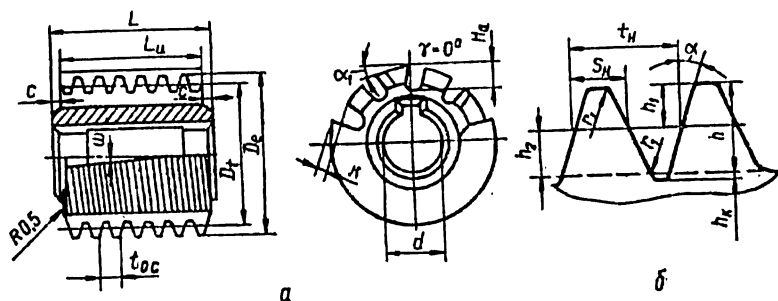


Рис. XI.3. Червячная модульная фреза:

D_c — наружный диаметр; D_f — диаметр начальной окружности; d — диаметр от-
верстия; t_H — шаг в нормальном сечении; s_H — толщина зуба в нормальном сече-
нии; h — высота зуба; h_1 — высота головки; h_2 — высота ножки; K — величина
затылования; L — длина фрезы; H_a — глубина кинавки.

дящих черновую операцию по прорезке канавок между зубьями колеса, осуществляется графическим, приближенным методом.

Передняя поверхность чистовых модульных фрез имеет угол $\gamma = 0^\circ$, черновых — $\gamma = 6...8^\circ$. Задний угол на вершине зуба $\alpha_z = 10...12^\circ$. Для боковых режущих кромок задний угол определяется по той же формуле, что и для фасонных фрез.

Дисковые и пальцевые модульные фрезы ввиду простоты конструкции применяют в мелкосерийном производстве, в ремонтном деле. Пальцевые фрезы, кроме того, используются для обработки крупномодульных зубчатых передач в тяжелом машиностроении.

Нарезание зубчатых колес по методу копирования дисковыми модульными фрезами обеспечивает невысокие точность обработки (15—16 квалитет) и производительность. При обработке по указанному методу необходимо иметь набор инструментов, состоящий из 8,15 или 26 фрез для каждого модуля. Причем, каждая фреза, входящая в набор, используется для обработки нескольких колес, число зубьев которых находится в определенном интервале.

К недостаткам нарезания колес пальцевыми фрезами, кроме указанных выше, следует отнести изменение формы режущей кромки зубьев в результате переточек.

Большинства перечисленных недостатков лишены червячные модульные фрезы, работающие по принципу обкатки. Червячная модульная фреза представляет собой винт с прорезанными продольными канавками, образующими режущие элементы зубьев (рис. XI.3,а). Она относится к группе фрез с затылочной формой зубьев. Для нарезания цилиндрических колес наибольшее применение имеют червячные фрезы, у которых при сечении зубьев плоскостью, перпендикулярной к оси, образуется Архимедова спираль, а в осевом сечении получается трапецидальный профиль (рис. XI.3,а). На рис. XI.3,б дано сечение зубьев фрезы нормальной плоскостью, перпендикулярной к направлению витков.

Различают три типа червячных фрез: прецизионные класса точности АА (тип I), целые общего назначения классов точности А, В и С (тип II), сборные общего назначения классов А, В и С (тип III). Фрезы классов АА, А, В и С назначаются для обработки зубчатых колес соответственно 7-й, 8-й, 9-й и 10-й степени точности. Величина затылования (рис. X.3)

XI.1. Диаметр D_e червячных фрез, мм

Типы фрез	Модуль	D_e
Общего назначения	1—14	63—180
Сборные	10—20	180—250
Прецизионные	1—10	70—225

$$K = \frac{\pi D_e \operatorname{tg} \alpha_n}{z}$$

где D_e — наружный диаметр фрезы, мм;
 z — число зубьев фрезы; α_n — задний угол на вершине зуба.

Диаметры фрез установлены ГОСТ 9324—60 (табл. XI.1).

Зависимость D_e от модуля объясняется тем, что на точность профиля нарезаемого зуба непосредственное влияние оказывает угол наклона винтовых канавок ω . Наименьшее искажение профиля наблюдается при угле ω , приближающемся к нулю, и, наоборот, с возрастанием угла ω искажение увеличивается. Угол ω при постоянном шаге t зависит от диаметра делительного цилиндра D_f (также и от наружного D_e) и числа заходов фрезы.

Длина L червячных зуборезных фрез общего назначения выбирается по ГОСТ 9324—60. Она находится в пределах 70—225 мм для модулей 1—14. Геометрия фрезы характеризуется передними и задними углами на вершине зуба и на боковых режущих кромках (рис. XI.3,а). Задний угол на вершине зуба $\alpha_0 = 10...12^\circ$. Для боковых режущих кромок угол α_6 определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_6 = \operatorname{tg} \alpha_n \cdot \sin \alpha_0,$$

где α_n — задний угол на вершине зуба; α_0 — угол зацепления.

Передний угол γ для чистовых и прецизионных фрез принимается равным нулю, для черновых $\gamma = 5 \dots 10^\circ$. Все размеры модульных червячных фрез ($m = 1 \dots 20$ мм) подбираются по ГОСТ 9324—60. При нарезании колес с $m > 5$ мм применяют червячные фрезы сборной конструкции, оснащенные пластинами из твердого сплава ВК8, ВК15 (рис. XI.4,а). Они состоят из корпуса 5, комплекта зубьев 3, установочного кольца 4, гайки 6, комплекта зажимных эксцентриков 1 и комплекта прокладок 2. Для модулей $m = 2,0 \dots 3,75$ мм зубья изготавливаются целиком из твердого сплава, а для фрез с $m > 4$ мм пластины из твердого сплава наплавляют на державки из стали 45. На передней поверхности предусмотрена фаска $f = 0,3 \dots 0,8$ мм с отрицательным передним углом $\gamma_f = 3^\circ$ для обработки стали и $\gamma_f = 0^\circ$ для обработки чугуна (рис. XI.4,б). Скорость резания фрезами, оснащенными твердым сплавом, при обработке сталей 20, 45, 40Х составляет 2,5—3,2 м/с. При

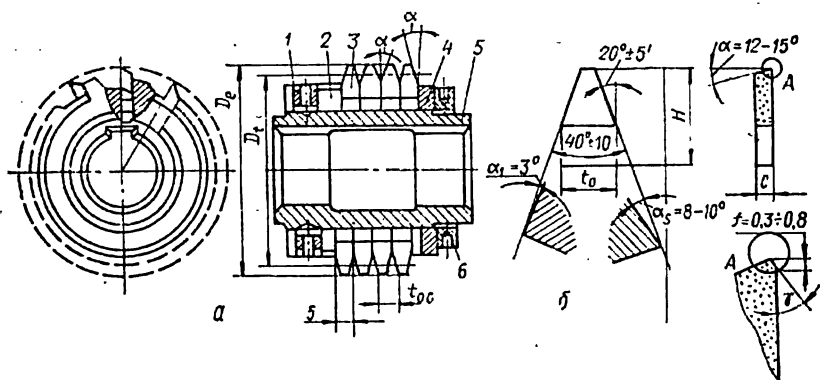


Рис. XI.4. Твердосплавная червячная модульная фреза (а) и геометрические параметры ее режущей части (б).

этом машинное время снижается более чем в три раза по сравнению с обработкой быстрорежущими фрезами. Геометрические параметры пластины показаны на рис. XI.4,б.

Наряду с обработкой прямозубых колес червячными фрезами широко применяется зубодолбление, которое несколько уступает зубофрезерованию по производительности, но обеспечивает низкую шероховатость поверхности. Кроме того, зубодолбление — единственный способ изготовления зубчатых блоков и небольших колес для внутреннего зацепления.

Различают два вида долбяков: прямозубые — для нарезания цилиндрических колес и косозубые — для нарезания косозубых и шевронных колес. По методу крепления долбяки делятся на насадные и хвостовые. При нарезании зубчатых колес с внутренним расположением зубьев применяются насадные втулочные и хвостовые долбяки, при нарезании колес с внешним расположением зубьев — насадные дисковые и чашечные.

ГОСТ 9323—60 предусмотрены пять типов долбяков: дисковые прямозубые и косозубые; чашечные и хвостовые прямозубые, хвостовые косозубые, а также три класса точности: АА — для колес 6-й степени точности, А — для 7-й, В — для колес 8-й степени точности.

У зуба долбяка различают периферийную 1 и две боковые режущие кромки 2 (рис. XI.5,а). Долбяк представляет собой корригированное зубчатое колесо. Размеры зубьев долбяка характеризуются параметрами исходного контура инструментальной рейки, расположенной в плоскости $II-II$, отстоящей от торцевой плоскости $I-I$ на расстоянии a .

Из треугольника trp (рис. X.5,б) определяется величина радиального смещения (сдвига) исходного профиля

$$x = atg \alpha,$$

где α — задний угол долбяка.

С другой стороны, величина смещения может быть выражена через модуль:

$$x = \xi m,$$

где ξ — коэффициент смещения, тогда

$$a = \xi m / tg \alpha.$$

Согласно ГОСТ 9323—60 расстояние $a = 4,5 \dots 12,0$ мм для долбяков с модулем $m = 1 \dots 10$ мм.

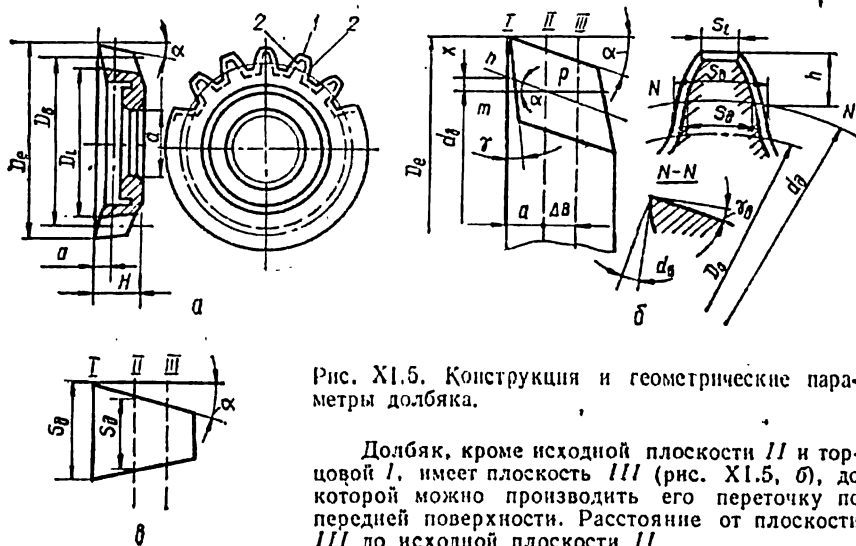


Рис. XI.5. Конструкция и геометрические параметры долбяка.

Долбяк, кроме исходной плоскости II и торцевой I , имеет плоскость III (рис. XI.5, б), до которой можно производить его переточку по передней поверхности. Расстояние от плоскости III до исходной плоскости II

$$\Delta B = \xi_{\min} / tg \alpha,$$

где $\xi_{\min}$ — минимальный коэффициент смещения, выбираемый из условия, что нет подрезания.

При выборе числа зубьев долбяка выдерживается соотношение

$$d_d = mz,$$

где d_d — делительный диаметр долбяка; z — число его зубьев.

Делительный диаметр d_d выбирается в зависимости от модуля. Диаметр окружности выступов долбяка подсчитывают по формуле

$$D_e = d_d + 2h' + 2c + 2x,$$

где h' — высота головки зуба долбяка; c — радиальный зазор между зубчатыми колесами; x — смещение исходного контура.

Выражая входящие в уравнение отдельные слагаемые через модуль, получаем

$$D_e = m(z + 2f + 2c' + 2\xi),$$

где f — коэффициент высоты головки зуба; c' — коэффициент приращения головки зуба для получения радиального зазора в зубчатой передаче; ξ — коэффициент смещения исходного профиля.

Толщина зуба в торцевой плоскости долбяка определяется из соотношения

$$s'_d = s_d + 2a \operatorname{tg} \alpha_x,$$

где s_d — толщина зуба в исходной плоскости; a — расстояние между исходной и торцевой плоскостями; α_x — угол бокового зазора ($\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \alpha_0$). После подстановки получим

$$s'_d = m \left(\frac{\pi}{2} + 2\xi \operatorname{tg} \alpha_0 \right),$$

где α_0 — угол зацепления.

Для предварительного нарезания колес (под чистовую обработку) толщина зуба инструмента подсчитывается по формуле

$$s'_{d, \text{ чер}} = s'_d - \Delta s_d,$$

где Δs_d — припуск, выбираемый в зависимости от модуля.

Подачу на толщину зубьев инструмента выбирается в зависимости от степени точности.

Для периферийной режущей кромки задний угол α (рис. XI.5, а) принимается равным 6° . Для боковых режущих кромок задний угол α_0 рассматривается в плоскости NN , касательной к основному цилиндру.

Величина заднего угла для боковых режущих кромок определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha_0,$$

где α — задний угол при вершине, α_0 — угол зацепления.

Передний угол на периферийной режущей кромке $\gamma = 5^\circ$, а для боковых γ_x определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha_x,$$

где α_x — угол давления для данной точки x боковой режущей кромки, $\cos \alpha_x = r_0/r_x$, здесь r_0 — радиус основной окружности; r_x — радиус-вектор точки x .

Для нарезания косозубых и шевронных зубчатых колес применяют косозубые долбяки, представляющие собой скорректированные зубчатые колеса с необходимыми для резания углами. Направление зубьев таких долбяков противоположно направлению зубьев у нарезаемого колеса. Для нарезания шевронных колес применяют комплект, состоящий из двух долбяков: правого и левоходового.

Глубина резания и число проходов при нарезании зубьев устанавливаются в зависимости от размеров обрабатываемого колеса, мощности станка, жесткости системы СПИД и характера обработки (черновая, чистовая). Чистовое нарезание зубьев производится за один проход, за исключением зубодолбления цилиндрических колес дисковыми долбяками с $m > 3$ мм при высоких требованиях к шероховатости поверхности ($Ra 2,5$ и ниже) и к точности зубьев (7-я степень). В указанном случае чистовое нарезание следует производить за два прохода инструмента.

В зависимости от свойств обрабатываемого материала колеса, модуля, заданной шероховатости и точности, а также мощности станка, его жесткости и прочности инструмента определяется подача. Поддачи для зубофрезерования и зубодолбления приведены в табл. XI.2 и XI.3.

Скорость резания (м/с) при черновой обработке зубчатых колес ($m = 7...26$ мм) из стали 45 первыми фрезами, изготовленными из быстрорежущей стали Р6М5, определяется по формуле

$$v = 5,8/T^{0,333}s^{0,5}m^{0,1},$$

Х1.2. Поддачи и скорости резания при зубофрезеровании цилиндрических колес

Характер обработки	Модуль, мм	Число заходов фрезы	Число зубьев детали						Скорость резания, м/с	
			До 20		20—45		Свыше 50			
			Подача фрезы $S_{\text{табл.}}$ мм/об, из быстрорежущей стали							
			Р6М5	Р9К10	Р6М5	Р9К10	Р6М5	Р9К10	Р6М6	Р9К10
Предварительная	5—6,5	1	—	2,0	—	2,5	—	3,0	0,5	0,9—1,1
		2	2,0	1,5	2,6	2,0	3,0	2,5	0,5	0,9—1,1
		3	1,6	—	2,1	—	2,4	—	—	—
Однократная окончательная	2—5	1	1,6	1,5	2,1	2,0	2,4	2,3	0,65	1,0—1,1
		2	1,2	1,0	1,6	1,5	1,8	1,6	0,65	1,0—1,1
Окончательная после предварительной	5—6,5	1	2,0	1,8	2,6	2,3	3,0	2,7	0,75	1,1—1,25
		2	1,5	1,3	2,0	1,8	2,3	2,1	0,75	1,1—1,25
Однократная под шевингование	2—5	1	2,0	1,6	2,6	2,1	3,0	2,3	0,60	1—1,15
		2	1,5	1,0	2,0	1,5	2,3	1,5	0,60	1—1,15
		3	1,2	—	1,6	—	1,8	—	—	—
Под шевингование после предварительной	5—6,5	1	2,6	2,0	3,0	2,6	3,5	3,0	0,75	1,10—1,15
		2	2,0	1,5	2,6	2,0	3,0	2,3	0,75	1,10—1,15
		3	1,6	—	2,1	—	2,4	—	—	—

Примечания: 1. Если модуль меньше 2, то значение поддачи следует уменьшить примерно на 30%.

2. В таблице не приведены значения поддачи и скоростей для трехзаходных фрез из стали Р9К10, так как они обладают повышенной хрупкостью.

3. Передний угол на фрезах из стали Р9К10 должен быть нулевым.

4. При применении червячных фрез, оснащенных твердым сплавом, скорости резания могут быть увеличены до 2,5—3,2 м/с.

5. При обработке червячными фрезами из быстрорежущих сталей Р6М6 и Р9К10 поддача (мм/об) $s_0 = s_{\text{табл.}} K_1 \cos \beta$, скорость резания $v = v_{\text{табл.}} K_1 K_2$, где K_1 и K_2 — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала; β — угол наклона зуба к оси косозубого колеса; K_2 — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и стойкости инструмента (табл. Х1.1—Х1.6).

Х1.3. Поддачи при нарезании зубьев долбяками, мм

Характер обработки	Диаметр делительной окружности долбяка D , мм					
	75			100		
	Модуль m , мм					
	2—3		3,5—4,5		5—6,5	
	Число зубьев детали					
	15	20	15	20	15	20
Предварительная	0,35	0,40	0,35	0,40	0,30	0,35
	0,35	0,40	0,30	0,35	0,30	0,25
Однократная окончательная	0,20	0,25	0,20	0,25	0,15	0,20
	0,35	0,40	0,35	0,35	0,35	0,40
Окончательная после предварительной	0,22	—	0,22	—	0,22	—
	0,50	—	0,50	—	0,45	—
Однократная под шевингование	0,25	0,30	0,25	0,30	0,20	0,25
	0,40	0,45	0,40	0,45	0,40	0,45
Под шевингование после предварительной	0,30	—	0,30	—	0,30	—
	0,50	—	0,50	—	0,45	—

Примечания. 1. В числителе приведена круговая поддача на двойной ход долбяка s_0 табл. в знаменателе — $v_{\text{табл.}}$ м/с.

2. Режимы резания приведены для нарезания зубьев в один проход. При нарезании в два и более проходов табличные значения допускаются увеличить на 20 %.
3. Поддачи даны для обработки прямозубых колес, для косозубых колес подачу следует уменьшать на 15 % при угле наклона зуба к оси детали $\beta < 30^\circ$ и на 25 % при $\beta < 10^\circ$.
4. Данные приведены для стойкости $T_m = 250$ мин при предварительном зубодолблении и для $T_m = 300$ мин при окончательном.
5. Подача $s_0 = s_{\text{табл}} K_s$; скорость резания $v = v_{\text{табл}} K_v$, где K_s, K_v — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала (табл. XI.6).

XI.4. Зависимость коэффициента K_1 и K_s от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	K_1	K_s
Сталь:		
35	1,1	1,2
40X, 18XГТ	1,0	1,0
39XГТ	0,9	0,9
Чугун	1,2	1,4

Примечание. Коэффициент K_1 приведен для фрез из сталей Р5М6 и Р9К10, коэффициент K_s — из стали Р5М6.

XI.5. Зависимость коэффициента K_2 от стойкости T_m (за одну передвижку)

T_m , мин	Материал инструмента	
	Сталь Р5М6	Сталь Р9К10
600	—	0,8
400	0,8	1,0
240	1,0	1,1
160	1,2	—

XI.6. Зависимость коэффициентов K_s и K_v от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	K_s	K_v
Сталь:		
30XГТ	0,9	1,0
40X	1,05	1,0
35, 45	1,3	1,1
Чугун	1,2	1,4

при чистовой обработке колес ($m = 1,5 \dots 3$ мм) без предварительного чернового нарезания —

$$v = 9,3 m^{0,5} / T^{0,5} s^{0,85},$$

Для твердосплавных фрез при чистовой обработке стальных колес с подачей $s = 1 \text{—} 2$ мм/об

$$v = C_v / T^{0,74} s^{0,33},$$

Износ червячных фрез h_3 , измеряемый по задней поверхности, при черновой обработке стали допускается в пределах 1,0—1,5 мм, при чистовой обработке 0,2—0,4 мм. При этом стойкость червячных фрез $T = 180 \dots 540$ мин. С увеличением модуля возрастает и стойкость инструмента. Зубофрезерование «по подаче» обеспечивает увеличение суммарной стойкости червячных фрез более чем в два раза.

Скорость резания, м/с, для долбяков из быстрорежущей стали Р5М6 при черновом нарезании зубчатых колес из стали 45 определяется по формулам

$$v = 0,8 / T^{0,2} s_{\text{кр}}^{0,5} m^{0,3},$$

при чистовом нарезании

$$v = 1,5 / T^{0,33} s_{\text{кр}}^{0,5}.$$

Стойкость долбяка T при черновой обработке в среднем составляет 360 мин, при чистовой — 180 мин.

Износ по задней поверхности зуба долбяка при черновой обработке допускается 0,8—1,0 мм, при чистовой — 0,1—0,2 мм. Скорость резания при долблении определяется по формуле

$$v_{\text{ср}} = 2Ln/60,$$

где L — длина хода долбяка, м; n — частота двойных ходов долбяка, мин⁻¹.

Скорости резания и поправочные коэффициенты для зубофрезерования выбираются из табл. XI.2, XI.4 и XI.5.

2. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ

Резьбы нарезают резцами, гребенками, фрезами, метчиками, резцовыми и резьбопарезными головками; шлифование резьбы выполняют резьбошлифовальными кругами, накатку наружной и внутренней резьб — накатными инструментами — роликами, плашками, головками и раскатками. Каждый из перечисленных методов образования резьбы применяется в зависимости от вида резьбы и от наличия соответствующего оборудования и инструмента, а также исходя из требований и технических условий, которые предъявляются к резьбе.

Резьбовые резцы применяют для нарезания наружной и внутренней резьб различного профиля: прямоугольного, треугольного, трапецидального.

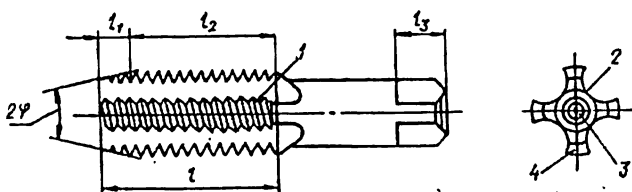


Рис. XI.6. Метчик:

1 — калибрующая часть; 2 — канавка; 3 — центральная часть; 4 — зуб.

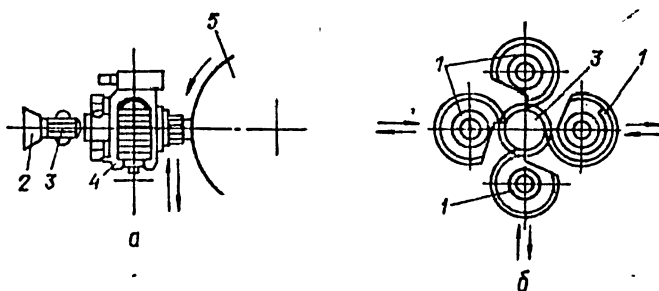


Рис. XI.7. Схема установки и работы резьбопарезной самооткрывающейся головки с круглыми гребенками.

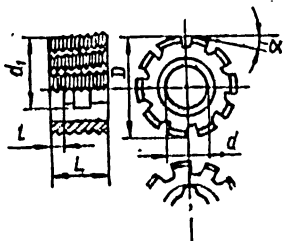


Рис. XI.8. Сборная резьбовая фреза.

По конструкции они подразделяются на стержневые или круглые, многониточные или гребенки. Резьбовые резцы могут использоваться в многорезцовых головках для вихревого нарезания резьбы.

Распространенными инструментами, применяемыми на резьбообрабатывающих станках, являются метчики (рис. XI.6), резьбопарезные самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками (рис. XI.7) и резьбовые фрезы (рис. XI.8).

Метчик представляет собой винт с прорезанными канавками, образующими режущие кромки. Рабочая часть метчика состоит из заборной l_1 и ка-

либрующей l_2 частей. Заборная часть l_1 по длине содержит от $1\frac{1}{2}$ до 5 витков резьбы метчика; она является режущей частью. Калибрующая часть l_2 направляет метчик и защищает резьбу, образованную режущей частью метчика. Хвостовая часть l_3 у ручных метчиков имеет форму квадрата, а у машинных — форму цилиндра.

Калибрующая часть метчика $l_2 = 6...12s$. Для уменьшения трения, а также устранения заклинивания метчика калибрующей частью придается форма обратного конуса. Число канавок у метчиков равно 3—5. Для различных обрабатываемых материалов передний угол $\gamma = 5...25^\circ$, и задний $\alpha = 6...12^\circ$.

Для нарезания точной резьбы применяют метчики со шлифованным профилем, с положительным задним углом на заборной части и затылованной задней поверхностью калибрующей части.

Резьбонарезная головка, применяемая для нарезания наружной резьбы, представляет собой сборную конструкцию со вставными режущими гребенками, которые по окончании работы автоматически раскрываются и освобождают обработанную деталь. По конструктивным признакам головки различают: с радиально и тангенциально расположенными плоскими, а также с круглыми гребенками. Преимущественно применяются головки с круглыми гребенками, которые могут быть как вращающимися, так и невращающимися.

На токарно-револьверных автоматах применяют невращающиеся головки типа 1К1419 и 1К1125, принцип работы которых показан на рис. XI.7, а, б. Резьбонарезную головку 4 неподвижно закрепляют в револьверной головке 5, которая перемещается в продольном направлении. Главное вращательное движение совершает заготовка 3. По окончании работы гребенки 1 автоматически отходят от детали в радиальном направлении. При изготовлении всех видов резьбонарезного инструмента используется быстрорежущая сталь Р6М5. Для изготовления резьбовых плашек могут быть использованы также инструментальные стали ХВГ и 9ХС.

Для повышения производительности и качества резьбы при резании резцами и метчиками используют специальные установки для наведения низкочастотных и ультразвуковых колебаний на режущий инструмент. Особое значение эти методы приобретают при нарезании резьбы в высокопрочных и вязких материалах.

Сборные (гребенчатые) резьбовые фрезы применяют для нарезания коротких треугольных наружных и внутренних резьб. Они представляют собой дисковые гребенки с кольцевым или спиральным расположением зубьев (рис. XI.8). По наружному цилиндру прорезаны продольные канавки, число которых выбирается в зависимости от диаметра фрезы. Угол подъема винтовых канавок не превышает $5-10^\circ$. Профиль зуба фрезы должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Необходимо, чтобы длина режущей части фрезы превышала длину нарезаемой резьбы на две-три нитки. Рассматриваемые фрезы относятся к типу фрез с затылованной формой зубьев. Задний угол α на вершине зуба равен $8-10^\circ$, передний $\gamma = 0^\circ$.

Режимы резания резьбонарезными инструментами приведены в табл. XI.7—XI.9, стойкость — в табл. XI.10, крутящий момент, необходимый для подсчета мощности резания, — в табл. XI.11, поправочные коэффициенты — в табл. XI.12—XI.15 [42]. Мощность резания (кВт)

$$N_{\text{рез}} = M_{\text{кр}} n / 9550.$$

где $M_{\text{кр}}$ — крутящий момент, Н · м; n — частота вращения детали или инструмента, мин⁻¹.

XI.7. Скорость резания $v_{\text{табл}}$, м/с, при нарезании резьб степеней точности 6G и 6H

Диаметр резьбы, мм	Машинные метчики							Резьбонарезные головки с круглыми гребенками						
	Шаг резьбы, мм													
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	3
3—6	0,1	0,11	0,11	—	—	—	—	0,15	0,16	0,16	—	—	—	—
8—10	0,11	0,13	0,13	0,13	0,16	—	—	0,16	0,17	0,18	0,2	0,21	—	—
12—16	0,13	0,15	0,16	0,16	0,18	0,16	—	0,18	0,2	0,21	0,21	0,23	0,25	—
18—24	0,15	0,16	0,18	—	0,21	0,21	0,22	0,2	0,21	0,23	—	0,25	0,26	0,25
27 и более	—	0,18	0,2	—	0,23	0,22	0,23	—	0,23	0,25	—	0,26	0,27	0,27

Примечания: 1. Табличные значения даны для круглых гребенок с углом заборной части $f = 20^\circ$, при угле заборной части $f = 30^\circ$ скорости резания уменьшаются на 10 %, а при $f = 45^\circ$ — на 25 %.

2. Для резьб 4h и 4H скорости резания уменьшаются на 20 %.

3. Скорости резания неотвечественных резьб повышаются на 10—20 %.

4. Для гаечных метчиков диаметром до 10 мм, шагом до 1 мм скорости резания принимаются равными 0,13—0,17 м/с, для других размеров — 0,2—0,3 м/с.

5. Скорость резания $v = v_{\text{табл}} K_v$, где K_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (табл. XI.12).

XI.8. Подача на зуб фрезы s_z , мм/зуб, при фрезеровании резьбы

Обрабатываемый материал	Твердость <i>HB</i>	Диаметр резьбы, мм								
		20			50			100		
		Шаг резьбы, мм								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Сталь: углеродистая	До 156	0,03	0,04	0,045	0,038	0,051	0,06	0,048	0,065	0,075
	156—217	0,028	0,035	0,042	0,035	0,048	0,056	0,045	0,06	0,07
	228—302	0,022	0,028	0,032	0,029	0,038	0,045	0,035	0,048	0,055
легированная	156—217	0,022	0,028	0,030	0,029	0,037	0,045	0,035	0,048	0,055
	228—321	0,015	0,022	0,025	0,021	0,028	0,032	0,025	0,035	0,04
Чугун: серый ковкий	156—229	0,045	0,06	0,07	0,06	0,08	0,095	0,075	0,1	0,12
	150	0,032	0,045	0,05	0,042	0,058	0,065	0,055	0,07	0,085

Примечание. При нарезании резьбы 1-го класса точности табличные значения следует умножить на 0,75.

XI.9. Скорость резания $v_{\text{табл}}$ при резьбофрезеровании, м/с

Шаг резьбы, мм	Сталь					Серый чугун					Ковкий чугун				
	Подачи на зуб фрезы s_z , мм/зуб														
	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,03	0,01	0,06	0,08	0,1	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08
0,8	0,9	0,7	0,65	0,55	0,48	0,72	0,63	0,53	0,48	0,43	0,75	0,67	0,62	0,55	0,52
1	0,8	0,65	0,6	0,50	0,47	0,67	0,58	0,50	0,45	0,42	0,70	0,62	0,58	0,53	0,47
1,5	0,7	0,6	0,55	0,45	0,42	0,6	0,53	0,45	0,40	0,37	0,63	0,55	0,52	0,47	0,42
2	0,65	0,55	0,5	0,43	0,38	0,55	0,48	0,42	0,37	0,33	0,58	0,52	0,47	0,43	0,38
3	0,6	0,5	0,45	0,38	0,32	0,48	0,42	0,37	0,32	0,3	0,52	0,43	0,42	0,38	0,33

Примечание. Скорость резания $v = v_{\text{табл}} K_1 K_2$, где K_1 — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и его твердости (табл. XI.13), K_2 — от стойкости инструмента (табл. XI.14).

XI.10. Рекомендуемая стойкость фрезы T , мин

Обрабатываемый материал	Диаметр фрезы, мм			
	40	60	80	110
Сталь	90	150	180	240
Чугун	150	210	270	330

XI.11. Значения крутящего момента $M_{кр. табл.}$ Н · м [42]

Шаг резьбы, мм	Метчик	Резьбо-нарезная головка	Шаг резьбы, мм	Метчик	Резьбо-нарезная головка
0,5	2,2	2,0	1,5	12,0	10,0
0,75	4,0	4,0	2	18,0	16,0
1,0	6,3	6,0	3	34,0	30,0
1,25	9,0	8,0			

Примечания: 1. Значения $M_{кр. табл.}$ даны для острых инструментов. При их износе момент возрастает в 1,5—2 раза.

2. При длине заборной части инструмента менее двух ниток значение $M_{кр. табл.}$ следует умножить на 0,8.

3. При нарезании цилиндрической резьбы $M_{кр} = M_{кр. табл.} K_1 K_2$, где K_1 — коэффициент, зависящий от диаметра резьбы (табл. XI.15), K_2 — от обрабатываемого материала (табл. XI.12).

XI.12. Зависимость коэффициентов K_2 и K_0 от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	K_2	K_0
Сталь:		
углеродистая 30, 40, 45	1,0	1,0
нормализованная	1,2	0,85
та же, улучшенная	0,85	1,15
A12, A20	1,0	0,9
15, 20	1,1	0,9
легированная нормализованная	1,3	0,7
та же, улучшенная	0,65	0,8
Серый чугун	—	1,2
Латунь	0,65	—
Бронза	—	2,3
Алюминиевые сплавы	—	—

XI.13. Зависимость коэффициента K_1 от обрабатываемого материала

Обрабатываемый материал	Твердость HB	K_1
Сталь		
20, 30, 35, 40, 45	≤ 156	1,2
	156—207	1,0
	207—255	0,8
	255—302	0,65
20ХМ, 30ХМ, 20ХНМ	156—217	0,75
50ХГ	179—255	0,5
40ХНМ	197—269	0,5
20Х, 30Х, 40Х	156—257	0,85
	241—269	0,6
	269—321	0,5
Чугун:		
серый	156—229	1,0
ковкий	150—179	1,0

XI.14. Зависимость коэффициента K_2 от обрабатываемого материала и стойкости T [42]

Обрабатываемый материал	Стойкость T_r , мин						
	90	150	180	210	240	270	330
Сталь	1,4	1,1	1,0	0,9	0,85	0,8	0,75
Чугун	1,45	1,2	1,15	1,1	1,05	1,0	0,95

XI.15. Зависимость коэффициента K_1 от диаметра нарезаемой резьбы

Инструмент	Диаметр нарезаемой резьбы, мм													
	6,0	8,0	10	12	14	16	18	20	24	30	36	42	52	64
Метчики	0,5	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,5	4,7	6	7,4	10	13
Резьбонарезные головки	0,55	0,77	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,2	2,7	3,4	4	4,8	6,2	7,0

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

1. КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Фрезерование плоскостей, уступов, прямолинейных пазов различного профиля, поверхностей вращения выполняется на фрезерных станках. Так, на вертикально-фрезерных станках обрабатывают детали типа корпусов, фланцев, крошителей, реze — панели, кулачки, втулки.

Технология обработки деталей на фрезерных станках совершенствуется за счет применения инструментов из новых режущих материалов, использования новых охлаждающих жидкостей, механизированной оснастки, а также автоматизации обработки путем использования средств вычислительной техники для управления работой станка. Это позволяет увеличить долю машинного времени в процессе обработки до 80—85 %.

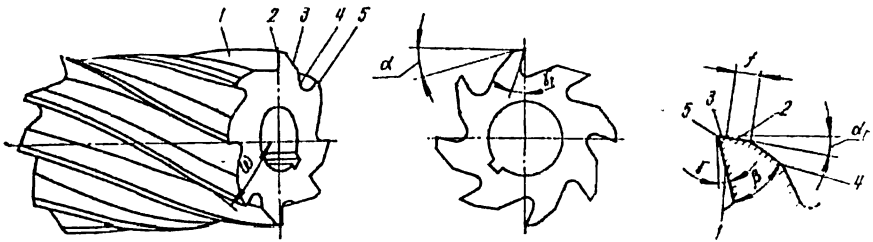


Рис. XII.1. Основные геометрические параметры зуба цилиндрической фрезы

Точность фрезерования зависит от типа станка, инструмента, режимов резания и других факторов и находится в пределах 7—10-го квалитетов (по СТ СЭВ 144—75).

Шероховатость поверхности обработки при чистовом фрезеровании может быть обеспечена в пределах $Ra = 6.3...1.6$ мкм (ГОСТ 2789—73).

В зависимости от вида обработки и оборудования применяют различные типы фрез.

По форме зубьев различают фрезы с прямыми, винтовыми и наклонными зубьями. Фрезы с прямыми зубьями применяют при фрезеровании нешироких пазов и профильных поверхностей.

Их основной недостаток — резкое изменение сил, действующих в процессе резания, вследствие того, что каждый зуб врезается в материал и выходит из него сразу по всей ширине. При небольшой глубине резания работа таких фрез сопровождается толчками (вибрацией). Для устранения этого зубья выполняют с наклоном относительно оси фрезы.

Цельные быстрорежущие и твердосплавные фрезы этот наклон имеют вследствие того, что зубья образуются по винтовой линии. Различают фрезы с правыми и левыми винтовыми зубьями, для краткости их называют правыми и левыми фрезами.

На рис. XII.1 показаны элементы зуба цилиндрической фрезы: передняя поверхность 1, по которой сходит стружка; задняя поверхность 2 шириной f , повернутая в процессе фрезерования к обработанной поверхности; лепточка 3 шириной 0,05—0,1 мм; затылочная поверхность 4; винтовое режущее лезвие 5 (режущая кромка), наклонное к оси фрезы под углом ω .

На рис. XII.2,а показаны геометрические параметры зуба цельной торцовой фрезы из быстрорежущей стали. На рабочей части этой фрезы различают два режущих лезвия; главное режущее лезвие на цилиндрической поверхности фрезы и вспомогательное — на торцовой поверхности фрезы.

Элементы зуба главного режущего лезвия, относящиеся к цилиндрической поверхности фрезы, подобны элементам цилиндрической фрезы (рис. XII.1): передняя поверхность 1; задняя поверхность 2; ленточка 3; затылочная поверхность 4; винтовое режущее лезвие 5; передний угол γ ; поперечный передний угол γ_1 ; задний угол α ; нормальный угол α_n ; угол наклона ϕ винтового лезвия режущей кромки к оси фрезы.

Элементы зуба вспомогательного режущего лезвия показаны на рис. XII.2,б. Здесь передним углом служит угол наклона ϕ винтового лезвия, который в торцовых фрезах называют продольным передним углом (иногда продольный передний угол обозначают γ_2). Угол α_1 (сечение III) называют задним углом на вспомогательном режущем лезвии.

Схема зуба торцовой фрезы показана на рис. XII.2,в, где кроме углов ϕ и ϕ_1 показан угол ϕ_0 , называемый главным углом в плане переходного лезвия. Переходное лезвие шириной f_0 делают для сглаживания острого угла, получающегося при сопряжении главного и вспомогательного режущих лезвий.

Элементы лезвия вставного ножа торцовой фрезы представлены на рис. XII.2,г.

Конструктивные параметры инструментов, наиболее часто применяемых на фрезерных станках, приведены в табл. XII.1.

Торцовые фрезы используют для подготовительных операций, например, фрезерования базовых плоскостей, открытых плоскостей, перпендикулярных к оси фрезы.

Концевые фрезы применяют при фрезеровании плоскостей, уступов, пазов и криволинейных контуров по разметке и копиру. Фрезы с нормальными зубьями предназначены для обработки чугуна и стали различных марок, а с крупными зубьями — в основном для обработки алюминиевых, магниевых, медных и других цветных сплавов с хорошей обрабатываемостью.

Для малых фрезерных станков рекомендуются концевые фрезы малого диаметра (3—14 мм) с неравномерным шагом.

Широкое распространение получила обработка с помощью цилиндрических, дисковых фрез и набора дисковых фрез.

С целью экономии дорогостоящих быстрорежущих сталей и твердых сплавов фрезы делают сборными со вставными ножами или винтовыми пластинами из твердого сплава.

По конструкции различают фрезы с остроконечными и затылованными зубьями.

Фрезы, предназначенные для обработки плоских поверхностей, не требуют сохранения профиля зуба при переточке, а поэтому их изготавливают с зубьями остроконечной формы (рис. XII.3,а). Такие зубья наиболее просты в изготовлении, но обладают низкой прочностью.

Зубья с очертаниями затылка по параболе (рис. XII.3,б) прочнее остроконечных.

Форму зуба, показанную на рис. XII.3,в, рекомендуют применять для тяжелых работ. Задняя часть зуба выполнена здесь двумя поверхностями с фасками f и f_1 . Зубья такой формы просты в изготовлении и обладают высокой прочностью.

Фрезы с затылованными зубьями, у которых задний угол образуется снятием слоя металла (затылованием) со стороны задней поверхности по кривой или прямой с помощью плоского фасонного резца, применяют для обработки фасонных поверхностей.

По характеру крепления зубьев различают цельные и сборные фрезы.

Сборными изготавливают цилиндрические фрезы ($D > 60$ мм), цилиндрические составные фрезы ($D > 75$ мм) насадные торцовые и дисковые двух- и трехсторонние фрезы ($D > 75$ мм).

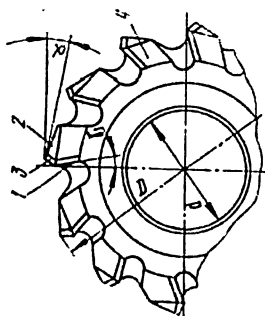
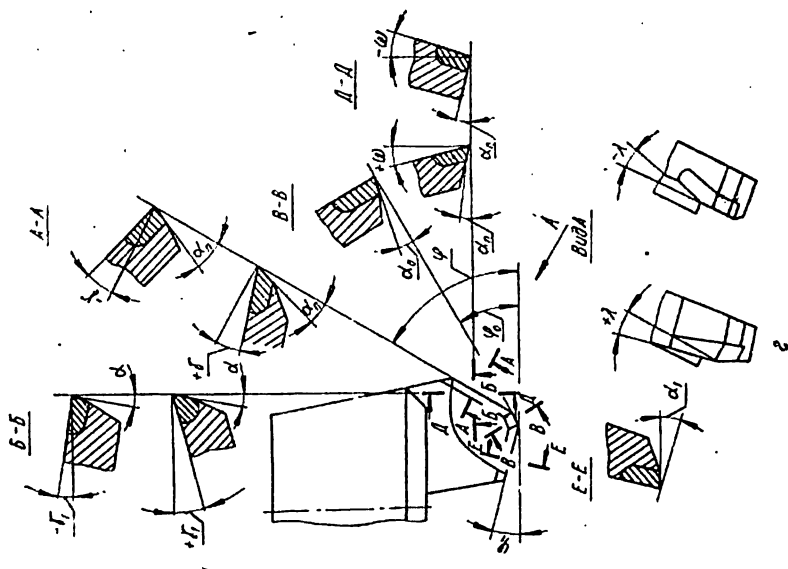
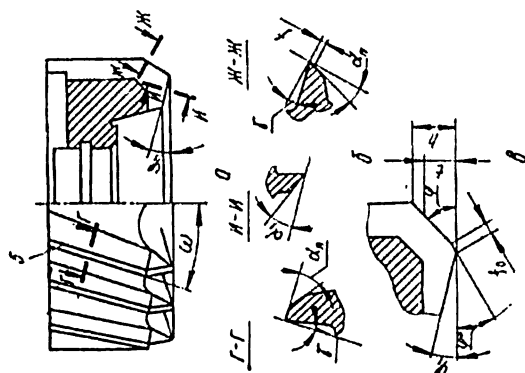
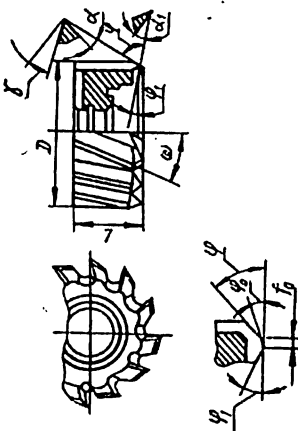
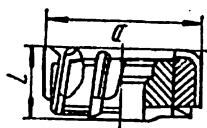
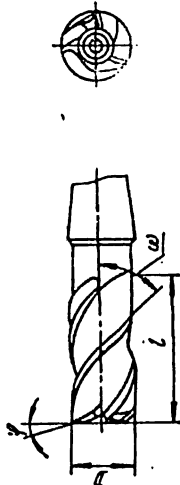
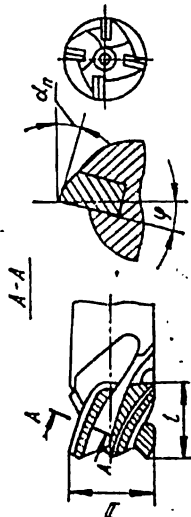
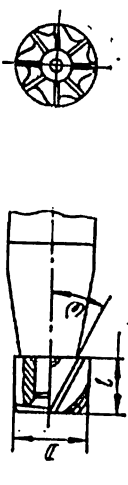
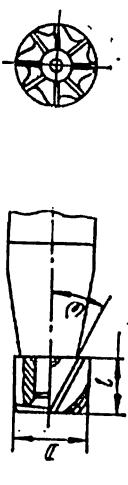


Рис. XII.2. Основные геометрические параметры зуба торцовой фрезы.

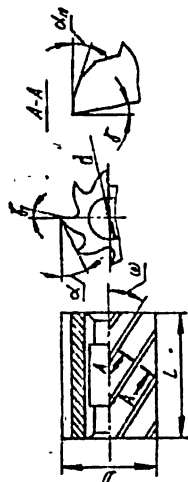


ХИ.1. Конструктивные параметры режущих инструментов, применяемых при обработке на фрезерных станках

Фрезы	Конструкция	Размеры, мм							
Торцовые: цельные с мелкими зубьями (ГОСТ 9304—69)		D	40	50	63	80	100		
		L	20; 40	25; 50	30; 60	35	35		
также же, с крупными зубьями (ГОСТ 9304—69)		D	63	80	100	—			
		L	40	45	50	—			
сборные с ножами из быстро- режущей стали (ГОСТ 1092—69)		D	80	100	125	160	200	250	
		L	36	40	45				
также же, с ножами из твер- дого сплава (ГОСТ 8529—69)		D	100	125	160	200	250	320	400
		L	50	55	60	75	85	85	

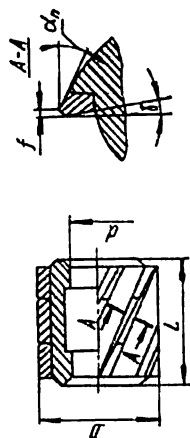
Фрезы	Конструкции	Размеры, мм									
		D	3	4	5	6	8	10	12	16	
Концевые: цельные с цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 17025—71)		l	8	10	12	16	20	20	25	32	
		D	16	20	25	32	40	50	63		
		l	36	44	50	55	65	70			
также же, с коническим хвостовиком (ГОСТ 17026—71)		D	16	20	25	32	40	50			
		l	13	12/21	20/25	18/32	24/41	22/38			
с напаянными винтовыми пластинками из твердого сплава (ГОСТ 8720—69)		D	10	12	14	16	18	20			
		l	10	12	8/18	10/20	10/20	15			
с коронками из твердого сплава (ГОСТ 18945—73)		D	10	12	14	16	18	20			
		l	10	12	8/18	10/20	10/20	15			

Цилиндрические:
цельные с мелкими и круп-
ными зубьями (ГОСТ 3752—71)



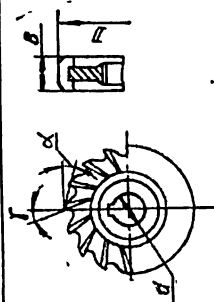
D	50	63	80	100
d	22	27	32	40
L	50; 63; 80	50; 63; 80; 100	63; 80; 100; 125	80; 100; 125; 160

оснащенные винтовыми пла-
стинами из твердого сплава
(ГОСТ 8721—69)



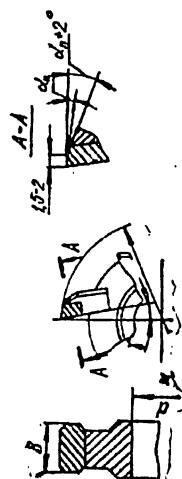
D	63	80	100	125
d	27	32	40	50
L	50; 80; 105	50; 75; 105	50; 80; 105	75; 105

Дисковые:
цельные трехсторонние
(ГОСТ 3755—78)



D	50	63	80	100; 125
d	16	22	27	32; 40
B	5; 6	6; 8; 10; 12	8; 10; 12; 14	10; 12; 14; 16; 18

сборные трехсторонние со
вставными ножами из твердо-
го сплава (ГОСТ 5348—69)



D	100	125	160	200	250	315
d	32	40	50	60	60	60
B	10—26	12—26	14—26	14—30	14—30	18—30

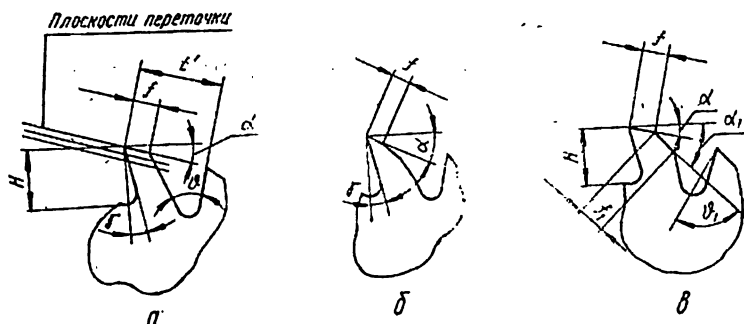


Рис. XII.3. Формы остроконечных зубьев для фрез с зубом:
а — мелким; б — затылованным по параболе; в — усиленным.

2. ВЫБОР МАРКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Производительность фрезерной обработки в значительной мере зависит от материала режущей части фрезы. В основном для изготовления режущей части фрезы для обработки плоскостей, пазов, уступов применяются металлокерамические твердые сплавы.

Используются также быстрорежущие стали, легированные ванадием и кобальтом. Они обладают более низкими производительностью и стойкостью. После термообработки сталей P18Ф2, P9K5, P9K10, P10K5Ф5 твердость HRC 65—67. Применяют ряд новых марок с повышенным содержанием углерода (1—1,15 %) и незначительной концентрацией ванадия (до 2 %), максимальная твердость которых HRC 69—70.

Вместо быстрорежущих сталей типа P18 и P9 для изготовления фрез в последние годы применяют стали P12, P6M5, P6M5K5. Они более дешевые, но по своим качествам почти не уступают указанным типам сталей.

Профильные фрезы и фрезы для обработки легких сплавов изготавливают из инструментальных легированных сталей марок 9ХС, ХВГ, ХГ, ХВ5 и др. Эти материалы хорошо сохраняют форму режущих кромок при нормальных скоростях и малых сечениях снимаемого металла.

Рекомендации по выбору материала режущей части фрез в зависимости от обрабатываемого материала и вида обработки приведены в табл. XII.2.

Производительность и стабильность процессов резания в значительной мере зависит от правильности выбора геометрических параметров фрез, которые определяются обрабатываемым материалом и материалом режущей части фрез (табл. XII.3 и XII.4).

XII.2. Рекомендации по выбору марки инструментального материала режущей части фрез

Обрабатываемый материал	Материал режущей части фрезы при фрезеровании			
	черновом		чистовом	
	Основной	Заменитель	Основной	Заменитель
Углеродистые и легированные конструкционные стали	T15K6	P6M5	T30K4	—
	T14K8	10P6M5	T15K6	P6M5, 10P6M5
	T5K10	—	T14K8	—

Обрабатываемый материал	Материал режущей части фрезы при фрезеровании			
	черновом		чистовом	
	Основной	Заменитель	Основной	Заменитель
Труднообрабатываемые стали и сплавы, жаропрочные и коррозионно-стойкие стали	ТТ7К12	Р18К5Ф2	Т15К6	—
	Т5К10	Р12Ф2М3КВ		
	Т5К12В	Р9К5	Т14К8	Р6М5К5
	ВК8	Р6М4К8		
	Т10К8Б	Р9К10	Т5К10	10Р6М5
	ВК6	—		
Чугун с твердостью HB240	ВК6	—	ВК3	—
	ВК6М	Р6М5	ТТ7К6	Р6М5
			ВК6М	10Р6М5
	ВК8	10Р6М5	ВК6	—
Цветные металлы и сплавы	ВК6М	ХВ5	ВК6М	ХВ5
	Р6М5	—	Р6М5	—
	ВК6	ХВГ	ВК6	ХВГ
	ВК8	9ХС	ВК8	9ХС
Неметаллические материалы и пластмассы	ВК3	—	ВК3	—
	ВК6М	Р6М5	ВК6М	Р6М5
	ВК6	10Р6М5	ВК6	10Р6М5

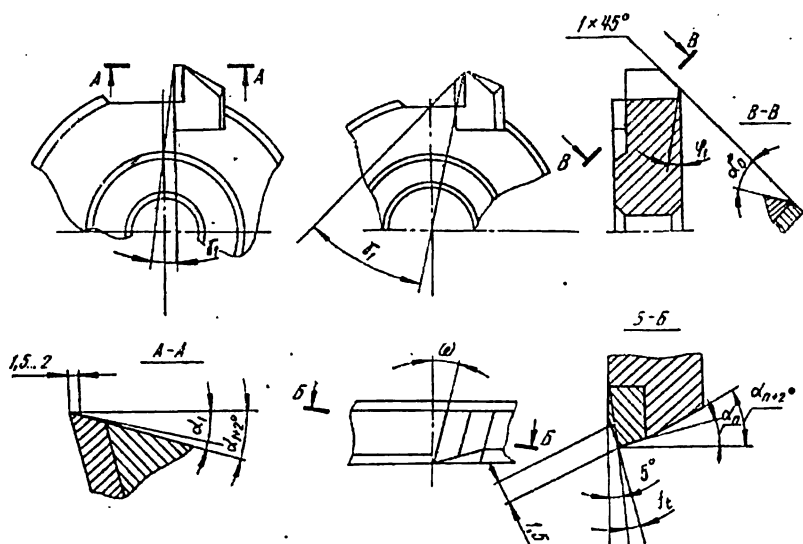
Примечание. В первой строке для каждой группы обрабатываемых материалов указывается марка режущего материала при повышенной жесткости и мощности станка, во второй — при средних, в третьей — при пониженной.

XII.3. Геометрические параметры торцовых и концевых фрез из быстрорежущей стали в зависимости от обрабатываемого материала, ...°

Обрабатываемый материал	Передний угол γ	Главный угол в плане ϕ	Обрабатываемый материал	Передний угол γ	Главный угол в плане ϕ
	Фрезы			Фрезы	
	торцовые концевые	торцовые		торцовые концевые	торцовые
Сталь углеродистая и легированная с σ_B , МПа: <600 $600-1000$ >1000	20	45—60	Чугун с твердостью <i>HB</i> : 150 150—200 200 Медные сплавы Алюминиевые сплавы Пластмассы	15	45—60
	15	45—60		10	—
	10	45—60		5	45
	10—15	40		10	45—60
Сталь жаропрочная				25	—
				6—10	—

Примечания: 1. Задний главный угол для концевых фрез составляет 14°, торцовых фрез со вставными лезвиями — 12°, торцовых фрез с мелкими зубьями — 16°.
2. Задний торцовый угол концевых и торцовых фрез составляет 8°.

XII.4. Геометрические параметры режущей части дисковых фрез с пластинами из твердого сплава



Обрабатываемый материал	Передний угол $\gamma, \dots^\circ$	Задний угол	
		на периферии зуба $\alpha_n, \dots^\circ$	на переходной кромке $\alpha_n, \dots^\circ$
Конструкционная легированная и углеродистая сталь с σ_b , МПа:			
≤ 800	-5	20	20
> 800	-10	20—25	20—25
Серый чугун с твердостью HB 200	+5	10—15	10—15

Примечания: 1. Задний угол на боковой стороне зуба $\alpha_1 = 4^\circ$.

2. Угол наклона зуба $\omega = 8...15^\circ$.

3. Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 2...5^\circ$.

3. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

На производительность и качество обработки существенное влияние оказывают режимы резания.

Ширина фрезерования B назначается по заданному размеру в чертеже детали. Она равна ширине обрабатываемой поверхности в направлении оси фрезы. Для цилиндрических фрез ширина фрезерования совпадает с шириной обрабатываемой заготовки, для дисковых фрез — с шириной паза.

В случае обработки нескольких заготовок, закрепленных параллельно в одном зажимном приспособлении, ширина фрезерования равна ширине всех заготовок.

Глубина резания зависит от припуска на обработку h . Припуск целесообразно снимать за один проход, т. е. глубина резания $t = h$, однако при этом необходимо учитывать жесткость системы СПИД и мощность станка. При фре-

зеровании концевыми фрезами глубина резания не должна превышать 10—12 мм, а при фрезеровании торцовыми — 12—15 мм.

В случае повышенных требований к точности и шероховатости обработанной поверхности припуск снимается в два прохода: черновой и чистовой ($t_2 = 0,75 \dots 2,0$ мм).

При больших припусках обработку выполняют в два черновых прохода и один чистовой.

Фреза является многолезвийным инструментом, однако каждый зуб фрезы можно рассматривать как отдельный резец. Поэтому исходной величиной, характеризующей интенсивность нагрузки на зуб фрезы при черновом фрезеровании, является подача на один зуб фрезы s_z , мм, т. е. величина относительного перемещения детали и фрезы за время поворота фрезы на один угловой шаг.

При чистовом фрезеровании характерной является величина подачи на один оборот фрезы s_0 , мм/об, так как шероховатость фрезеруемой поверхности

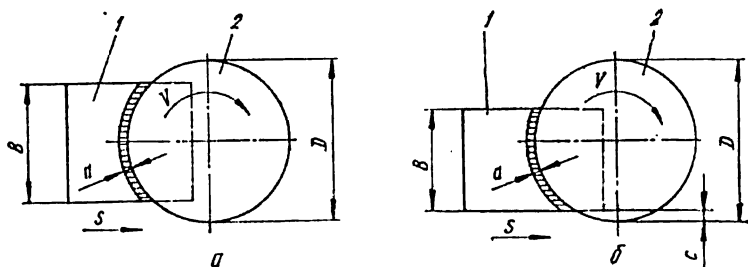


Рис. XII.4. Схемы резания торцовой фрезой при фрезеровании: а — симметрично; б — несимметрично.

зависит от подачи на один оборот фрезы $s_0 = s_z z$. Подачу следует выбирать возможно большую, так как при работе с большой подачей достигается наиболее высокая производительность. Условиями, ограничивающими величину подачи, являются: требования к шероховатости и точности обработанной поверхности; недостаточная жесткость станка; биение зубьев фрезы, которое должно быть минимальным; прочность фрезы (для концевых фрез малого диаметра).

При работе торцовыми фрезами величина допустимой подачи зависит от способа установки фрезы по отношению к обрабатываемой поверхности (рис. XII.4).

Исследования, проведенные ЭНИМСом, показали, что при установке торцовой фрезы асимметрично (рис. XII.4, б) создаются благоприятные условия врезания зуба фрезы 2 в обрабатываемый металл 1, позволяющие увеличить подачу на зуб почти в два раза.

Рекомендуемые величины подач в зависимости от обрабатываемого материала, типа фрез и материала режущей части фрез приведены в табл. XII.5—XII.7.

По установленной глубине резания t и выбранной подаче s_z определяют скорость резания и частоту вращения фрезы.

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами фрез,

$$v = \frac{C_v D^{q_v} K_n K_m K_\phi K_\Pi}{T m t^{x_v} s_z^{y_v} h_v^{p_v} B^{p_v}},$$

где C_v — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки (табл. XII.8); $q_v, m, h_v, x_v, y_v, p_v$ — показатели степени (табл. XII.8); D — диаметр фрезы, мм; K_n, K_m, K_ϕ, K_Π — коэффициенты,

XII.5. Поддачи на один зуб, мм, при черновой обработке плоскостей торцовыми фрезами из быстрорежущей стали

Мощность станка (фрезерной головки), кВт	Жесткость системы деталь—приспособление	Углеродистые и легированные стали	Легкие и алюминиевые сплавы
--	---	-----------------------------------	-----------------------------

**Цельные фрезы с крупным зубом
и со вставными ножами**

Свыше 10	Нормальная	0,15—0,25	0,3—0,5
	Пониженная	—	0,2—0,3
5—10	Нормальная	0,08—0,15	0,2—0,4
	Пониженная	—	0,15—0,25
До 5	Нормальная	0,04—0,06	0,15—0,3
	Пониженная	—	0,1—0,2

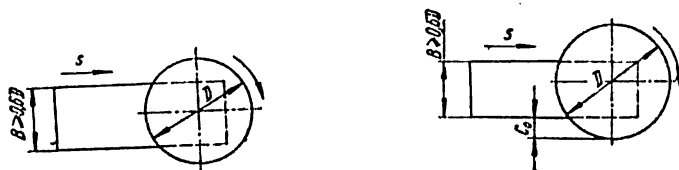
Цельные фрезы с мелким зубом

5—10	Нормальная	0,06—0,1	0,15—0,3
	Пониженная	0,04—0,08	0,1—0,2
До 5	Нормальная	0,04—0,06	0,12—0,15
	Пониженная	0,04—0,06	0,08—0,15

Примечания: 1. Для сталей большие значения подачи выбирают при меньшей глубине резания и ширине обработки, меньшие — при больших глубине и ширине.

2. При фрезеровании жаропрочных сталей подачи такие же, как и для стали, но не выше 0,2 мм/зуб.

XII.6. Поддачи на один зуб s_z , мм, при черновой обработке торцовыми фрезами с пластинами твердого сплава



I симметричная

II смещенная, $C_0 = (0,03...0,05) D$

Мощность станка (фрезерной головки), кВт	Вид установок фрезы	Сталь		Чугун	
		Марка твердого сплава			
		Т5К10	Т15К6	ВК3	ВК6
Свыше 10	I	0,16—0,20	0,12—0,15	0,25—0,32	0,18—0,24
10	II	0,32—0,40	0,24—0,30	0,50—0,61	0,38—0,48
5—10	I	0,12—0,14	0,09—0,11	0,20—0,24	0,14—0,18
	II	0,24—0,28	0,18—0,22	0,38—0,45	0,28—0,36

Примечание. Подачи при обработке жаропрочных сталей и сплавов рекомендуют брать те же, что и для стали, но не выше 0,15 мм/зуб.

XII.7. Поддачи на один оборот фрезы, мм, при чистовой обработке в зависимости от требуемой шероховатости R_a

Обрабатываемый материал	Вспомогательный угол в плане ϕ , °	Шероховатость обработки R_a , мкм			
		6,3	3,2	1,6	0,8
Подача на один оборот s_0 , мм/об					
Сталь: σ_b МПа	5	—	0,80—0,50	0,55—0,40	0,25—0,20
≥ 700	2		1,6—1,0	1,1—0,80	0,50—0,40
> 700	5		1,0—0,7	0,60—0,45	0,30—0,20
			2,0—1,4	1,2—0,90	0,60—0,40
45 (прокат), 40X (прокат и нормализованная)	2	2,7—1,2	1,2—0,5	0,5—0,23	—
		5,6—2,6	2,6—1,0	1,0—0,4	—
45 (улучшенная)					
35		3,1—1,4	1,4—0,5	0,5—0,3	—
10, 20, 20X		3,9—1,8	1,8—0,7	0,7—0,3	—

Примечание. В случае обработки сталей 45, 40X, 35, 20X, 20 и 10 для фрез с вспомогательным углом в плане $\phi = 0$, поддачи можно увеличивать на 50—80 %.

учитывающие соответственно влияние марки инструментального материала, свойства обрабатываемого материала, главного угла в плане, состояния поверхности заготовки (табл. XII.9—XII.13) [42]; T — период стойкости фрезы, мин; t — глубина фрезерования, мм; s_z — подача на зуб фрезы, мм; z — число зубьев фрезы; B — ширина фрезерования, мм.

Рекомендуемые величины скорости резания в зависимости от обрабатываемого материала, типа фрез, материала режущей части фрез и вида обработки приведены в табл. XII.14—XII.15.

Поправочные коэффициенты на скорость резания и мощность для измененных условий эксплуатации в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. XII.16.

Частота вращения фрезы определяется из выражения

$$v = \pi D n / 1000,$$

где v — скорость резания при фрезеровании, м/мин; D — диаметр фрезы, мм; n — частота вращения фрезы, мин⁻¹.

Уточненная частота вращения фрезы выбирается по паспорту станка, по которому уточняется скорость резания.

Минутная подача фрезы (м/мин)

$$s_m = s_0 n = s_z z n,$$

где s_0 — подача на один оборот фрезы, мм; s_z — подача на зуб фрезы, мм/зуб; n — частота вращения фрезы, об/мин.

Машинное (основное) время (мин)

$$T_m = (l + l_1 + l_2) / s_m = L / s_m,$$

где L — длина пути, проходного фрезой в направлении подачи, мм; l — длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи, мм; l_1 — длина врезания, мм; l_2 — длина перебега фрезы, мм (выбирается в зависимости от диаметра фрезы в пределах 2—5 мм).

ХII.8. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле для определения скорости резания при фрезеровании

Типы фрез	Материал режущей части	Операция	Параметры режима резания										
			B	t	s _z	C _v	m	x _c	v _v	a _v	q _v	h _v	p _v
			мм										

Конструкционная углеродистая сталь с $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$

Торцовые	Т15К6*	—	—	—	—	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0
	Р18**	—	—	—	—	64,7 41,0	0,2	0,1	0,2	0,25	0,15	0
Цилиндрические	Т15К6*	≤35	≤2	—	—	390	0,33	0,19	0,28	—	—0,05	0,1
		>35	>2	—	—	443	0,33	0,38	0,28	0,17	0,08	0,1
		—	—	—	—	616	0,33	0,19	0,2	0,45	0,1	0
		—	—	—	—	700	0,33	0,38	0,4	—	—	0
Дисковые со вставными ножами	Т15К6*	—	—	—	—	55,0	0,35	0,3	0,12	0	—	0
		—	—	—	—	35,4	0,35	0,4	0,4	0,2	—	0
		—	—	—	—	1340	0,35	0,4	0,12	0,2	—	0
		—	—	—	—	740	0,35	0,4	0,4	0,2	—	0
Дисковые цельные	Т15К6*	—	—	—	—	1825	0,2	0,3	0,12	0,2	—	0
		—	—	—	—	690	0,2	0,3	0,4	0,25	—	0
		—	—	—	—	75,5	0,2	0,3	0,2	—	—	0
		—	—	—	—	48,5	0,2	0,3	0,4	0,25	—	0

Концевые	Фрезерование плоскостей и уступов	Прорезание и отрезание	Фасонное фрезерование	Фрезерование фасонное и угловых канавок	Фрезерование шпоночных пазов	Фрезерование плоскостей и уступов	46,7	0,33	0,5	0,5	0,45	0,1
Прорезные и отрезные							53,0	0,2			0,25	0,2
Фасонные полукруглые выпуклые							53,0					
Фасонные полукруглые вогнутые и угловые							44,0	0,33	0,3	0,2	0,45	0,1
Шпоночные двухплерые							12,0	0,26		0,25	0,3	0
Концевые с коронками							145					
Концевые с напаянными пластинами							134	0,37	0,24	0,26	0,44	0,13

Конструкционная легированная сталь с $\sigma_B = 750$ МПа

Концевые с коронками	Фрезерование плоскостей и уступов	—	—	—	200	0,5	0,32	0,28	0,65	0,18	0,23
Концевые с напаянными пластинами					313						

Жаропрочные стали X18H9T

Торцовые	Фрезерование плоскостей	—	—	—	108	0,32	0,06	0,3	0,2	0,2	0
Цилиндрические					49,6	0,14	0,2		0,15		
Концевые					44,0	0,24	0,3	0,34	0,29	0,1	0,1
					22,5	0,27	0,21	0,48	0,35	0,04	

* Без охлаждения.

** С охлаждением.

Типы фрез	Материал режущей части	Операция	Параметры режима резания										
			B	t	s	z	C _v	m	x _v	y _v	q ₀	h _v	p ₀
мм													
Серый чугун с твердостью HB190													
Торцовые	ВК6*	Фрезерование плоскостей	—	—	—	445	0,35	0,15	0,35	0,2	0,2	0	
	P18*					24,0	0,15	0,1	0,4	—	0,1		
ВК6*	—		—	—	—	923	—	0,13	0,19	—	—	—	
	<2,5		≤0,2	—	—	588	0,42	—	0,47	0,37	0,23	0,14	
	—		>0,2	—	—	1180	—	0,40	0,19	—	—	—	
	≥2,5		≤0,2	—	—	750	—	—	0,47	—	—	—	
Цилиндрические	—		—	—	—	—	57,6	0,25	—	0,2	0,7	0,3	0,3
			—	—	—	—	27,0	—	—	0,6	—	—	—
			—	—	—	—	85,0; 72,0	0,15	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дисковые со вставными ножами	P18**	—	—	—	—	72,0	0,25	—	0,2	0,7	0,3	0,3	
		—	—	—	—	30,0	0,15	—	0,4	0,2	0,2	0,1	
Концевые		Прорезание и отрезание	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Прорезные и отрезные			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ковкий чугун с твердостью HB150													
Торцовые	ВК8*	Фрезерование плоскостей	—	—	—	825	0,33	0,17	0,1	0,22	0,22	0	
			—	—	—	577	—	—	0,32	—	—	—	—
			—	—	—	0,5	0,2	0,1	0,2	0,25	0,15	—	—
			—	—	—	57,4	—	—	0,4	—	—	—	—

Р18*	Прорезание и отрезание	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	0,1				0,1			
			≤0,1	>0,1	77,0	0,33	0,2	0,45	0,2	0,25
Цилиндрические			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—
Дисковые со вставными ножами			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—
Дисковые цельные			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—
Концевые			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—
Прорезные и отрезные			—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—

Гетерогенные медные сплавы средней твердости (HB100—140)

Торцовые	Цилиндрические	Дисковые со вставными ножами	Дисковые цельные	Концевые	Прорезные и отрезные	Р18*										
						Фрезерование плоскостей	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	Фрезерование плоскостей и уступов	Прорезание и отрезание	≤0,1	86,2	0,2	0,1	0,2	0,25	0,15
						≤0,1	136									
						>0,1	86,2									
						≤0,1	115,5	0,33								
						>0,1	74,3									
						≤0,1	158,5									
						>0,1	102	0,2	0,3						0,1	
							144									
						—	103	0,33								
							113,3	0,2								0,2

• С ОХРАЖЕНИЕМ.

•• Без охлаждения.

XII.9. Поправочный коэффициент K_m , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
Конструкционная углеродистая и легированная сталь и стальное литье	$K_m = \frac{750}{\sigma_B}$	$K_m = C_m \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_m}$
Чугун:		
серый	$K_m = \left(\frac{190}{HB} \right)^{1.25}$	$K_m = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_m}$
ковкий	$K_m = \left(\frac{150}{HB} \right)^{1.25}$	$K_m = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_m}$
Медные сплавы:		
гетерогенные высокой твердости ($HB > 140$)	0,7	0,7
гетерогенные средней твердости ($HB = 100 \dots 140$)	1,0	1,0
свинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	1,7
гомогенные	2,0	2,0
Алюминиевые сплавы:		
силумин и литейные сплавы с $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа,	0,8	0,8
$HB > 65$ (закаленные), дуралюмин, $\sigma_B = 400 \dots 500$ МПа, $HB > 100$		
Силумин и литейные сплавы, $\sigma_B = 100 \dots 200$ МПа, $HB < 65$		
Дуралюмин, $\sigma_B = 300 \dots 400$ МПа, $HB < 100$	1,0	1,0
Дуралюмин, $\sigma_B = 200 \dots 300$ МПа	1,2	1,2

Примечание. Значение коэффициента C_m , учитывающего группу стали, и показатель степени n_m приведены в табл. XII.10 [5].

XII.10. Значения коэффициента обрабатываемости C_m и показателя степени n_m

Обрабатываемый материал	C_m	n_m
Сталь:		
углеродистая ($C \leq 0,6 \%$)	1,0	0,9*
» ($C > 0,6 \%$)	0,8	1,0
автоматная	1,2	1,0
никелевая	1,0	1,0
хромистая	0,8	1,45
хромоникелевая	0,9	1,35
марганцовистая	0,8	1,0
хромомолибденовая, хромоалюминиевая и близкие к ним по составу	0,7	1,0
хромомарганцовистая, хромокремнистая и близкие к ним по составу	0,7	1,0
инструментальная быстрорежущая	0,6	1,0
Чугун:		
серый	—	0,95
ковкий	—	0,85

* При $\sigma_B < 450$ МПа $n_m = -1$.

XII.11. Поправочный коэффициент K_d на скорость резания, учитывающий состояние поверхности заготовки

Без корки	С коркой				
	Прокат	Поковка	Стальное и чугунное литье		Медные и алюминиевые сплавы
			обычное	с загрязненной коркой	
1,0	0,9	0,8	0,8—0,85	0,5—0,6	0,9

XII.12. Поправочный коэффициент K_n , учитывающий влияние материала режущей части инструмента на скорость резания

Обрабатываемый материал	Марка инструментального материала												
	T5K121	T5K10	T14K8	T5K6	T15K6T	T30K4	BK3	T15K6T	P18	BK6	BK4	BK3	BK2
Конструкционная сталь и стальное литье	0,35	0,65	0,8	1,0	1,15	1,4	0,4	—	—	—	—	—	—
Жаропрочные стали и сплавы	— 1,0	1,4 1,4	— 1,9	— 0,3	—	—	1,0	1,9	0,3	1,0	—	—	—
Закаленная сталь с твердостью HRC 35—50	—	—	—	—	—	1,25	0,83	1,0	—	0,85	—	—	—
То же, с твердостью HRC 51—62	—	—	—	—	—	—	0,74	—	—	0,92	1,0	—	—
Серый и ковкий чугун	—	—	—	—	—	—	0,83	—	—	1,0	1,1	1,15	1,25
Медные и алюминиевые сплавы	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	2,7	2,5	—	—

XII.13. Поправочный коэффициент K_ϕ , учитывающий влияние главного угла в плане ϕ на скорость резания

Типы фрез	Главный угол в плане ϕ , ...°				
	90	60	45	30	20
Дисковые двусторонние и концевые	1,00	1,05	1,10	1,23	1,37
Торцовые	0,96	1,00	1,06	1,18	1,30

XII.14. Рекомендуемые скорости резания конструкционных углеродистой, хромистой и хромоникелевой сталей при обработке торцовыми фрезами с пластинами Т15К6

D/z	t , мм, не бо- лее	Подача s_z , мм/зуб, не более						D/z	t , мм, не бо- лее	Подача s_z , мм/зуб, не более					
		0,07	0,1	0,13	0,18	0,24	0,33			0,07	0,1	0,13	0,18	0,24	0,33
$\frac{80}{5}$	5,0	312	280	250	220	195	173	$\frac{250}{8}$	16	263	235	209	185	165	147
	1,5	352	316	282	249	220	196		5	298	266	236	209	186	166
$\frac{110}{4}$	5,0	312	280	249	220	194	173	$\frac{320}{10}$	16	253	223	200	176	157	140
	1,5	352	316	282	249	220	196		5	286	252	226	199	178	158
$\frac{150}{6}$	16	380	260	220	194	173	154	$\frac{400}{12}$	16	235	209	185	164	147	129
	5	316	282	249	220	196	174		5	266	236	209	186	166	146
$\frac{200}{8}$	16	263	235	209	185	164	147								
	5	298	266	236	209	186	166								

XII.15. Рекомендуемые скорости резания серого чугуна при обработке торцовыми фрезами с пластинами ВК6

D/z	t , мм, не бо- лее	Подача s_m , мм/зуб, не более						D/z	t , мм, не бо- лее	Подача s_m , мм/зуб, не более					
		0,1	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5			0,1	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5
$\frac{75}{10}$	1,5	260	232	—	—	—	—	$\frac{250}{20}$	3,5	185	165	145	128	115	102
	3,5	232	204	—	—	—	—		7,5	165	145	128	115	102	90
	7,5	204	181	—	—	—	—		16	145	128	115	102	90	81
$\frac{90}{10}$	1,5	260	232	204	—	—	—	$\frac{300}{22}$	3,5	172	153	136	121	107	96
	3,5	232	204	181	—	—	—		7,5	153	136	121	107	96	86
	7,5	204	181	162	—	—	—		16	136	121	107	96	86	77
$\frac{110}{12}$	1,5	228	203	180	158	—	—	$\frac{350}{24}$	3,5	172	153	136	121	107	96
	3,5	203	180	158	141	—	—		7,5	153	136	121	107	96	85
	7,5	180	158	141	126	—	—		16	136	121	107	96	85	75
$\frac{150}{14}$	1,5	228	203	180	158	141	—	$\frac{400}{28}$	3,5	154	137	122	108	97	86
	3,5	203	180	158	141	126	—		7,5	137	122	108	97	86	76
	7,5	180	158	141	126	112	—		16	122	108	97	86	76	68
$\frac{200}{16}$	1,5	228	203	180	158	141	126								
	3,5	203	180	158	141	126	112								
	7,5	180	158	141	126	112	100								

Примечание. При обработке торцовыми фрезами с пластинами ВК8 табличные данные умножить на коэффициент 1,2.

При обработке цилиндрическими, дисковыми, отрезными и фасонными фрезами длина врезания l_1 зависит от диаметра фрезы D и глубины резания t :

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)};$$

при обработке торцовыми и концевыми фрезами по асимметричной схеме фрезерования l_1 зависит от диаметра фрезы D и ширины фрезерования B :

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)};$$

при обработке торцовыми фрезами по симметричной схеме l_1 зависит от диаметра фрезы D и ширины фрезерования:

$$l_1 = 0,5 (D - \sqrt{D^2 - B^2}).$$

XII.16. Поправочные коэффициенты на скорость резания и мощность в зависимости от обрабатываемого материала

Материал	Механические свойства			
	Твердость по Бринеллю HB	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	K_{MV}	K_{MN}
Торцовые фрезы, оснащенные твердым сплавом				
Стали:				
конструкционные углеродистые	$\leq 137-174$	400—600	1,44—1,18	0,89—0,95
хромистые	174—207	600—700	1,0	1,0
хромоникелевые	207—320	700—1000	0,87—0,62	1,04—1,15
Серый чугун:				
СЧ00; СЧ12—28	130—170	—	1,38—1,16	0,78—0,89
СЧ15—32; СЧ18—36	—	—	—	—
СЧ21—40; СЧ44—44	170—190	—	1,0	1,0
СЧ28—48; СЧ32—62	190—250	—	0,88—0,70	1,11—1,33
Цилиндрические фрезы, оснащенные твердым сплавом				
Стали:				
конструкционные углеродистые	137—174	400—600	1,44—1,18	0,89—0,94
хромистые, хромоникелевые	174—207	600—700	1,0	1,0
стальное литье	207—320	700—1000	0,87—0,58	1,04—1,15
Серый чугун:				
СЧ00; СЧ12—28; СЧ15—32	130—170	—	1,21—1,09	0,78—0,88
СЧ18—36; СЧ21—40; СЧ24—44; СЧ28—48	170—190	—	1,0	1,00
СЧ32—52	190—250	—	0,92—0,8	1,11—1,33
Дисковые фрезы, оснащенные твердым сплавом				
Стали:				
конструкционные углеродистые	137—174	400—600	1,27—1,12	0,89—0,95
хромистые	174—207	600—700	1,0	1,0
хромоникелевые	207—320	700—1000	0,91—0,73	1,04—1,15
Концевые фрезы, оснащенные твердым сплавом				
Стали:				
конструкционные углеродистые	137—174	400—600	1,34—1,14	0,89—0,95
	174—207	600—700	1,0	1,0
	207—320	700—1100	0,89—0,68	1,04—1,15
Фрезы из быстрорежущей стали всех типов				
Стали:				
конструкционные углеродистые	77—169	300—600	0,74—1,18	0,82—0,95
	169—200	600—700	1,0	1,0
	200—262	700—900	0,88—0,79	1,04—1,09
Серый чугун:				
СЧ00; СЧ12—28; СЧ15—32	130—170	—	1,27—1,12	0,87—0,94
СЧ18—36; СЧ21—40; СЧ24—44; СЧ28—48	170—190	—	1,0	1,0
СЧ32—52	190—250	—	0,9—0,76	1,06—1,14

Окружная сила резания P_z при фрезеровании позволяет проверить инструмент на прочность, определить крутящий момент на шпинделе и мощность станка. Ее рассчитывают по формуле

$$P_z = \frac{C_p t^{x_p} s^{y_p} B^{u_p} n^z}{D^{q_p} n \omega_p} K_p,$$

где P_z — окружная сила, Н; C_p — постоянный коэффициент, зависящий от вида обработки, обрабатываемого материала и фрезы; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/мин; B — ширина фрезерования, мм; D — диаметр фрезы, мм; n — частота вращения фрезы, мин⁻¹; $x_p, y_p, u_p, q_p, \omega_p$ — показатели степени; z — количество зубьев фрезы; K_p — общий поправочный коэффициент.

Значения постоянного коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. XII.17 и табл. XII.18.

XII.17. Коэффициент и показатели степени в формуле окружной силы P_z при фрезеровании

Типы фрез	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x_p	y_p	u_p	q_p	q_p

Обработка конструкционной углеродистой стали
с $\sigma_b = 750$ МПа

Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	0,2	1,3
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8			1,1
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0	0,87
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72			0,86
Концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	-0,13	0,73
	Быстрорежущая сталь	69,2	0,86	0,72		0	0,86
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав	261	0,9	0,8	1,1	0,1	1,1
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0	0,86

Обработка серого чугуна с твердостью HB190

Торцовые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	0	1,0
Цилиндрические,		58		0,8			0,9
Цилиндрические, концевые, дисковые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65			0,83

Примечания: 1. Окружную силу P_z при фрезеровании алюминиевых сплавов следует рассчитывать как и для стали, с введенным коэффициентом 0,25.

2. В случае износа фрез до допустимой величины окружная сила P_z возрастает при обработке мягкой стали в 1,75—1,9 раза, при обработке стали средней твердости, твердой, а также чугуна — в 1,3—1,4 раза.

XII.18. Показатель степени n_p в формулах для расчета коэффициента K_{mp} , учитывающего влияние механических свойств обрабатываемого материала на силы резания

Определяемый параметр	Материал инструмента	Обрабатываемый материал	
		Конструкционная сталь и стальное литье	Серый и ковкий чугун
Составляющие силы резания при точении:			
	тангенциальная	Твердый сплав 0,75	0,4
		Быстрорежущая сталь 0,35; 0,75*	0,55
	радиальная	Твердый сплав 1,35	1,0
		Быстрорежущая сталь 2,0	1,3
	осевая	Твердый сплав 1,0	0,8
Крутящий момент M и осевая сила P_o при сверлении и рассверливании	Быстрорежущая сталь	1,5	1,1
	Твердый сплав и быстрорежущая сталь	0,75	0,6
Окружная сила P при фрезеровании	Твердый сплав	0,3	1,0
	Быстрорежущая сталь	0,3	0,5

* Для сталей с $\sigma_B < 600$ МПа показатель степени равен 0,35, для сталей с $\sigma_B > 600$ МПа он равен 0,75.

Общий поправочный коэффициент на силу резания зависит от качества обрабатываемого материала.

Материал	Коэффициент K_{mp}
Конструкционная сталь и стальное литье	$K_{mp} = (\sigma_B/75)^{n_p}$
Чугун:	
серый	$K_{mp} = (HB/100)^{n_p}$
ковкий	$K_{mp} = (HB/150)^{n_p}$

Крутящий момент на шпинделе, Н · м,

$$M_{кр} = \frac{P_2 D}{1000}.$$

Мощность резания, кВт,

$$N = \frac{P_2 v}{102 \cdot 60}.$$

где v — скорость резания, м/мин.

ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ, ДОЛБЕЖНЫХ И ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ

1. ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

На строгальных и долбежных станках обрабатывают различные фасонные поверхности, плоскости, пазы и уступы.

Элементы резания при строгании и долблении представлены на рис. XIII.1.

Обычно точность обработки при строгании и долблении достигает 0,1—0,2 мм, а при чистовом строгании специальными широкими резцами и тщательной наладке станка можно получить точность обработки 0,02—0,05 мм при шероховатости поверхности до $Ra = 0,8$ мкм [3].

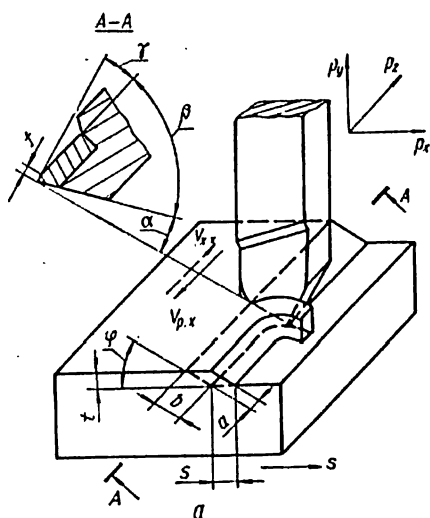
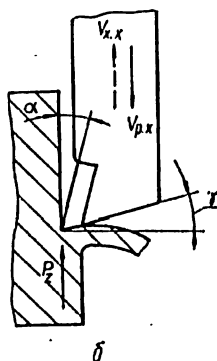


Рис. XIII.1. Элементы резания при строгании (а) и долблении (б).



Режущий инструмент

Строгальные и долбежные резцы работают в более тяжелых условиях, чем токарные, так как врезааясь в обрабатываемый материал они испытывают удар, что отрицательно сказывается на их стойкости. По роду выполняемых работ строгальные и долбежные резцы разделяют на проходные (обдирочные и чистовые), отрезные, подрезные, пазовые и специальные.

Строгальные и долбежные резцы имеют такие формы передней поверхности: плоскую без фаски, плоскую с фаской шириной $f = (0,8...1,0)s$, криволинейную с фаской. Радиус лунки строгальных проходных и долбежных резцов $R = (30...40)s$, отрезных резцов — $R = (50...60)s$.

Для обработки конструкционных сталей, ковкого и серого чугуна строгальные и долбежные резцы оснащают пластинами из быстрорежущей стали Р18 или Р6М5. Черновую и чистовую обработку конструкционных сталей и чугуна на строгальных станках выполняют резцами, оснащенными твердым сплавом ВК8В, ВК15, ТТ7К12, Т5К12В.

Рекомендуемые геометрические параметры режущей части строгальных и долбежных резцов зависят от обрабатываемого материала (табл. XIII.1 и XIII.2).

XIII.1. Геометрические параметры режущей части строгальных резцов в зависимости от обрабатываемого материала [55]

Обрабатываемый материал	Резцы					
	С пластинами твердого сплава			Из быстрорежущей стали		
	$\alpha, \dots^\circ$ при обработке		$\gamma, \dots^\circ$	$\alpha, \dots^\circ$ при обработке		$\gamma, \dots^\circ$
	черновой	чистовой		черновой	чистовой	
Сталь и стальные отливки с σ_n , МПа: <800						20
>800	8	10	0—15	6	12	15
Серый чугун с твердостью HB: <220						10
>220	8	10	5	8	12	5
Медные сплавы	—	—	—	8	12	12

XIII.2. Геометрические параметры режущей части строгальных резцов в зависимости от вида обработки [55]

Вид строгания	φ	φ_1
	$\dots^\circ$	
Широкими резцами с большими подачами (4—5 мм/дв. ход и более) при небольших припусках на обработку	20—30	0
Пазов при жесткой системе СПИД	45	1—3
Чистовое при сравнительно жесткой системе СПИД	60—70	5—10
Чернового пазов и ступенчатых поверхностей в упор	90	10—15

Примечания: 1. Для широких и прорезных резцов $\lambda = 0 \dots 8^\circ$, для проходных и подрезных $\lambda = 12 \dots 15^\circ$.

2. Для проходных и подрезных резцов сечением $11 \times B = (20 \dots 63) \times (12 \dots 40)$ мм с пластинами твердого сплава $r = 1,5 \dots 2,5$ мм, а из быстрорежущей стали Р18 $r = 2 \dots 5$ мм. Большие значения r выбирают при обработке жестких деталей и большей площади поперечного сечения резца. Для прорезных и отрезных резцов $r = 0,2 \dots 0,5$ мм.

3. Переходная режущая кромка при вершине резца $l = 2 \dots 4$ мм для проходных и подрезных резцов и $l = 0,5 \dots 1$ мм для прорезных и отрезных резцов.

Основные расчетные зависимости для определения режимов резания

Скорость резания при строгании и долблении

$$v = K_t C_v / T m_s v_v t^{x_v} (HB/200)^{y_v}$$

где v — скорость резания, м/мин; T — период стойкости резца, мин; t — глубина резания, мм; s — подача, мм; HB — твердость материала заготовки по Бринеллю; C_v — коэффициент пропорциональности (табл. XIII.3); m_s , x_v , y_v — показатели степени (табл. XIII.3).

ХIII.3. Значения коэффициентов и показателей степеней C_v, x_v, y_v и m для продольно-строгальных станков при обработке без охлаждения

Материал режущей части резцов	Обрабатываемый материал	Подача, мм/дв. ход	C_v	x_v	y_v	m
Быстрорежущая сталь	Сталь, алюминиевые и магниевые сплавы	$\leq 0,25$	52,5	0,25	0,50	0,1
		$> 0,25$	42,0		0,66	
	Ковкий чугун	$\leq 0,25$	42,6	0,20	0,40	0,15
		$> 0,25$	24,5			
	Серый чугун и медные сплавы	Получистовая	34,2	0,15	0,30	—
		Грубая	32,6		0,40	
Твердый сплав	Чугун и медные сплавы	$\leq 0,3$	126	0,22	0,50	0,2
		$> 0,3$	112			
	Титановый сплав ВК-4 с $\sigma_B = 1000$ МПа	0,08—0,4	97	0,06	0,3	0,33
	Сталь, алюминиевые и магниевые сплавы	$\leq 0,30$	242	0,18	0,20	0,15
		0,3—0,75	267		0,35	
		$> 0,75$	259		0,45	0,2
	Жаропрочные сплавы 4Х12, Н8Г8МБ	Черновая и чистовая	190	0,20	0,25	0,20

Примечание. Значения C_v приведены для обработки конструкционных материалов без корки твердостью HB 190—210 резцами сечением 30×20 мм с углами плоской передней грани $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$ для быстрорежущих и $\phi = 15^\circ$ для твердосплавных резцов с $v = 2$ мм.

Показатель степени n зависит от обрабатываемого материала. При обработке углеродистых сталей n составляет 1,0 (твердость $HB < 130$) и 1,75 (твердость $HB > 130$). Для легированных сталей, чугуна, медных сплавов n равно 1,5, жаропрочных сплавов — 0.

Глубина резания t определяется припуском на обработку, $t = 1...20$ мм. Следует стремиться вести обработку за один проход или сокращать число проходов. Минимальное количество проходов определяется мощностью станка и точностью обработки.

Подача при строгании и долблении измеряется в миллиметрах на двойной ход ползуна или стола (мм/дв.ход). Подачу рекомендуют выбирать для данных условий обработки максимально возможную. Оптимальным для строгальных резцов считают период стойкости $T = 120$ мин [3]. Поправочный коэффициент

$$K_t = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 K_9 K_{10}.$$

Коэффициенты $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}$ учитывают влияние соответственно поперечных размеров резца, главного угла в плане ϕ , вспомогательного угла в плане ϕ_1 , радиуса r при вершине резца, материала режущей части, вида обрабатываемого материала, вида заготовки и состояния ее по-

верхностного слоя, формы передней поверхности, длины хода и перебега, а также ударной нагрузки.

Для вычисления коэффициентов используют формулы

$$K_1 = (q/20 \cdot 30)^{\frac{1}{2}},$$

$$K_2 = (45/\varphi)^{\frac{1}{2}},$$

$$K_3 = (a/\varphi_1)^{0,09},$$

$$K_4 = (r/2)^{\frac{1}{4}},$$

где q — площадь поперечного сечения реза, мм.

Для стали показатель степени $\xi = 0,08$, для чугуна $\xi = 0,04$. Значения коэффициента χ приведены в табл. XIII.4. При обработке резами из быстрорежущей стали $a = 10$, из твердых сплавов $a = 15$. Показатель сте-

XIII.4. Значения показателя χ

Обрабатываемый материал	Материал реза	χ
Сталь, алюминиевые и магниевые сплавы	Быстрорежущая сталь	0,6
	Твердый сплав ТВК	0,3
Чугун	Быстрорежущая сталь	0,45
Все металлы	Твердый сплав группы ВК	

XIII.5. Значения коэффициента K_5

Материал режущей части	Обрабатываемый материал	K_5
Быстрорежущая сталь	Все металлы	1,0
Сплав ВК8	Чугун и твердые материалы	1,0
» ВК6		1,1
» ВК3		1,26
» Т5К10	Сталь	0,7
» Т14К8		0,85
» Т15К6		1,0
» Т30К4		1,5

пени μ для черновой, полустрогальной обработки стали, алюминиевых и магниевых сплавов, а также для полустрогальной обработки чугуна и медных сплавов равен соответственно 0,1; 0,2 и 0,08.

Значения коэффициентов K_3 приведены в табл. XIII.5.

Значения коэффициента K_6 зависят от обрабатываемого материала. Для углеродистой стали он составляет 1,0 (при содержании углерода $< 0,6\%$) и 0,85 (если углерода $> 0,6\%$); автоматной — 1,2; хромистой, хромоникелевой, никелевой, молибденовой, хромомолибденовой — 1,1; низко- и высоколегированной быстрорежущей нержавеющей — 0,65; марганцевистой, хромомарганцевой, хромокремнемарганцевой, хромокремнемолибденовой, хромоалюминиевой — 0,9; инструментальной хромовой и вольфрамовой — 0,75. При обработке серого и ковкого чугуна и медных сплавов K_6 равен 1,0; алюминия и силумина — 5,0. Для дуралюмина с $\sigma_b = 250; 350$ и 350 МПа K_6 составляет соответственно 6; 5 и 4.

Для холоднокатаного материала K_7 составляет 1,12, горячекатаного нормализованного — 1,0, отожженного — 0,9. При обработке стали без окалина K_7 составляет 1,0, с окалиной — 0,9. Для обработки чугуна без корки $K_7 = 1$, с коркой при твердости HVB 160, 160—200 и 200 коэффициент составляет соответственно 0,7; 0,8 и 0,9. Если передняя поверхность плоская, радиусная, с фаской, плоская с отрицательным передним углом ($\gamma = 5...10^\circ$ и $\lambda = 5...12^\circ$), то K_8 равен соответственно 1,0; 1,05; 1,15 и 1,20. При длине хода 50—550 мм и перебеге инструмента 35—75 мм $K_9 = 1,18...0,87$ мм. Для продольно-строгальных, поперечно-строгальных и долбежных K_{10} составляет соответственно 1,0; 0,8 и 0,6.

Полученная по формулам скорость резания уточняется по паспорту станка. На современных строгальных станках она не должна превышать 80 м/мин.

Подачу выбирают в зависимости от вида обработки, обрабатываемого материала, глубины резания и сечения державки резца (табл. XIII.6 и XIII.7).

XIII.6. Подачи при черновой обработке плоскостей на строгальных и долбежных станках, мм/дв. ход

Обрабатываемый материал	Станки					
	продольно-строгальное			поперечно-строгальные и долбежные		
	Глубина резания, мм					
	8	8—12	12—20	3	3—5	5—8
Сталь с $\sigma_b < 800$ МПа Чугун и медные сплавы	0,9—3,5	0,5—2,2	0,4—1,4	1,0—2,0	0,5—1,6	0,3—1,2
	1,6—4,0	1,1—3,0	0,8—2,4	1,2—2,0	0,9—2,0	0,6—1,6

XIII.7. Подачи для прорезки пазов и отрезки на строгальных и долбежных станках, мм/дв. ход

Обрабатываемый материал	Ширина резца, мм			
	5	5—10	10—16	16—20
Сталь	0,16—0,18	0,20—0,27	0,27—0,38	0,40—0,48
	0,12—0,14	0,15—0,20	0,18—0,22	0,18—0,22
Чугун и медные сплавы	0,28—0,35	0,35—0,50	0,50—0,70	0,70—0,85
	0,22—0,27	0,28—0,32	0,30—0,36	0,35—0,40

Примечание. 1. В числителе приведены подачи при работе на продольно-строгальных станках, в знаменателе — на поперечно-строгальных и долбежных.

Скорость резания выбирается в зависимости от глубины резания, подачи, свойств обрабатываемого материала и режущего инструмента. Учитывается и ряд других факторов. При обработке стали резцами из быстрорежущей стали выбирают глубину резания $t = 0,9...23$ мм, подачу $s = 0,3...4,7$ мм/дв. ход, скорость резания $v = 4...70$ м/мин.

При обработке чугуна резцами из быстрорежущей стали $t = 1,1...40$ мм, $s = 0,28...5,6$ мм/дв. ход, $v = 6...45$ м/мин, резцами из твердого сплава — $t = 0,8...20$ мм, $s = 0,56...6$ мм/дв. ход, $v = 18...70$ м/мин.

Поправочные коэффициенты

Для учета изменяющихся условий обработки вводятся поправочные коэффициенты на величину скорости резания.

Коэффициент K_{ϕ_v} учитывает влияние главного угла в плане ϕ . При ϕ , равном 30; 45; 60; 75; 90, K_{ϕ_v} составляет соответственно 1,25; 1; 0,85; 0,75 и 0,65.

Коэффициент K_{n_0} учитывает влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания. Для обработки отливок без корки и проката с коркой $K_{n_0} = 0,9$, для обработки отливок и поковок с коркой $K_{n_0} = 0,85 \dots 0,8$.

Коэффициент K_{c_0} учитывает влияние вида обработки на скорость резания.

При поперечном строгании плоскостей K_{c_0} составляет 0,8, долблении — 0,7, при обработке пазов на долбежных станках — 0,6.

Коэффициент K_{T_0} учитывает влияние стойкости резца на скорость резания. При стойкости T , равной 60, 180 и 240 мин, K_{T_0} составляет соответственно 1,1; 0,95 и 0,9.

Сила резания, возникающая в процессе обработки, рассчитывается по формуле

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} HB^{n_{P_z}} K_{i_z}.$$

Значения коэффициента C_{P_z} и показателей степени приведены в табл. XIII.8.

Коэффициент K_{i_z} равен произведению коэффициентов:

$$K_{i_z} = K_m K_\phi K_r K_T K_h,$$

где K_m , K_ϕ , K_r , K_T и K_h — коэффициенты, учитывающие соответственно влияние свойств обрабатываемого материала, главного угла в плане (табл. XIII.9), влияние радиуса r вершины резца, $K_r = (r/2)^x$, переднего угла и степени износа h_3 (табл. XIII.10).

XIII.8. Значения коэффициента C_{P_z} и показателей степени x_{P_z} , y_{P_z} и n_{P_z}

Тип резцов	Твердость HB обрабатываемого материала	C_{P_z}		x_{P_z}	y_{P_z}
		Сталь, алюминиевые и магниевые сплавы	Чугун и медные сплавы		
Проходные	≤ 170	27,90	6,35	1,0	0,75
	> 170	3,57	5,14		
Прорезные и отрезные	≤ 170	34,42	8,82	1,0	1,0
	> 170	4,42	8,82		

Примечание. Величина показателей степени n_{P_z} при HB для всех типов резцов при обработке стали твердостью HB ≤ 170 составляет 0,35, твердостью HB > 170 — 0,75. Для обработки чугуна $n_{P_z} = 0,55$.

XIII.9. Значения коэффициента K_ϕ

Обрабатываемый материал	Главный угол ϕ в плане, ...°				
	30	45	60	75	90
Сталь, алюминиевые и магниевые сплавы	1,08	1,0	0,98	1,03	1,08
Чугун и медные сплавы	1,05	1,0	0,96	0,91	0,92
Жаропрочные сплавы	1,08	1,0	0,94	0,91	0,89

ХIII.10. Значения коэффициента K_h

Материал	h_z	K_h	Материал	h_z	K_h
Сталь и ковкий чугун	0	1,0	Серый чугун	0	0,81
	0,5	0,93		1,0	0,82
	1,0	0,96		2,0	0,83
	1,5	0,98		3,0	0,90
	2,0	1,0		4,0	1,0

При обработке стали, алюминиевых и магниевых сплавов $x = 0,1$; при обработке чугуна и медных сплавов $x = 0,07$.

Для горячекатаной, отожженной, нормализованной и термически обработанной (подвергнутой закалке и высокому отпуску) сталей K_m составляет 1,0; алюминия и силумина — 0,20. При обработке дуралюмина с $\sigma_b = 160...350$ МПа $K_m = 0,15...0,40$, с $\sigma_b > 350$ МПа $K_m = 0,55$.

Значение коэффициента K_f приведены ниже:

Передний угол γ , ...°	—8	—6	—4	—2	0	+2	+4	+6	+8
K_f	1,10	1,075	1,05	1,025	1,0	0,975	0,95	0,925	0,90

Мощность резания при строгании

$$N_{рез} = P_z v_{рх} / 60 \cdot 102.$$

Полученное значение мощности сравнивается с эффективной мощностью станка:

$$N_{рез} \leq N_{э} = N_{э.с} \eta,$$

где $N_{э}$ — эффективная мощность, кВт; $N_{э.с}$ — мощность электродвигателя станка (определяется по паспорту станка), кВт; η — КПД станка.

2. ОБРАБОТКА НА ПРОТЯЖНЫХ СТАВКАХ

Протягивание применяют для обработки внутренних и наружных простых и сложных сквозных поверхностей деталей машин с точностью до 6—7-го квалитетов и шероховатостью обработанных поверхностей $Ra = 1,6...0,2$ мкм.

В зависимости от положения обрабатываемых протягиванием поверхностей относительно базовых, различают свободное и координатное протягивание.

Метод свободного протягивания применяют для обработки разнообразных по форме и размерам внутренних поверхностей деталей машин в виде отверстий, пазов и т. д.

Метод координатного протягивания используют в тех случаях, когда необходимо получить не только требуемые форму и размеры данной поверхности, но и ее точное расположение относительно базовой поверхности.

При протягивании различают профильную, генераторную и прогрессивную схемы резания. Выбор схемы резания определяется геометрической формой, размерами, физико-механическими свойствами поверхностного слоя заготовки до и после протягивания, технологическими условиями изготовления протяжек.

Профильную схему резания применяют при обработке поверхностей с повышенными требованиями по точности размеров, формы и высоте шерохо-

ватости; генераторную — преимущественно для протягивания профильных поверхностей; прогрессивную — при обработке заготовок с литейной или ковкой коркой, а также в случае срезания больших припусков на обработку.

Протяжки

Различают два основных вида протяжек: для внутреннего и наружного протягивания.

Внутренние протяжки состоят из передней замковой части, шейки, передней направляющей, режущей, переходной, калибрующей, задней направляющей и задней замковой частей (рис. XIII.2).

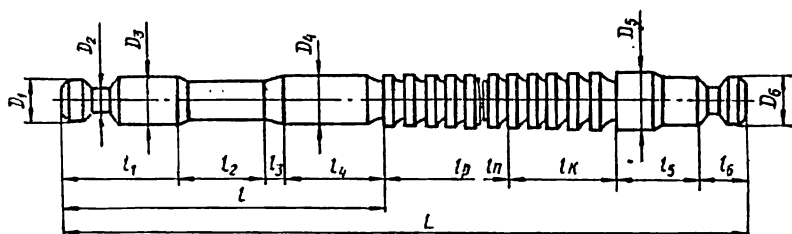


Рис. XIII.2. Элементы внутренней протяжки.

Передняя замковая часть в зависимости от типа внутренних протяжек выполняется цилиндрической и призматической форм. Замковую часть цилиндрической формы имеют круглые, шлицевые, многогранные протяжки; призматической формы — шпоночные и прямоугольные.

Диаметр передней замковой части определяют по формуле $D_1 = D_0 - (0,5...2)$, где D_0 — диаметр отверстия заготовки до протягивания, мм. Размер l_1 передней замковой части зависит от конструкции патрона.

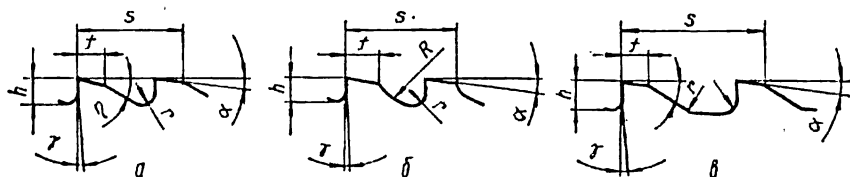


Рис. XIII.3. Основные профили зубьев протяжек.

Шейка протяжки служит для соединения передней замковой части с ее рабочей частью. Длина $l_2 \geq A + B + C$, где A — минимальное расстояние между патроном и столом протяжного станка; B — толщина стола; C — высота приспособления. Размеры шейки в поперечном сечении на 0,5—1 мм меньше размеров передней замковой части.

Длина передней направляющей части $l_3 = l_0 + (0,6...0,9)\sqrt{L_0}$, где l_0 — длина протягиваемого отверстия.

Режущая часть протяжки состоит из определенного числа режущих зубьев. Основные формы зубьев приведены на рис. XIII.3.

Зубья с прямой спинкой (рис. XIII.3,а) применяют преимущественно при обработке хрупких материалов, с криволинейной (рис. XIII.3,б) — при обработке вязких материалов с большими толщинами среза. Удлиненная

форма зуба (рис. XIII.3, *а*) необходима для обработки глубоких отверстий и прерывистых поверхностей.

Размеры элементов зубьев определяют по следующим зависимостям [3]: $t = (2,5...4)h$; $r = (0,5...0,6)h$; $f = (0,3...0,4)t$, где t — шаг зубьев; h — высота зубьев; r — радиус впадины; f — ширина затылка. Угол наклона прямойлинейной спинки $\eta = 45...50^\circ$, радиус дуги окружности спинки $R = (0,5...0,7)t$.

Передний угол γ устанавливают в зависимости от свойств обрабатываемого материала и назначения зуба (табл. XIII.11).

Величина заднего угла α зубьев зависит от типа протяжек и назначения зубьев (табл. XIII.12).

XIII.11. Величина переднего угла зубьев протяжек, ...°

Обрабатываемый материал	Зубья	
	режущие	калибрующие
Сталь с σ_B , МПа:		
<600	16—20	5
<1000	12—15	
>1000	8—10	
Серый чугун с твердостью HB:		
<140	8—10	—5
140...180	8	
>180	5—8	
Ковкий чугун	10	5
Алюминий и его сплавы, красная медь, баббит	20—25	20
Бронза, латунь	5	—10

Примечания: 1. Калибрующие зубья уменьшают путем дополнительной их заточки на длине 0,5—1 мм.

2. Отрицательный передний угол затачивается на калибрующих зубьях в виде фаски на длине 0,5—1 мм.

XIII.12. Величина заднего угла α зубьев протяжек

Типы протяжек	$\alpha, \dots^\circ$		Допуск на величину заднего угла $\alpha, \dots^\circ$
	Вид зубьев		
	Режущие	Калибрующие	Калибрующие
Круглые и шлицевые	2—3	1	± 15
Шпоночные		2	± 30
Наружные регулируемые	3—4	3—4	± 15
Наружные перегуливаемые		1—2	

Примечание. Допуск на величину заднего угла α режущих зубьев составляет $\pm 30^\circ$.

Размеры режущей части по длине определяются толщиной среза, возможностью свободного размещения стружки во впадине зуба, центрированием и направлением протяжки, ее прочностью по опасному сечению, тяговым усилием станка.

Допустимую толщину среза (подачу или подъем на зуб) предварительно выбирают, исходя из схемы резания, свойств обрабатываемого материала, шероховатости протянутой поверхности, состояния режущего лезвия. Как правило, минимально допустимая толщина среза $s_{\min} = 0,02$ мм [53]. При повышенных требованиях к затачиванию режущих зубьев $s_{\min} = 0,01$ мм.

Максимальная подача (толщина среза), обеспечивающая шероховатость поверхности $Ra = 0,8 \dots 1,6$, при обработке основных видов материалов по профильной или генераторной схемам резания с прямолинейным режущим периметром приведена в табл. XIII.13.

XIII.13. Максимальная подача (толщина среза) на зуб протяжки

Обрабатываемый материал	$s_{\max}$, мм	Обрабатываемый материал	$s_{\max}$, мм
Сталь с σ_B , МПа:		Ковкий чугун	0,10
<600	0,07	Алюминий и его сплавы, красная медь, баббит	0,10
600—1000	0,10	Бронза, латунь	0,20
>1000	0,15	Жаропрочные сплавы типа ЭИ766, ЭИ826, ЭИ827	0,03—0,08
Серый чугун с твердостью HB:		Титановые сплавы	0,06—0,12
<140	0,10		
140...180	0,15		
>180	0,20		

Для зубьев с криволинейным режущим периметром максимальную величину подачи определяют с учетом поправочного коэффициента 0,6—0,8, выбираемого в зависимости от кривизны режущего периметра.

Высота зубьев, необходимая для свободного размещения стружки в канавке зуба [29],

$$h = \sqrt[3]{Ksl_0/C},$$

где l_0 — длина протягивания; K — коэффициент плотности укладки стружки в канавке зуба (табл. XIII.14); C — коэффициент размещения стружки в канавке зуба (при обработке вязких материалов $C = 0,785$, хрупких материалов — $C = 1,0$).

XIII.14. Минимально допустимая величина коэффициента K для зубьев протяжки с прямолинейной спинкой

Подача на один зуб, мм	Обрабатываемый материал				
	Сталь с σ_B , МПа			Чугун, бронза, латунь	Медь, алюминий и его сплавы
	600	60—100	100		
< 0,03	3	2,5	3	2,5	2,5
0,03—0,07	4	3	3,5	2,5	3
> 0,07	4,5	3,5	4	2	3,5

Для зубьев с криволинейной спинкой при протягивании по прогрессивной схеме резания стали коэффициент K зависит от подачи на зуб s_z :

s_z	K	Центрирование и направление протяжки определяется числом зубьев, одновременно находящихся в контакте с обрабатываемой поверхностью. Минимальное число зубьев, находящихся в контакте с обрабатываемой поверхностью заготовки,
0,07—0,10	3	
0,10—0,15	2,5	
0,15—0,4	2,2	

$$z_0 = l_0 / (t - 0,4).$$

Для обеспечения требуемых условий центрирования и направления протяжки необходимо, чтобы выполнялось условие $z < z_0 < 6$.

Шаг зубьев из условия центрирования

$$t = \frac{l_0}{z_0} + 0,4.$$

Число режущих зубьев

$$z_p + \frac{A}{s_z} + (1 \dots 2),$$

длина режущей части протяжки,

$$l_p = t(z_p - 1),$$

где A — припуск на сторону, срезаемый режущими зубьями, мм; s_z — подача на зуб, мм; t — шаг режущих зубьев, мм.

Для облегчения образования и удаления стружки на режущих зубьях протяжек в шахматном порядке вышлифовываются стружкоделительные канавки.

На круглых протяжках расстояние между канавками делают равным примерно 0,15—0,3 диаметра протяжки, но не более 10 мм.

На шпоночных, шлицевых и многогранных протяжках стружкоразделительные канавки располагают так, чтобы расстояние между ними на одном зубе не превышало 5 мм. При длине кромок менее 5 мм вместо стружкоразделительных канавок на одной стороне зуба выполняют чередующиеся фаски.

Чтобы не ослаблять лезвие, расстояние от края главных режущих лезвий до первой канавки выбирают не меньше 2 мм.

Подачу на зубья переходной части (толщина среза) постепенно уменьшают по сравнению с подачей на режущие зубья на $\Delta s_z = 0,02 \dots 0,01$ мм так, чтобы последний зуб переходной части имел подачу 0,02—0,01 мм.

Форма и размеры зубьев на переходной части такие же, как и у зубьев режущей части. Число зубьев $z_n = s_z / \Delta s_z$, длина переходной части $l_n = z_n t$.

Длина калибрующей части $l_k = t_k z_k$, число зубьев на ней $z_k = 4 \dots 8$.

Здесь t_k — шаг калибрующих зубьев, который принимают равным шагу режущих зубьев t_p . Для точных отверстий $t_k = (0,6 \dots 0,7) t_p$.

Минимально необходимое число калибрующих зубьев в зависимости от требуемой точности обработки составляет 2—5 шт.

Диаметр для всех калибрующих зубьев D_k одинаков. Он равен наибольшему диаметру заданного для обработки отверстия $D_{\max}$. С учетом деформации δ диаметр $D_k = D_{\max} \pm \delta$. «Разбивание» отверстий (знак минус) бывает при обработке толстостенных изделий. Деформация δ составляет 0,005—0,010 мм при длине протяжки $l < 800$ мм и 0,01—0,015 мм при $l > 800$ мм. Усадка отверстия (знак плюс) получается при обработке тонкостенных деталей. Для стали Ст3 и Ст5 $\delta = 0,3D - 1,4a$, для стали 40Х, 18ХНМБА $\delta = 0,6D - 2,8a$, где a — толщина стенок, мм.

Углы заточки калибрующих зубьев приведены в табл. XIII.11 и XIII.12.

Длина протяжки

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_p + l_n + l_k + l_4 + l_5,$$

где $l_1, l_2, l_3, l_p, l_n, l_k, l_4$ и l_5 — длины соответственно передней замковой части, шейки, передней направляющей, режущей, переходной, калибрующей, задней направляющей и задней замковой части.

Протяжка проверяется на прочность по опасному сечению. Условие прочности внутренних протяжек:

$$P_z/F_0 \leq [\sigma]_p,$$

где P_z — главная составляющая силы резания, Н; F_0 — площадь поперечного сечения в опасном месте протяжки, мм²; $[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение на растяжение материала протяжки. Па [52].

Сила резания

$$P_z = P_z l = (C_1 s_z^x + C_2 K + C_3 v + C_4 \gamma + C_5 \alpha) l K_h,$$

где P_z — усилие резания, действующее вдоль оси протяжки на 1 мм длины режущей кромки работающих зубьев протяжки; K — число стружкоделительных канавок, одновременно участвующих в работе; K_h — коэффициент, учитывающий увеличение усилия резания вследствие износа по задней грани, при износе 0,4 мм $K_h = 1,15$; s_z — подача; v — скорость резания; γ, α — передний и задний углы режущих зубьев протяжки; l — периметр режущих кромок всех одновременно работающих зубьев, мм.

Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 и показателя степени x при протягивании со смазкой сульфорефрезолом приведены в табл. XIII.15.

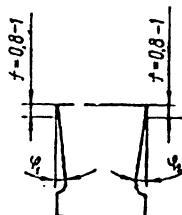
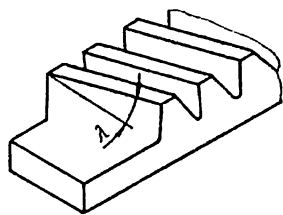
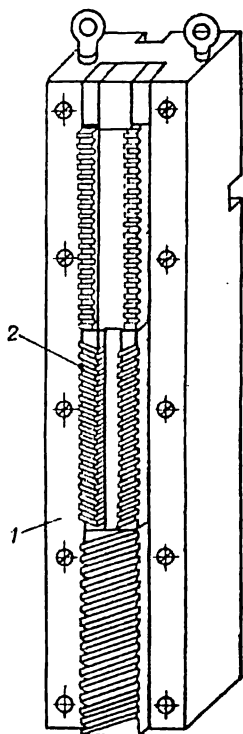


Рис. XIII.4. Конструкция наружной протяжки.

Рис. XIII.5. Элементы наружных протяжек.

Прошивки используются для обработки отверстий на прошивочных прессах и вертикальных протяжных станках для внутреннего протягивания.

Прошивки имеют те же конструктивные элементы, что и внутренние протяжки, за исключением замковых частей и шейки. Прошивки работают на сжатие. Расчет их режущей и калибрующей частей производят так же, как и для протяжек.

Типовая конструкция наружной протяжки для вертикальных станков показана на рис. XIII.4.

Наружные протяжки состоят из следующих частей: секций протяжки 2, корпуса 1, элементов крепления и регулирования секций в корпусе, элементов присоединения протяжки к инструментальной каретке станка.

Основные параметры частей наружных протяжек (форма и размеры зубьев, их число) определяют так же, как и для внутренних протяжек.

XIII.15. Значения коэффициентов C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 и показатели степени x

Обрабатываемый материал	C_1	C_2	C_3	C_4	Обрабатываемый материал	C_1	C_2	C_4	C_5
Сталь:					ХКМ	170	0,088	0,25	0,13
20	115	0,06	0,20	0,12	ОХМ	190	0,106	0,28	0,14
35	160	0,08	0,24	0,13	ОХНЗМ	250	0,125	0,37	0,14
45	220	0,108	0,32	0,14	Чугун с твер-				
20Х	265	0,137	0,40	0,15	достью:				
40Х	230	0,117	0,34	0,14	средней	140	0	0,25	0,13
20Х и 40Х	300	0,158	0,46	0,16	повышенной	170	0	0,30	0,14
(улучшенная)									

Примечание. Для сталей и чугунов, приведенных в таблице, $C_5 = 0,57$, $x = 0,85$.

Передний угол γ наружных протяжек задается в плоскости, перпендикулярной к главному режущему лезвию. Величина заднего угла α определяется в плоскости, совпадающей с траекторией рабочего движения рассматриваемой режущей точки.

В большинстве конструкций протяжек угол наклона режущего лезвия $\lambda = 0$ (рис. XIII.5,а). В ряде конструкций с целью обеспечения равномерности распределения силы резания принимают $\lambda = 10...30^\circ$ [9].

Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 1...30^\circ$ (рис. XIII.5).

Выбор марки инструментального материала

Протяжки изготовляют в основном из инструментальной быстрорежущей и легированной стали.

В последнее время получили широкое распространение протяжки, оснащенные твердым сплавом [36]. Твердость всех зубьев протяжек, изготовленных из легированных инструментальных сталей, должна составлять $HRC\ 61-64$, а из быстрорежущей стали $HRC\ 62-65$.

Марки инструментального материала для протяжек в зависимости от обрабатываемого материала представлены в табл. XIII.16.

XIII.16. Инструментальные материалы для изготовления протяжек

Обрабатываемый материал	Протягивание простых цилиндрических, шпоночных и плоских поверхностей	Протягивание простых шлицевых, квадратных, профильных поверхностей
Углеродистая и легированная конструкционные стали с твердостью $HV\ 240-250$, преимущественно в горячекатаном, отожженном и нормализованном состоянии	P9; P6M5; 10P6M5; 9XBG; XBG; XГ; T5K10; T14K8; BK6M	P9; P6M5; 10P6M5; P6M5K5; 9XBG; XBG
Легированная конструкционная сталь в термообработанном состоянии (главным образом после закалки с высоким отпускком) с твердостью $HV\ 240-302$; легированная и быстрорежущая сталь в отожженном состоянии	P9; P6M5K5; 10P6M5; P12Ф3; P12Ф2M3K8; T14K8; BK6M	P18; P9; P6M5; 10P6M5; P6M5K5; P12Ф3

Обрабатываемый материал	Протягивание простых цилиндрических, шпоночных и плоских поверхностей	Протягивание простых шлицевых, квадратных, профильных поверхностей
Чугун с твердостью HB: <220	P9; P6M5; 10P6M5; 9XBG; XГ; XBG; BK10M	P9; P12Ф3; P6M5; 10P6M5; P6M5K5; 9XBG; XBG
>220	P9; P6M5K5; P6M5; 10P6M5; XBG; BK6M; BK8; BK8M; BK10M	P18; P9; P6M5; 10P6M5; P6M5K5; P12Ф3
Цветные металлы и сплавы	P9; P6M5; P6M5125; 10P6M5; 9XBG; XBG; XГ; BK6M; BK8; BK8M	P9; P6M5; P6M5K5; 10P6M5; P12Ф3; 9XBG; XBG
Жаропрочные стали и сплавы	P18; P9Ф5; BK8M; P12Ф2	P12Ф3; 10P6M5; M3K8
Титановые сплавы	P18; P9Ф5; P12Ф2M3K8; P9K10; BK6M	P9K5; BK8M

Основные расчетные зависимости для определения режимов резания

Скорость резания рассчитывают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, требований к стойкости инструмента, точности и шероховатости протянутых поверхностей по формуле

$$v = K_u C_v / T^{m_{sz}} \varphi_v,$$

где C_v — коэффициент пропорциональности; m , φ_v — показатели степени (табл. XIII.17), K_u — коэффициент, учитывающий влияние инструменталь-

XIII.17. Значения коэффициента C_v и показателей степени m и y

Обрабатываемый материал	Твердость HB	Протяжки											
		Круглые			Шлицевые			Шпоночные					
								$s_z < 0,07$ мм			$s_z > 0,07$ мм		
		C_v	m	y	C_v	m	y	C_v	m	y	C_v	m	y
Углеродистая конструкционная сталь*	200	16,8	0,62	0,62	15,5	0,60	0,75	9,8	0,87	1,4	7,7	0,87	1,4
	200—230	15,5	0,62	0,62	14,0	0,60	0,75	8,8	0,87	1,4	7,0	0,87	1,4
	230	11,2	0,62	0,62	10,2	0,60	0,75	6,3	0,87	1,4	5,0	0,87	1,4
Легированная конструкционная сталь*	200	15,5	0,62	0,62	14,0	0,60	0,75	8,8	0,87	1,4	7,0	0,87	1,4
	200—230	11,2	0,62	0,62	10,2	0,60	0,75	6,3	0,87	1,4	5,0	0,87	1,4
	230	9,8	0,77	0,80	7,7	0,50	0,50	4,8	0,87	1,4	3,8	0,87	1,4
Серый чугун	200	14,0	0,5	0,6	17,5	0,5	0,6	6,2	0,60	0,95	6,2	0,60	0,95
	200	11,5	0,5	0,6	14,7	0,5	0,6	5,1	0,60	0,95	5,1	0,60	0,95

* Охлаждение сульфидрезолом.

ного материала (для сталей ХВГ, Р9, Р18 и сплава ВК8 составляет соответственно 1,0; 1,2; 1,4 и 1,8—2); $K_u = 1,4$ (для ВК8 $K_u = 1,8...2$); T — период стойкости, мин; s_z — подача на зуб, мм.

Выбирая скорость резания, следует учитывать, что при обработке обычных материалов протяжками из инструментальной стали повышение скорости резания от 1—2 до 5—6 м/мин ведет к некоторому увеличению шероховатости поверхности.

Скорость резания при обработке стали и чугуна протяжками из быстрорежущей стали или легированной инструментальной стали составляет от 2 до 10 м/мин. Применение протяжек из быстрорежущей стали Р18К5Ф2 позволяет повысить скорость резания до 24—30 м/мин. Шероховатость поверхности с повышением скорости резания сверх 30 м/мин уменьшается.

Скорость резания твердосплавными протяжками из сплавов ТТ7К12, Т5К12В, Т5К10, Т14К8, ВК6М, ВК10М и ВК8М при оптимальной их стойкости находится в пределах 25—50 м/мин.

Снижение скорости резания ниже 25 м/мин или ее увеличение свыше 50 м/мин приводит к уменьшению линейной стойкости [2].

Мощность резания при протягивании

$$N_{\text{рез}} = P_z v / 60 \cdot 102,$$

где P_z — сила резания; v — скорость резания.

Полученная мощность резания $N_{\text{рез}}$ должна быть меньше или равна эффективной мощности станка:

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{э}} = N_{\text{эд}} \eta,$$

где $N_{\text{эд}}$ — мощность электродвигателя станка; η = КПД станка, $\eta = 0,75...0,9$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / Под ред. А. Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. 392 с.
2. Автоматизация и механизация протяжных работ/ В. Ф. Скиженко, Н. В. Лебедь, Н. И. Ковзель и др. М.: Машиностроение, 1974. 200 с.
3. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1976. 400 с.
4. Баженов М. Ф., Байчман С. Г., Карпачев Д. Г. Твердые сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1978. 184 с.
5. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
6. Вульф А. М. Резание металлов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1973. 496 с.
7. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1975. 584 с.
8. Геллер Ю. А. Современные инструментальные стали для режущих инструментов и их термическая обработка. М.: Машиностроение, 1972. 47 с.
9. Гольдштейн Я. Е., Заславский А. Я. Конструкционные стали повышенной обрабатываемости. М.: Металлургия, 1977. 248 с.
10. Горанский Г. К., Владимиров Е. В., Ламбин Л. И. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1970. 222 с.
11. Грабченко А. И., Муковоз Ю. А. Новые виды лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов. К.: Об-во «Знание», СССР, 1979. 23 с.
12. Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали: Справочник. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
13. Дибнер Л. Г., Шуруин Ю. П. Заточка спиральных сверл. М.: Машиностроение, 1967. 154 с.
14. Дунин-Барковский И. В., Карташова А. Н. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 231 с.
15. Иванов В. А., Любимов В. Е. Вероятностная методика сравнительного анализа микропрофилей обработанных поверхностей.— Метрология, 1980, № 6, с. 35—40.
16. Инструментальные стали: Справочник. М.: Металлургия, 1977. 168 с.
17. Лошак М. Г., Александрова Л. И. Упрочнение твердых сплавов. К.: Наук. думка, 1977. 147 с.
18. Лурье Г. Б. Новые инструментальные материалы и конструкции резцов. М.: Высш. школа, 1977. 55 с.
19. Справочник: Магниево-сплавов. Ч. 2. Технология производства в свойствах отливок и деформированных полуфабрикатов / Под ред. И. И. Гурьева, М. В. Чухрова. М.: Металлургия, 1978. 296 с.
20. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
21. Марочник стали для машиностроения. М.: НИИмаш, 1968. 598 с.
22. Марочник стали и сплавов. М.: ЦНИИТмаш, 1971. 483 с.
23. Маскаев А. К., Лебедев Е. В., Малиновский Г. Т. Разработка и применение смазочно-охлаждающих технологических средств для обработки металлов резанием и давлением. К.: О-во «Знания» УССР, 1978. 44 с.
24. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
25. Материалы в машиностроении. Выбор и применение: Справочник. Г. 1. Цветные металлы и сплавы / Под ред. Л. П. Лужникова. М.: Машиностроение, 1967. 304 с.

26. Материалы в машиностроении. Выбор и применение: Справочник. Т. 4. Чугун / Под ред. А. А. Жукова, А. Д. Шермана. М.: Машиностроение, 1969. 248 с.
27. Машиностроительные материалы: Крат. справ. / Под ред. В. М. Раскатова. М.: Машиностроение, 1980. 511 с.
28. Муха И. М., Любимов В. Е. Технология изготовления твердосплавных деталей и инструмента. К.: Техніка, 1980. 191 с.
29. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. Г. А. Монахова. М.: Машиностроение, 1974. 600 с.
30. Обработка резанием высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей / Под ред. П. Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1980. 168 с.
31. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. 1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. / НИИтруда. — М.: Машиностроение, 1974. 406 с.
32. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. 2. Зуборезные горизонтально-расточные, резбонакатные и отрезные станки. / НИИтруда. — М.: Машиностроение, 1974. 200 с.
33. Общемашиностроительные укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Ч. 2. Сверлильные и фрезерные станки. / НИИтруда. — М.: Машиностроение, 1973. 396 с.
34. Пикус М. Ю., Пикус И. М. Справочник фрезеровщика. Минск: Высшая школа, 1975. 304 с.
35. Подураев В. Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. 304 с.
36. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Высш. школа, 1974. 587 с.
37. Полевой С. Н., Евдокимов В. Д. Обработка инструментальных материалов: Справочник. К.: Техніка, 1980. 150 с.
38. Применение инструмента из эльбора в промышленности: Рук. материалы. М.: НИИмаш, 1974. 96 с.
39. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки металлов резанием в станкостроительной и инструментальной промышленности: Рук. материалы. М.: НИИмаш, 1971. 175 с.
40. Применение СОЖ при обработке резанием: (Опыт Волжск. автомоб. з-да им. 50-летия СССР). М.: НИИмаш, 1975. 87 с.
41. Развитие науки о резании металлов / Под общ. ред. Н. Н. Зорева. М.: Машиностроение, 1967. 416 с.
42. Режимы резания металлов: Справочник / Под ред. Ю. В. Барановского. М.: Машиностроение, 1974. 407 с.
43. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров и др. М.: Машиностроение, 1976. 176 с.
44. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / Под общ. ред. П. Г. Петрухи. М.: Машиностроение, 1974. 616 с.
45. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
46. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты. К.: Вища школа, 1979. 432 с.
47. Сагарда А. А., Чеповецкий И. Х., Мишнаевский Л. Л. Алмазно-абразивная обработка деталей машин. К.: Техніка, 1974. 180 с.
48. Семенихин П. Г. Выбор рациональной шероховатости поверхности машин. М.: Машгиз, 1964. 103 с.
49. Смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. Рекомендации по применению. М.: НИИмаш, 1979. 95 с.
50. Смирнов С. В. Механизация расчетов норм времени в машиностроении. М.: Машиностроение, 1976. 88 с.

51. Современная обработка металлов и неметаллов резанием: Материалы семинара. М.: Машиностроение, 1973. 171 с.
52. Справочник металлиста. / Под ред. А. Г. Рахштадта, В. А. Бро-стрема. М.: Машиностроение, 1976.— Т. 2. 720 с.
53. Справочник нормировщика-машиностроителя. М.: Машгиз, 1961 — Т. 2. 468 с.
54. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1 / Под ред. А. Г. Коси-ловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1972. 694 с.
55. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / Под ред. А. Н. Ма-лова. М.: Машиностроение, 1972. 568 с.
56. Справочник технолога-приборостроителя. Т. 1 / Под ред. П. В. Сы-роватченко. М.: Машиностроение, 1980. 606 с.
57. Сулима А. М., Евстигнеев М. И. Качество поверхностного слоя и ус-талостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. М.: Ма-шиностроение, 1974. 256 с.
58. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. Ш. Лахтина, А. Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
59. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М. П. Клушина. М.: Машиностроение, 1979. 192 с.
60. Укрупненные нормативы времени для технического нормирования ра-бот, выполняемых на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках: Серийное пр-во. М.: Минстанкопром, 1979. 498 с.
61. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование. Л.: Машинострое-ние. Ленингр. отд-ние. 1979. 248 с.
62. Филоненко С. Н. Резание металлов. К.: Вища школа, 1969. 259 с.
63. Филоненко С. Н. Резание металлов. К.: Техніка, 1975. 232 с.
64. Худобин Л. В., Бордичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.
65. Хусу А. П., Витенбург Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатость поверх-ностей: Теоретико-вероятностный подход. М.: Наука, 1975. 343 с.
66. Якобсон М. О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке. М.: Машгиз, 1956. 292 с.

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Инструментальные материалы	4
1. Основные свойства	4
2. Инструментальные углеродистые стали	5
3. Инструментальные легированные стали	5
4. Инструментальные быстрорежущие стали	6
5. Металлокерамические твердые сплавы	10
6. Минералокерамические инструментальные материалы	20
7. Инструментальные материалы на основе минералов	20
Глава II. Параметры процесса резания	23
1. Рабочие движения	23
2. Параметры срезаемого слоя	24
3. Геометрические параметры режущего инструмента	31
Глава III. Характеристики процесса резания	34
1. Процесс стружкообразования	34
2. Определение сил резания	39
3. Силы, действующие на переднюю и заднюю поверхности инструмента	42
4. Тепловые явления при резании	44
5. Износ и стойкость режущего инструмента	46
6. Завивание и дробление стружки	61
Глава IV. Смазочно-охлаждающие технологические средства	65
1. Классификация	65
Эмульсионные СОЖ	66
Синтетические и полусинтетические, СОЖ	66
Масляные (углеводородные) СОЖ	66
2. Состав СОЖ и их применение	67
3. Способы подачи СОЖ в зону резания	74
Лезвийная обработка	74
Шлифование	75
4. Применение твердых, пластичных, импрегнирующих, воздушных и газообразных смазочно-охлаждающих средств	77
Глава V. Качество обработанной поверхности	79
1. Классификация параметров	79
2. Шероховатость обработанной поверхности	80
3. Направление неровностей	91
4. Деформационное упрочнение поверхностного слоя	91
5. Субструктура и кристаллическая структура поверхностного слоя	96
6. Остаточные напряжения в поверхностном слое	97
Глава VI. Расчет оптимальных режимов обработки	99
1. Выбор критерия оптимальности	99
2. Порядок расчета	100
Выбор инструмента	101
Выбор и настройка станка	101
3. Определение граничных условий	104
4. Выбор режимов резания по таблицам нормативов	107
5. Расчет оптимальных режимов резания на ЭВМ	108
Глава VII. Обрабатываемость материалов	111
1. Характеристики обрабатываемости	111
2. Методы определения обрабатываемости металлов	111
Определение обрабатываемости металлов по скорости резания методом продольного обтачивания	112

Определение обрабатываемости металлов по силам резания	113
Определение обрабатываемости по шероховатости, обработанной поверхности	113
3. Ускоренные методы определения обрабатываемости	113
4. Обрабатываемость различных материалов	115
Углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали	115
Нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы	122
Титановые сплавы	123
Чугун	123
Цветные металлы и сплавы	129
Глава VIII. Обработка на токарных станках	133
1. Инструменты для токарной обработки	133
2. Режимы резания	139
Глава IX. Обработка на сверлильных станках	143
1. Инструменты для сверлильных станков	143
2. Режимы резания	150
Глава X. Шлифование и доводка	161
1. Шлифовальные и доводочные инструменты	161
2. Характеристика алмазных и эльборовых абразивных инструментов	166
3. Виды и режимы абразивной и алмазно-абразивной обработок	172
Виды шлифования	172
Режимы резания при шлифовании	173
Силы резания и эффективная мощность при шлифовании	173
4. Хонингование	180
5. Суперфиниширование	182
6. Доводка	182
7. Полирование и ленточное шлифование	182
Глава XI. Обработка на зубо- и резьбообрабатывающих станках	186
1. Зубонарезание	186
2. Нарезание резьб	194
Глава XII. Фрезерование	198
1. Конструкции и геометрические параметры режущих инструментов	198
2. Выбор марки инструментального материала	204
3. Основные расчетные зависимости для определения режимов резания	206
Глава XIII. Обработка на строгальных, долбежных и протяжных станках	220
1. Обработка на строгальных и долбежных станках	220
Режущий инструмент	220
Основные расчетные зависимости для определения режимов резания	221
Поправочные коэффициенты	224
2. Обработка на протяжных станках	226
Протяжки	227
Выбор марки инструментального материала	232
Основные расчетные зависимости для определения режимов резания	233
Список литературы	235

Федор Нилович Абрамов
Владимир Владимирович Коваленко
Владимир Евгеньевич Любимов
Вадим Иванович Романов
Николай Павлович Стародуб
кандидаты техн. наук

СПРАВОЧНИК ПО ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Редакторы А. Л. Берзина, П. Ф. Боброва
Оформление художника Л. А. Дикарева
Художественные редакторы В. Г. Павлюшин, И. В. Рублев
Технический редактор Н. А. Бондарчук
Корректор Н. Г. Петрик

Информ. бланк 2170

Сдано в набор 13.04.82. Подписано в печать 05.09.83. БФ 01950. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага газетная. Гари. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 18. Усл. кр.-отт. 15,19. Уч.-изд. л. 19,25. Тираж 30 000 экз. Зак. 2-169. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Техника», 252601, Киев, Г. Крещатик, 5;

Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе, 310057, Харьков-57, Донец-Захаржевского, 6/8.