

В. Ф. Безъязычный
И. Н. Аверьянов
А. В. Кордюков

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Учебное пособие

Рекомендовано Методическим советом
Рыбинской государственной авиационной
технологической академии имени
П. А. Соловьева в качестве учебного
пособия

Рыбинск 2009

Расчет режимов резания. Учебное пособие / Безъязычный В. Ф., Аверьянов И. Н., Кордюков А. В. – Рыбинск: РГАТА, 2009. – 185 с.

Авторы пособия изложили последовательность расчета и назначения режимов резания при проектировании технологических процессов изготовления изделий машиностроения и в частности авиадвигателестроения.

Приведены также рекомендации по выбору инструментальных материалов для конкретных условий и смазывающих охлаждающих технологических сред.

Учебное пособие предназначено для подготовки студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов специальностей: 151001 – Технология машиностроения, Металлообрабатывающие станки и комплексы, 160301 – Авиационные двигатели и энергетические установки при выполнении ими дипломных и курсовых проектов.

РЕЦЕНЗЕНТЫ: кафедра технологии машиностроения Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана;
заместитель главного инженера ОАО «НПО «Сатурн», д-р техн. наук, профессор Л. Б. Уваров

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ. ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ.....	5
2. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.....	33
3. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	121
4. СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ.....	122
4.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СОЖ ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ.....	123
5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	149
5.1. ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ.....	149
5.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ	151
5.2.1. Углеродистые инструментальные стали	151
5.2.2. Легированные инструментальные стали	152
5.2.3. Быстрорежущие стали.....	154
5.3. ТВЕРДЫЙ СПЛАВ.....	158
5.3.1. Вольфрамокобальтовые сплавы.....	161
5.3.2. Титановольфрамокобальтовые сплавы	162
5.3.3. Титанотанталовольфрамокобальтовые сплавы.....	163
5.3.4. Безвольфрамовые твердые сплавы	164
5.4. КЕРАМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	175
5.5. АЛМАЗЫ И ДРУГИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	176
5.6. АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	180
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	183

ВВЕДЕНИЕ

Назначение режимов обработки резанием рассматривается как технико-экономическая задача. Режимы обработки оказывают влияние на показатели производства как технические, так и экономические. В связи с этим расчет режимов резания является одной из самых массовых задач в машиностроении.

Особое значение при расчете режимов резания имеет зависимость между стойкостью режущего инструмента, скоростью резания, подачей и глубиной резания, а также геометрическими параметрами режущего инструмента.

При расчете режимов резания целесообразно учитывать фактор оптимизации их по одному из критериев оптимизации: максимуму производительности, минимуму себестоимости, а также оптимизация по комплексу параметров качества поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей и точности обработки.

Назначение режима обработки неразрывно связано с выбором инструментального материала, а также с выбором смазывающе охлаждающих технологических сред с учетом метода обработки и материала обрабатываемых деталей.

Настоящее учебное пособие подготовлено с целью помочь студентам решать вопросы по расчету и назначению режимов механической обработки резанием и шлифованием при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Разделы 1, 2 и 3 подготовлены доктором технических наук, профессором Безъязычным В. Ф., раздел 4 составлен кандидатом технических наук, доцентом Аверьяновым И. Н., раздел 5 – доктором технических наук, профессором Безъязычным В. Ф. и кандидатом технических наук Кордюковым А. В.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ. ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Существуют несколько методов назначения режима резания: табличный, аналитический, графоаналитический, машинный с использованием компьютеров и специальных программ расчета.

При **табличном методе** обычно используют нормативы режимов резания. Для выбора режима резания по табличному методу необходимо знать:

- физико-механические характеристики обрабатываемого материала;
- припуск на обработку, материал и геометрию режущей части инструмента;

- размеры режущего инструмента.

Порядок выбора режима обработки следующий.

1. Исходя из заданного припуска на обработку, назначают глубину резания. Если припуск велик, назначают несколько проходов и соответствующие глубины резания для каждого прохода.

2. Выбирают технологически допустимую подачу по следующим ограничениям:

$S_{шер}$ – по требуемой чертежом шероховатости обработанной поверхности детали;

$S_{жест}$ – по жесткости обрабатываемой детали, которая особенно важна при обработке деталей типа «вал» с отношением длины вала к диаметру более 10;

$S_{пр.р}$ – по прочности режущего инструмента.

Наименьшая из трех подач $S_{шер}$, $S_{жест}$, $S_{пр.р}$, является технологически допустимой S_m . Данное значение подачи уточняют по станку и окончательно определяется значение подачи S .

3. По таблицам нормативов, в зависимости от найденного значения S_m и назначенной глубины резания t , выбирают скорость резания v и частоту вращения заготовки или инструмента n .

4. По найденным значениям n и S_m находят скорость резания и эффективную мощность, затрачиваемую на резание $P_{эф.}$, по которой определяют мощность станка

$$P_m = P_{эф.} / \eta_{ст} , \quad (1.1)$$

где P_m – мощность электродвигателя станка; η_{cm} – КПД механизма главного привода станка (приводится в паспорте металлорежущего станка); ориентировочно можно применять $\eta_{cm} \approx 0,7 \dots 0,9$.

Табличный метод рекомендуется использовать в производственных условиях при отсутствии вычислительной техники, в проектных организациях при проектировании новых технологических процессов, если к готовой продукции не предъявляются высокие эксплуатационные требования.

При **аналитическом методе** последовательность выбора режима резания аналогична табличному, однако необходимо отметить следующие особенности.

1. Рассчитывают подачу $S_{шер}$, обеспечивающую заданную шероховатость обработанной детали:

$$S_{шер} \leq \frac{k_0 Ra^{k_1} v^{k_2} r^{k_3} HB^{k_4}}{t^{k_5} \varphi^{k_6} \varphi_1^{k_7}}, \quad (1.2)$$

где k_0, k_1, \dots, k_7 – коэффициенты, характеризующие обрабатываемый и инструментальный материалы (приведены в справочниках для различных марок обрабатываемых и инструментальных материалов); Ra – среднеарифметическое отклонение профиля шероховатости; v – скорость резания; t – глубина резания; φ и φ_1 , – главный и вспомогательный углы в плане соответственно; r – радиус при вершине резца в плане; HB – твердость обрабатываемого материала.

2. Рассчитывают подачу, допускаемую прочностью режущего инструмента:

$$S_{np.p} \leq x_{p_z} \sqrt{\frac{B^2 H [\sigma_u]}{6 c_{p_z} l t^{y_{p_z}}}}, \quad (1.3)$$

где l – вылет резца (в данном случае может быть рассчитан как $l = (1 \dots 1,5)H$); $[\sigma_u]$ – допускаемое напряжение на изгиб материала державки резца; c_{p_z} , y_{p_z} – величины, зависящие от свойств обрабатываемого материала (σ_B , HB), рода обрабатываемого материала (сталь, чугун, бронза и т. д.), геометрии режущего инструмента (γ , φ и т. д.), вида охлаждения; B и H – ширина и высота державки резца соответственно. Стандартные резцы имеют следующие размеры $B \times H$ державки, мм:

с прямоугольным сечением:

10×16; 12×20; 16×25; 20×30; 25×30; 25×40; 30×45; 40×60;

с квадратным сечением:

6×6; 10×10; 12×12; 16×16; 20×20; 25×25; 30×30; 40×40.

3. Рассчитывают подачу, допускаемую жесткостью заготовки:

$$S_{жест} \leq x_{pz} \sqrt{\frac{\varepsilon J E f'}{1,1 c_{pz} l^3 t^{y_{pz}}}}, \quad (1.4)$$

где f' – прогиб заготовки при обработке; E – модуль упругости материала обрабатываемой заготовки; J – момент инерции сечения заготовки (для круглых сплошных деталей $J = 0,05d^4$, где d – диаметр заготовки); l – расстояние между точками закрепления заготовки или вылет детали при креплении ее только в патроне; ε – коэффициент жесткости, зависящий от способа закрепления заготовки на станке.

При обработке на токарных станках встречается три случая закрепления заготовки (рис. 1.1), которым соответствуют различные значения ε .

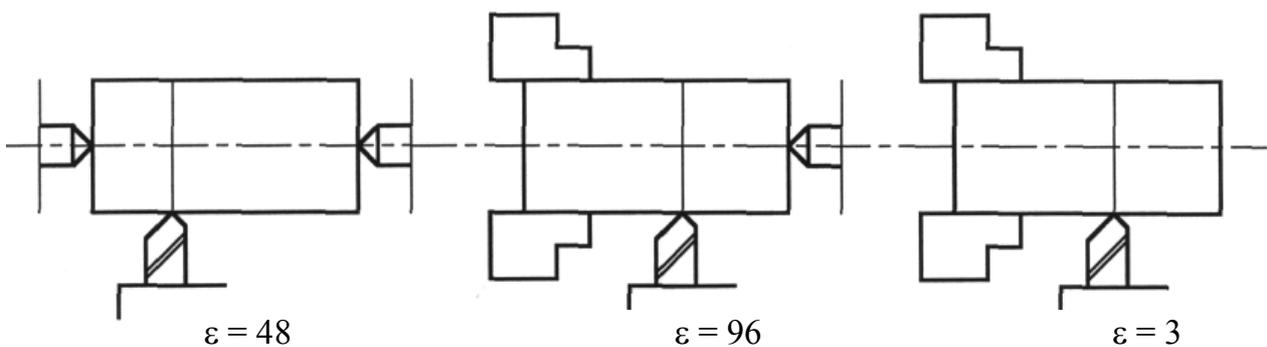


Рис. 1.1. Схемы закрепления заготовки

Допустимая величина прогиба может быть следующей: при черновом точении $f' = 0,2 \dots 0,4$ мм; при полустойковом точении $f' = 0,1$ мм; при чистовой обработке $f' = 0,2\Delta T$, где ΔT – допуск на размер обрабатываемой поверхности.

4. Скорость резания определяется по зависимостям, которые указываются в нормативах режимов резания. Так, например, при точении деталей из теплостойких, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, резцами с пластинами из сплавов ВК6М, ВК8, ВК8М скорость резания (м/мин):

$$v = \frac{c'_v}{T^{0,25} S^{0,15} t^{0,15}} \text{ при подаче на оборот } S > 0,2 \text{ мм;}$$

$$v = \frac{c''_V}{T^{0,25} S^{0,15} t^{0,15}} \text{ при подаче на оборот } S \leq 0,2 \text{ мм,}$$

где T – период стойкости режущего инструмента в мин; c'_V, c''_V – показатели степеней, определяемые для конкретных условий резания.

Метод получения вышеуказанных эмпирических уравнений Тейлора представляет собой однофакторный поочередный эксперимент, который не позволяет учесть взаимовлияние анализируемых переменных параметров друг на друга. Степенные коэффициенты в уравнениях Тейлора не константы, а переменные параметры, функционально зависящие от условий обработки (режима резания, геометрии инструмента, диаметра обработки, марки используемой СОТС). При различных сочетаниях подач, глубины и скорости резания изменение значений степенных коэффициентов в стойкостных уравнениях Тейлора достигает в некоторых случаях более 5 раз. Следовательно, достоверность указанных выше эмпирических уравнений невелика при реальном диапазоне изменения технологических условий обработки. Кроме того, выбор периода стойкости инструмента в уравнениях Тейлора слабо аргументирован технико-экономическими соображениями.

Получение указанных выше эмпирических уравнений длительно и трудоемко, связано с непроизводительным расходом обрабатываемых и инструментальных материалов, нерациональным использованием производственных площадей, металлорежущего оборудования и трудовых ресурсов, сдерживает сроки освоения новой продукции.

5. При аналитическом способе расчета режима обработки выбор станка проводится по мощности, затрачиваемой на процесс резания, с последующей проверкой прочности механизма продольной подачи. Данный метод расчета режима резания может быть использован, если нет ограничений в выборе модели станка и его характеристик и аналитические зависимости по определению подачи и скорости резания имеют достаточную точность расчета. На практике получено большое количество таких зависимостей, однако все они носят частный характер и справедливы только для конкретных сочетаний обрабатываемых и инструментальных материалов.

На основании изложенного выше можно сделать следующий вывод: нормативы режимов резания должны быть научно обоснованы, базироваться на анализе физико-механических и теплофизических явлений, сопровождающих процесс резания, учитывать взаимовлияние переменных

технологических факторов на этот процесс, обеспечивать оптимизацию процесса резания.

При **графоаналитическом методе** используется следующий порядок расчета режима резания.

1. Исходя из припуска на обработку, намечают количество проходов и глубину резания.

2. Выбирают марку инструментального материала, размеры резца и его геометрию.

3. Расчетным путем по формулам (1.2) – (1.4) определяются лимитирующие подачи, и наименьшую из них принимают за S_m (технологическую).

4. Вычерчивают график «линия станка-линия резца» (рис. 1.2).

Эти линии строят в двойной логарифмической сетке, где по осям абсцисс и ординат откладывают соответственно частоту вращения детали n и подачу S . Значения подач получают путем решения в логарифмической сетке следующих уравнений:

$$S_{cm} = \frac{A'}{n^{\frac{1}{x_{pz}}}} \quad \text{и} \quad S_{реж} = \frac{B'}{n^p},$$

где $A' = f(P_{дв}, \eta_{ст}, D, t, \dots)$, $B' = f(D, t, \dots)$, x_{pz} , p – коэффициенты определяемые экспериментально; S_{cm} – подача по паспорту станка; $S_{реж}$ – подача режима резания; $P_{дв}$ – мощность двигателя станка; D – максимальный диаметр обрабатываемой заготовки на станке.

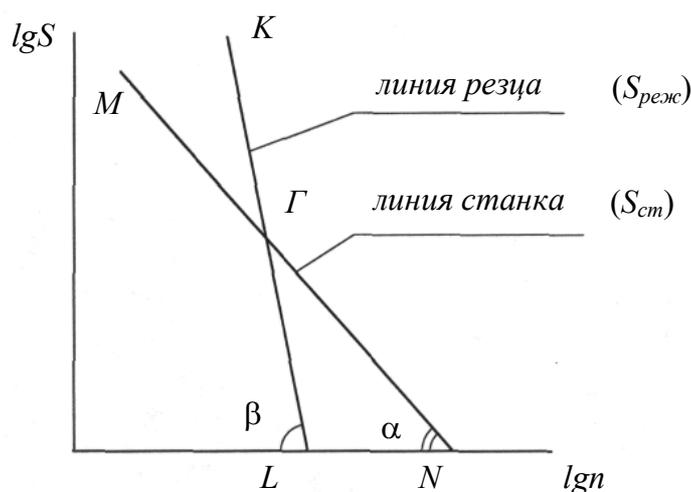


Рис. 1.2. График «линия станка-линия резца»

Режим резания, соответствующий точке пересечения прямых MN и KL , обеспечивает одновременное использование станка и резца, поэтому считается наиболее эффективным: на участке GL режимы резания обеспечивают полное использование режущей способности резца, на участке GM – полное использование мощности станка. Подача, соответствующая точке G , называется эффективной и назначается из условия $S_{эф} < S_m$; по этой подаче определяется скорость резания v . Если получится, что $S_{эф} > S_m$, то для выбора режима резания необходимо выбрать либо другой станок, имеющий меньшую мощность двигателя, либо другой инструмент, имеющий более высокую режущую способность.

Графоаналитический метод выбора режима резания требует довольно трудоемких вычислений для построения «линии станка» и «линии резца», поэтому его использование в производственных условиях затруднено.

Сущность **машинного метода с использованием компьютеров и специальных программ работы** заключается в использовании теоретических зависимостей по определению параметров процесса резания, режима обработки, параметров качества поверхностного слоя и точности обработки и в вычислении экономически обоснованного режима обработки на компьютере.

В производственных условиях иногда необходимо обеспечить, наряду с заданной точностью обработки, комплекс параметров, характеризующий поверхностный слой (параметры шероховатости обрабатываемой поверхности, величину и степень наклепа, величину и знак остаточных напряжений) с целью обеспечения тех или иных эксплуатационных показателей. В этом случае расчет режимов резания производится по схеме, указанной на рис. 1.3.

Последовательность расчета:

1. В базе данных находят свойства обрабатываемого материала (σ_T – предел текучести материала обрабатываемой детали; λ_g – теплопроводность материала обрабатываемой детали, $(cp)_g$ – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала; E_g – модуль упругости обрабатываемого материала; τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; a – температуропроводность обрабатываемого материала; σ_B – предел прочности обрабатываемого материала; β_g – коэффициент температурного линейного расширения обрабатываемого материала и др.

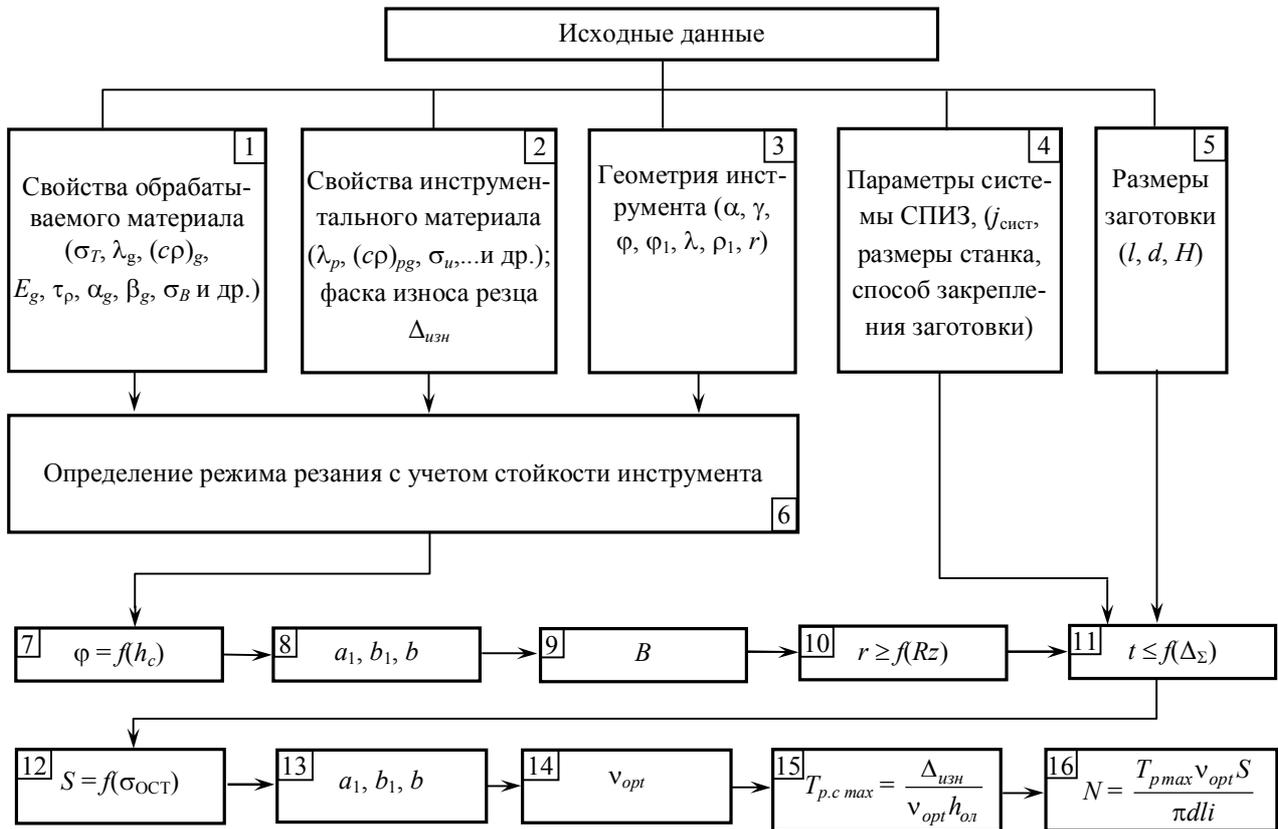


Рис. 1.3. Схема расчета режима резания

2. Из базы данных выбирают инструментальный материал и его свойства: $(\lambda_p$ и $(c\rho)_p$ – теплопроводность и удельная объемная теплоемкость материала режущего инструмента; σ_u – предел прочности инструментального материала на сжатие), а также задают допустимую фаску износа по задней поверхности инструмента $\Delta_{изн}$.

3. Исходя из условий обработки задают геометрию инструмента (α и γ – задний и передний углы резца; φ и φ_1 , – главный и вспомогательный углы резца в плане; λ – угол наклона главной режущей кромки резца; r и ρ_1 – угол при вершине резца в плане и угол округления режущей кромки инструмента).

4. Выбирают параметры системы станок-приспособление-инструмент-заготовка (СПИЗ) (жесткость технологической системы $j_{сист}$, размеры станка, способ закрепления заготовки).

5. Определяют необходимые для расчета размеры заготовки (l – длина заготовки; d – диаметр заготовки; H – высота заготовки) в соответствии с требованиями чертежа.

6. Определяют скорость резания v , обеспечивающую заданный период стойкости режущего инструмента $T_{p.c}$, по формуле (1.5) с учетом формулы (1.6).

$$v = \left(\frac{K(1 - \sin \gamma)^{0,73 y_1}}{Z a^{(1+x+z)y_1 - z_1} \rho_1^{z_1}} \right)^{\frac{1}{1+(1+x)y_1}}, \quad (1.5)$$

$$\frac{\pi dl}{S} = v T_{pc}, \quad (1.6)$$

где $K = \Delta_{изн} a_1^{(1+x)y_1} b_1^{z y_1} \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_g} \beta \varepsilon \right)^{y y_1}$; $Z = c_1 c^y T_{pc} \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u} \right)^{x_1}$; a_1 и b_1 – толщина и ширина среза; β и ε – угол заострения и угол при вершине резца в плане; $c_1, c, x, y, y_1, z, z_1$, – величины, зависящие от свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

7. Уточняют значение главного угла в плане режущей части инструмента учетом от заданной глубины наклепанного слоя обработанной поверхности.

$$\varphi = \frac{h_c^{2,85} v^{0,85} r^{10s^{1,7}} \alpha^{0,257} \gamma^{0,943}}{1,52 \cdot 10^{-22} \tau_p^{2,14} S^{1,71} \rho_1^{0,486} t^{0,171}}, \quad (1.7)$$

где h_c – глубина наклепа обработанной поверхности.

8. Уточняют параметры сечения среза a_1, b_1, b , где b – суммарная длина рабочей части режущих кромок резца.

9. Рассчитывают критерий B , характеризующий величину пластических деформаций, возникающих в зоне резания.

$$B = \left[\frac{c \left(\frac{v a_1}{a_g} \right)^x D^z}{\Gamma^y (1 - \sin \gamma)^{0,73}} \right]^{y_1}, \quad (1.8)$$

где $D = \frac{a_1}{b_1}$ – безразмерный комплекс, характеризующий сечение среза;

$\Gamma = \frac{\lambda_p}{\lambda} \beta \cdot \varepsilon$ – безразмерный комплекс, отражающий влияние геометрии

инструмента и отношения теплопроводностей инструментального и обрабатываемого материалов.

10. Уточняют значение радиуса при вершине резца в плане. В част-

ности, при условии $r \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{S}{2r} \right)^2} \right) \leq t < r(1 - \cos \varphi)$

$$r \geq \left(\frac{M - N}{t \tau_p \left(1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(\operatorname{arc} \operatorname{tg} B - \gamma) \right)} \right)^2 \frac{1}{8Rz}, \quad (1.9)$$

где $M = \frac{a_1^{0,125} b_1^{0,7} (c\rho)_g \theta \rho_1^{0,1} a^{0,43} \left(2,85 \sin^{0,115} \alpha v^{0,57} a_1^{0,345} \lambda_g b^{0,3} + 0,6625 \lambda_p \beta_g \varepsilon \alpha^{0,57} \rho_1^{0,075} \right)}{v \lambda_g \sin^{0,165} \alpha}$;

$$N = 0,5 \tau_p \rho_1 b \left(\arccos \left(1 - a_2 B^{-b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x}} \right) + \frac{a_2 B^{1 - b_2 (1 - \sin \gamma)^{-x}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \gamma)} + \frac{\Delta_{изн}}{\rho_1} \right) \cos \alpha ;$$

θ – температура в зоне резания; Rz – высота неровностей обработанной поверхности; $\Delta_{изн}$ – длина фаски износа по задней поверхности инструмента; a_2, b_2, x – величины, зависящие от свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

11. Уточняют значение глубины резания t с учетом допустимой погрешности обработки Δ_Σ .

12. Уточняют значение подачи из условия обеспечения требуемой величины остаточных напряжений.

$$S \leq f(\sigma_{ост}), \quad (1.10)$$

где $\sigma_{ост}$ – заданная величина остаточных напряжений в определенном уровне поверхностного слоя обрабатываемой детали.

13. Определяют окончательно параметры среза a_1, b_1, b с уточненными значениями S, t, r и φ .

14. Определяют оптимальную скорость резания v_{opt} , обеспечивающую минимум износа режущего инструмента, по формуле проф. С. С. Силина.

$$v_0 = \frac{K^2 \lambda c_p \sin^{0,2} \alpha (\theta_0 / \tau_p)^2}{4 a_1 c_0^2 (\rho_1 / a_1)^{2(n_0 - 0,1)} (1 - 0,45 \sin \gamma) (b / b_1)^{0,08}}.$$

$$\cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2,65 \lambda_p \beta \varepsilon (a_1 / b_1)^{0,3} c_0 (\rho_1 / a_1)^{n_0} (1 - 0,45 \sin \gamma_0) (b / b_1)^{0,04} \tau_p}{K^2 \lambda c_p \sin^{0,2} \alpha \theta_0}} \right]^2 \text{ м/с} \quad (1.11)$$

где K – безразмерный коэффициент, выбирается из табл. 1.1. При этом, рекомендуется сначала определить критерий B при $K = 3,5$ по уравнению

$$B = \frac{k^2 A_0 (\rho_1 / a_1)^{0,2}}{4 \sin^{0,1} \alpha} \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2,65 (\lambda_p / \lambda) \beta \varepsilon (a_1 / b_1)^{0,3}}{K^2 A_0 (\rho_1 / a_1)^{0,025} \sin^{0,065} \alpha}} \right]^2, \quad (1.12)$$

а затем по найденному значению B выбирается K из табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения коэффициента K

B	K	B	K
1	2,85	40	3,7
2	3,0	50	3,75
5	3,2	75	3,85
10	3,3	100	3,9
20	3,5	150	4,05
30	3,6	200	4,1

Энергетический критерий процесса резания определяется по формуле

$$A_0 = \frac{c_p \sin^{0,4} \alpha \theta_0}{\tau_p c_0 \left(\frac{\rho_1}{a_1} \right)^{n_0} (1 - 0,45 \sin \gamma) \left(\frac{b}{b_1} \right)^{0,04}},$$

где λ и λ_p – коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов, Дж/м · с; c_p – удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/м³ · °С; θ_0 – оптимальная температура в зоне резания, °С; τ_p – сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу, Н/м²; α и γ – задний и передний угол при вершине резца в плане, град; B – энергетический критерий процесса резания. Значения λ ,

λ_p , c_p , θ_0 и τ_p приведены в табл. 1.2, 1.3 и 1.4, а значения c_0 и n_0 в формуле (1.11) в табл. 1.5; a_1 , b_1 и b – толщина и ширина среза и суммарная длина рабочей части режущих кромок, м, определяемые по формулам (1.13) – (1.16) (значения s , t , r в мм):

Таблица 1.2

Физико-механические характеристики обрабатываемых материалов

Обрабатываемый материал	$\tau_p \cdot 10^6$,	$a \cdot 10^6$,	$c_p \cdot 10^6$,	λ ,
	Н/м ²	м ² /с	Дж/м ³ °С	Дж/м ³ °С
Мл5	100	41	1,895	77,5
Ма2-1	73	51	1,881	96,3
Ал9	90	66	2,276	151
Лс59-1	147	32,5	3,23	105
Л62	228	33	3,262	109
Ст3	460	8,27	4,93	40,8
10	460	13,99	4,52	63,3
20	525	7,7	5,154	40
40	560	7,604	5,07	38,55
45	410	8	5,02	40,2
20Х	520	9	5,02	45,25
40Х	470	8,35	5,02	419
Х18Н9Т	330	4,71	4,52	41,3
Д16Т	390	53	2,282	121,4
14Х17Н2Т	280	6,8	3,734	25,35
30ХГСА	475	6,99	5,15	36
13Х12НВМФА(ЭИ961)	478	6,25	42,6	26,6
ЭИ617	900	3,6	4,63	16,76
Х23Н18(ЭИ417)	765	8,38	4,24	35,6
ХН62ВМКЮ(ЭИ876)	900	3,66	4,75	17,3
ХН77ТЮР(ЭИ437БУВД)	774	4,1	4,76	19,5
ХН73МБТЮ(ЭИ698ВД)	800	3,59	4,49	16,1
ВЖ102	400	5,44	3,4	18,5
ЖС6КПА	795	3,56	4,44	15,8
ЭП99	439	3,7	4,3	15,9
ЭП109ВД	780	3,32	4,49	14,9
ВТ3-1	470	4,9	3,74	13,45
ВТ5-1	330	4,72	2,7	12,75
ВТ9	350	6,65	2,457	16,3
ВТ10	421	4,1	2,77	11,35
ВТ20	405	4,68	2,82	13,2

Оптимальная температура резания

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	$\theta_0, ^\circ\text{C}$	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	$\theta_0, ^\circ\text{C}$
Мл5	ВК8	400	ХН62ВКЮ (ЭИ867)	Т15К6	950
Ма2-1	ВК8	270			
Ал9	ВК8	290	ХН77ТЮР (ЭИ437БУВД)	ВК8	800
Д16Т	ВК8	370			
Лс59-1	ВК8	205	ХН73МБТЮ (ЭИ698ВД)	ВК8	750
Л62	ВК8	450	ВЖ102	Р18	580
Ст3	Т15К6	870		ВК8	1000
10	Т15К6	870		ВК6М	650
20	Т15К6	950	ЖС6КПА	Р18	600
40	Т15К6	1000		Р9К10Ф	600
45	Т15К6	950		ВК8	625
20Х	Т15К6	950	ЭП99	Р18	540
40Х	Т15К6	925		ВК6М	650
Х18Н9Т	Т15К6	800	ЭП109ВД	Р18	600
Х18Н9Т	ВК8	870		Р9К10Ф	700
14Х17Н2Т	Т15К6	850		ВК8	700
30ХГСА	ВК8	800		ВК6М	880
13Х12НВМФА (ЭИ961Ш)	Т15К6	860	ВТ3-1	ВК8	700
	ВК8	820	ВТ5-1	Т15К6	940
ЭИ617	ВК8	915	ВТ10	ВК8	850
Х23Н18 (ЭИ417)	ВК8	800	ВТ20	Р18	515
				Р9К10Ф	620
				ВК8	950
				ВК6М	630

Таблица 1.4

Значения коэффициентов теплопроводности инструментальных материалов

Инструментальный материал	$\lambda_p, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$	Инструментальный материал	$\lambda_p, \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$
Р18 и Р9К10Ф	18,0	Т14К8	33,94
ВК6 и ВК6ОМ	60,8	Т30К4	23,88
ВК8	54,47	алмаз	146,65
Т15К10	38,55	карбид бора	159,22

Значения c_0 и n_0 в формуле (1.2)

ρ/a_1	c_0	n_0
$\rho/a_1 < 0,05$	3,65	0,125
$0,05 < \rho/a_1 < 0,1$	5,31	0,25
$\rho/a_1 > 0,1$	7,60	0,40

При $S \leq 2r \sin \varphi_1$ и $r(1 - \sqrt{1 - (s/2r)^2}) \leq t \leq r(1 - \cos \varphi)$

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &= \frac{(t-r)s + r \left(r \arcsin + \frac{s}{2} \sqrt{1 - (s/2r)^2} \right)}{2r \sin \frac{\arccos \frac{(r-t)}{r} + \arcsin \frac{s}{2r}}}{2} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b_1 &= 2r \sin \frac{\arccos \frac{r-t}{r} + \arcsin \frac{s}{2r}}{2} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b &= r \left(\arccos \frac{r-t}{r} + \arcsin \frac{S}{2r} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ м}
 \end{aligned} \right\} (1.13)$$

При $S > 2r \sin \varphi_1$ и

$$r(1 - \cos \varphi_1) + s \sin \varphi_1 (\cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1}) \leq t \leq r(1 - \cos \varphi_1)$$

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &= \frac{ts}{b_1} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b_1 &= \left\{ \left[s \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1} + \left(\sin \varphi_1 + \frac{t}{r} \sqrt{\frac{2r}{t} - 1} \right) \right]^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \left[r \left(\cos \varphi_1 - \frac{r-t}{r} \right) - s \sin \varphi_1 (\cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1}) \right]^2 \right\}^{0,5} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b &= \left[r \left(\varphi_1 + \arccos \frac{r-t}{r} \right) + s (\cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1}) \right] \cdot 10^{-3}, \text{ м}
 \end{aligned} \right\} (1.14)$$

При $S \leq 2r \sin \varphi_1$ и $t > r(1 - \cos \varphi)$

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &= \frac{(r-t)s + r \left(r \arcsin \frac{s}{2r} + \frac{s}{2} \sqrt{1 - (s/2r)^2} \right)}{\left[\left(\frac{s}{2} - \frac{(r-t) \cos \varphi - r}{\sin \varphi} \right)^2 - \left(r \sqrt{1 - \left(\frac{s}{2r} \right)^2} - r + t \right)^2 \right]^{0,5}} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b_1 &= \left[\left(\frac{s}{2} - \frac{(r-t) \cos \varphi - r}{\sin \varphi} \right)^2 - \left(r \sqrt{1 - \left(\frac{s}{2r} \right)^2} - r + t \right)^2 \right]^{0,5} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b &= r \left(\arccos \frac{r-t}{r} + \sin \varphi \frac{s}{2r} \right) \cdot 10^{-3}, \text{ м}
 \end{aligned} \right\} (1.15)$$

При $t > r(1 - \cos \varphi)$ и $\frac{r}{\sin \varphi_1} [1 - \cos(\varphi - \varphi_1)] \geq s > 2r \sin \varphi_1$

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &= \frac{ts}{b_1} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b_1 &= \left\{ \left[\frac{(r-t) \cos \varphi - r}{\sin \varphi_1} - r \sin \varphi_1 - \cos^2 \varphi_1 + s \sin \varphi_1 \cos^2 \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1} \right]^2 + \right. \\
 &+ \left. \left[r(1 - \cos \varphi_1) - t + s \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - s \sin^2 \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1} \right]^2 \right\}^{0,5} \cdot 10^{-3}, \text{ м} \\
 b &= \left[r \frac{\cos \varphi - 1}{\sin \varphi} - \frac{t}{\sin \varphi} + s(\cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{\frac{2r}{s \sin \varphi_1} - 1}) + r(\varphi + \varphi_1) \right] \cdot 10^{-3}, \text{ м}
 \end{aligned} \right\} (1.16)$$

При наличии охлаждения корректируется значение скорости резания.

$$v_{\text{СОТС}} = v_{\text{opt}} \cdot k_{\text{охл}}, \quad (1.17)$$

где $k_{охл}$ – коэффициент, учитывающий повышение скорости резания при охлаждении.

15. Определяется максимальная размерная стойкость инструмента

$$T_{p_{max}} = \Delta_{изн} / \sqrt{h_{ол}}, \quad (1.18)$$

где $h_{ол}$ – относительный линейный износ режущего инструмента, равный отношению величины радиального износа к длине пути резания.

16. Рассчитывается число заготовок, которые будут обработаны за период стойкости инструмента,

$$N = \frac{T_{p_{max}} v_{opt} S}{\pi d l i},$$

где i – число проходов.

Оптимизация технологических условий обработки деталей включает решение различных технологических, экономических, конструкторских и организационных задач. В качестве критериев оптимизации обычно принимают:

критерий минимальной технологической себестоимости выполнения операции;

критерий максимальной производительности, обеспечивающий наименьшие затраты времени на обработку;

критерий точности обработки и параметров качества поверхностного слоя.

Режимы резания, обеспечивающие минимальную себестоимость, и режимы, соответствующие максимальной производительности, различаются в основном скоростью резания и стойкостью инструмента. Скорость резания $v_{м.п}$ по критерию максимальной производительности больше, а стойкость инструмента меньше, что обеспечивает большую производительность, но и более высокие затраты на инструмент.

Скорость резания $v_э$, обеспечивающая минимальную себестоимость обработки, выше скорости резания, обеспечивающей минимальный износ инструмента, или оптимальной скорости $v_о$ по критерию точности обработки и параметров качества поверхностного слоя. В общем случае справедливо неравенство $v_о < v_э < v_{м.п}$ (рис. 1.4).

$$v_о = \frac{K^2 \lambda_g (c\rho)_g a_1 b_1^2 E^{0,2}}{4 \sin^{0,1} \alpha} \left(\frac{\theta_0}{P_{zmin}} \right)^2 \cdot (1 + L)^2,$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения скорости резания и температуропроводности обрабатываемого материала; $E = \frac{\rho_1}{a_1}$ – безразмерный комплекс, характеризующий отношение радиуса округления режущей кромки инструмента ρ_1 и толщины среза a_1 ; θ_0 – оптимальная температура в зоне резания, обеспечивающая минимум износа режущего инструмента; P_{zmin} – сила резания при оптимальной температуре резания;

$$L = \sqrt{1 + \frac{2,65 \lambda_p \beta \varepsilon \left(\frac{a_1}{b_1}\right)^{0,3} P_{zmin}}{K^2 a_1 b_1 \lambda_g (c\rho)_g E^{0,25} \sin^{0,065} \alpha \theta_0}}$$

Однако для условий гибких автоматизированных производств иногда важнее получить меньший износ инструмента и погрешность обработки при незначительном увеличении себестоимости обработки на данной операции. Это позволит обойтись без введения дополнительных операций и уменьшить общую себестоимость изготовления детали.

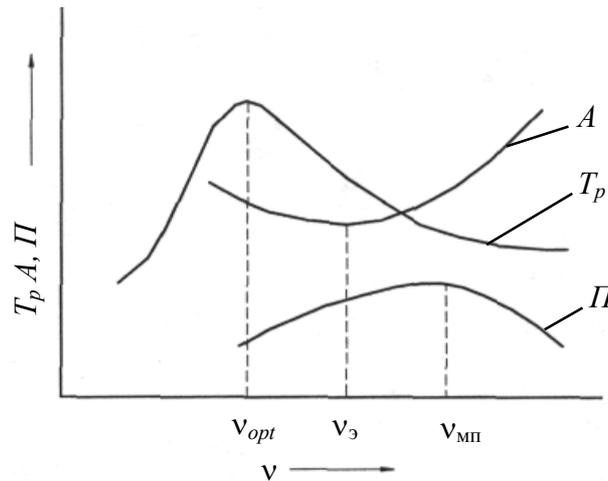


Рис. 1.4. Влияние скорости резания v на размерную стойкость инструмента T_p , производительность Π и себестоимость обработки A

Критерий минимальной технологической себестоимости. Технологическая себестоимость выполнения операции, зависящая от режима резания,

$$C_{техн} = B_c \cdot t_m + B_c \cdot t_{cm} \frac{t_m}{T_p} + \Gamma_u \frac{t_m}{T_p}, \quad (1.19)$$

где B_c – полная себестоимость одной минуты работы станка и станочника без затрат на режущий инструмент; t_m – машинное время обработки; t_{cm} –

время смены затупившегося инструмента; Γ_u – затраты, обусловленные эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости между переточками.

Экономический период стойкости инструмента, соответствующий минимальной себестоимости обработки,

$$T_{\text{э}} = \frac{1-m}{m} \left(t_{\text{см}} + \frac{\Gamma_u}{Z} \right), \quad (1.20)$$

где Z – стоимость одной минуты работы станка ($Z = a_{\text{раб}} + a_{\text{ст}}$, где $a_{\text{раб}}$ – заработная плата рабочего за одну минуту с начислениями; $a_{\text{ст}}$ – затраты, связанные с эксплуатацией станка в течение одной минуты его работы); m – показатель степени, характеризующий влияние стойкости инструмента на скорость резания.

Анализ зависимостей (1.20) и (1.21) позволяет сделать вывод о целесообразности обработки деталей на экономичных скоростях резания $v_{\text{э}}$, обеспечивающих минимальную себестоимость обработки. Однако при работе на $v_{\text{э}}$ несколько снижается производительность и уменьшается размерная стойкость инструмента.

Критерий максимальной производительности. Для обеспечения максимальной производительности обработку необходимо вести на скорости резания $v_{\text{м.п}}$, которой соответствует период стойкости инструмента $T_{\text{м.п}}$:

$$T_{\text{м.п}} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) t_{\text{см}}. \quad (1.21)$$

Сопоставив (1.20) и (1.21), можно заметить, что $T_{\text{э}} > T_{\text{м.п}}$, а поскольку скорость резания – величина, обратно пропорциональная стойкости инструмента, то скорость резания, при которой достигается максимальная производительность, выше экономической скорости резания, т. е. $v_{\text{м.п}} > v_{\text{э}}$. При работе на $v_{\text{м.п}}$ повышается производительность, но снижается стойкость инструмента, увеличивается погрешность обработки, ухудшается качество поверхностного слоя, повышается себестоимость обработки. Поэтому $v_{\text{м.п}}$ целесообразно использовать на промежуточных операциях, где нет жестких требований к качеству поверхностного слоя и точности обработки.

Критерий точности обработки и параметров качества поверхностного слоя. При работе на оптимальной скорости резания v_o обеспечива-

ется наибольшая размерная стойкость инструмента T_p и минимальный его износ.

Режимы резания, обеспечивающие заданные параметры поверхностного слоя и точности обработки, определяются следующим образом:

$$(t, S, v) = f(\sigma_{\text{ост}}, Rz, h_c, \beta_g, T_p, \sigma_T, E_g, \tau_p, \lambda_g, \lambda_p, \alpha, \gamma, \Phi, \Phi_1, r, \rho_1, \Delta_{\text{изн}}, j_{\text{сист}}, B_1, H_1, H, L_p),$$

где B_1 и H_1 – высота и ширина державки резца; L_p – вылет державки резца; H – размер обрабатываемой детали.

Снижение или повышение скорости резания по сравнению с оптимальной приводит к значительному увеличению интенсивности износа и снижению размерной стойкости инструмента, что оказывает влияние на параметры качества поверхностного слоя и точность обработки. Однако в некоторых случаях, а именно в условиях гибких автоматизированных производств и «безлюдных производств», экономически выгодно работать на скоростях v_3 , обеспечивающих минимальную себестоимость обработки, хотя при этом и снижается размерная стойкость инструмента.

Таким образом, оптимизацию по критерию точности обработки и параметров качества поверхностного слоя необходимо применять при проектировании новых технологических процессов в действующем производстве как средство технически обоснованного назначения режимов резания.

Определение режима резания с учетом технико-экономических показателей. Технологическая себестоимость выполнения операции, зависящая от режима резания, определяется по формуле

$$C_{\text{техн}} = B_c \frac{\pi dl}{1000Sv} + B_c \frac{\pi dl c_1 \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u} \right)^{x_1} t_{\text{см}} \left[\frac{c \left(\frac{a_1}{a_g} \right)^{1+x} D^z}{\Gamma^y (1 - \sin \gamma)^{0,73}} \right]^{y_1}}{\Delta_{\text{изн}}} \times \quad (1.22)$$

$$\times v^{y_1(1+x)} \left(\frac{\rho_1}{a_1} \right)^{z_1} + \Gamma_{II} \frac{c_1 \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u} \right)^{x_1} \pi dl \left[\frac{c \left(\frac{a_1}{a_g} \right)^{1+x} D^z}{\Gamma^y (1 - \sin \gamma)^{0,73}} \right]^{y_1}}{\Delta_{\text{изн}} 1000S} v^{y_1(1+x)} \left(\frac{\rho_1}{a_1} \right)^{z_1}$$

Скорость резания, соответствующая минимальной себестоимости:

$$v_{min} = \sqrt[1+y_1(1+x)+1]{\frac{\Delta_{изн} B_c}{y_1(1+x)c_1 \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u}\right)^{x_1} \left[\frac{c \left(\frac{a_1}{a_g}\right)^{1+x} D^z}{\Gamma^y (1-\sin \gamma)^{0.73}} \right]^{y_1} (B_c t_{cm} + \Gamma_{II}) \left(\frac{\rho_1}{a_1}\right)^{z_1}}} \quad (1.23)$$

Технологическая производительность

$$\theta_{техн} = \frac{60}{t_m + \frac{t_m}{T_p} t_{cm}}, \quad (1.24)$$

где t_m – машинное время обработки.

Максимальное значение производительности будет при условии

$$\left(t_m + \frac{t_m}{T_{pc}} t_{cm} \right) = 0,$$

$$\text{где } t_m + \frac{t_m}{T_{pc}} t_{cm} = \frac{\pi dl}{1000S} \left(\frac{1}{v} + \frac{t_{c.m} c_1 \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u}\right)^{x_1} \left[\frac{c \left(\frac{a_1}{a_g}\right)^{1+x} D^z}{\Gamma^y (1-\sin \gamma)^{0.73}} \right]^{y_1} v^{y_1(1+x)} \left(\frac{\rho_1}{a_1}\right)^{z_1}}{\Delta_{изн}} \right) \quad (1.25)$$

Скорость резания, обеспечивающая максимальную производительность,

$$v_{max} = \left(\frac{\Delta_{изн}}{(1+x)y_1 c_1 t_{cm} \left(\frac{\tau_p}{\sigma_u}\right)^{x_1} \left[\frac{c \left(\frac{a_1}{a_g}\right)^{1+x} D^z}{\Gamma^y (1-\sin \gamma)^{0.73}} \right]^{y_1} \left(\frac{\rho_1}{a_1}\right)^{z_1}} \right)^{\frac{1}{(1+x)y_1+1}} \quad (1.26)$$

Таким образом, по формулам (1.23) и (1.26) можно определить значение скорости резания, соответствующее одному из условий оптимизации процесса резания: минимальной себестоимости изготовления детали или максимальной производительности обработки.

Определение режима резания путем многоуровневой оптимизации.

Необходимость быстрого освоения производства новых изделий требует разработки теоретических методов определения технологических условий обработки, позволяющих на стадии проектирования технологического процесса изготовления закладывать решения, обеспечивающие при минимальных затратах заданные требования к поверхностному слою, т. к. поверхностный слой детали в условиях эксплуатации подвергается наиболее сильному механическому, тепловому, магнитоэлектрическому, световому и другим воздействиям. Потеря деталью своего служебного назначения и ее разрушение в большинстве случаев начинается с поверхностного слоя.

Задачей технолога является обеспечение комплекса показателей качества поверхностного слоя и точности размеров обработанной детали (Ra_0 – заданное среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости поверхности, $\sigma_{ост_0}$ – заданное значение остаточных напряжений в поверхностном слое, h_{co} – заданная глубины наклепа в поверхностном слое обработанной поверхности, ΔT_0 – заданная величина погрешности обработки). В конкретном случае эксплуатационные свойства детали определяются в большей или меньшей степени каждым из этих показателей. В общем случае отклонение от оптимальной величины любого из этих показателей качества (в сторону увеличения или уменьшения действительной величины показателя) влечет за собой ухудшение эксплуатационных свойств детали. Поскольку эти показатели имеют различные единицы измерения, то необходимо использовать их относительное, а не абсолютное изменение от оптимальной величины. В качестве целевой функции оптимизации применяется функция вида

$$f(Ra_0, \sigma_{ост_0}, h_{co}, \Delta_{\Sigma_0}) = c_1 \left(\frac{Ra - Ra_0}{Ra_0} \right)^2 + c_2 \left(\frac{\sigma_{ост} - \sigma_{ост_0}}{\sigma_{ост_0}} \right)^2 + c_3 \left(\frac{h_c - h_{co}}{h_{co}} \right)^2 + c_4 \left(\frac{\Delta_{\Sigma} - \Delta_{\Sigma_0}}{\Delta_{\Sigma_0}} \right)^2$$

либо при использовании обозначений типа $q_1 \equiv Ra$, $q_2 \equiv \sigma_{ост}$, $q_3 \equiv h_c$, $q_4 \equiv \Delta T_{\Sigma}$, функция общего вида

$$f(Q) = \sum_{i=1}^k c_i \left(\frac{q_i - q_{io}}{q_{io}} \right)^2,$$

где c_i – соответствующие весовые коэффициенты, позволяющие установить вклад того или иного показателя качества поверхностного слоя детали в ее общую надежность; Ra , $\sigma_{\text{ост}}$, h_c – текущие значения высоты неровностей, остаточных напряжений и глубины наклепа; k – число показателей качества; Q – комплекс показателей качества.

В том случае, когда при решении оптимизационной задачи удается обеспечить точное совпадение заданных параметров качества и точности с расчетными, величина целевой функции будет равно нулю, т. е. $f(Q) = 0$. В противном случае, когда хотя бы один из расчетных параметров будет отличаться от заданного, целевая функция будет положительной, т. е. $f(Q) > 0$. Поэтому целевая функция в процессе оптимизации должна быть сведена к минимуму.

Кроме того, на процесс резания накладывается ряд ограничений, обусловленных технологией, физикой и механикой процесса резания. Их количество и вид определяются в каждом конкретном случае отдельно; они могут иметь и простую, и довольно сложную форму зависимостей. Наиболее часто используются ограничения следующего вида:

- 1) ограничения по подаче;
- 2) ограничения по скорости резания;
- 3) ограничения по стойкости инструмента.

Кроме перечисленных, на процесс оптимизационного поиска могут в каждом конкретном случае накладываться ограничения, связанные с физикой и технологией процесса, как правило, имеющие сложный, ярко выраженный нелинейный характер (например, ограничения по мощности приводов, ограничения по прочности режущего инструмента, ограничения по температуре в зоне обработки, по силам резания и т. п.).

Для решения поставленной задачи используется алгоритм оптимизационного поиска, построенный на базе методов нежесткого допуска, штрафных функций и деформируемого многогранника, который является базовым элементом системы расчета режима обработки, обеспечивающего заданные показатели точности и качества поверхностного слоя деталей.

Методика работы системы расчета режима резания с использованием оптимизационного алгоритма нежесткого допуска представлена на рис. 1.5.

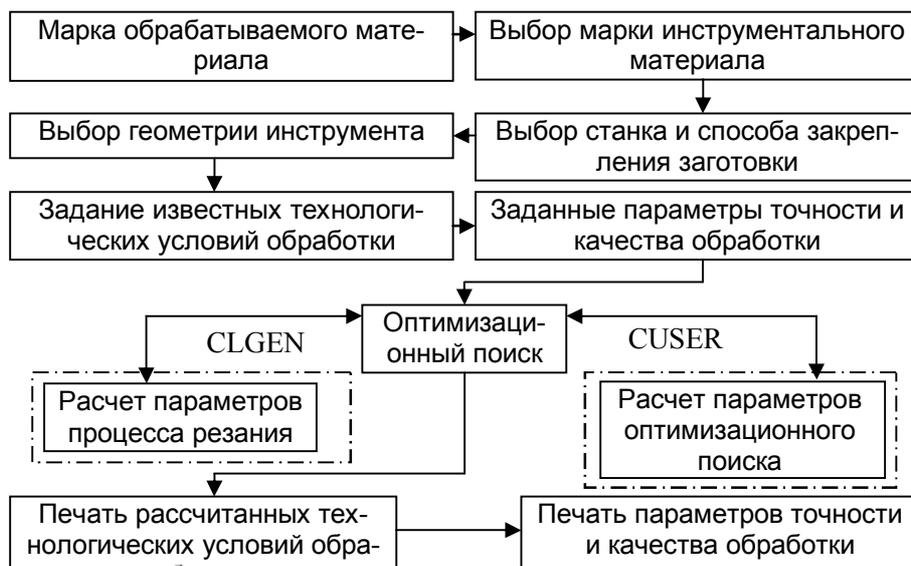


Рис. 1.5. Блок-схема системы расчета технологических условий обработки

В ряде случаев при проведении оптимизационного поиска с целью получения расчетных величин режима обработки (сочетания скорости резания v , подачи S и глубины резания t или сочетания скорости v и подачи S) не удастся обеспечить требуемый комплекс показателей качества поверхностного слоя и точность обработки детали, т. е. один или несколько показателей, входящих в целевую функцию оптимизации, даже при лучшем решении задачи оптимизации, имеют значительные отклонения от своих оптимальных значений. Такая ситуация наиболее часто возникает при числе показателей, входящих в целевую функцию параметров точности и качества поверхностного слоя, превышающем число переменных процесса оптимизационного поиска изменяемых технологических параметров обработки.

Анализ проблемы назначения режима резания, обеспечивающего комплекс оптимальных параметров качества и заданную точность обработки, результаты многочисленных практических расчетов, позволили сделать вывод о необходимости использования в ряде случаев большего количества переменных оптимизационного поиска с целью повышения эффективности расчетов и повышения общей надежности результатов вы-

числений. В то же время, использование большого числа переменных при проведении оптимизационного поиска, особенно при использовании сложных, рассчитываемых при каждом изменении переменных процесса ограничений, таких как ограничения по температуре в зоне резания, по силам резания и т. п., приводит к резкому увеличению времени решения задачи оптимизации. Все это требует применения более гибкого подхода к решению задачи назначения режима обработки, обеспечивающего заданные параметры качества поверхностного слоя и точности обработки. С целью преодоления данной проблемы предлагается следующий алгоритм многоуровневой системы оптимизации.

На первом этапе расчета режима в качестве переменных процесса используются величины скорости резания v , подачи S и (при желании технолога) глубины резания t . Если в процессе оптимизации получаемые при рассчитанных величинах S , v , t показатели качества поверхностного слоя и точности обработки удовлетворяют их заданным оптимальным величинам, результаты расчета считаются окончательными и процесс заканчивается. Иначе в число переменных включается одна или более дополнительных величин, влияющих на процесс резания, например, геометрические параметры r , φ , φ_1 , α , γ и т. д., уменьшается размер деформируемого многогранника, а в качестве исходной точки для расчета используются результаты предыдущего уровня и производится новая оптимизация. Число уровней оптимизации и число переменных процесса оптимизации на каждом уровне определяется технологом заранее и задается в специальной подпрограмме описания исходных данных. Использование многоуровневого алгоритма в системе обеспечивает значительно лучшее приближение получаемых показателей точности и качества обработки к их заданным величинам.

Оптимальное управление процессом механообработки предполагает решение двухэтапной задачи:

ЗАДАЧА ВНЕШНЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ – назначения технологических условий обработки, обеспечивающих получение деталей заданной точности с требуемыми параметрами качества поверхностного слоя при стационарном протекании процесса резания;

ЗАДАЧА ВНУТРЕННЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ – автоматизированное управление процессом обработки, позволяющее компенсировать нестабильность процесса, вызванную износом режущего инструмента, колебаниями припуска заготовки и другими факторами.

Установлено, что комплексу показателей качества поверхностного слоя соответствует определенная величина энергетического критерия процесса резания $A = a_1 b_1 (c_p)_g \theta / P_z$, где P_z – сила резания. Это положение может быть использовано как основа алгоритма работы автоматизированной системы управления процессом резания, обеспечивающей получение детали заданной точности с требуемыми показателями качества поверхностного слоя.

После ввода в управляющую ЭВМ геометрии детали и режущего инструмента, марок обрабатываемого и инструментального материалов, параметров станочного оборудования и приспособлений, других известных технологических условий обработки, а также после задания требуемых показателей точности обработки и качества поверхностного слоя детали, система расчета режима резания определяет оптимальные условия обработки. Для полученных условий обработки определяется оптимальное значение энергетического критерия и пределы его возможного отклонения, зависящие от величин допустимых отклонений параметров качества от их требуемых величин. Полученные режимы резания передаются на станок и производится обработка детали (рис. 1.6).

В процессе обработки контролируются текущие силы резания и температуры в зоне резания. По полученным величинам рассчитывается текущее значение энергетического критерия. В случае отклонения этой величины за допустимые пределы проводится расчет по специальному алгоритму нового режима обработки, обеспечивающего поддержание критерия на заданной оптимальной величине, который передается на станок, изменяются условия процесса резания, что позволяет компенсировать нестабильность его протекания. Поддержание стабильным энергетического критерия обеспечивает получение комплекса заданных показателей точности и качества поверхностного слоя обрабатываемой детали.

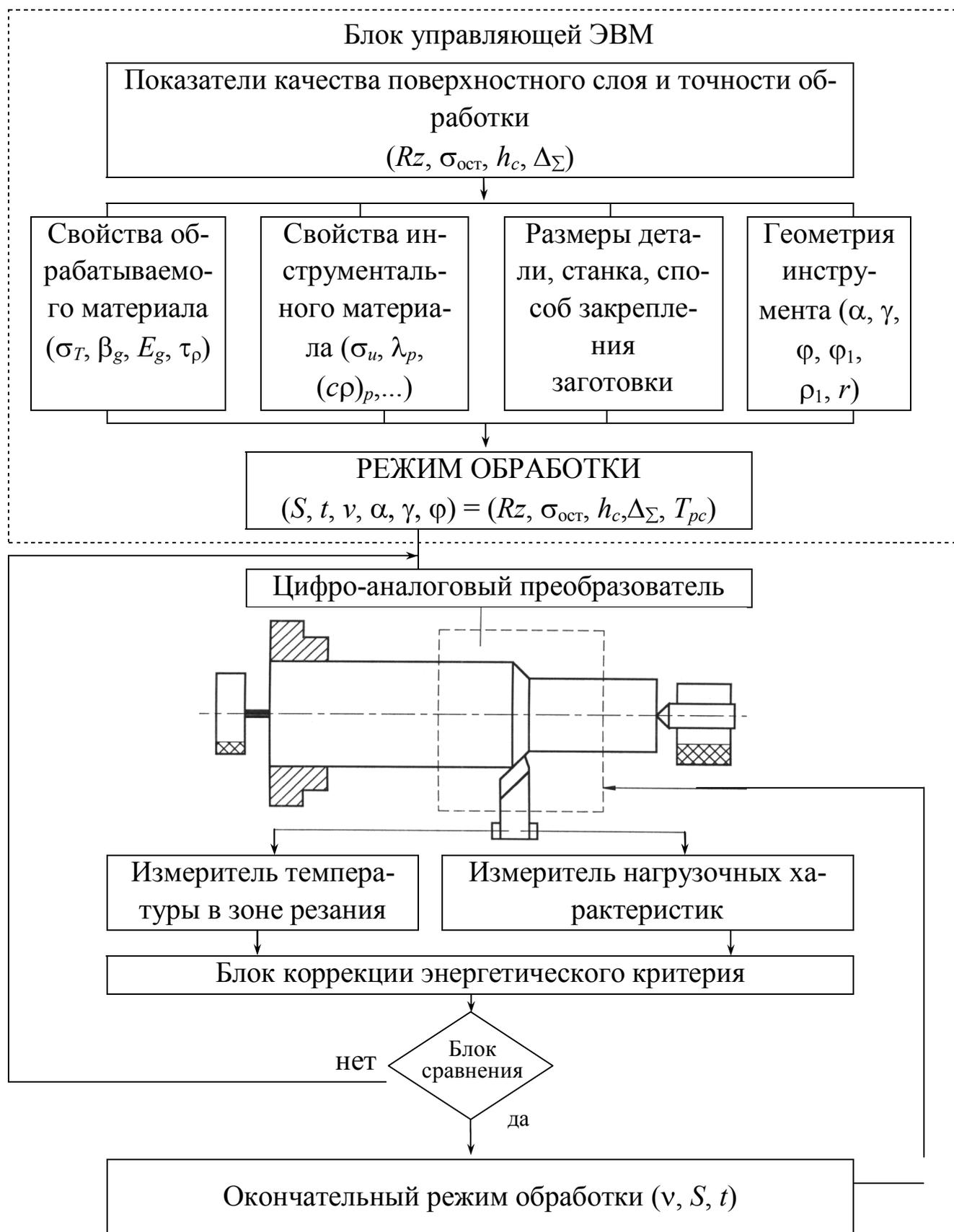


Рис. 1.6. Автоматизированное управление процессом обработки

Теоретическими и экспериментальными исследованиями ряда ученых доказано, что предел выносливости деталей машин в значительной степени определяется шероховатостью их поверхностей и физико-механическим со-

стоянием поверхностного слоя – наклепом и остаточными напряжениями. Для обеспечения заданного предела выносливости необходимы определенные значения параметров качества поверхностного слоя, получить которые можно при управлении процессом резания. Технологические условия обработки могут характеризоваться установленным проф. С. С. Силиным энергетическим критерием подобия процесса резания A , который характеризует режим обработки, связанный в свою очередь с параметрами качества поверхностного слоя, т. е. $(S, v, t \text{ и др.}) = f(h_c, Rz, \sigma_{ост})$. На основе этого разработана система управления процессом обработки с оптимизацией по энергетическому критерию процесса резания A . Алгоритм работы системы представлен на рис. 1.7.

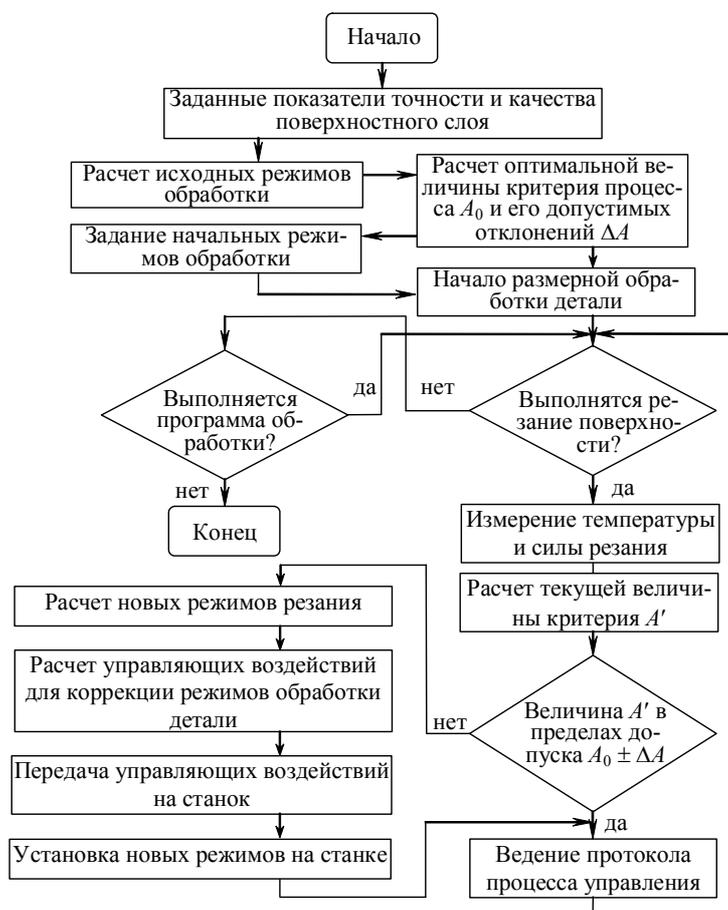


Рис. 1.7. Алгоритм работы автоматизированной системы управления

Целесообразно поставить задачу непосредственно обеспечивать в процессе обработки на основе назначения режима обработки эксплуатационные свойства, в частности усталостную прочность. В этом случае следует найти зависимость между пределом выносливости обрабатываемой детали и режимами обработки, а, следовательно, и параметрами качества поверхностного слоя, через энергетический критерий процесса резания A , характеризующий работу, затрачиваемую на снятие припуска. В качестве характеристик

сопротивления усталости используется предел выносливости и критерии степени поврежденности металла. Предел выносливости определяется в процессе усталостных испытаний, проведение которых требует значительных временных и материальных затрат. В этом смысле выгодно отличается от предела выносливости определение критерия поврежденности материала по изменению модуля упругости $E_{обр}/E_{исх}$. При повреждении детали происходит изменение характеристик материала: микротвердости, модуля нормальной упругости и других величин. Для определения предела выносливости детали после обработки можно воспользоваться следующим соотношением:

$$\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-исх}} = f\left(\frac{E_{обр}}{E_{исх}}\right), \quad (1.27)$$

где σ_{-1} и $\sigma_{-исх}$ – предел выносливости детали после обработки и в исходном состоянии (до обработки); $E_{обр}$ и $E_{исх}$ – модули упругости материала поверхностного слоя детали после обработки и в исходном состоянии.

Установлено, что отношение модулей упругости в исходном состоянии и после обработки примет вид

$$\frac{E_{обр}}{E_{исх}} = \frac{C \cdot A^K}{E_{исх}}.$$

Тогда можно принять с учетом (1.27)

$$\sigma_{-1} = \frac{C \cdot A^K}{E_{исх}} \cdot \sigma_{-исх}, \quad (1.28)$$

где C и K – величины, зависящие от вида обрабатываемого материала; A – значение энергетического критерия процесса резания до выполнения обработки, рассчитываемое по уравнению проф. С. С. Силина:

$$A = \frac{1}{\frac{2,85E^{0,1}}{B^{0,43} \sin^{0,05} \alpha} + 0,6625 \frac{ГД^{0,3} E^{0,175}}{B \sin^{0,165} \alpha}}, \quad (1.29)$$

где $B = \frac{va_1}{\alpha_g}$ – критерий процесса резания, характеризующий степень

влияния режимных условий процесса резания по сравнению с влиянием теплофизических свойств обрабатываемого материала.

Таким образом, задавая значения технологических условий обработки (v, S, t), геометрические характеристики инструмента ($\alpha, \varphi, \varphi_1, \gamma, \rho$ и др.), а также используя справочные данные по обрабатываемому и инструментальному материалам (λ_g и $\lambda_p, (cr)_g, \alpha_g$ и $a_p, (HB)_g$ и $(HB)_p, \sigma_T, \sigma_B, E_{исх}, \sigma_{-1исх}$ и др.), можно расчетным путем определить предел выносливости детали после обработки точением.

Предлагается следующая последовательность расчета технологических условий обработки с целью обеспечения требуемых значений предела выносливости (рис. 1.8).

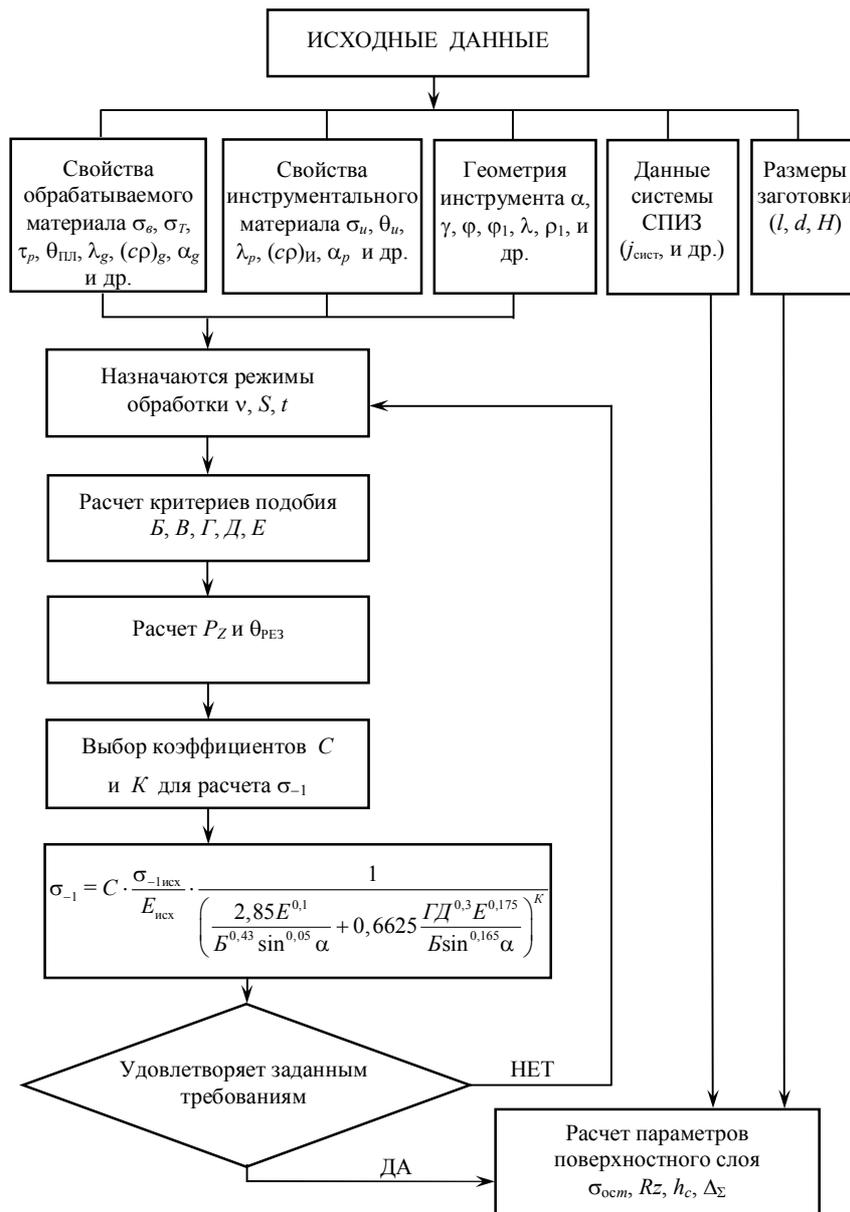


Рис. 1.8. Блок-схема расчета технологических условий обработки

2. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Приведенные ниже данные по назначению режимов резания разработаны с использованием официальных изданий по режимам резания инструментами из быстрорежущей стали и из твердого сплава. Они рассчитаны на применение инструментов с оптимальными значениями геометрических параметров режущей части, с режущими элементами из твердого сплава, заточенными алмазными кругами, а из быстрорежущей стали – кругами из эльбора. При назначении элементов режима резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования. Элементы режима резания обычно устанавливают в порядке, указанном ниже.

Глубина резания t : при черновой (предварительной) обработке назначают по возможности максимальную t , равную припуску на обработку или большей части его; при чистовой (окончательной) обработке – в зависимости от требований точности размеров и параметров, характеризующих качество поверхностного слоя (шероховатость, степень и глубина наклёпа, остаточные напряжения).

Подача S : при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, исходя из жесткости и прочности системы СПИЗ, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов; при чистовой обработке – в зависимости от требуемой точности и параметров, характеризующих качество поверхностного слоя.

Скорость резания v рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$v_{mб} = \frac{C_v}{T^m t^x S^y}.$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же как и периода стойкости T инструмента, применяемого для данного вида обработки, приведены в таблицах для каждого вида обработки. Вычисленная с использованием табличных данных скорость

резания $v_{m\bar{o}}$ учитывает конкретные значения глубины резания t , подачи S и стойкости T и действительна при определенных табличных значениях ряда других факторов. Поэтому для получения действительного значения скорости резания v с учетом конкретных значений упомянутых факторов вводится поправочный коэффициент K_v . Тогда действительная скорость резания $v = v_{m\bar{o}}K_v$, где K_v – произведение ряда коэффициентов. Важнейшими из них, общими для различных видов обработки, являются:

K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (табл. 2.1 – 2.4);

K_{nv} – коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки (табл. 2.5);

K_{iv} – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента (табл. 2.6).

Таблица 2.1

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$
Серый чугун	$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}$
Ковкий чугун	$K_{mv} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_v}$
<p>Примечание: 1. σ_B и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. 2. Коэффициент K_{Γ}, характеризующий группу стали по обрабатываемости и показатель степени n_v, см. в табл. 2.2.</p>	

Таблица 2.2

Значения коэффициента K_G и показателя степени n_v в формуле для расчёта коэффициента обрабатываемости стали K_{mv} , приведённого в табл. 2.1

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_G для материала инструмента		Показатели степени n_v при обработке						
			резцами		сверлами, зенкерами, развертками		фрезами		
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	
Сталь: углеродистая ($C < 0,6\%$), σ_B МПа: < 450 450-550 > 550 повышенной и высокой обрабатываемости резанием хромистая углеродистая ($C > 0,6\%$) хромоникелевая, хромомолибденованадиевая хромомарганцовистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хромомолибденоалюминиевая хромованадиевая марганцовистая хромоникелевольфрамовая, хромомолибденовая хромомолибденоалюминиевая хромоникельванадиевая быстрорежущая	1,0	1,0	-1,0		-0,9		-0,9		
	1,0	1,0	1,75		-0,9		-0,9		
	1,0	1,0	1,75		0,9		0,9		
	1,2	1,1	1,75		1,05		-		
	0,85	0,95	1,75		0,9		1,45		
	0,8	0,9	1,5			1,35			
	0,7	0,8	1,25	1,0		1,0		1,0	
	0,85	0,8	1,25						
	0,75	0,9	1,5						
	0,8	0,85	1,25				1,0		
	0,75	0,8	1,25						
	0,75	0,85	1,25						
	0,6	0,7	1,25						
	Чугун: серый ковкий	-	-	1,7					
		-	-	1,7					
				1,25	1,3	1,3	0,95	1,25	
				1,25	1,3	1,3	0,85	1,25	

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей на скорость резания

Марка стали или сплава	σ_B , МПа	Усредненное значение коэффициента K_{mv}	Марка стали или сплава	σ_B , МПа	Усредненное значение коэффициента K_{mv}
12X18H9T	550	1,0	ХН60ВТ	750	0,48
13X11H2B2MФ	1100 – 1460	0,8 – 0,3			
14X17H2	800 – 1300	1,0 – 0,75	ХН77ТЮ	850 – 1000	0,40
13X14H3B2ФР	700 – 1200	0,5 – 0,4	ХН77ТЮР	950	0,26
37X12H8Г8МФБ	–	0,95 – 0,72	ХН35ВТ	1000 – 1250	0,50
45X14H14B2M	700	1,06	ХН70ВМТЮ	1000 – 1250	0,25
10X11H20ТЗР	720 – 800	0,85	ХН55ВМТКЮ	900 – 1000	0,25
12X21H5T	820 – 10000	0,65	ХН65ВМТЮ	900 – 950	0,20
20X23H18	600 – 620	0,80	ХН35ВТЮ	950 – 1200	0,22
31X19H9МВБТ	730	0,40	ВТ3-1; ВТ3	750 – 950	0,40
15X18H12С4ТЮ	780	0,50	ВТ5; ВТ4	900 – 12	0,70
ХН78Т	–	0,75	ВТ6; ВТ8	900 – 1400	0,35
ХН75МБТЮ		0,53	ВТ14	600 – 1100	0,53 – 0,43
			12X13	850 – 1100	1,5 – 1,2
			30X13; 40X13	–	1,3 – 0,9

Таблица 2.4

Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	K_{mv}	Алюминиевые сплавы	K_{mv}
Гетерогенные: $HB > 140$ $HB100 – 140$	0,7 1,0	Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_B = 200 – 300$ МПа, $HB > 60$	0,8
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	Дюралюминий (закаленный), $\sigma_B = 400 – 500$ МПа, $HB > 100$	
Гомогенные	2,0		
Сплавы с содержанием свинца < 10 % при основной гомогенной структуре	4,0	Силумин и литейные сплавы, $\sigma_B = 100 – 200$ МПа, $HB < 65$.	1,0
Медь	8,0	Дюралюминий, $\sigma_B = 300 – 400$ МПа, $HB < 100$	
Сплавы с содержанием свинца > 15 %	12,0	Дюралюминий, $\sigma_B = 200 – 300$ МПа	1,2

Таблица 2.5

Поправочный коэффициент K_{nv} , учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Состояние поверхности заготовки					
Без корки	с коркой				
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки при корке		Медные и алюминиевые сплавы
			нормальной	сильно загрязненной	
1,0	0,9	0,8	0,8 – 0,85	0,5 – 0,6	0,9

Таблица 2.6

Поправочный коэффициент K_{nv} , учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{nv} в зависимости от марки инструментального материала						
	Сталь конструкционная	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4
0,35		0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	BK8	T5K10	T15K6	P18	–		
	1,0	1,4	1,9	0,3			
Сталь закаленная	<i>HRC35-50</i>				<i>HRC51-62</i>		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Серый и ковкий чугун	BK8	BK6	BK4	BK3	BK3	–	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25		
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBG	Y12A	–
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Стойкость T – период работы инструмента до затупления, приводимый для различных видов обработки, соответствует условиям одноинструментной обработки. При многоинструментной обработке период стойкости T следует увеличивать. Он зависит, прежде всего, от числа одновременно работающих инструментов, отношения времени резания к времени рабочего хода, материала инструмента, вида оборудования. При многостаночном обслуживании период стойкости T также необходимо увеличивать с возрастанием числа обслуживаемых станков.

Таблица 2.7

Коэффициент изменения стойкости $K_{ТИ}$ в зависимости от числа одновременно работающих инструментов при средней по равномерности их нагрузке

Число работающих инструментов	1	3	5	8	10	15
$K_{ТИ}$	1	1,7	2	2,5	3	4
Примечания: 1. При равномерной загрузке инструментом коэффициент $K_{ТИ}$ увеличивать в 2 раза. 2. При загрузке инструментов с большой неравномерностью коэффициент $K_{ТИ}$ уменьшать на 25 – 30 %						

Таблица 2.8

Коэффициент изменения периода стойкости $K_{ТС}$ в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7 и более
$K_{ТИ}$	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

Таблица 2.9

Поправочный коэффициент K_{MP} для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей силы резания P_z при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверливании и зенкеро-вании	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь, σ_B , МПа: < 600 > 600	$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$	0,75/0,35 0,75/0,75	0,75/0,75 0,75/0,75	0,3/0,3 0,3/0,3
Серый чугун	$K_{MP} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{n\gamma}$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{MP} = \left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Примечание: В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.				

Расчет точного значения периода стойкости громоздкий. Поэтому ориентировочно можно считать, что период стойкости при многоинструментной обработке

$$T_{ТИ} = TK_{МИ}, \quad (2.1)$$

а при многостаночном обслуживании

$$T_{МС} = TK_{ТС}, \quad (2.2)$$

где T – стойкость лимитирующего инструмента; $K_{ТИ}$ – коэффициент изменения периода стойкости при многоинструментной обработке (табл. 2.7); $K_{ТС}$ – коэффициент изменения периода стойкости при многостаночном обслуживании (табл. 2.8).

Сила резания. Под силой резания обычно подразумевают ее главную составляющую P_z , определяющую расходуемую на резание мощность N_e и крутящий момент на шпинделе станка. Силовые зависимости рассчитывают по эмпирическим формулам, значения коэффициентов и показателей степени в которых для различных видов обработки приведены в соответствующих таблицах.

Рассчитанные с использованием табличных данных силовые зависимости учитывают конкретные технологические параметры (глубину резания, подачу, ширину фрезерования и др.) и действительны при определенных значениях ряда других факторов. Их значения, соответствующие фактическим условиям резания, получают умножением на коэффициент K_P – общий поправочный коэффициент, учитывающий измененные по сравнению с табличными условиями резания, представляющий собой произведение из ряда коэффициентов. Важнейшим из них является коэффициент K_{MP} , учитывающий качество обрабатываемого материала, значения которого для стали и чугуна приведены в табл. 2.9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 2.10.

Поправочный коэффициент K_{MP} учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	K_{MP}	Алюминиевые сплавы	K_{MP}
Гетерогенные: <i>HV</i> 120 <i>HV</i> > 120	0,7 1,0	Алюминий и силумин Дюралюминий, σ_B , МПа:	1,0
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	250	1,5
и сплавы с содержанием свинца < 10 %	2,0	350	2,0
при основной гомогенной структуре		> 350	2,75
Гомогенные	4,0		
Медь	8,0		
Сплавы с содержанием свинца >15 %	12,0		

Тангенциальная составляющая силы резания P_z может быть определена расчетом

$$P_z = \frac{\tau_p a_1 b_1 c_1 \left(\frac{\rho_1}{a_1}\right)^{x_1} \left(\frac{b}{b_1}\right)^{y_1} \left(\frac{\delta}{\rho_1}\right)^{z_1}}{B^{k_1} \sin^{0,052} \alpha \cdot \sin^{0,052} \gamma}, \text{ Н} \quad (2.3)$$

Численные значения коэффициентов и постоянных величин в формуле (2.3) приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Значения c_1 , x_1 , y_1 , z_1 и k_1

c_1	$\delta/\rho_1 \leq 2,3$	3,8	z_1	$\delta/\rho_1 \leq 2,3$	0,09
	$\delta/\rho_1 > 2,3$	2		$\delta/\rho_1 > 2,3$	0,53
x_1	$0,18B^{1,03}$		k_1	$B \leq 0,4$	0,78
y_1	$0,32B^{1,8}$			$0,4 < B \leq 0,7$	0,36
				$B \geq 0,7$	-0,051

B – критерий подобия процесса резания, характеризующий степень пластических деформаций металла снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали, определяется по формуле (2.4)

$$B = \frac{cB^x D^z}{\Gamma^y (1 - \sin \gamma)^{0,73}} \quad (2.4)$$

Значения величин c , x , m , y и z приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Значения коэффициентов в формуле (2.4)

<i>c</i>	$B \leq 60\Gamma^{0,05}D^{0,11}$	$\lambda \leq 20$	$\Gamma \leq 9,5$	$\Gamma > 9,5$
			0,9	1,35
		$\lambda > 20$	0,45 $\Gamma^{-0,09}$	
	$B > 60\Gamma^{0,05}D^{0,11}$	$\lambda \leq 20$	6,05	
$\lambda > 20$		2,6		
<i>x</i>	$B \leq 0,6\Gamma^{0,7}D^{0,11}$	$-0,21[\Gamma(1 - \sin\gamma)]^{0,3} + m$		
	$60\Gamma^{0,05}D^{0,11} \geq B > 0,6\Gamma^{0,7}D^{0,11}$	$0,31[\Gamma(1 - \sin\gamma)]^{-0,22} + m$		
	$B > 60\Gamma^{0,05}D^{0,11}$	$-0,16[\Gamma(1 - \sin\gamma)]^{-0,22} + m$		
<i>m</i>	$B \leq 10\Gamma^{0,05}D^{0,11}$	$\lambda \leq 20$	$\lambda > 20$	
		0,045	0,105	
	$10\Gamma^{0,05}D^{0,11} < B < 60\Gamma^{0,7}D^{0,11}$	0,03	0,09	
	$B \geq 60\Gamma^{0,05}D^{0,11}$	-0,055	-0,005	
<i>y</i>	$\lambda < 20$	$0,11[B(1 - \sin\gamma)]^{0,6}$		
	$20 \leq \lambda \leq 110$	$-0,62[\Gamma(1 - \sin\gamma)]^{0,82}$		
	$\lambda > 110$	0,195		
<i>z</i>	$0,19[B\Gamma(1 - \sin\gamma)]^{0,11}$			

$$B = \frac{Va_1}{a}; \quad \Gamma = \frac{\lambda_p}{\lambda} \beta \varepsilon; \quad D = \frac{a_1}{b_1}; \quad \beta = \frac{90 - \alpha - \gamma}{57,25}; \quad \varepsilon = \frac{180 - \varphi - \varphi_1}{57,25}.$$

Точение

Глубина резания *t*: при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования и жесткости системы СПИЗ принимается равной припуску на обработку; при чистовом точении припуск срезается за два прохода и более. На каждом последующем проходе следует назначать меньшую глубину резания, чем на предшествующем. При параметре шероховатости обработанной поверхности $Ra = 3,2$ мкм включительно $t = 0,5 \dots 2,0$ мм; при $Ra \geq 0,8$ мкм, $t = 0,1 \dots 0,4$ мм.

Подача *S*: при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования и жесткости системы СПИЗ, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в табл. 2.13, а при черновом растачивании – в табл. 2.14.

Таблица 2.13

**Значение подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава
и быстрорежущей стали**

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал									
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы				
		Подача s , мм/об, при глубине резания t , мм									
		До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св.8 до 12	Св. 12	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12
До 20	От 16 × 25 до 25 × 25	0,3–0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 20 до 40	От 16 × 25 до 25 × 25	0,4–0,5	0,3–0,4	0,3–0,7	0,4–0,8	0,4–0,8	0,4–0,5	0,5–0,8	0,4–0,7	0,5–0,9	0,6–0,9
» 40 » 60	От 16 × 25 до 25 × 40	0,5–0,9	0,4–0,8				0,6–0,9				
» 60 » 100	От 16 × 25 до 25 × 40	0,6–1,2	0,5–1,1	0,5–0,9	0,4–0,8	0,8–1,4	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9	0,6–0,9	0,7–0,9
» 100 » 400	От 16 × 25 до 25 × 40	0,8–1,3	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9	1,0–1,5	0,8–1,9	0,8–1,1			
» 400 » 500	От 20 × 30 до 40 × 60	1,1–1,4	1,0–1,3	0,7–1,2	0,6–1,2	0,4–1,1	1,3–1,6	1,2–1,5	1,0–1,2	0,7–0,9	0,8–1,0
» 500 » 600	От 20 × 30 до 40 × 60	1,2–1,5	1,0–1,4	0,8–1,3	0,6–1,3	0,1–1,2	1,5–1,8	1,2–1,6	1,0–1,4	0,9–1,2	
» 600 » 1000	От 25 × 40 до 40 × 60	1,2–1,8	1,1–1,5	0,9–1,4	0,8–1,4	0,7–1,3	1,5–2,0	1,3–1,8	1,0–1,4	1,0–1,3	0,9–1,2
» 1000 » 2500	От 30 × 45 до 40 × 60	1,3–2,0	1,3–1,8	1,2–1,6	1,1–1,5	1,0–1,5	1,6–2,4	1,6–2,0	1,4–1,8	1,3–1,7	1,2–1,7

Примечания: 1. Нижние значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца и более прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – большим размерам державки резца и менее прочным обрабатываемым материалам.
2. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи свыше 1 мм/об не применять.
3. При обработке прерывистых поверхностей и при работах с ударами табличные значения подач следует уменьшать на коэффициент 0,75–0,85.
4. При обработке закаленных сталей табличные значения подачи уменьшать, умножая на коэффициент 0,8 для стали с *HRC* 44–56 и на 0,5 для стали с *HRC* 57–62.

Таблица 2.14

Подачи при черновом растачивании на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец или оправка		Обрабатываемый материал											
Диаметр круглого сечения резца или размеры прямоугольного сечения оправки, мм	Вылет резца или оправки, мм	Сталь конструкционная углеродистая,					Чугун и медные сплавы						
		Подача s , мм/об, при глубине резания t , мм											
		2	3	5	8	12	20	2	3	5	6	12	20
Токарные и токарно-револьверные станки													
10	50	0,08	–	–				0,12 – 0,16	–			–	–
12	60	0,10	0,8					0,12 – 0,20	0,12 – 0,18				
16	80	0,1 – 0,2	0,15	0,1				0,20 – 0,30	0,15 – 0,25	0,1 – 0,18			
20	100	0,5 – 0,3	0,15 – 0,25	0,12				0,3 – 0,4	0,25 – 0,35	0,12 – 0,25	–		
25	125	0,25 – 0,5	0,15 – 0,4	0,12 – 0,2	–			0,4 – 0,6	0,3 – 0,5	0,25 – 0,35			
30	150	0,4 – 0,7	0,2 – 0,5	0,12 – 0,3				0,5 – 0,8	0,4 – 0,6	0,25 – 0,45			
40	200		0,25 – 0,6	0,15 – 0,4					0,6 – 0,8	0,3 – 0,8			
40×40	150		0,6 – 1,0	0,5 – 0,7					0,7 – 1,2	0,5 – 0,9	0,4 – 0,5	–	–
	300		0,4 – 0,7	0,3 – 0,6		–	–		0,6 – 0,9	0,4 – 0,7	0,3 – 0,4		
60×60	150		0,9 – 1,2	0,8 – 1,0					1,0 – 1,5	0,8 – 1,2	0,6 – 0,9		
	300		0,7 – 1,0	0,5 – 0,8	0,6 – 0,8				0,9 – 1,2	0,7 – 0,9	0,5 – 0,7		
75×75	300	–	0,9 – 1,3	0,8 – 1,1	0,4 – 0,7			–	1,1 – 1,6	0,9 – 1,3	0,7 – 1,0		
	500		0,7 – 1,0	0,6 – 0,9	0,7 – 0,9					0,7 – 1,1	0,6 – 0,8		
	800			0,4 – 0,7	0,5 – 0,7				–	0,6 – 0,8			
Карусельные станки													
	200		1,3 – 1,7	1,2 – 1,5	1,1 – 1,3	0,9 – 1,2	0,8 – 1,0		1,5 – 2,0	1,4 – 2,0	1,2 – 1,6	1,0 – 1,4	0,9 – 1,2
	300		1,2 – 1,4	1,0 – 1,3	0,9 – 1,1	0,8 – 1,0	0,6 – 0,8	–	1,4 – 1,8	1,2 – 1,7	1,0 – 1,3	0,8 – 1,1	0,7 – 0,9
	500		1,0 – 1,2	0,9 – 1,1	0,7 – 0,9	0,6 – 0,7	0,5 – 0,6		1,2 – 1,6	1,1 – 1,5	0,8 – 1,1	0,7 – 0,9	0,6 – 0,7
	700		0,8 – 1,0	0,7 – 0,8	0,5 – 0,6				1,0 – 1,4	0,9 – 1,2	0,7 – 0,9	–	
Примечания: 1. Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины и более прочных материалов. 2. См. примечание 2 – 4 к табл. 2.18.													

Максимальные величины подач при точении стали 45, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, приведены в табл. 2.15.

Подачи при чистовом точении выбирают в зависимости от требуемых параметров шероховатости поверхности и радиуса при вершине резца в плане (табл. 2.16).

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл. 2.17).

Рекомендуемые подачи при фасонном точении в табл. 2.18.

Таблица 2.15

Подачи, мм/об, допускаемые прочностью пластины из твердого сплава, при точении конструкционной стали резцами с главным углом в плане $\varphi 45^\circ$

Толщина пластины, мм	Глубина резания t , мм, до			
	4	7	13	22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,6	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примечания: 1. В зависимости от механических свойств стали на табличные значения подачи вводить поправочный коэффициент 1,2 при $\sigma_B = 480 \div 640$ МПа; 1,0 при $\sigma_B = 650 \div 870$ МПа и 0,85 при $\sigma_B = 870 \div 1170$ МПа.
2. При обработке чугуна коэффициент табличное значение подачи умножать на коэффициент 1,6.
3. При обработке чугуна коэффициент табличное значение подачи умножать на поправочный коэффициент 1,4 при $\varphi = 30^\circ$; 1,0 при $\varphi = 45^\circ$; 0,6 при $\varphi = 60^\circ$ и 0,4 при $\varphi = 30^\circ$.
4. При обработке с ударами подачу уменьшать на 20 %

Таблица 2.16

Подачи, мм/об, при чистовом точении

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца, r , мм					
Ra	Rz	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63	—	0,07	0,1	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25		0,1	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,5		0,144	0,2	0,246	0,29	0,32	0,35
—	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,6
	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,8	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примечания: Поддачи даны для обработки сталей $\sigma_B = 700 \div 900$ МПа; и чугунов; для сталей с $\sigma_B = 500 \div 700$ МПа значения подач умножат на коэффициент $K_S = 0,45$; для сталей с $\sigma_B = 900 \div 1100$ МПа – значения подач умножать на коэффициент $K_S = 1,25$.

Таблица 2.17

Подачи, мм/об, при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь, конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	Чугун, медные и алюминиевые сплавы
<i>Токарно револьверные станки</i>			
До 20	3	0,06 – 0,8	0,11 – 0,14
Св. 20 до 40	3 – 4	0,1 – 0,12	0,16 – 0,19
» 40 » 60	4 – 5	0,13 – 0,16	0,20 – 0,24
» 60 » 100	5 – 8	0,16 – 0,23	0,24 – 0,32
» 100 » 150	6 – 10	0,18 – 0,26	0,30 – 0,40
» 150	10 – 15	0,28 – 0,36	0,40 – 0,55
<i>Карусельные станки</i>			
До 2500	10 – 15	0,35 – 0,45	0,55 – 0,60
Св. 2500	16 – 20	0,45 – 0,60	0,60 – 0,70

Примечания: 1. При отрезании сплошного материала диаметром более 60 мм при приближении резца к оси детали до 0,5 радиуса табличные значения подачи следует уменьшить на 40-50 %.

2. Для закаленной конструкционной стали табличные значения подачи уменьшать на 30 % при $HCR < 50$ и на 50 % при $HCR > 50$.

3. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения умножать на коэффициент $K_s = 0,8$.

Таблица 2.18

Значения подачи, мм/об, при фасонном точении

Ширина резца, мм	Диаметр обработки, мм			
	20	25	40	60 и более
8	0,03 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09
10	0,03 – 0,07	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085
15	0,02 – 0,05	0,035 – 0,075	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
20	–	0,03 – 0,06	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
30	–	–	0,035 – 0,07	0,035 – 0,07
40	–	–	0,03 – 0,06	0,03 – 0,06
50 и более				0,025 – 0,055

Примечания: Меньшие подачи брать для более сложных и глубоких профилей и твердых металлов, большие – для простых и мягких металлов.

Скорость резания v м/мин: при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v.$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении – по формуле $v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v$. Среднее значение стойкости при одноинструментальной обработке – 30...60 мин. Значения коэффициента C_v , показателей степени x , y , m приведены в табл. 2.19. Коэффициент K_v является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки K_{mv} (табл. 2.4), состояния поверхности K_{nv} (табл. 2.5), материала инструмента K_{iv} (табл. 2.6). При многоинструментной обработке и многостаночном обслуживании период стойкости увеличивают, вводя соответственно коэффициенты K_{TI} (табл. 2.7) и $K_{ТС}$ (табл. 2.8), углов в плане резцов K_ϕ и радиуса при вершине резца K_r (табл. 2.20).

Таблица 2.19

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при токарной обработке

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_B = 750$ МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	s до 0,3	420	0,15	0,20	0,20
		s св. 0,3 до 0,7	350		0,35	
		s св. 0,7	340		0,45	
То же, резцами с дополнительным лезвием	Т15К6*	$s \leq t$ $s > t$	292	0,30 0,15	0,15 0,30	0,18
Отрезание	Т5К10* Р18**	–	47 23,7	–	0,80 0,66	0,20 0,25
Фасонное точение	Р18**		22,7	–	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы	Т15К6*			244	0,23	0,30
	Р6М5	Черновые ходы $P \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,30	0,11
		$P > 2$ мм	30	0,60	0,25	0,08
		Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	Т15К6*	–	2330	0,50	0,50	0,50
Обработка серого чугуна, $HB 190$						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$s \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	243		0,40	
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	ВК6**	$s \leq t$	324	0,40	0,20	0,28
		$s > t$	324	0,20	0,40	
Отрезка	ВК6*	–	68,5	–	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы			83	0,45	–	0,33

Обработка ковкого чугуна, $HB\ 150$						
Наружное продольное точение проходными резцами	BK8*	$s \leq 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	215		0,45	
Отрезание	BK6*	–	86	–	0,40	
Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, $HB\ 100-140$						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		$s > 0,20$	182		0,30	
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100 \div 200$ МПа, $HB \leq 65$; дюралюминия, $\sigma_B = 300 \div 400$ МПа, $HB \leq 100$						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	485	0,12	0,25	0,28
		$s > 0,20$	328		0,50	
* Без охлаждения.						
** С охлаждением.						
<p>Примечания: 1. При внутренней обработке (расточивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.</p> <p>2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.</p> <p>3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твердого сплава T15K6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.</p> <p>4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85.</p> <p>5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 – при нормализации, 0,9 – при отжиге, 0,8 – при улучшении.</p> <p>6. Подача s в мм/об.</p>						

Таблица 2.20

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние параметров резца на скорость резания

Главный угол в плане φ°	Коэффициент $K_{\varphi v}$	Вспомогательный угол в плане φ_1°	Коэффициент $K_{\varphi 1 v}$	Радиус при вершине резца r^* , мм	Коэффициент $K_{r v}$
20	1,4	10	1,0	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,0
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	–	–
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	–	–	–	–
* Учитывают только для резцов из быстрорежущей стали.					

Отделочная токарная обработка имеет ряд особенностей, отличающих ее от чернового и межоперационного точения, поэтому рекомендуемые режимы резания при тонком (алмазном) точении на быстроходных токарных станках повышенной точности и расточных станках приведены отдельно в табл. 2.21.

Режимы резания при точении закаленной стали резцами из твердого сплава приведены в табл. 2.22.

Таблица 2.21

Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части режущего инструмента	Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Подача, мм/об	Скорость резания, мм/мин
Сталь: $\sigma_B < 650$ МПа $\sigma_B = 650 \dots 800$ МПа $\sigma_B > 800$ МПа	Т30К4	1,25 – 0,63	0,06 – 0,12	250 – 300
150 – 200				
Чугун: HB 149-163 HB 156-229 HB 170-241	ВК3	2,5 – 1,25		120 – 170
150 – 200				
120 – 150				
Алюминиевые сплавы и баббит			0,04 – 0,1	300 – 600
Бронза и латунь		1,25 – 0,32	0,04–0,08	180 – 500

Примечания: 1. Глубина резания 0,1-0,15мм.
2. Предварительный проход с глубиной резания 0,4 мм улучшает геометрическую форму обработанной поверхности.
3. Меньшие значения параметра шероховатости поверхности соответствуют меньшим подачам.

Таблица 2.22

Режимы резания при наружном продольном точении и отрезке деталей из закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава

Подача s , мм/об	Ширина прорезания, мм	Твердость обрабатываемого материала HRC									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
Скорость резания v , м/мин,											
Наружное продольное точение											
0,2	–	157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3		140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4		125	104	88	78	60	66	45	33		
0,5		116	95	79	71	53	–	–	–	–	–
0,6		108	88	73	64	48					

Прорезание паза											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	41	43	37	32	27	23	—	—	—	—
0,20	12	43	36	31	27	23	20	—	—	—	—

Примечания. 1. В зависимости от глубины резания на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,15 при $t = 0,4 \dots 0,9$ мм; 1,0 при $t = 1 \dots 2$ мм и 0,91 при $t = 2 \dots 3$ мм.

2. В зависимости от параметра шероховатости на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,0 при $Rz = 10$ мкм; 0,9 при $Ra = 2,5$ мкм и 0,7 при $Ra = 1,25$ мкм.

3. В зависимости от марки твёрдого сплава на скорость резания вводить поправочный коэффициент K_{uv} :

Твёрдость обрабатываемого материала	HRC 35-49				HRC 50-62		
Марка твердого сплава	T30K4	T15K6	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
Коэффициент K_{uv} .	1,25	1,0	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74

4. В зависимости от главного угла резца в плане вводить поправочные коэффициенты: 1,2 при $\varphi = 30^\circ$; 1,0 при $\varphi = 45^\circ$; 0,9 при $\varphi = 60^\circ$; 0,8 при $\varphi = 75^\circ$; 0,7 при $\varphi = 90^\circ$.

5. При работе без охлаждения на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,9.

Режимы резания при точении и растачивании чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов резцами, оснащенными поликристаллами композитов 01 (эльбор-Р), 05, 10 (гексанит-Р) и 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р) приведены в табл. 2.23.

Таблица 2.23

Режимы резания при точении и растачивании резцами, оснащенными композитом на основе нитрида бора

Обрабатываемый материал	Характер обработки	Марка композита	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об	Скорость резания v , м/мин
Закаленные стали, HRC 40-58	Без удара	01; 05	0,05 – 3,0	0,03 – 0,2	50 – 100
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	40 – 120
Закаленные стали, HRC 58-68	Без удара	01	0,05 – 0,8	0,03 – 0,1	50 – 120
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 0,2	0,03 – 0,07	10 – 100
Серые и высокопрочные чугуны, HB 150-300	Без удара	05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,3	300 – 1000
	С ударом	10; 10Д; 05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,15	300 – 700
Отбеленные закаленные чугуны, HB 400-600	Без удара	05; 01	0,05 – 2,0	0,03 – 0,15	80 – 200
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	50 – 100
Твердые сплавы BK15, BK20, BK25 и т.п. HRA 80-86	Без удара, допускается биение	10; 10Д; 01	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	5 – 20

Сила резания. Силу резания R , принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x) При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитывают по формуле

$$P_{z,y,x} = 10C_p t^x s^y v^n K_p.$$

При отрезании, прорезании и фасонном точении t – длина лезвия резца.

Постоянная C_p и показатели степени x, y, n для конкретных условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в табл. 2.24.

Таблица 2.24

Значение постоянной C_p и показателей степени в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_b = 750$ МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	-0,15	243	0,9	0,6	-0,3	339	1,0	0,5	-0,4
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90		355	0,6	0,8		241	1,05	0,2	
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	-	-	-	-
		Нарезание резьбы	148	-	1,7	0,71	-	-	-	-	-	-	-	-
	Быстро-режущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	200		0,75		125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247		1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Фасонное точение	212		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сталь жаропрочная 12X18H9T HB 141	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204	1,0	0,75	0	-	-	-	-	-	-	-	

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих												
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x				
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	
Серый чугун, <i>HB</i> 190	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0	
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123		0,85		61	0,6	0,5		24	1,05	0,2		
		Нарезание резьбы	103	–	1,8	0,82	–	–	–	–	–	–	–	–	
Серый чугун, <i>HB</i> 190	Быстро-режущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	
Ковкий чугун, <i>HB</i> 150	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	81		0,75		0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
			100					88				40	1,2	0,65	
		Отрезание и прорезание	139	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
Медные гетерогенные сплавы, <i>HB</i> 120		Наружное продольное и поперечное точение, растачивание.	55	1,0	0,66	0	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Отрезание и прорезание	75		1,0		–	–	–	–	–	–	–	–	
Алюминий и силумин	Быстро-режущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75	0	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Отрезание и прорезание	50		1,0		–	–	–	–	–	–	–	–	

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_{MP}K_{\varphi p}K_{\gamma p}K_{\lambda p}K_{rp}$), учитывающих фактические условия резания. Численные значения этих коэффициентов приведены в табл. 2.9, 2.10 и 2.25.

Мощность резания, кВт, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт.}$$

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметры		Материал режущей кромки инструмента	Поправочные коэффициенты			
Наименование	Величина		Обозначение	Величина коэффициента для составляющих		
				тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный угол в плане φ°	30	Твердый сплав	$K_{\varphi p}$	1,08	1,3	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,5	1,17
	30	Быстрорежущая сталь		1,08	1,63	0,7
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,98	0,71	1,27
	90			1,08	0,44	1,82
Передний угол γ°	-15	Твердый сплав	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10	1,0		1,0	1,0	
	12 – 15 20 – 25	Быстрорежущая сталь		1,15	1,6	1,7
	1,0		1,0	1,0		
Угол наклона главного лезвия λ°	-5	Твердый сплав	$K_{\lambda p}$	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радиус при вершине r , мм	0,5	Быстрорежущая сталь	K_{rp}	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,0	1,0	
	3,0			1,04	1,14	
	4,0			1,1	1,33	

При одновременной работе нескольких инструментов эффективную мощность определяют как суммарную мощность отдельных инструментов.

Особую группу составляют труднообрабатываемые материалы, не охваченные выше приведенными нормативами. Геометрические параметры режущей части резцов из твердых сплавов для деталей из жаропрочных сплавов приведены в табл. 2.26. Значения подач при черновом точении деформируемых и литейных жаропрочных сплавов резцами из твердого сплава приведены в табл. 2.27, а при чистовом точении деталей из деформируемых сплавов в табл. 2.29. При растачивании приведенные подачи следует умножать на коэффициенты, приведенные в табл. 2.28. При точении литейных жаропрочных сплавов подачи при чистовом точении

приведены в табл. 2.30. При отрезке и прорезке канавок в деталях из литейных жаропрочных сплавов подачи следует назначать в соответствии с рекомендациями табл. 2.31.

Режимы резания при наружном продольном точении деформируемого жаропрочного сплава ЭИ698ВД (ХН73МБТЮ) приведены в табл. 2.32, а сплава ВЖЛ-12У в табл. 2.33. Поправочные коэффициенты на скорость резания для этих сплавов приведены в табл. 2.34. Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ) приведены в табл. 2.35, поправочные коэффициенты на скорость резания для изменённых условий – в табл. 2.36.

СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ

Глубина резания. При всех видах строгания и долбления глубину резания назначают так же, как и при точении.

Подача. При черновом строгании подачу S , мм/дв. ход, выбирают максимальной из допустимых значений по табл. 2.13 и 2.15 в соответствии с глубиной резания, сечением державки, прочностью пластинки; при чистовом строгании – по табл. 2.16, при отрезании и прорезании пазов – по табл. 2.17.

Скорость резания. При строгании плоскостей проходными резцами, при прорезании пазов, отрезании скорость резания рассчитывается по соответствующим формулам для точения с введением дополнительного поправочного коэффициента $K_{\text{ув}}$, учитывающего ударную нагрузку.

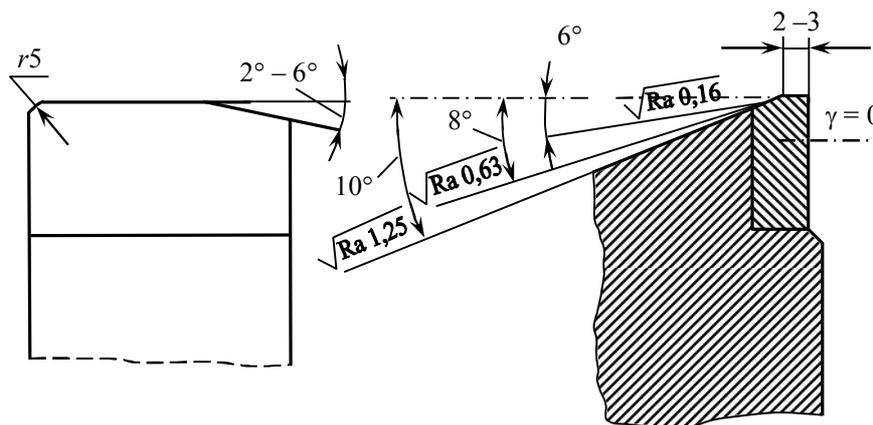


Рис. 2.1. Строгальный резец для чистовой обработки плоскостей.

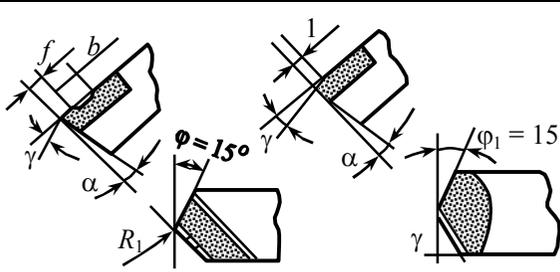
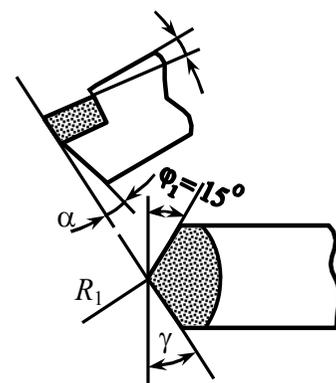
Сила резания. Составляющие силы резания рассчитываются по формулам для точения.

Режимы резания для строгания плоскостей широкими резцами (рис. 2.1) приведены в табл. 2.37.

Мощность резания рассчитывают по той же формуле, что и для точения при аналогичных режимах.

Таблица 2.26

Геометрические параметры режущей части резцов из твердых сплавов для точения деталей из жаропрочных сплавов

Группа подач	Материал режущей части	Эскиз режущей части резцов	Обрабатываемый материал	σ_B , МПа	Подача S , мм/об	Параметры резца					
						γ°	α°	f , мм	b , мм	R , мм	R_1 , мм
Точение с подачами $> 0,06$ мм/об	ВК8, ВК10-ОМ, ВК6, ВК6-ОМ, Р9М4К8Ф, Р18Ф2, Р9К10, (Р18), Р12Ф2К5М3	 <p>а) с упрочняющей фаской б) с отрицательным передним углом</p>	Деформируемые и литейные сплавы	700 – 1300	0,3	5	15	0,1 – 0,2	2,0	10	0,5 – 1,0
					0,3 – 0,5	10	10	0,3 – 0,4	3,0	8	1,0
Точение с подачами $< 0,06$ мм/об			Деформируемые сплавы	800 – 1300	0,02 – 0,06	5 – 8	10 – 12	–	–	–	0,2
			Литейные сплавы	800 – 1000	0,02 – 0,06	3 – 5	10 – 12	–	–	–	0,2

Примечание: 1. Отрицательную фаску на передней грани применять при черновом и получистовом точении.
2. В скобках указывается инструментальный материал ограниченного применения.

Таблица 2.27

Подачи при черновом точении деформируемых и литейных жаропрочных сплавов резцами из твердого сплава ВК8, ВК6М, ВК10-ОМ

Размер державки	Диаметр обрабатываемой поверхности	Глубина резания	
		до 2 мм	до 4 мм
		Подача s мм/об	
20 × 16 25 × 20	20	0,15 – 0,25	–
	50	0,2 – 0,3	0,15 – 0,25
	100	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
	200	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
32 × 25	100	0,2 – 0,3	0,15 – 0,25
	200	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
40 × 40 50 × 40	100	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	200	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
60 × 40	св. 500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3

Таблица 2.28

Поправочные коэффициенты на подачу при растачивании

Отношение длины вылета к диаметру оправки у основания	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Поправочный коэффициент K_1	0,7	0,6	0,4	0,3	0,24	0,15

Таблица 2.29

Подачи для чистового точения деталей из деформируемых сплавов резцами с пластинками из твердого сплава

Радиус при вершине резца в плане, мм	Шероховатость поверхности, Rz				
	80	40	20	2,5	1,25
0,5	0,65	0,32	0,18	0,11	–
1,0	–	0,42	0,24	0,15	0,10
2,0	–	0,56	0,32	0,20	0,14
4,0	–	–	0,42	0,27	0,18

Таблица 2.30

Поддачи в зависимости от заданной шероховатости при точении литейных сплавов на токарных станках. Резцы с пластинками из твердого сплава

Шероховатость обрабатываемой поверхности, Rz	Радиус при вершине резца в плане, мм	Скорость резания v , м/мин				
		3	5	10	15	св. 15
40	0,5	0,16		0,2		
20		0,10			0,12	
2,5		–			0,10	
2,5	1,0	0,14	0,28			
1,25		–			0,12	
2,0	2,0	0,28				
2,5		0,28				
1,25		0,20			0,25	

Таблица 2.31

Поддачи при отрезке и прорезке канавок в деталях из литейных сплавов на токарных станках

Вид обработки	Резец			Поддача s , мм/об при $\sigma_B > 900$ МПа
	сечение державки	ширина головки, мм	длина головки, мм	
Отрезка	16 × 10	3	20	0,04 – 0,06
	25 × 16	5	35	
	32 × 20	6	40 60	
	40 × 25	8	100	0,06 – 0,10
	60 × 25	10	200	
	80 × 25	12	400	
	120 × 25	16	500	
Прорезка канавок	16 × 10	3	15	0,05 – 0,07
	25 × 16	5	20	0,08 – 0,12
		10	25	
	30 × 20	5	25	0,10 – 0,15
		8	30	
		12	40	
16		40		

Таблица 2.32

Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭИ698ВД
(ХН73МБТЮ). Резцы с пластинками ВК6М, ВК8.

Работа с охлаждением

Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об	Главный угол в плане ϕ , град		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания v , м/мин		
Резцы с пластинками ВК6М				
0,5	0,06	49,4	40,5	35,3
	0,1	43,9	36,0	31,3
	0,2	36,8	30,2	26,3
	0,24	35,0	28,8	25,0
1,0	0,06	43,0	35,4	30,8
	0,1	38,0	31,3	27,4
	0,2	31,9	26,1	22,8
	0,24	30,48	25,0	21,7
	0,3	28,8	23,6	20,5
1,5	0,06	39,84	32,6	28,3
	0,1	35,0	28,8	25,0
	0,2	29,4	24,1	21,1
	0,24	28,1	23,0	20,0
	0,3	26,4	21,7	18,8
3,0	0,1	30,6	25,1	21,8
	0,2	25,6	21,0	18,2
	0,24	24,5	20,0	17,4
	0,3	23,2	19,0	16,4
6,0	0,2	22,4	18,4	16,0
	0,24	21,4	17,5	15,2
	0,3	20,2	16,6	14,4
	0,35	19,3	15,8	13,8
	0,42	18,6	15,2	13,3
	0,5	17,8	14,5	12,6
Резцы с пластинками ВК8				
9,0	0,4	17,3	14,2	12,4
	0,5	16,4	13,4	11,6
	0,6	15,7	12,8	11,3
	0,7	15,0	12,4	10,8
	0,8	14,5	11,9	10,3

Таблица 2.33

Режимы резания при наружном продольном точении сплава ВЖЛ-12У.

Резцы с пластинками ВК6М, ВК10-ОМ. Работа с охлаждением

Глубина резания t , мм, до	Подача S , мм/об, до	Главный угол в плане φ , град		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания v , м/мин		
0,5	0,06	17,7	16,9	14,6
	0,10	16,9	15,4	13,1
	0,20	14,6	13,9	12,3
	0,24	14,6	12,3	10,8
1,0	0,06	16,9	14,6	13,1
	0,10	15,4	13,9	12,3
	0,20	13,9	12,3	11,5
	0,24	13,1	12,3	10,0
	0,30	12,3	10,8	9,25
1,5	0,06	14,6	13,9	12,3
	0,10	13,9	12,3	11,5
	0,20	12,3	12,3	10,0
	0,24	12,3	10,8	9,25
	0,30	10,8	10,0	8,5
3,0	0,10	12,3	12,3	10,0
	0,20	11,5	10,8	9,25
	0,24	10,8	10,0	8,8
	0,30	10,0	9,25	7,7

Таблица 2.34

Поправочные коэффициенты на скорость резания при точении сплавов
ХН73МБТЮ и ВЖЛ-12У

Характер обработки	Поперечное точение	Отношение величины меньшего диаметра к большому, до:	0,4	0,7	0,8
		Коэффициент K_{V_1}	1,14	1,06	1,05
	Отрезка и расточка кольцевых канавок	Отношение величины меньшего диаметра к большому, до:	0,4	0,7	0,8
		Коэффициент K_{V_2}	0,65	0,6	0,5
	Проточка торце- вых канавок	Коэффициент K_{V_3}	0,5		
	Растачивание	Диаметр растачивания	75	200	св. 200
		Коэффициент K_{V_4}	0,8	0,9	1,0

Марка материала режущей части	Марка твердого сплава	ВК10-ОМ	ВК6М ВК8	ВК3М (для глубины резания до 3-х мм)	
	Коэффициент K_{V_5}	1,2	1,0	1,1	
Период стойкости резца	Период стойкости, T , мин	30	45	60	90
	Коэффициент K_{V_6}	1,0	0,9	0,83	0,75
Состояние поверхности	Поверхность	Без корки		С коркой	
	Коэффициент K_{V_7}	1,0		0,75	
Наличие охлаждения	Без охлаждения		С охлаждением		
	0,9		1,0		

Таблица 2.35

Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭП742
резцами с пластинками ВК6М, ВК8. Работа с охлаждением

Глубина резания t , мм	Подача S , мм/об	Главный угол в плане ϕ , град		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания v , м/мин		
Резцы с пластинками ВК6М				
0,5	0,06	36,5	30,0	26,0
	0,1	32,5	26,6	23,1
	0,2	27,2	22,3	19,4
	0,24	25,9	21,3	18,5
1,0	0,06	31,9	26,1	22,8
	0,1	28,2	23,1	20,3
	0,2	23,5	19,3	16,8
	0,24	22,5	18,5	16,1
	0,3	21,3	17,5	15,1
1,5	0,06	29,7	24,1	21,0
	0,1	25,9	21,3	18,5
	0,2	21,7	17,9	15,6
	0,24	20,7	17,0	14,9
	0,3	19,4	16,0	13,9
3,0	0,1	22,7	18,6	16,2
	0,2	19,0	15,5	13,4
	0,24	18,0	14,7	12,8
	0,3	17,0	14,0	12,1

6,0	0,2	16,5	13,5	11,7
	0,24	15,8	13,0	11,3
	0,3	14,9	12,2	10,5
	0,35	14,3	11,6	10,2
	0,42	13,7	11,3	9,8
	0,5	13,0	10,6	9,2
Резцы с пластинками ВК8				
9,0	0,4	12,7	10,4	9,1
	0,5	12,1	10,0	8,6
	0,6	11,6	9,5	8,3
	0,7	11,1	9,1	8,0
	0,8	10,7	8,7	7,8

Таблица 2.36

Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных
условий работы

Характер обработки	Поперечное точение	Отношение величины меньшего диаметра к большому, до:	0,4	0,7	0,8
		Коэффициент K_{V_1}	1,25	1,2	1,05
	Отрезка и расточка кольцевых канавок	Отношение величины меньшего диаметра к большому, до:	0,4	0,7	0,8
		Коэффициент K_{V_2}	0,65	0,6	0,5
	Проточка торцевых канавок	Коэффициент K_{V_3}	0,5		
	Растачивание	Диаметр растачивания	75	200	св. 200
		Коэффициент K_{V_4}	0,8	0,9	1,0
	Период стойкости резца	Период стой- кости, T , мин	30	45	60
Коэффициент K_{V_5}		1,0	0,78	0,65	0,39
Состояние поверхности	Поверхность	Без корки		С коркой	
	Коэффициент K_{V_7}	1,0		0,75	
Наличие охлаждения	Без охлаждения		С охлаждением		
	0,6		1,0		

Таблица 2.37

Режимы резания при обработке плоскостей на чугуновых деталях широкими резцами из сплавов ВК8 на продольно-строгальных станках

Характер обработки	Площадь обрабатываемой поверхности, м ²	Число проходов	Глубина резания t , мм	Подача S , мм/дв. ход	Скорость резания v , м/мин
Получистовая $Rz = 40 \div 10$ мкм	–	1	До 2	10 – 20	14 – 18
Чистовая $Ra = 2,5 \div 1,25$ мкм: предварительный проход			0,15 – 0,3	10 – 20	5 – 15
Чистовая окончательный проход	6	1 – 2	0,05 – 0,1	12 – 16	15
	8				11
	12				7
	17				55
	22				4

Примечания: 1. Прямолинейный участок лезвия контролировать по лекальной линейке. 2. Обрабатываемую поверхность смачивать керосином.

Значения коэффициента K_{yv} в зависимости от типа станка приведены ниже:

Тип станка...	Продольно-строгальный	Поперечно-строгальный	Долбежный
K_{yv}	1,0	0,8	0,6

СВЕРЛЕНИЕ, РАССВЕРЛИВАНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

Глубина резания. При сверлении глубина резания $t = 0,5D$ (рис. 2.2, а), при рассверливании, зенкеровании и развертывании $t = 0,5(D - d)$ (рис. 2.2, б).

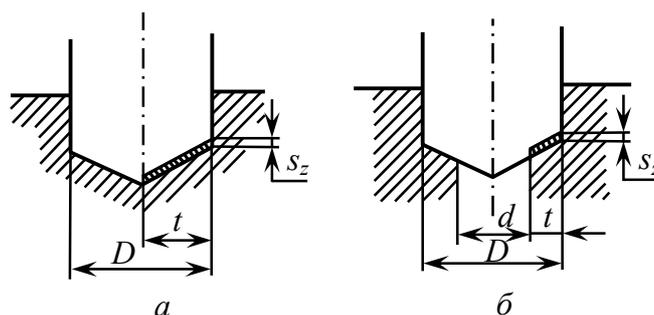


Рис. 2.2. Схема резания при сверлении

Подача. При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 2.38).

Таблица 2.38

Подачи, мм/об, при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла D , мм	Сталь				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	HB < 160	HB 160 – 240	HB 240 – 300	HB > 300	HB ≤ 170	HB > 170
2 – 4	0,09 – 0,13	0,08 – 0,10	0,06 – 0,07	0,04 – 0,06	0,12 – 0,18	0,09 – 0,12
4 – 6	0,13 – 0,19	0,10 – 0,15	0,07 – 0,11	0,06 – 0,09	0,18 – 0,27	0,12 – 0,18
6 – 8	0,19 – 0,26	0,15 – 0,20	0,11 – 0,14	0,09 – 0,12	0,27 – 0,36	0,18 – 0,24
8 – 10	0,26 – 0,32	0,20 – 0,25	0,14 – 0,17	0,12 – 0,15	0,36 – 0,45	0,24 – 0,31
10 – 12	0,32 – 0,36	0,25 – 0,28	0,17 – 0,20	0,15 – 0,17	0,45 – 0,55	0,31 – 0,35
12 – 16	0,36 – 0,43	0,28 – 0,33	0,20 – 0,23	0,17 – 0,20	0,55 – 0,66	0,35 – 0,41
16 – 20	0,43 – 0,49	0,33 – 0,38	0,23 – 0,27	0,20 – 0,23	0,66 – 0,76	0,41 – 0,47
20 – 25	0,49 – 0,58	0,38 – 0,43	0,27 – 0,32	0,23 – 0,26	0,76 – 0,89	0,47 – 0,54
25 – 30	0,58 – 0,62	0,43 – 0,48	0,32 – 0,35	0,26 – 0,29	0,89 – 0,96	0,54 – 0,60
30 – 40	0,62 – 0,78	0,48 – 0,58	0,35 – 0,42	0,29 – 0,35	0,96 – 1,19	0,60 – 0,71
40 – 50	0,78 – 0,89	0,58 – 0,66	0,42 – 0,48	0,35 – 0,40	1,19 – 1,36	0,71 – 0,81

Примечание. Приведенные подачи применяют для сверления отверстий глубиной $l \leq 3D$ с точностью не выше 12-го квалитета в условиях жесткой технологической системы. В противном случае вводят поправочные коэффициенты:

на глубину отверстия – $K_{ls} = 0,8$ при $l \leq 7D$; $K_{ls} = 0,75$ при $l \leq 10D$;

на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезания резьбы – $K_{os} = 0,5$;

на недостаточную жесткость системы СПИЗ: при средней жесткости $K_{жс} = 0,75$; при малой жесткости $K_{жс} = 0,5$;

на инструментальный материал – $K_{ис} = 0,6$ для сверла с режущей частью из твердого сплава.

При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз. При наличии ограничивающих факторов подачи при сверлении и рассверливании равны. Их определяют умножением табличного значения подачи на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в примечании к таблице.

Подачи при зенкерованием приведены в табл. 2.39, а при развертывании – в табл. 2.40.

Таблица 2.39

Подачи, мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера, D , мм								
	До 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,9	0,8 – 1,0	0,9 – 1,1	0,9 – 1,2	1,0 – 1,3	1,1 – 1,3	1,2 – 1,5
Чугун, $HB \leq 200$ и медные сплавы	0,7 – 0,9	0,9 – 1,1	1,0 – 1,2	1,1 – 1,3	1,2 – 1,5	1,4 – 1,7	1,6 – 2,0	1,8 – 2,2	2,0 – 2,4
Чугун, $HB > 200$	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,7 – 0,8	0,8 – 0,9	0,9 – 1,1	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4	1,3 – 1,5	1,4 – 1,5

Примечания: 1. Приведенные значения подачи применять для обработки отверстий с допуском не выше 12-го квалитета. Для достижения более высокой точности (9 – 11-й квалитеты), а также при подготовке отверстий под последующую обработку их одной разверткой или под нарезание резьбы метчиком вводить поправочный коэффициент $K_{os} = 0,7$.

2. При зенкерованием глухих отверстий подача не должна превышать 0,3 – 0,6 мм/об.

Таблица 2.40

Подача, мм/об, при предварительном (черновом) развертывании отверстия развертками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Диаметр развертки, D , мм									
	До 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Чугун, $HB \leq 200$ и медные сплавы	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чугун, $HB > 200$	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примечания: 1. Подачу следует уменьшать: а) при чистовом развертывании в один проход с точностью по 9 – 11-му квалитетам и параметрам шероховатости поверхности $Ra = 3,2 – 6,3$ мкм или при развертывании под полирование и хонингование, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,8$; б) при чистовом развертывании после чернового с точностью по 7-му квалитету и параметром шероховатости поверхности $Ra = 0,4 – 0,8$ мкм, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,7$; в) при твердосплавной рабочей части, умножая на коэффициент $K_{us} = 0,7$.

2. При развертывании глухих отверстий подача не должна превышать 0,2 – 0,5 мм/об.

Скорость резания. Скорость резания, м/мин, при сверлении:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v,$$

а при рассверливании, зенкерования, развертывании:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v.$$

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в табл. 2.41, для рассверливания, зенкерования и развертывания – в табл. 2.42, а значения периода стойкости T – в табл. 2.43.

Таблица 2.41

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача s , мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$ МПа	P6M5	$\leq 0,2$	7,0	0,40	0,70	0,20	Есть
$> 0,2$		9,8	0,50				
Сталь жаропрочная 12X18H9T, HB 141		–	3,5	0,50	0,45	0,12	
Чугун серый, HB 190		$\leq 0,3$	14,7	0,25	0,55	0,125	Нет
	$> 0,3$	17,1	0,40				
	ВК8	–	34,2	0,45	0,30	0,20	
Чугун ковкий, HB 150	P6M5	$\leq 0,3$	21,8	0,25	0,55	0,125	Есть
	$> 0,3$	25,3	0,40		Нет		
	ВК8	–	40,4	0,45	0,3	0,20	
Медные гетерогенные сплавы средней твердости (HB 100 – 140)	P6M5	$\leq 0,3$	28,1	0,25	0,55	0,125	Есть
$> 0,3$		32,6	0,40				
Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_B = 100 - 200$ МПа, $HB \leq 65$; дюралюминий, $HB \leq 100$		$\leq 0,3$	36,3	0,25	0,55	0,125	Есть
$> 0,3$	40,7	0,40					

Примечание. Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке. При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{zv} = 0,75$.

Таблица 2.42

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$ МПа	Рассверливание	P6M5 BK8	16,2 10,8	0,4 0,6	0,2	0,5 0,3	0,2 0,25	Есть
	Зенкерование	P6M5 T15K6	16,3 18,0	0,3 0,6		0,5 0,3	0,3 0,25	
	Развертывание	P6M5 T15K6	10,5 100,6	0,3 0,3	0,2 0	0,65 0,65	0,4	
Конструкционная закаленная сталь, $\sigma_B = 1600 - 1800$ МПа $HRC = 49 - 54$	Зенкерование	T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	Нет
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	
Чугун серый, $HB 190$	Рассверливание	P6M5 BK8	23,4 56,9	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Нет
	Зенкерование	P6M5 BK8	18,8 105,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	
	Развертывание	P6M5 BK8	15,6 109,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	
Чугун ковкий, $HB 150$	Рассверливание	P6M5 BK8	34,7 77,4	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Зенкерование	P6M5 BK8	27,9 143,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Развертывание	P6M5 BK8	23,2 148,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	Есть Нет

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv},$$

где K_{mv} – коэффициент на обрабатываемый материал (табл. 2.1 – 2.4); K_{iv} – коэффициент на инструментальный материал (табл. 2.6); K_{lv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления (табл. 2.44).

Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость T , мин, при диаметре инструмента, мм							
			До 5	6 – 10	11 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	51 – 60	61 – 80
<i>Сверло</i> (сверление и расверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	–
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	–	–
	Коррозионностойкая сталь	6	8	15	25	–	–	–	–	
	Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	35	60	75	105	140	170	–
		Твердый сплав	15	25	45	50	70	90	–	
<i>Зенкеры</i> (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	–	–	30	40	50	60	80	100
<i>Развертки</i> (развертывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	–	25	40	80	80	120	120	120
		Твердый сплав	–	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	–	–	60	120	120	180	180	180
		Твердый сплав	–	–	45	75	105	135	165	210

Таблица 2.44

Поправочный коэффициент K_{lv} на скорость резания при сверлении, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия

Параметр	Сверление					Рассверливание, зенкерование, развертывание
	3D	4D	5D	6D	7D	
Глубина обрабатываемого отверстия						–
Коэффициент K_{lv}	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	1,0

Значения коэффициентов C_m и C_p и показателей степени приведены в табл. 2.45.

Таблица 2.45

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для определения крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкерowaniu

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени для							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_v	q	x	y	C_v	q	x	y
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$ МПа	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	–	0,8	68	1,0	–	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8	67	–	1,2	0,65
Жаропрочная сталь 12X18H9T, HB 141	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,041	2,0	–	0,7	143	1,0	–	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,106	1,0	0,9	0,8	140	–	1,2	0,65
Чугун серый, HB 190	Сверление	Твердый сплав	0,012	2,2	–	0,8	42	1,2	–	0,75
	Рассверливание и зенкерование		0,196	0,85	0,8	0,7	46	–	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	42,7	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,088	–	0,75	0,8	23,5	–	1,2	0,4
Чугун ковкий, HB 150	Сверление	Твердый сплав	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75
			0,17	0,85	0,8	0,7	38	–	1,0	0,4
Медные гетерогенные сплавы средней твердости HB 120	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,012	2,0	–	0,8	31,5	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,031	0,85	–	0,8	17,2	–	1,0	0,4
	Силумин и дюралюминий		Сверление	0,005	2,0	–	0,8	9,8	1,0	–

Примечание. Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для сверл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением:

$$K_p = K_{mp} .$$

Значения коэффициента K_{mp} приведены для стали и чугуна в табл. 2.9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 2.10.

Для определения крутящего момента при развертывании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточной резец. Тогда при диаметре инструмента D крутящий момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{C_p t^x S_z^y D z}{2 \cdot 100} ;$$

здесь S_z – подача, мм на один зуб инструмента, равная S/z , где S – подача, мм/об, z – число зубьев развертки. Значения коэффициентов и показателей степени приведены в табл. 2.45.

Мощность резания, кВт, определяют по формуле

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} ,$$

где частота вращения инструмента или заготовки, об/мин,

$$n = \frac{1000v}{\pi D} .$$

При рассверливании и зенкерования литых или штампованных отверстий вводится дополнительно поправочный коэффициент K_{nv} (табл. 2.5).

Крутящий момент, Н·м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

- при сверлении

$$M_{кр} = 10C_m D^q S^y K_p; \quad P_0 = 10C_p D^q S^y K_p;$$

- при рассверливании и зенкерования

$$M_{кр} = 10C_m D^q t^x S^y K_p; \quad P_0 = 10C_p D^q t^x S^y K_p.$$

Подачи при сверлении жаропрочных сплавов на железоникелевой основе приведены в табл. 2.46 и 2.47. Режимы резания при сверлении этих сплавов сверлами из быстрорежущей стали приведены в табл. 2.48 и 2.49,

а принятый период стойкости сверл и поправочные коэффициенты на скорость резания – в табл. 2.50 и 2.51.

Таблица 2.46

Подачи при сверлении деформируемого сплава ЭИ698 (ХН73МБТЮ) сверлами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Материал сверла	Диаметр сверла, мм										
	1	2	3	5	8	10	15	18	20	24	30
	Подача S , мм/об										
Быстрорежущая сталь	0,006 – 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,03	0,03 – 0,05	0,05 – 0,09	0,07 – 0,1	0,08 – 0,12	0,1 – 0,15	0,1 – 0,15	0,12 – 0,18	0,15 – 0,2
Твердый сплав	0,003 – 0,06	0,006 – 0,012	0,01 – 0,018	0,02 – 0,04	0,04 – 0,06	0,05 – 0,08	0,08 – 0,12	0,09 – 0,14	0,1 – 0,15	–	–
Поправочные коэффициенты в зависимости от глубины сверления											
Глубина сверления в диаметрах сверла				5D			7D			10D	
Коэффициент K_s				1,0			0,9			0,83	

Таблица 2.47

Подачи при сверлении сплавов ЭП742 (ХН62МБКТЮ), ВЖЛ-12 быстрорежущими и твердосплавными сверлами. Работа с охлаждением

Материал сверла	Диаметр сверла, мм										
	1	2	3	5	8	10	15	18	20	24	30
	Подача S , мм/об										
Быстрорежущая сталь	0,006 – 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,03	0,03 – 0,05	0,05 – 0,09	0,07 – 0,1	0,08 – 0,1	0,1	0,1	0,12	0,15
Твердый сплав	0,003 – 0,06	0,006 – 0,012	0,01 – 0,018	0,02 – 0,03	0,04 – 0,06	0,05 – 0,07	0,08 – 0,12	0,09 – 0,1	0,1	–	–
Поправочные коэффициенты в зависимости от глубины сверления											
Глубина сверления в диаметрах сверла				5D			7D			10D	
Коэффициент K_s				1,0			0,9			0,8	

Режимы резания при сверлении сплава ЭИ698ВД (ХН73МБТЮ-ВД).
Сверла из стали Р18. Работа с охлаждением

Сверла, <i>D</i> , мм	<i>S</i> , мм/об	<i>v</i> , м/мин	Сверла, <i>D</i> , мм	<i>S</i> , мм/об	<i>v</i> , м/мин
2	0,01	9,8	10	0,07	4,8
	0,011	9,1		0,08	4,1
	0,012	8,5		0,09	3,8
	0,014	7,5		0,10	3,5
	0,016	6,6	12	0,07	5,3
	0,018	6,02		0,08	4,8
	0,02	5,3		0,09	4,1
3	0,02	6,0	0,10	3,8	
	0,023	5,3	0,11	3,5	
	0,026	4,8	15	0,08	5,3
	0,03	4,1		0,09	4,8
4	0,02	7,6		0,10	4,5
	0,023	6,6	0,11	4,1	
	0,026	6,0	0,12	3,8	
	0,03	5,3	18	0,10	4,8
	0,035	4,7		0,11	4,5
	0,04	4,1		0,12	4,1
5	0,03	6,6	0,135	3,8	
	0,035	5,6	0,15	3,5	
	0,04	5,0	20	0,10	5,3
	0,045	4,6		0,11	5,0
	0,05	4,1		0,12	4,8
6	0,04	6,0		0,135	4,1
	0,045	5,3	0,15	3,8	
	0,05	4,8	24	0,12	4,8
	0,055	4,5		0,135	4,5
	0,06	4,1		0,15	4,1
	0,07	3,9		0,165	3,8
8	0,05	5,0	0,18	3,5	
	0,055	4,8	30	0,15	4,5
	0,06	4,5		0,165	4,1
	0,07	3,8		0,18	3,8
	0,08	3,5		0,20	3,5
	0,09	3,2			

Таблица 2.49

Режимы резания при сверлении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ)
сверлами из быстрорежущей стали Р18. Работа с охлаждением.

Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин	Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин
5	0,03	4,0	10	0,07	2,9
	0,035	3,4		0,08	2,5
	0,04	3,0		0,09	2,3
	0,045	2,76		0,10	2,1
	0,05	2,46			
6	0,04	3,6	12	0,07	3,2
	0,045	3,2		0,08	2,9
	0,05	2,9		0,09	2,5
	0,055	2,7	15	0,10	2,3
	0,06	2,5		0,08	3,2
	0,07	2,3		0,09	2,9
8	0,05	3,0	18 – 20	0,10	2,9 – 3,2
	0,055	2,9			
	0,06	2,7	24	0,12	2,9
	0,07	2,3	30	0,15	2,7
	0,08	2,1			
	0,09	1,9			

Примечание: Сверление отверстий $d < 5$ мм производить при скорости v не более 3 м/мин и подаче S не более 0,04 мм/об.

Таблица 2.50

Принятые периоды стойкости сверл, T , мин

Диаметр сверла D , мм до:	2	3 – 6	8 – 10	12 – 15	18 – 20	24	30
Период стойкости	4	6	10	12	15	20	25

Таблица 2.51

Поправочные коэффициенты в зависимости от:

Марка Материала сверла	P18		P9K5		P9M4K8	
Коэффициент K_{v_1}	1,0		1,15		1,42	
Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_{\Phi} / T_{\text{Н}}$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0
Коэффициент K_{v_2}	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85	0,73

Режимы резания при сверлении сплавов ХН73МБТЮ и ХН62МБТЮ сверлами из твердого сплава приведены в табл. 2.52 и 2.53.

Таблица 2.52

Режимы резания при сверлении сплава ЭИ698ВД сверлами с пластинками ВК8. Работа с охлаждением

D , мм сверла	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин	D , мм сверла	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин
2	0,006	25,9	8	0,4	11,1
	0,007	23,1		0,045	9,9
	0,008	20,3		0,05	8,9
	0,009	18,2		0,055	8,3
	0,01	16,8		0,06	7,7
	0,011	15,4	10	0,05	9,8
	0,012	14,0		0,055	9,1
		0,06		8,3	
3	0,01	18,9	0,07	7,6	
	0,011	17,5	0,08	6,7	
	0,012	16,1	12	0,06	9,7
	0,014	14,7		0,07	8,8
	0,016	12,7		0,08	7,7
	0,018	11,5		0,09	7,0
		0,10		6,3	
4	0,016	16,1	15	0,08	8,4
	0,018	14,7		0,09	7,6
	0,02	13,3		0,10	7,0
	0,022	12,2		0,11	6,6
	0,024	11,2		0,12	5,9
	0,027	10,2	18	0,09	8,8
	0,03	9,4		0,10	8,1
		0,11		7,6	
5	0,02	16,1	0,12	6,9	
	0,022	14,7	0,14	6,2	
	0,024	13,6	20	0,10	9,1
	0,027	12,3		0,11	8,4
	0,03	11,2		0,12	7,6
	0,035	10,2		0,135	6,9
	0,04	8,9		0,15	6,4
6	0,03	11,3			
	0,035	10,4			
	0,04	9,2			
	0,045	8,3			
	0,05	7,6			

Таблица 2.53

Режимы резания при сверлении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ)
сверлами с пластинками ВК8.

Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин	Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин	
2	0,006	15,5	6	0,03	6,8	
	0,007	13,8		0,035	6,2	
	0,008	12,1		0,04	5,5	
	0,009	10,9		0,045	5,0	
	0,01	10,0		0,05	4,6	
	0,011	9,2		8	0,04	6,6
	0,012	8,4			0,045	5,9
3	0,01	11,3	0,05	5,3		
	0,011	10,5	0,055	5,0		
	0,012	9,7	0,06	4,6		
	0,014	8,8	10	0,05	5,9	
	0,016	7,6		0,055	5,3	
	0,018	6,9		0,06	5,0	
4	0,016	9,6		0,07	4,55	
	0,018	8,8	0,08	4,0		
	0,02	8,0	12	0,06	5,8	
	0,022	7,3		0,07	5,3	
	0,024	6,7		0,08	4,6	
	0,027	6,1		0,09	4,2	
	0,03	5,6		0,10	3,8	
5	0,02	9,7		15	0,08	5,0
	0,022	8,8	0,09		4,5	
	0,024	8,2	0,10		4,2	
	0,027	7,4	0,11		4,0	
	0,03	6,7	0,12	3,5		
	0,035	6,7	18	0,09	5,3	
	0,04	6,1		0,10	4,9	
		5,3	20	0,10	5,5	

Поправочные коэффициенты на скорости резания, указанные в табл. 2.52 и 2.53, приведены в табл. 2.55, а принятые периоды стойкости сверл – в табл. 2.54.

Таблица 2.54

Принятые периоды стойкости сверл, T , мин

Диаметр сверла D , мм до:	2	3 – 5	6 – 8	10 – 12	15 – 20
Период стойкости	5	6	10	15	20

Таблица 2.55

Поправочные коэффициенты в зависимости от:

Марка твердого сплава	ВК6М	ВК8	ВК10М	ВК15М	
Коэффициент K_{v_1}	1,15	1,0	0,9	0,7	
Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_{\Phi} / T_{Н}$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0
Коэффициент K_{v_2}	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85

Режимы резания при сверлении жаропрочного литейного сплава ВЖЛ-12 приведены в табл. 2.56 и 2.57, а поправочные коэффициенты – в табл. 2.59, при принятых периодах стойкости сверл, приведенных в табл. 2.58.

Таблица 2.56

Режимы резания при сверлении сплава ВЖЛ-12 сверлами из быстрорежущей стали Р6М5Ф3К8П, Р6М5К5, Р18. Работа с охлаждением

Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин	Сверла, D , мм	Подача S , мм/об	Скорость v , м/мин
2	0,01	5,0	10	0,07	2,5
	0,011	4,0		0,08	2,0
	0,012	4,5		0,09	2,0
	0,014	4,0		0,10	2,0
	0,016	3,5	12	0,07	2,0
	0,018	3,0		0,08	2,5
	0,02	3,0		0,09	2,0
3	0,02	3,0	0,10	2,0	
	0,023	3,0	0,11	2,0	
	0,026	2,5	15	0,08	3,0
	0,03	2,0		0,09	2,5
4	0,02	4,0		0,10	2,0
	0,023	3,5		0,11	2,0
	0,026	3,0	0,12	2,0	
	0,03	3,0	18	0,10	2,5
	0,035	2,5		0,11	2,0
0,04	2,0	0,12		2,0	
5	0,03	3,5		0,135	2,0
	0,035	3,0		0,15	2,0
	0,04	2,5	20	0,10	3,0
	0,045	2,5		0,11	2,5
	0,05	2,0		0,12	2,5
6	0,04	3,0		0,135	2,0
	0,045	3,0	0,15	2,0	
	0,05	2,5	24	0,12	2,5
	0,055	2,0		0,135	2,0
	0,06	2,0		0,15	2,0
0,07	2,0	0,165		2,0	
8	0,05	2,5		0,18	2,0
	0,055	2,5	30	0,15	2,0
	0,06	2,0		0,165	2,0
	0,07	2,0		0,18	2,0
	0,08	2,0		0,20	2,0
0,09	1,5				

Таблица 2.57

Режимы резания при сверлении сплава ВЖЛ-12 сверлами с пластинками
ВК8, ВК10-ОМ. Работа с охлаждением

Сверла, <i>D</i> , мм	Подача <i>S</i> , мм/об	Скорость <i>v</i> , м/мин	Сверла, <i>D</i> , мм	Подача <i>S</i> , мм/об	Скорость <i>v</i> , м/мин	
2	0,006	14,0	8	0,04	6,0	
	0,007	12,0		0,045	5,0	
	0,008	11,0		0,05	5,0	
	0,009	9,5		0,055	4,0	
	0,01	9,0		0,06	4,0	
	0,011	8,0		10	0,05	5,0
	0,012	7,5			0,055	5,0
3	0,01	10,0	0,06	4,0		
	0,011	9,0	0,07	4,0		
	0,012	8,5	0,08	3,5		
	0,014	8,0	12	0,06	5,0	
	0,016	7,0		0,07	4,5	
	0,018	6,0		0,08	4,0	
4	0,016	8,5		0,09	3,5	
	0,018	8,0	0,10	3,0		
	0,02	7,0	15	0,08	4,5	
	0,022	6,5		0,09	4,0	
	0,024	6,0		0,10	3,5	
	0,027	5,0		0,11	3,5	
	0,03	5,0		0,12	3,0	
5	0,02	8,5		18	0,09	4,5
	0,022	8,0	0,10		4,0	
	0,024	7,0	0,11		4,0	
	0,027	6,5	0,12		3,5	
	0,03	6,0	0,14		3,0	
	0,035	5,0	20		0,10	5,0
	0,04	5,0			0,11	4,5
6	0,03	6,0	0,12	4,0		
	0,035	5,5	0,135	3,5		
	0,04	4,0	0,15	3,0		
	0,045	4,0				
	0,05					

Таблица 2.58

Принятые периоды стойкости сверл, *T*, мин

Сверла из быстрорежущей стали							
Диаметр сверла <i>D</i> , мм до:	2	3 – 6	8 – 10	12 – 15	18 – 20	24	30
Период стойкости	4	6	10	12	15	20	25
Сверла с пластинками из твердого сплава							
Диаметр сверла <i>D</i> , мм до:	2	3 – 5	6 – 8	10 – 12	15 – 20		
Период стойкости	5	6	10	15	20		

Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы в зависимости от:

Период стойкости сверла	Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_{\Phi}/T_{Н}$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0
	Коэффициент K_v	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85	0,75
Вид отверстия	Глухое			Сквозное			
	0,6			1,0			
Критерий затупления сверл							
Инструментальный материал	Диаметр сверла D , мм			Критерий затупления, мм			
Быстрорежущая сталь	1,3			0,2			
	4,7			0,4			
	св. 7,0			0,6 – 0,8			
Твердый сплав	1 – 3			0,15			
	4 – 7			0,3			
	св. 7,0			0,4 – 0,5			

Подачи при обработке сверлением титановых сплавов сверлами из быстрорежущей стали приведены в табл. 2.60 и 2.61, а поправочные коэффициенты к этим таблицам в зависимости от глубины сверления – в табл. 2.62.

Таблица 2.60

Подачи в мм/об при обработке сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла, мм	Титановые сплавы с $\sigma_B < 1000$ МПа	Титановые сплавы с $\sigma_B > 1000$ МПа
1	0,010 – 0,015	0,006 – 0,010
2	0,020 – 0,030	0,010 – 0,020
3	0,030 – 0,070	0,020 – 0,030
5 – 6	0,050 – 0,080	0,030 – 0,050
8	0,070 – 0,120	0,050 – 0,090
10 – 12	0,090 – 0,150	0,070 – 0,100
15	0,100 – 0,180	0,080 – 0,120
18	0,120 – 0,200	0,100 – 0,150
20	0,120 – 0,220	0,100 – 0,150
24	0,150 – 0,250	0,120 – 0,180
30	0,180 – 0,300	0,150 – 0,200

Таблица 2.61

Подачи в мм/об при обработке сверлами из титановых сплавов

Диаметр сверла, мм	Материал детали		
	Титановые сплавы с $\sigma_B < 1000$ МПа	Титановые сплавы с $\sigma_B > 1000$ МПа	Высокопрочные стали с $\sigma_B \geq 1600$ МПа
1	0,006 – 0,009	0,003 – 0,006	0,002 – 0,004
2	0,012 – 0,018	0,006 – 0,012	0,004 – 0,008
3	0,015 – 0,030	0,010 – 0,018	0,008 – 0,015
4	0,030 – 0,050	0,020 – 0,040	0,015 – 0,030
8	0,050 – 0,080	0,040 – 0,060	0,030 – 0,050
10	0,060 – 0,100	0,050 – 0,080	0,040 – 0,060
12	0,070 – 0,120	0,060 – 0,100	0,050 – 0,080
15	0,100 – 0,150	0,080 – 0,120	0,070 – 0,090
20	0,120 – 0,180	0,100 – 0,150	0,080 – 0,120

Примечания: 1. Сверла диаметром 1 – 3 мм перовые из сплавов ВК60М и ВК10М.
2. Сверла диаметром 4 – 7 мм цельные из сплава ВК10М.
3. Сверла диаметром более 7 мм с пластинками твердых сплавов ВК6М и ВК8.

Таблица 2.62

Поправочный коэффициент к табл. 2.60 и 2.61 на подачу в зависимости от глубины сверления:

Глубина сверления в диаметрах сверла до	5	7	10
Поправочный коэффициент	1	0,9	0,83

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из быстрорежущей стали даны в табл. 2.63, а поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала детали и материала сверла – в табл. 2.64 и 2.65.

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из твердого сплава даны в табл. 2.66 и 2.67, а поправочные коэффициенты к ним – в табл. 2.68 и 2.69. Поправочный коэффициент на скорости резания, приведенные в табл. 2.66 и 2.67, в зависимости от материала сверла приведены в табл. 2.70.

Режимы резания деталей из высокопрочных сталей сверлами их твердого сплава приведены в табл. 2.71, а поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала детали и материала сверла – в табл. 2.72 и 2.73.

Подачи при зенкерование жаропрочных сплавов инструментами из быстрорежущей стали приведены в табл. 2.74, а скорости резания – в табл. 2.75 и 2.76.

Таблица 2.63

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из быстрорежущей стали P9K5; работа с охлаждением эмульсией

$D_{св}$, мм	S , мм/об	v , м/мин	n , об/мин	P_0 , Н	$M_{кр}$, Н · м	N_s , кВт
2	0,02	24	3810	110	0,6	0,02
	0,03	18	2880	140	0,9	0,03
3	0,03	20	2120	220	1,9	0,03
	0,05	14	1520	310	3,0	0,05
5	0,05	20	1270	520	7,6	0,10
	0,07	17	1070	660	10,2	0,10
8	0,07	18	720	1060	24,8	0,18
	0,09	16	620	1260	31,0	0,20
	0,12	13	530	1540	40,0	0,22
10	0,09	19	590	1570	46,0	0,28
	0,12	16	500	1930	59,6	0,30
	0,15	13	420	2250	73,0	0,31
12	0,09	19	510	1890	65,0	0,34
	0,12	16	430	4310	83,8	0,37
	0,15	14	380	2700	102,0	0,40
15	0,10	22	580	2540	106	0,62
	0,15	17	440	3380	152	0,70
	0,18	16	410	3840	178	0,76
18	0,12	19	340	3470	176	0,60
	0,15	18	310	3860	201	0,65
	0,20	14	250	4960	250	0,72
24	0,15	19	240	4290	346	0,85
	0,20	14	190	5510	478	0,94
	0,25	13	170	6440	579	1,03

таблица 2.64

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала детали

Марка	σ_B , МПа	K_v
BT1, BT1-1, BT1-2	450 – 700	1,50
OT4, OT4-1, BT5, BT5-1	700 – 950	1,00
BT6, BT6C	900 – 1000	0,82
BT3, BT3-1, BT14, BT15	950 – 1200	0,75
BT14, BT15 после закалки и старения	1150 – 1500	0,60

Таблица 2.65

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла

Марка	P18	P9K5	P10K5Ф5	P9M4K8	P6M5
K_v	0,82	1,0	1,0	1,29	0,73

Таблица 2.66

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе ($\sigma_B < 1000$ МПа)
сверлами из твердого сплава ВК8; работа с охлаждением эмульсией

$D_{св},$ мм	$S,$ мм/об	$v,$ м/мин	$n,$ об/мин	$P_0,$ Н	$M_{кр},$ Н · м	$N_3,$ кВт
1	0,006	48,2	15300	24	0,05	0,008
	0,009	37,0	11800	31	0,08	0,010
2	0,012	48,2	7650	77	0,36	0,028
	0,018	37,0	5900	100	0,52	0,032
3	0,015	44,3	4700	135	0,85	0,040
	0,025	32,0	3400	193	1,5	0,152
5	0,03	34,3	2450	365	4,3	0,101
	0,05	25,0	1600	522	7,2	0,12
8	0,05	32,0	1270	835	16,9	0,21
	0,08	23,6	940	1160	26,0	0,25
12	0,07	26,8	710	1590	38,2	0,28
	0,12	18,9	500	2310	63,0	0,33
15	0,10	21,1	450	2540	102,8	0,47
	0,15	16,5	350	3380	187,3	0,67
20	0,12	22,5	360	3850	205,4	0,75
	0,18	17,3	275	5120	284,0	0,81

Таблица 2.67

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе ($\sigma_B > 1000$ МПа)
сверлами из твердого сплава ВК8; работа с охлаждением эмульсией

$D_{св},$ мм	$S,$ мм/об	$v,$ м/мин	$n,$ об/мин	$P_0,$ Н	$M_{кр},$ Н · м	$N_3,$ кВт
1	0,003	45,0	14360	25	0,04	0,006
	0,006	28,9	920	37	0,10	0,010
2	0,006	45,0	7160	74	0,32	0,024
	0,012	28,9	4600	117	0,76	0,036
3	0,010	38,0	4040	157	1,1	0,045
	0,015	26,4	2800	206	1,5	0,045
	0,018	23,4	2450	230	1,6	0,044
5	0,020	26,4	1650	420	4,3	0,074
	0,030	20,6	1330	560	6,8	0,092
8	0,040	21,8	860	1050	18,2	0,16
	0,060	17,0	680	1450	30,2	0,21
12	0,06	19,8	525	2260	51,0	0,28
	0,09	13,7	370	2900	74,6	0,28
15	0,08	22,0	470	3450	122,0	0,57
	0,12	15,3	320	4430	178,8	0,62
20	0,10	17,0	270	5200	260,7	0,75
	0,12	13,5	220	5900	314,5	0,75
	0,15	11,7	185	6900	382,1	0,75

Таблица 2.68

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости
от материала детали

Марка	σ_B , МПа	K_v
BT1, BT1-1, BT1-2	450 – 700	1,50
OT4, OT4-1, BT5, BT5-1	750 – 950	1,00
BT6, BT6C	900 – 1000	0,82

таблица 2.69

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости
от материала детали

Марка	σ_B , МПа	K_v
BT3, BT3-1	950 – 1200	1,00
BT14, BT15	1000	1,00
BT14, BT15	1300 – 1400	0,80

Таблица 2.70

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от
материала сверла

Марка	BK60M	BK6M	BK6	BK10M	BK15M
K_v	1,25	1,15	1,0	0,9	0,7

Таблица 2.71

Режимы резания деталей из высокопрочных сталей сверлами из твердого
сплава BK8; работа с охлаждением эмульсией.

D_{CB} , мм	S , мм/об	v , м/мин	n , об/мин	P_0 , Н	$M_{кр}$, Н · м	N_3 , кВт
1	0,002	21,8	7000	26	0,10	0,006
	0,004	10,2	3200	50	0,12	0,005
2	0,005	20,5	3270	120	0,5	0,015
	0,007	14,0	2230	158	0,7	0,015
3	0,008	17,5	1850	290	1,1	0,025
	0,012	11,0	1170	420	1,7	0,025
	0,015	8,8	930	460	2,0	0,025
5	0,015	26,5	1680	750	5,3	0,10
	0,025	15,5	980	950	8,8	0,10
8	0,03	22,0	880	1780	22	0,22
	0,05	13,0	520	2400	36	0,22
12	0,05	24,5	650	3600	77	0,55
	0,08	15,0	400	5100	120	0,55
15	0,07	21,5	460	5430	150	0,78
	0,09	16,5	350	6900	190	0,78
20	0,09	32,0	510	8100	370	1,8
	0,10	28,0	450	10000	410	1,8
	0,12	22,5	360	13500	450	1,8

Таблица 2.72

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала детали

σ_B , МПа	1600	1700	1800	2000	2200
K_v	1,56	1,38	1,24	1,0	0,91

Таблица 2.73

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла

Марка	ВК60М	ВК6М	ВК6	ВК10М	ВК15М
K_v	1,25	1,15	1,0	0,9	0,7

Таблица 2.74

Подачи при зенкерование жаропрочных сплавов ЭИ698, ЭИ742 инструментом из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D , мм	Группа подач		
	I	II	III
	Подача s , мм/об		
5	0,19	0,13	0,09
10	0,28	0,20	0,14
15	0,37	0,27	0,17
20	0,46	0,33	0,21
25	0,54	0,38	0,25
30	0,63	0,45	0,29
35	0,68	0,48	0,33
40	0,75	0,54	0,36
45	0,82	0,58	0,40

Примечание: При обработке глухих отверстий применять коэффициент $K_s = 0,5$.

Технологические рекомендации по выбору подач

- I группа подач: а) зенкерование отверстий в жестких деталях;
 б) зенкерование отверстий с последующим применением 2-х разверток.
- II группа подач: а) зенкерование отверстий в деталях средней жесткости;
 б) зенкерование отверстий с последующим применением одной развертки.
- III группа подач: а) зенкерование отверстий в деталях малой жесткости (тонкостенные детали) и с неустойчивыми опорными поверхностями;
 б) зенкерование без последующей обработки отверстий.

Скорости резания при зенкеровании сплава ЭИ698 инструментами
из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D , мм	Глубина резания t , мм	Подачи S , мм/об									
		0,11	0,15	0,20	0,26	0,3	0,35	0,4	0,46	0,53	0,6
		Скорость резания v , м/мин									
7,0	0,3 – 0,4	6,5	5,2	4,2	3,2	3,0	2,6	2,4	2,1	1,8	1,7
8,5		7,3	5,8	4,7	3,7	3,2	3,0	2,6	2,4	2,1	1,8
10,5		3,2	6,5	5,2	4,2	3,7	3,2	3,0	2,6	2,4	2,1
13	0,4 – 0,6	8,4	6,6	5,3	4,2	3,7	3,2	3,0	2,7	2,5	2,1
16		9,4	7,4	6,0	4,7	4,2	3,7	3,2	3,0	2,7	2,5
20		10,4	8,4	6,6	5,3	4,7	4,2	3,7	3,2	3,0	2,7
24,5	0,6 – 0,8	9,2	7,5	6,0	4,8	4,3	3,8	3,4	3,0	2,7	2,4
30		11,0	8,4	6,7	5,3	4,8	4,3	3,8	3,4	3,0	2,7
37	0,8 – 1,0	9,2	7,5	6,0	4,8	4,3	3,8	3,4	3,0	2,7	2,4
45		11,0	8,4	6,7	5,3	4,8	4,3	3,8	3,4	3,0	2,7
Принятые периоды стойкости T , мин											
Диаметр зенкера D , мм				до 20		35		св. 35			
Стойкость инструмента T , мин				12		15		20			
Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от измененных условий:											
Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_{\text{ф}} / T_{\text{н}}$					0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	
Коэффициент K_{V_1}					2,0	1,42	1,0	0,7	0,57	0,48	
Марка материала инструмента					P18			P24, P12Φ2K8M3			
Коэффициент K_{V_2}					1,0			0,8			
Отношение фактической глубины резания к нормативной				0,5	0,7	1,0	1,5	2,5			
Коэффициент K_{V_3}				1,22	1,12	1,0	0,87	0,76			

Таблица 2.76

Скорости резания при зенкерованием сплава ЭИ742 инструментами
из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D , мм	Глубина резания t , мм	Подачи S , мм/об						
		0,20	0,26	0,35	0,45	0,62	0,72	1,0
		Скорость резания v , м/мин						
10 – 20	0,35 – 0,6	2,4	2,0	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0
21 – 30	0,6 – 0,8	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2
31 – 40	0,8 – 1,0							
Принятые периоды стойкости T , мин								
Диаметр зенкера D , мм			до 20		21 – 30		31 – 40	
Стойкость инструмента T , мин			30		40		40	
Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от измененных условий:								
Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_{\Phi}/T_{Н}$		0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	
Коэффициент K_{V_1}		1,56	1,27	1,0	0,8	0,69	0,63	
Отношение фактической глубины резания к нормативной			0,5	1,0	1,5	2,5		
Коэффициент K_{V_2}		1,07	1,0	0,96	0,93			
Охлаждение			С охлаждением			Без охлаждения		
Коэффициент K_{V_3}		1,0			0,8			

Режимы резания при развертывании труднообрабатываемых жаропрочных сплавов приведены в табл. 2.77.

Таблица 2.77

Режимы резания при развертывании сплавов ЭИ698, ЭИ742, ВЖЛ-12.
Развертки цилиндрические. Работа с охлаждением

Материал развертки	Глубина резания t , мм	Подача на зуб S , мм	Скорость резания v , м/мин
Быстрорежущая сталь	0,05 – 0,1	0,03 – 0,1	2,5 – 4,0
Твердый сплав	0,05 – 0,15		
Примечание: 1. Стойкость развертки принята 30 – 40 мин. 2. При развертывании отверстий диаметрами < 3 – 5 мм в качестве СОТС применяются жидкости на масляной основе. В остальных случаях – 10 %-я эмульсия.			

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы (цилиндрическая, торцовая, дисковая, концевая, фасонная, шпоночная). Ее размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала выбирают по возможности наименьшей величины, учитывая при этом жесткость технологической системы, схему резания и размеры обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы $D = (1,25 \dots 1,5)B$, где B – ширина фрезерования. При обработке стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы. Несоблюдение указанных правил ведет к значительному снижению стойкости инструмента.

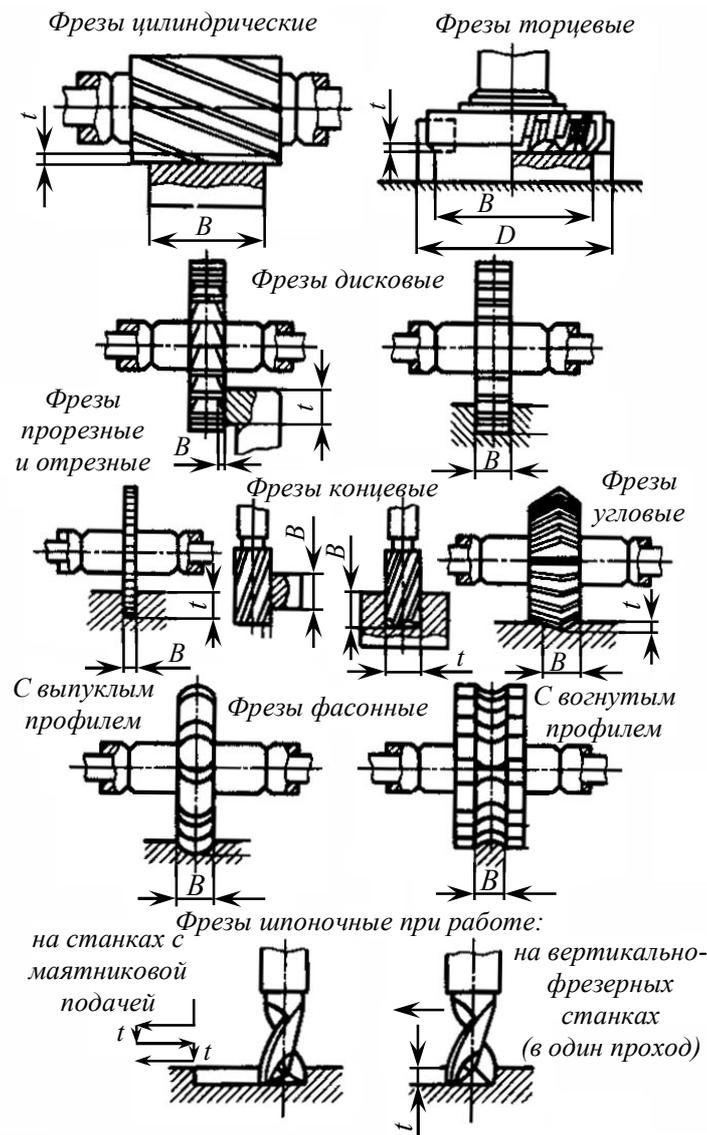


Рис. 2.3. Виды фрезерования

Глубина t и ширина B фрезерования. Во всех видах фрезерования, кроме торцового, t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой. Глубина резания при цилиндрическом фрезеровании зависит от припуска, а также от жесткости и мощности станка. Ширина фрезерования B определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

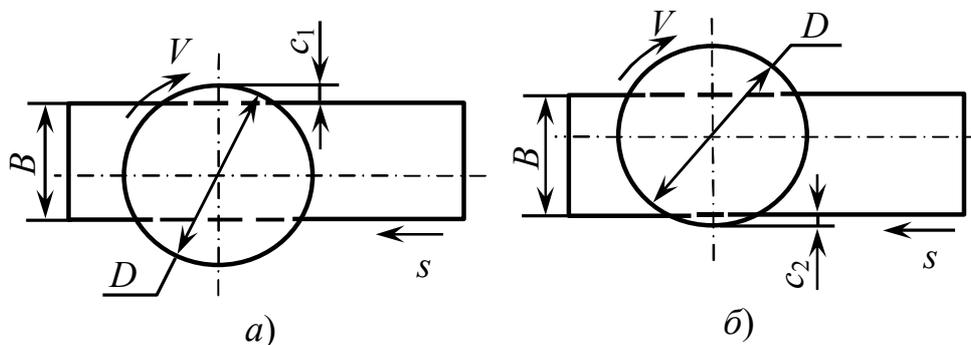


Рис. 2.4. Расположение стальной заготовки при торцевом фрезеровании относительно фрезы: *a* – врезание зуба фрезы при $c_1 = (0,003 - 0,005)D$; *б* – выход зуба фрезы при $c_2 = 0$.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб s_z , подачу на один оборот фрезы s и подачу минутную s_m мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$s_m = S n = s_z z n,$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб S_z , при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы S , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб $S_z = S/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл. 2.78 – 2.83.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v.$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в табл. 2.84, а периода стойкости T – в табл. 2.85.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv},$$

где K_{Mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 2,1 – 2.4); K_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 2.5); K_{uv} , – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 2.6).

Сила резания. Составляющая силы резания при фрезеровании – окружная сила, Н

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^v} K_{MP},$$

где z – число зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Таблица 2.78

Подачи при черновом фрезеровании торцевыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	Сталь		Чугун и медные сплавы	
	Подача на зуб фрезы S_z , мм			
	T15K6	T5K10	BK6	BK8
5 – 10	0,09 – 0,18	0,12 – 0,18	0,14 – 0,24	0,20 – 0,29
Св. 10	0,12 – 0,18	0,16 – 0,24	0,18 – 0,28	0,25 – 0,38

Примечания: 1. Приведенные значения подач для цилиндрических фрез действительны при ширине фрезерования $B \leq 30$ мм; при $B > 30$ мм табличные значения уменьшить на 30 %.

2. Приведенные значения подач для дисковых фрез действительны при фрезеровании плоскостей и уступов: при фрезеровании пазов табличные значения подач следует уменьшать в 2 раза.

3. При фрезеровании с приведенными в таблице подачами достигается параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,8 \dots 1,6$ мкм.

Таблица 2.79

Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из быстрорежущей стали

Мощность станка или фрезерной головки, кВт	Жесткость системы заготовка-приспособление	Фрезы			
		торцовые и дисковые		цилиндрические	
		Подача на один зуб S_z , мм, при обработке			
		Конструкционной стали	Чугуна и медных сплавов	Конструкционной стали	Чугуна и медных сплавов
Фрезы с крупным зубом и фрезы со вставными ножами					
Св. 10	Повышенная	0,20 – 0,30	0,40 – 0,60	0,40 – 0,60	0,60 – 0,80
	Средняя	0,15 – 0,25	0,30 – 0,50	0,30 – 0,40	0,40 – 0,60
	Пониженная	0,10 – 0,15	0,20 – 0,30	0,20 – 0,30	0,25 – 0,40
5 – 10	Повышенная	0,12 – 0,2	0,30 – 0,50	0,25 – 0,40	0,30 – 0,50
	Средняя	0,08 – 0,15	0,20 – 0,40	0,12 – 0,20	0,20 – 0,30
	Пониженная	0,06 – 0,10	0,15 – 0,25	0,10 – 0,15	0,12 – 0,20
До 5	Средняя	0,06 – 0,07	0,15 – 0,30	0,08 – 0,12	0,10 – 0,18
	Пониженная	0,04 – 0,06	0,10 – 0,20	0,06 – 0,10	0,08 – 0,15
Фрезы с мелким зубом					
5 – 10	Повышенная	0,08 – 0,12	0,20 – 0,35	0,10 – 0,15	0,12 – 0,2
	Средняя	0,06 – 0,10	0,15 – 0,30	0,06 – 0,10	0,10 – 0,15
	Пониженная	0,04 – 0,08	0,10 – 0,20	0,06 – 0,08	0,08 – 0,12
До 5	Средняя	0,04 – 0,06	0,12 – 0,2	0,05 – 0,08	0,06 – 0,12
	Пониженная	0,03 – 0,05	0,08 – 0,15	0,03 – 0,06	0,05 – 0,10
<p>Примечания: 1. Большее значение подач брать для меньшей глубины и ширины фрезерования, меньшее – для больших значений глубины и ширины.</p> <p>2. При фрезеровании жаропрочной и коррозионно-стойкой стали подачи брать те же, что и для конструкционной стали, но не выше 0,3 мм/зуб.</p>					

Таблица 2.80

Подачи при фрезеровании стальных заготовок фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы, мм	Фрезы	Подача на зуб S_z , мм, при глубине фрезерования t , мм								
		3	5	6	8	10	12	15	20	30
16	Концевые	0,08 – 0,05	0,06 – 0,05	–	–	–	–	–	–	–
20		0,1 – 0,06	0,07 – 0,04							
25		0,12 – 0,07	0,09 – 0,05	0,08 – 0,04						
35		0,16 – 0,1	0,12 – 0,07	0,01 – 0,05						
35	Угловые и фасонные	0,08 – 0,04	0,07 – 0,05	0,06 – 0,04						
40	Концевые	0,02 – 0,12	0,14 – 0,08	0,12 – 0,07	0,08 – 0,05		–	–	–	–
40	Угловые и фасонные	0,09 – 0,05	0,07 – 0,05	0,06 – 0,03	0,06 – 0,03	–	–	–	–	–
40	Прорезные	0,009 – 0,0005	0,007 – 0,003	0,01 – 0,007	–	–	–	–	–	–
50	Концевые	0,25 – 0,15	0,15 – 0,1	0,13 – 0,08	0,1 – 0,07					
	Угловые и фасонные	0,1 – 0,15	0,08 – 0,05	0,07 – 0,04	0,06 – 0,03	–	–	–	–	–
	Прорезные	0,01 – 0,006	0,008 – 0,004	0,012 – 0,008	0,012 – 0,008					
60	Угловые и фасонные	0,1 – 0,06	0,08 – 0,05	0,07 – 0,04	0,06 – 0,04	0,05 – 0,03				
	Прорезные	0,013 – 0,008	0,01 – 0,005	0,015 – 0,01	0,015 – 0,01	0,015 – 0,01	–	–	–	–
	Отрезные	–	–	0,025 – 0,015	0,022 – 0,012	0,02 – 0,01				
75	Угловые и фасонные	0,12 – 0,08	0,1 – 0,06	0,09 – 0,05	0,07 – 0,05	0,06 – 0,04	0,06 – 0,03	–		
	Прорезные	–	0,015 – 0,005	0,025 – 0,01	0,022 – 0,01	0,02 – 0,01	0,017 – 0,008	0,015 – 0,007	–	–
	Отрезные	–	–	0,03 – 0,015	0,027 – 0,012	0,025 – 0,01	0,022 – 0,01	0,02 – 0,01		
90	Угловые и фасонные	0,12 – 0,18	0,12 – 0,05	0,11 – 0,05	0,1 – 0,05	0,09 – 0,04	0,08 – 0,04	0,07 – 0,03	0,05 – 0,03	
	Отрезные	–	–	0,03 – 0,02	0,028 – 0,016	0,27 – 0,015	0,023 – 0,015	0,022 – 0,012	0,023 – 0,012	–
110	Отрезные			0,03 – 0,025	0,03 – 0,02	0,03 – 0,02	0,025 – 0,02	0,025 – 0,02	0,025 – 0,015	
150 – 200	Отрезные	–	–	–	–	–	–	0,03 – 0,02	0,028 – 0,016	0,02 – 0,01

Примечания: 1. При фрезеровании чугуна, медных и алюминиевых сплавов подачи могут быть увеличены на 30...40 %.

2. Приведены подачи для фасонных фрез с выпуклым профилем; для таких же фрез с резко очерченным или вогнутым профилем подачи должны быть уменьшены на 40 %.

3. Подачи для прорезных и отрезных фрез с мелким зубом установлены при глубине фрезерования до 5 мм, с крупным зубом – при глубине св. 5 мм.

Таблица 2.81

Подачи при черновом фрезеровании твердосплавными концевыми фрезами плоскостей и уступов стальных заготовок

Вид твердосплавных элементов	Диаметр фрезы, мм	Подача на зуб фрезы S_z , мм, при глубине фрезеровании t , мм						
		1 – 3	5	8	12	20	30	40
Коронка	10 – 12	0,01 – 0,03	–	–	–	–	–	–
	14 – 16	0,02 – 0,06	0,02 – 0,04	–	–	–	–	–
	18 – 22	0,04 – 0,07	0,03 – 0,05	0,02 – 0,04	–	–	–	–
Винтовые пластинки	20	0,06 – 0,1	0,05 – 0,08	0,03 – 0,05	–	–	–	–
	25	0,08 – 0,12	0,06 – 0,1	0,05 – 0,1	0,05 – 0,08	–	–	–
	30	0,1 – 0,15	0,08 – 0,12	0,06 – 0,1	0,05 – 0,09	–	–	–
	40	0,1 – 0,18	0,08 – 0,13	0,06 – 0,11	0,05 – 0,1	0,04 – 0,07	–	–
	50	0,1 – 0,2	0,1 – 0,15	0,08 – 0,12	0,06 – 0,1	0,05 – 0,09	0,05 – 0,08	0,05 – 0,06
60	0,12 – 0,2	0,1 – 0,16	0,1 – 0,12	0,08 – 0,12	0,06 – 0,1	0,06 – 0,1	0,06 – 0,08	
Чистовое фрезерование								
Диаметр фрезы D , мм		10 – 16		20 – 22		25 – 35		40 – 60
Подача фрезы s , мм/об.		0,02 – 0,06		0,06 – 0,12		0,12 – 0,24		0,3 – 0,6
<p>Примечание: 1. При черновом фрезеровании чугуна подачи, приведенные для чернового фрезерования стали, могут быть увеличены на 30 – 40 %; при чистовом фрезеровании чугуна сохраняется величина подачи, рекомендованная для чистового фрезерования стали.</p> <p>2. Верхние пределы подач при черновом фрезеровании применять при малой ширине фрезерования на станках высокой жесткости, нижние пределы – при большой ширине фрезерования на станках недостаточной жесткости.</p> <p>3. При работе с подачами для чистового фрезерования достигается параметр шероховатости $Ra = 0,8 – 1,6$ мкм</p>								

Таблица 2.82

Подачи, мм/об, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Торцовые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы D , мм					
	Из твердого сплава	Из быстрорежущей стали	Конструкционная углеродистая и легированная сталь			Чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40 – 75	90 – 130	150 – 200	40 – 75	90 – 130	150 – 200
6,3	–	1,2 – 2,7	–	–	–	–	–	–
3,2	0,5 – 1,0	0,5 – 1,2	1,0 – 2,7	1,7 – 3,8	2,3 – 5,0	1,0 – 2,3	1,4 – 3,0	1,9 – 3,7
1,6	0,4 – 0,6	0,23 – 0,5	0,6 – 1,5	1,0 – 2,1	1,3 – 2,8	0,6 – 1,3	0,8 – 1,7	1,1 – 2,1
0,8	0,2 – 0,3	–	–	–	–	–	–	–
0,4	0,15	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 2.83

Подачи при фрезеровании стальных заготовок шпоночными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы D , мм	Фрезерование на шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей при глубине фрезерования на один двойной проход		Фрезерование на вертикально-фрезерных станках за один проход		
			Осевое врезание на глубины паза		Продольное передвижение при фрезеровании паза
	Глубина фрезерования t , мм	Подача на один зуб S_z , мм			
6	0,3	0,10	0,006		0,020
8		0,12	0,007		0,022
10		0,16	0,008		0,024
12		0,18	0,009		0,026
16	0,4	0,25	0,010		0,028
18		0,28	0,011		0,030
20		0,31	0,011		0,032
24		0,38	0,012		0,036
28	0,5	0,45	0,014		0,037
32		0,50	0,015		0,037
36		0,55	0,016		0,038
40		0,65	0,016		0,038

Примечание: Подачи даны для конструкционной стали с $\sigma_B \leq 750$ МПа; при обработке сталей более высокой прочности подачи снижают на 20 – 40 %.

Таблица 2.84

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

Фреза	Материал режущей части	Обрабатываемые поверхности	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	S_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_B = 750$ МПа												
Торцовые	T15K6	Плоскости	–	–	–	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5*		–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	64,7 41	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Цилиндрические	T15K6	Плоскости	≤ 35	≤ 2	–	390	0,17	0,19	0,28	–0,05 5	0,1	0,33
			> 35	> 2	–	446		0,38				
			≤ 2 > 2	–	–	616 700		0,19 0,38				
	P6M5*		–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые вставные ножи	T15K6	Плоскости и уступы	–	–	$\leq 0,12$ $> 0,12$	1340 740	0,2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
			–	–	$\leq 0,06$ $> 0,06$	1825 690			0,2			
	P6M5*	Плоскости, уступы и пазы	–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
			–	–	–	68,5			0,25			

Продолжение Табл. 2.84

Концевые с коронками	T15K6	Плоскости, уступы и пазы	–	–	–	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,1	0,37
Концевые с напаянными пластинами			–	–	–	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,1	0,37
Концевые цельные	P6M5*		–	–	–	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5*	Пазы и отрезание	–	–	–	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Фасонные с выпуклым профилем		Фасонное фрезерование	–	–	–	53	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Фасонные с вогнутым профилем			–	–	–	44	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Угловые		Нарезание угловых канавок	–	–	–							
Шпоночные двухперые		Шпоночные пазы	–	–	–	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26
Обработка жаропрочной стали 12X18H9T в состоянии поставки												
Торцовые	BK8	Плоскости	–	–	–	108	0,2	0,06	0,3	0,2	0	0,32
	P6M5*		–	–	–	49,6	0,15	0,2	0,3	0,2	0,1	0,14
Цилиндрические	P6M5*		–	–	–	44	0,26	0,3	0,34	0,1	0,1	0,14
Концевые	P6M5*	Плоскости и уступы	–	–	–	22,5	0,35	0,21	0,48	0,03	0,1	0,27
Обработка серого чугуна, HB 190												
Торцовые	BK6	Плоскости	–	–	–	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	P6M5		–	–	–	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндрические	BK6		–	< 2,5	≤ 0,2	923	0,37	0,13	0,19	0,23	0,1	0,15
			> 0,2	588	0,47							
	P6M5	–	≥ 2,5	≤ 0,2	1180	0,7	0,5	0,19	0,3	0,3	0,25	
			> 0,2	750	0,47							
Дисковые вставные ножи	P6M5	Плоскости, уступы и пазы	–	–	–	85	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Дисковые цельные	P6M5		–	–	–	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Концевые	P6M5	Плоскости и уступы	–	–	–	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
Прорезные и отрезные	P6M5	Пазы и отрезание	–	–	–	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15
Обработка ковкого чугуна, HB 150												
Дисковые: вставные ножи	P6M5*	Плоскости, уступы и пазы	–	–	≤ 0,1	105,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
					> 0,1	68			0,4			
Дисковые цельные	P6M5*	Плоскости, уступы и пазы	–	–	–	95,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2

Торцовые	ВК6	Плоскости	–	–	$\leq 0,18$ 0,18	994 695	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
	P6M5*		–	–	$\leq 0,1$ > 0,1	90,5 57,4	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	P6M5*		–	–	$\leq 0,1$ > 0,1	77 49,5	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Концевые	P6M5*	Плоскости и уступы	–	–	–	68,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные		Пазы и отрезание	–	–	–	74	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Обработка гетерогенных медных сплавов средней твердости, $HB\ 100\dots 140$												
Торцовые	P6M5*	Плоскости	–	–	0,1	136 86,2	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические			–	–	0,1	115,5 74,3	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	P6M5*	Плоскости, уступы и пазы	–	–	0,1	158,5 102	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные			–	–	–	144	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые		Плоскости и уступы	–	–	–	103	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5*	Пазы и отрезание	–	–	–	111,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обработка силумина и легированных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100\dots 200$ МПа, $HB \leq 65$ и дюралюминия, $\sigma_B = 300\dots 400$ МПа, $HB \leq 100$												
Торцовые	P6M5*	Плоскости	–	–	$\leq 0,1$ > 0,1	245 155	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические			–	–	$\leq 0,1$ > 0,1	208 133,5	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Концевые		Плоскости и уступы	–	–	–	185,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Дисковые: вставные ножи		Плоскости, уступы и пазы	–	–	$\leq 0,1$ > 0,1	285 183,4	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные			–	–	–	259	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Прорезные и отрезные		Пазы и отрезание	–	–	–	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
<p>Примечание: 1. Скорость резания для торцовых фрез: рассчитанных по табличным данным, действительна при главном угле в плане $\varphi = 60^\circ$. При других величинах этого угла значение скорости следует умножить на коэффициент: при $\varphi = 15^\circ$, $K_\varphi = 1,6$; при $\varphi = 30^\circ$, $K_\varphi = 1,25$; при $\varphi = 45^\circ$, $K_\varphi = 1,1$; при $\varphi = 75^\circ$, $K_\varphi = 0,93$; при $\varphi = 90^\circ$, $K_\varphi = 0,87$.</p> <p>2. * – обработка с охлаждением.</p>												

Таблица 2.85

Среднее значение предела стойкости T фрезы

Фрезы	Стойкость T , мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
Торцовые	–	120	180					240	300	400		
Цилиндрические цельные с крупным зубом и со вставными ножами	–				180			240	–			
Цилиндрические цельные с мелким зубом	–	120		180		–						
Дисковые	–					120	150	180	240	–		
Концевые	80	90	120	180	–							
Прорезные и отрезные	–				60	75	120	150	–			
Фасонные и угловые	–	120			180	–						

Значение коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. 2.86, поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала K_{mp} для стали и чугуна – (табл. 2.8), а для медных и алюминиевых сплавов – (табл. 2.7). Величины остальных составляющих силы резания (рис. 2.5): горизонтальной (сила подачи) P_h , вертикальной P_y , радиальной P_x , осевой P_z устанавливают из соотношения с главной составляющей P_z по табл. 2.87.

Составляющая, по которой рассчитывают оправку на изгиб,

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}.$$

Крутящий момент, Н · м, на шпинделе

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100},$$

где D – диаметр фрезы, мм.

Мощность резания. Эффективная мощность резания, кВт

$$N_e = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}.$$

Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле окружной силы P_z при фрезеровании

Фрезы	Материал инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	n	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_B=750$ МПа							
Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь		0,95	0,8		1,1	0
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72		0,86	
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72		0,86	0
Фасонные и угловые	Быстрорежущая сталь	47	0,86	0,72	0,1	0,86	0
Обработка жаропрочной стали 12X18 Н9Т в состоянии поставки, НВ141							
Торцевые	Твердый сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Концевые	Быстрорежущая сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0
Обработка серого чугуна, НВ190							
Торцовые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	Быстрорежущая сталь	50		0,72	1,14	1,14	
Цилиндрические	Твердый сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65		0,83	
Дисковые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обработка ковкого чугуна, НВ150							
Торцовые	Твердый сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	50	0,95	0,8		1,1	0
Фрезы*	Быстрорежущая сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обработка гетерогенных медных сплавов средней твердости, НВ100-140							
Фрезы*	Быстрорежущая сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0
<p>Приложения: 1. Окружную силу при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать, как для стали, с введением коэффициента $K = 0,25$.</p> <p>2. Окружная сила P_z, рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допустимой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_B < 600$ МПа) в 1,75 – 1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,2 – 1,4 раза.</p> <p>3.* Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные фрезы.</p>							

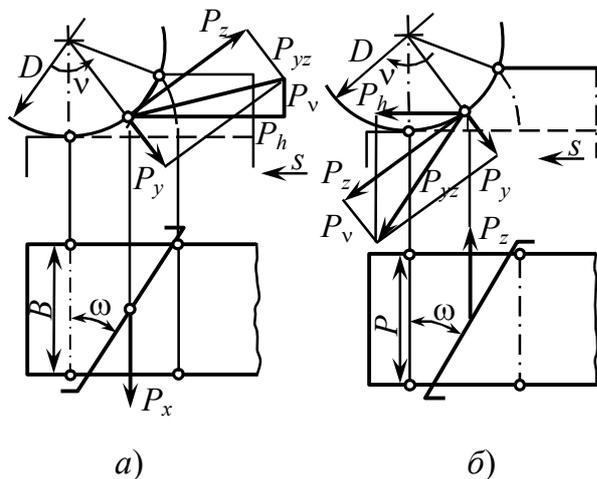


Рис. 2.5. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой:
 а – при встречном фрезеровании (против подачи); б – попутном (в направлении подачи)

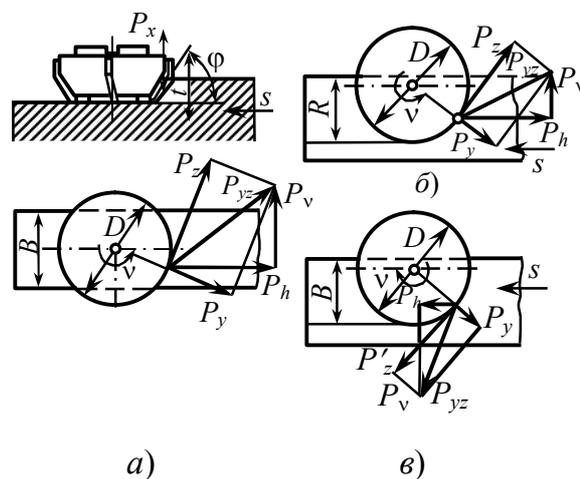


Рис. 2.6. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании:
 а – симметричном; б – несимметричном встречном; в – несимметричном попутном

Таблица 2.87

Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании

Фрезерование	$P_h : P_z$	$P_y : P_z$	$P_v : P_z$	$P_x : P_z$
<i>Фрезы цилиндрические, дисковые, концевые*¹, угловые и фасонные (см. рис. 2.5)</i>				
Встречное (против подачи)	1,1 – 1,2	0 – 0,25	0,4 – 0,6	(0,2 – 0,4) tg ω
Попутное (в направлении подачи)	–(0,8 – 0,9)	0,7 – 0,9		
<i>Фрезы торцовые и концевые*² (см. рис. 2.6)</i>				
Симметричное	0,3 – 0,4	0,85 – 0,95		
Несимметрично е встречное	0,6 – 0,8	0,6 – 0,7	0,3 – 0,4	0,5 – 0,55
Несимметричное попутное	0,2 – 0,3	0,9 – 1,0		
* ¹ Фрезы, работающие по схеме цилиндрического фрезерования, когда торцовые зубья в резании не участвуют.				
* ² Фрезы, работающие по схеме торцового фрезерования.				
Примечание. Изменение составляющих P_y и P_x при торцовом фрезеровании в зависимости от главного угла в плане ϕ см. в табл. 2.30.				

Значения подач при обработке жаропрочных труднообрабатываемых материалов приведены в табл. 2.88, а режимы резания при фрезеровании этих сплавов в табл. 2.89 при принятых периодах стойкости, представленных в табл. 2.90.

Поддачи при фрезеровании жаропрочных деформируемых и литейных сплавов торцовыми фрезами

Материал фрезы	Диаметр фрезы	Глубина фрезерования t , мм до				
		2	3	4	5	
		Подача на зуб S мм/зуб				
1. Предварительное фрезерование						
Твердый сплав	100 – 125	0,10	0,10	0,08	-----	
	160	0,12	0,12	0,10		
Поправочные коэффициенты в зависимости от главного угла в плане						
Главный угол в плане φ°		90	45 – 60	30		
Поправочный коэффициент		0,7	1,0	1,5		
2. Чистое фрезерование						
Высота неровностей Rz , мкм				20	2,5	
Подача на один оборот фрезы, мм/об				0,5 – 0,8	0,4 – 0,5	
Примечание: Приведенные подачи предусматривают фрезерование при вспомогательном угле в плане $\varphi_1 = 5^\circ$.						
Подачи при фрезеровании плоскостей и уступов жаропрочных и литейных сплавов концевыми фрезами						
Материал фрезы	Диаметр фрезы	Число зубьев фрезы	Глубина фрезерования t , мм до			
			3	5	8	12
			Подача на зуб S мм/зуб			
Твердый сплав ВК8	25 – 30	4	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06	–	–
	40	6	0,08 – 0,1	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06	–
	50		0,08 – 0,1	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06	0,03 – 0,04

Таблица 2.89

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов ЭИ-698, ЭП-742. Фрезы торцовые с пластинками ВК6М. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина фрезерования t , мм, до:					
				2	3	4	2	3	4
				Скорость резания v , м/мин для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
100	8	60	0,04	24,5	22,4	21,0	17,1	15,6	14,7
			0,05	22,4	20,3	18,9	15,6	14,2	13,2
			0,06	21,0	18,9	18,2	14,7	13,2	12,7
			0,08	19,6	17,5	16,8	13,7	12,2	11,7
			0,10	17,5	16,1	15,4	12,2	11,3	10,7
125	8	75	0,04	23,1	21,0	19,6	16,1	14,7	13,7
			0,05	21,0	18,9	18,2	14,7	13,2	12,7
			0,06	20,3	18,2	16,8	14,2	12,7	11,7
			0,08	18,2	16,8	15,4	12,7	11,7	10,7
			0,10	16,3	15,4	14,0	11,4	10,8	9,8
160	10	95	0,05	19,6	17,5	16,8	13,7	12,2	11,7
			0,06	18,2	16,8	15,4	12,7	11,7	10,8
			0,08	16,8	15,4	14,7	11,7	10,8	10,3
			0,10	15,4	13,9	13,0	10,8	9,7	9,1
			0,12	14,7	13,0	12,2	10,3	9,1	8,5

Таблица 2.90

Принятые периоды стойкости фрез T , мин

Диаметр фрезы D_{ϕ} , мм	100	125	160
Период стойкости T , мин	60	75	90

Поправочные коэффициенты на скорость резания приводятся в табл. 2.91.

Таблица 2.91

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марка твердого сплава	BK10-OM		BK6M		BK8	
Коэффициент Kv_1	1,2		1,0		0,9	
Отношение фактического периода стойкости фрезы к нормативному T_{ϕ}/T_n	1,0	1,5	2,0	3,0		
Коэффициент Kv_2	1,0	0,9	0,8	0,7		
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_{ϕ}/B_n	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5
Коэффициент Kv_3	1,3	1,15	1,05	1,0	0,95	0,90
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25	
Коэффициент Kv_4	1,03		1,0		0,98	
Наличие корки, окалины	Без корки			По корке		
Коэффициент Kv_5	1,0			0,7		

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов фрезами из быстрорежущей стали даны в табл. 2.92, а поправочные коэффициенты на скорость резания в табл. 2.93. Режимы резания при фрезеровании литейного жаропрочного сплава ВЖЛ-12 торцевыми фрезами приведены в табл. 2.94 с принятыми периодами стойкости фрез, приведенными в табл. 2.95 и поправочными коэффициентами на скорость резания в табл. 2.96.

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сталей концевыми фрезами приведены в табл. 2.97, 2.99 и 2.101 с поправочными коэффициентами на скорость резания в табл. 2.98, 2.100 и 2.102 соответственно.

Таблица 2.92

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов ЭИ-698, ЭП-742. Фрезы торцевые Р9М4К8, Р6М5К5. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина фрезерования t , мм, до:					
				3	5	8	3	5	8
				Скорость резания v , м/мин для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
100	8	60	0,03	12,8	11,4	10,7	9,0	8,0	7,5
			0,04	11,4	10,7	10,0	8,0	7,5	7,0
			0,05	10,7	10,0	9,3	7,5	7,0	6,5
			0,06	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
125	8	75	0,03	12,1	10,7	10,0	8,5	7,5	7,0
			0,04	10,7	10,0	9,3	7,5	7,0	6,5
			0,05	10,7	9,3	8,6	7,5	6,5	6,0
			0,06	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,07	8,6	7,8	7,1	6,0	5,5	5,0
160	10	95	0,04	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
			0,05	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,06	8,6	7,8	7,8	6,0	5,5	5,5
			0,07	7,8	7,1	6,4	5,5	5,0	4,5

Стойкость фрез: 30 – 75 мин.

Таблица 2.93

Поправочные коэффициенты в зависимости от

Марка быстрорежущей стали	Р9М4К8					
Коэффициент Kv_1	1,0					
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_f/B_n	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5
Коэффициент Kv_2	1,3	1,15	1,05	1,0	0,95	0,9
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25	
Коэффициент Kv_3	1,03		1,0		0,98	
Наличие корки, окалины	Без корки			По корке		
Коэффициент Kv_4	1,0			0,7		

Таблица 2.94

Режимы резания при фрезеровании сплава ВЖЛ-12, торцевыми фрезами с пластинками ВК8, ВК10-ОМ

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина фрезерования t , мм, до:		
				2	3	4
				Скорость резания v , м/мин		
100	8	60	0,04	13,0	12,0	11,0
			0,05	12,0	11,0	10,0
			0,06	11,0	10,0	9,5
			0,08	10,5	9,0	9,0
			0,10	9,0	8,5	8,0
125	8	75	0,04	12,0	11,0	10,5
			0,05	11,0	10,0	9,5
			0,06	11,0	9,5	9,0
			0,08	9,5	9,0	8,0
			0,10	9,0	8,0	7,5
160	10	95	0,05	10,5	9,0	9,0
			0,06	9,5	9,0	8,0
			0,08	9,0	8,0	8,0
			0,10	8,0	7,0	7,0
			0,12	8,0	7,0	6,5

Таблица 2.95

Принятые периоды стойкости фрез T , мин

Диаметр фрезы D_f , мм	100	125	160
Период стойкости T , мин	60	75	90

Таблица 2.96

Поправочные коэффициенты на скорость резания приводятся в таблице.

Поправочные коэффициенты на скорость от условий работы

Отношение фактического периода стойкости фрезы к нормативному T_f/T_n	1,0		1,5		2,0		3,0	
Коэффициент K_{v2}	1,0		0,9		0,8		0,7	
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_f/B_n	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5		
Коэффициент K_{v3}	1,3	1,15	1,05	1,0	0,95	0,9		
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25			
Коэффициент K_{v4}	1,03		1,0		0,98			
Наличие корки, окалины	Без корки				По корке			
Коэффициент K_{v5}	1,0				0,7			

Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в деталях из сплава ЭИ-698. Фрезы концевые с винтовыми пластинками ВК8.

Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина фрезерования t , мм, до:			
				3	5	8	12
				Скорость резания v , м/мин			
25	4	30	0,02	–	113,6	–	–
			0,03	14,0	12,3	–	–
			0,04	12,7	11,1	–	–
			0,05	11,9	10,2	–	–
			0,06	11,2	9,7	–	–
			0,08	10,4	–	–	–
30	4	30	0,02	–	15,4	–	–
			0,03	16,1	13,7	–	–
			0,04	14,0	12,6	–	–
			0,05	13,2	11,5	–	–
			0,06	12,5	10,8	–	–
			0,08	11,6	–	–	–
40	6	40	0,02	–	–	13,6	–
			0,03	–	14,0	12,3	–
			0,04	14,7	12,9	11,1	–
			0,05	13,7	11,9	10,2	–
			0,06	12,9	11,2	9,7	–
			0,08	12,0	10,4	–	–
			0,10	11,1	–	–	–
50	8	40	0,02	–	–	15,4	13,6
			0,03	–	16,1	14,0	12,3
			0,04	16,8	14,7	12,6	11,2
			0,05	15,4	13,6	11,7	–
			0,06	14,7	12,7	11,1	–
			0,08	13,7	11,9	–	–
			0,10	12,7	–	–	–

Таблица 2.98

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марка твердого сплава	ВК10-ОМ	ВК8	ВК6М
Коэффициент K_{v1}	1,2	1,0	0,9
Период стойкости T , мм	45	60	120
Коэффициент K_{v2}	1,25	1,15	1,0
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_f/B_n	0,3	0,5	1,0
Коэффициент K_{v3}	1,25	1,15	1,0
Наличие корки, окалины	Без корки		По корке
Коэффициент K_{v4}	1,0		0,7

Таблица 2.99

Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в жаропрочных сплавах ЭИ-698, ЭП-742 концевыми фрезами из б/стали: P9M4K8, P6M5K5, P12Ф3K10M3

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина фрезерования t , мм, до:					
				3	5	8	3	5	8
				Скорость резания v , м/мин для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
25	6	30	0,02	–	–	–	–	6,5	–
			0,03	12,5	9,3	–	8,5	6,0	–
			0,04	8,6	8,6	–	6,0	5,5	–
			0,05	8,6	7,8	–	6,0	5,5	–
			0,06	7,8	7,8	–	5,5	4,5	–
			0,07	7,8	6,4	–	5,5	–	–
30	6	30	0,02	–	10,0	–	–	7,0	–
			0,03	11,4	9,3	–	8,0	6,5	–
			0,04	9,3	8,6	–	6,5	6,0	–
			0,05	9,3	7,8	–	6,5	5,5	–
			0,06	9,6	7,8	–	6,0	5,5	–
			0,07	7,8	–	–	5,5	–	–
40	6	40	0,02	–	–	9,8	–	–	6,5
			0,03	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
			0,04	10,0	8,6	7,8	7,0	6,0	5,5
			0,05	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,06	8,6	7,8	6,4	6,0	5,5	4,5
			0,07	8,6	7,8	–	6,0	5,5	–
50	8	40	0,02	–	11,4	11,4	–	8,0	7,0
			0,03	1,5	11,4	9,3	8,5	8,0	6,5
			0,04	11,4	10,0	8,6	8,0	7,0	6,0
			0,05	10,0	9,3	7,8	7,0	6,5	5,5
			0,06	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,07	9,0	8,6	–	6,5	6,0	–

Стойкость фрез 30 – 75 мм. Поправочные коэффициенты см. в табл. 2.100.

Таблица 2.100

Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марки быстрорежущей стали	Марка быстрорежущей стали	P9M4K8	P18
	Коэффициент Kv_1		1,0
Ширины фрезерования	Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_f/B_n	0,3	0,5
	Коэффициент Kv_2	1,25	1,15
Состояние поверхности	Наличие корки, окалины	без корки	по корке
	Коэффициент Kv_3	1,0	0,7

Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в деталях из сплава ВЖЛ-12. Фрезы концевые с винтовыми пластинками ВК8, ВК10-ом. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D , мм	Число зубьев z	Ширина фрезерования B , мм	Подача S_z мм/зуб	Глубина резания t , мм		
				3	5	8
				Скорость резания v , м/мин		
25	4	30	0,02	—	7,0	—
			0,03	7,5	6,5	—
			0,04	7,0	6,0	—
			0,05	6,0	5,5	—
			0,06	6,0	5,0	—
			0,08	5,5	—	—
30	4	30	0,02	—	8,0	—
			0,03	8,5	7,0	—
			0,04	7,5	6,5	—
			0,05	7,0	6,0	—
			0,06	6,5	5,5	—
			0,08	6,0	—	—
40	6	40	0,02	—	—	7,0
			0,03	—	7,5	6,5
			0,04	8,0	7,0	6,0
			0,05	7,0	6,0	5,5
			0,06	7,0	6,0	5,0
			0,08	6,0	5,5	—
			0,10	6,0	—	—
50	6	40	0,02	—	—	8,0
			0,03	—	8,5	7,5
			0,04	9,0	8,0	6,5
			0,05	8,0	7,0	6,0
			0,06	8,0	7,0	6,0
			0,08	7,0	6,0	—
			0,10	7,0	—	—

Таблица 2.102

Поправочные коэффициенты для измененных условий работы

Периода стойкости фрезы	Период стойкости T , мм	45	60	90	120
		Коэффициент K_{v1}	1,25	1,15	1,0
Ширины фрезерования	Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной B_{ϕ}/B_n	0,3		0,5	1,0
	Коэффициент K_{v2}	1,25		1,15	1,0
Состояния поверхности	Наличие корки, окалины	Без корки		По корке	
	Коэффициент K_{v3}	1,0		0,7	

Режимы резания при фрезеровании титановых сплавов фрезами из быстрорежущей стали приведены в табл. 2.95 с учетом поправочных коэффициентов в табл. 2.96, а при фрезеровании фрезами из твердого сплава в табл. 2.97 и 2.108 с учетом поправочных коэффициентов, приведены в табл. 2.99 и 2.100. Режимы резания деталей из высокопрочных сталей представлены в табл. 2.101 и 2.102.

РАЗРЕЗАНИЕ

Разрезание производят отрезными резцами дисковыми и ленточными пилами, ножовками, абразивными кругами.

Подача. Для дисковых пил подача S_z , и для ленточных пил и абразивных кругов подача s приведены в табл. 2.103.

Скорость резания. Для дисковых пил, приводных ножовок и ленточных пил скорости резания, устанавливаемые в м/мин, а для абразивных кругов – в м/с, приведены в табл. 2.104.

РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

Нарезание резьбы производят: наружной – резьбовыми резцами, круглыми плашками, резьбовыми головками и гребенчатыми и дисковыми фрезами; внутренней – резьбовыми резцами, метчиками и гребенчатыми фрезами.

Глубина резания и подача. При нарезании резьбы резцами различают продольную подачу S , равную шагу резьбы P , и поперечную, определяющую глубину резания t , равную высоте резьбового профиля, при нарезании резьбы за один рабочий ход или части высоты профиля, соответствующей числу рабочих ходов, необходимых для образования резьбы. Если шаг резьбы $P \leq 2,5$ мм, поперечная подача имеет радиальное направление S_p , и образование резьбы происходит по профильной схеме (рис. 2.7, а). Если шаг резьбы $P > 2,5$ мм, черновые ходы выполняют по генераторной схеме с поперечной подачей S_o , параллельной боковой стороне резьбового профиля (рис. 2.7, б), оставляя припуск e на чистовые рабочие ходы, срезаемые по профильной схеме. Число рабочих ходов выбирают по табл. 2.105 и 2.106.

Подача при разрезании металла дисковыми и ленточными пилами
и абразивными кругами

Разрезаемый металл	Подача на зуб S_z , мм, при разрезании дисковыми пилами	Подача S_m , мм/мин, при разрезании													
		ленточными пилами	абразивными кругами												
Сталь σ_B , МПа: < 400 400 – 600 > 600	0,08 – 0,15 0,05 – 0,11 0,04 – 0,07	≤ 50	135 – 150												
Чугун	0,08 – 0,20			≤ 90											
Бронза				≤ 110											
Латунь				≤ 140											
<p>Примечания: 1. Поддачи для дисковых пил установлены при отношении размера t – поперечного сечения разрезаемой заготовки, определяющего длину дуги контакта пилы с заготовкой, к окружному шагу зубьев пилы q, равном 10. При других значениях $t:q$ на табличное значение подачи вводится поправочный коэффициент K_q:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>$t:q$</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>13</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>K_q</td> <td>1,5</td> <td>1,25</td> <td>1,0</td> <td>0,3</td> <td>0,6</td> </tr> </table> <p>2. Большие значения подач для дисковых пил соответствуют обработке на станках более высокой мощности.</p>				$t:q$	6	8	10	13	17	K_q	1,5	1,25	1,0	0,3	0,6
$t:q$	6	8	10	13	17										
K_q	1,5	1,25	1,0	0,3	0,6										

Таблица 2.104

Скорость резания (м/мин) металла дисковыми пилами, ножовками,
ленточными пилами и абразивными кругами

Разрезаемый металл	Дисковые пилы из стали		Приводные ножовки из стали		Ленточные пилы
	быстрорежущей	углеродистой	быстрорежущей	углеродистой	
Сталь конструкционная, σ_B , МПа: < 400 400 – 600 > 600	26 – 30 18 – 26 16 – 22	18 – 20 16 – 18 12 – 16	38 – 42 25 – 36 12 – 21	28 – 30 20 – 25 10 – 15	16 – 20 10 – 15 6 – 12
Инструментальная сталь	11 – 14	8 – 10	12 – 14	9 – 10	4 – 8
Стальное литье	14 – 18	10 – 16	–	–	–
Жаропрочная и коррозионно-стойкая сталь	8 – 12	8 – 10	–	–	–
Серый и ковкий чугун: $HB \leq 200$ $HB > 200$	10 – 12 12 – 13	8 – 9	18 – 28 12 – 14	15 – 20 9 – 10	9 – 12 5 – 8
Бронза: $\sigma_B \leq 300$ МПа $\sigma_B > 300$ МПа	100 – 200	60 – 160	25 – 28 18 – 21	18 – 20 14 – 15	15 – 30
Латунь	100 – 200	60 – 160	25 – 36	20 – 25	15 – 40
Примечание. Скорость резания металлов абразивными кругами 50 – 70 м/с.					

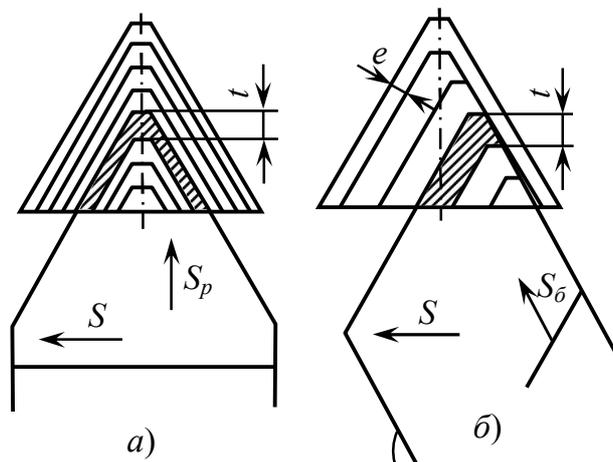


Рис. 2.7. Схемы нарезания резьбового профиля резцом

Таблица 2.105

Число рабочих ходов при нарезании метрической и трапецеидальной резьб по стали резьбовыми резцами с пластинами из твердого сплава Т15К6 и по чугуну – с пластинами из твердого сплава ВК6

Шаг резьбы P , мм	Сталь конструкционная углеродистая и легированная				Чугун			
	Резьба наружная							
	Метрическая		Трапецеидальная		Метрическая		Трапецеидальная	
	Число рабочих ходов*							
	I	II	I	II	I	II	I	II
1,5	3	2	–	–	–	–	–	–
2	5		5	3	2	2	4	3
3			6	4	3		5	
4			7	5	4		6	
5			8	6	5		7	
6			10	7	–		8	
8	–	–	10	5	–	9	–	
10	–	–	12	–	–	10	–	
12	–	–	14	6	–	–	12	5
16	–	–	18	–	–	–	14	–

Примечание: 1. Число рабочих ходов указано для нарезания метрической резьбы для среднего класса точности. При нарезании точной резьбы число чистовых ходов увеличивают.
 2. При нарезании внутренней метрической резьбы число черновых ходов увеличивают на один.
 3. При нарезании метрической резьбы на стали 12Х18Н9Т число ходов увеличивают на 30 %, а на закаленной стали – в 2-3 раза.
 *I – черновые ходы, II – чистовые.

Число рабочих ходов при нарезании метрической и трапецеидальной резьб резцами из быстрорежущей стали

Шаг резьбы P , мм	Сталь конструкционная углеродистая		Сталь конструкционная легированная и стальные отливки		Чугун, бронза и латунь	
	Число рабочих ходов*					
	I	II	I	II	I	II
Крепежная метрическая наружная однозаходная резьба						
1,25 – 1,5	4	2	5	3	4	2
1,75	5	3	6	4	5	3
2,0 – 3,0	6		7		6	
3,5 – 4,5	7	4	9	5	6	4
5,0 – 5,5	8		10			
6,0	9		12			
Трапецеидальная наружная однозаходная резьба						
4	10	7	12	8	8	6
6	12	9	14	10	9	7
8	14	10	17	12	11	
10	18		22		14	
12	21		25		17	
16	28		33		22	
20	35		42		28	

* См. сноску к табл. 2.110

Примечания: 1. Число ходов указано для нарезания резьбы средней точности. При нарезании точной резьбы необходимо данные таблицы увеличить на два-три зачистных хода при скорости резания 4 м/мин.
2. При нарезании многозаходных резьб указанное в таблице число ходов увеличивают на один-два хода для каждого захода резьбы.
3. При нарезании внутренней резьбы увеличивают число ходов: черновых – на 20 – 25 %, чистовых для метрической резьбы на один ход, а для трапецеидальной – на один ход с шагом до 8 мм и на два хода с шагом более 8 мм.

Таблица 2.107

Подачи при вихревом нарезании метрической и трапецеидальной резьб резцами с пластинами из твердого сплава Т15К6 на стальных деталях

Механические свойства стали		Подача на один резец S_z , мм	Примечание
σ_B , МПа	HB		
550	153 – 161	1,0 – 1,2	Большие значения подач при нарезании резьбы на жестких деталях, меньшие – на деталях пониженной жесткости
650	179 – 192	0,8 – 1,0	
750	210 – 220	0,6 – 0,8	
850	235 – 250	0,4 – 0,6	

Величины подач S_z на один резец при вихревом нарезании резцами во вращающихся головках приведены в табл. 2.107, на один зуб гребенча-

той фрезы – в табл. 108, а на один зуб дисковой фрезы – в примечании к табл. 108. Метчики, плашки и резьбовые головки работают с самоподачей.

Таблица 2.108

Подачи S_z на один зуб гребенчатой резьбовой фрезы

Обрабатываемый материал	Диаметр нарезаемой резьбы, мм					
	До 30			Св. 30 до 50		
	S_z , мм, при шаге нарезаемой резьбы P , мм					
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 3,5	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 4
Сталь:						
$\sigma_B \leq 800$ МПа	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07
$\sigma_B > 800$ МПа	0,02 – 0,03	0,02 – 0,03	0,03 – 0,04	0,03 – 0,04	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05
Чугун:						
серый	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09
ковкий	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08
Обрабатываемый материал	Диаметр нарезаемой резьбы, мм					
	Св. 50 до 76			Св. 76		
	s_z , мм, при шаге нарезаемой резьбы P , мм					
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 4	До 2	Св. 2 до 4	
Сталь:						
$\sigma_B \leq 800$ МПа	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09	
$\sigma_B > 800$ МПа	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	
Чугун:						
серый	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09	0,09 – 0,10	0,09 – 0,10	0,10 – 0,12	
ковкий	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09	0,08 – 0,09	0,08 – 0,09	
Примечания: 1. Для нарезания точных резьб подачу уменьшать на 25 %.						
2. Подачу S_z на один зуб дисковой фрезы при нарезании трапецидальной резьбы принимают равной 0,3 – 0,6 мм в зависимости от точности резьбы.						

Скорость резания, м/мин, при нарезании крепежной резьбы резцами с пластинками из твердого сплава

$$V = \frac{C_v i^x}{T^m S^y} K_v, \text{ м/мин;}$$

при нарезании крепежной и трапецидальной резьб резцами из быстрорежущей стали

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \text{ м/мин;}$$

при вихревом нарезании метрической и трапецеидальной резьб твердосплавными резцами во вращающихся головках

$$V = \frac{C_v}{T^m S^y S_z^x} K_v, \text{ м/мин.}$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени при обработке конструкционной углеродистой стали с $\sigma_B = 750$ МПа в табл. 2.109.

Таблица 2.109

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах скорости резания для резьбовых инструментов

Обрабатываемый материал	Нарезание резьбы	Материал режущей части	Условия резания или конструкции инструмента	Коэффициент и показатели степени					Среднее значение периода стойкости T , мин
				C_v	x	y	q	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$, МПа	Крепежной резцами	T15K6	–	244,0	0,23	0,30	–	0,20	70
		P6M5	Черновые ходы: $P \leq 2$ мм	14,8	0,70	0,30	–	0,11	80
			$P > 2$ мм	30,0	0,60	0,25	–	0,08	
	Трапецеидальной резцами	P6M5	Черновые ходы	32,6	0,60	0,20	–	0,14	70
			Чистовые ходы	47,8	0,50	0	–	0,18	
	Вихревое нарезание крепежной и трапецеидальной резьб	T15K6	–	2330	0,50	0,50	–	0,50	80
	Метчиками: машинными гаечными автоматными	P6M5	–	64,8	–	0,5	1,2	0,90	90
				53,0		0,5	1,2	0,90	
				41,0		0,5	1,2	0,90	
	Круглыми плашками	9XC Y12A	–	2,7	–	1,2	1,2	0,50	90
Резьбонарезными головками	P6M5	Гребенки круглые и тангенциальные	7,4	1,2		1,2	0,50	120	
Гребенчатыми фрезами	P6M5	–	198,0	0,3		0,4	0,50	100	
Серый чугун, HB190	Крепежной резцами	BK6	–	83,0	0,45	0	–	0,33	70
	Гребенчатыми фрезами	P6M5	–	140,0	–	0,3	0,4	0,33	200
Ковкий чугун, HB150	Гребенчатыми фрезами	P6M5	245,0	2,0		0,5	1,0	200	
Силумин	Метчиками гаечными	P6M5	–	20,0		0,5	1,2	0,9	90

Примечание. Нарезание резьбы производится с применением смазочно-охлаждающих жидкостей, рекомендованных для данного вида обработки.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv}K_{uv}K_{cv},$$

где K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 2.1 – 2.4); K_{uv} – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента (см. табл. 2.6); K_{cv} – коэффициент, учитывающий способ нарезания резьбы (применяют равным 1,0, если резьба нарезается черновым и чистовым резцами, и 0,75, если резьба нарезается одним чистовым резцом).

При нарезании резьбы с ограниченным выходом резца (в упор) и необходимости при этом ручного отвода резца скорость резания уменьшают, рассчитывая по формуле

$$v = \frac{\pi Df}{1000\tau P}, \text{ м/мин,}$$

где D – номинальный диаметр резьбы, мм; f – ширина выточки для выхода резца, мм; P – шаг нарезаемой резьбы, мм; τ – время на отвод резца и переключение станка на обратный ход, равное 0,01 – 0,04 мин.

Скорость резания при нарезании метрической резьбы метчиками, круглыми плашками и резьбовыми головками

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v, \text{ м/мин}$$

при нарезании резьбовыми гребенчатыми фрезами

$$v = \frac{C_v}{T^m S_z^x S^y} K_v, \text{ м/мин,}$$

Значения коэффициента C_v , показателей степени и средние значения периода стойкости T для различных инструментов приведены в табл. 2.109.

Данные о стойкости для ряда инструментов ориентировочные, так как в этих случаях скорость резания не рассчитывают, а устанавливают, имея в виду, что качественная резьба при нарезании ее плашками может быть получена при скорости $v \leq 4$ м/мин, а винторезными головками – при скорости $v \leq 14 - 16$ м/мин.

Наиболее производительное и экономичное нарезание резьбы метчиками и гребенчатыми резьбовыми фрезами достигается при максимальных скоростях резания, допускаемых быстроходностью оборудования и мощностью его привода.

Общий поправочный коэффициент

$$K_v = K_{mv}K_{uv}K_{lv},$$

где K_{mv} , K_{uv} – коэффициенты, учитывающие обрабатываемый и инструментальный материалы. Для резьбовых резцов приведены (см. табл. 2.4 и 2.6), а для метчиков, плашек, резьбовых головок и резьбовых гребенчатых фрез в табл. 2.110; K_{lv} – коэффициент, учитывающий точность нарезаемой резьбы.

Силовые зависимости. Тангенциальная составляющая силы резания, при нарезании резьбы резцами

$$P_z = \frac{10C_p P^y}{i^n} K_p \text{ Н.}$$

крутящий момент, при нарезании резьбы метчиками и резьбовыми головками

$$M_{кр} = 10C_M D^q P^y K_p, \text{ Нм}$$

где P – шаг резьбы, мм; i – число рабочих ходов, устанавливаемое из табл. 2.105 и 2.106; D – номинальный диаметр резьбы, мм. Коэффициенты C_p и C_M и показатели степени приведены в табл. 2.111. Поправочный коэффициент $K_p = M_{кр}$, учитывающий качество обрабатываемого материала, который определяется для резцов по табл. 2.8, а для других инструментов – по табл. 2.109.

Мощность. Мощность при нарезании резьбы: резцами

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт},$$

метчиками, плашками и резьбовыми головками $N = \frac{M \cdot n}{975}, \text{ кВт},$ где

$$n = \frac{1000v}{\pi D}, \text{ об/мин.}$$

При вихревом нарезании резьбы за один проход вращающейся головки с z резцами мощность резания определяют по формулам:

для треугольной резьбы

$$N = \frac{0,1S^{0,5}S_z^{0,4}z^{0,5}v^{0,8}}{D^{0,7}}, \text{ кВт},$$

для трапецеидальной резьбы

$$N = \frac{0,028S^{1,2}S_z^{0,6}z^{0,5}v^{0,8}}{D^{0,7}}, \text{ кВт}.$$

При нарезании резьбы за несколько проходов, а также при нарезании нестандартной резьбы рассчитанную мощность следует умножить на отношение фактической высоты профиля, срезаемой за один проход, к высоте резьбы по ГОСТ 24705-2004.

Таблица 2.110

Поправочные коэффициенты на скорость резания и крутящий момент для метчиков, плашек и резьбовых головок

Обрабатываемый материал	Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от					Поправочный коэффициент
	Обрабатываемого материала	Материала режущей части		Класса точности резьбы		
		Р6М5	9ХС, У10А, У12А	точный	средний	
Сталь: углеродистая: $\sigma_B < 600$ МПа	0,7					1,0
$\sigma_B = 600 \dots 800$ МПа	1,0					1,0
легированная: $\sigma_B < 700$ МПа	0,9	1,0	0,7	0,8	10 – 1,25	1,0
$\sigma_B = 700 \dots 800$ МПа	0,8					0,85
Чугун: серый: $HB < 140$	1,0					1,0
$HB 140 - 180$	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0 – 1,25	1,2
$HB > 180$	0,5					1,5
ковкий	1,7					0,5

Таблица 2.111

Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для определения силы резания и момента резания при нарезании резьбы

Обрабатываемый материал	Тип инструмента	Коэффициенты и показатели степени				
		C_p	C_m	y	q	u
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$ МПа	Резцы	148	1,0	1,7	–	0,71
	Метчики: машинные, гаечные, автоматные	–	0,0041 0,0270 0,0025	1,5	1,7 1,4 2,0	–
	Плашки круглые		0,0450		1,1	
	Резьбовые головки		0,0460			
Чугун	Резцы	103	1,0	1,8	–	0,82
	Метчики машинные	–	0,0130	1,5	1,4	–
Силумин	Метчики гаечные		0,0022		1,8	

Особенности режимов резания при нарезании резьбы в жаропрочных сплавах представлены в табл. 2.112 – 2.113.

Таблица 2.112

Рекомендуемые числа проходов резца при нарезании наружной резьбы в жаропрочных сплавах

Шаг резьбы, мм							
0,75 – 1,0		1,25 – 1,5		1,75 – 2,0		2,5 – 3,0	
Число проходов							
черновой	чистовой	черновой	чистовой	черновой	чистовой	черновой	чистовой
3 – 4	1 – 2	3 – 5	1 – 2	5 – 6	2 – 3	7 – 9	2 – 3
Примечание: При нарезании внутренней резьбы число проходов умножить на коэффициент – 1,25.							

Таблица 2.113

Скорость резания при нарезании наружной резьбы в жаропрочных сплавах резцами с пластинками твердого сплава ВК6, ВК8, ВК10-ОМ

Обрабатываемый жаропрочный сплав	Шаг резьбы, мм до:		
	1	2	3
	Скорость резания v , м/мин		
Деформируемый	6,5 – 8,0	5,5 – 6,5	5,0 – 6,0
Литейный	4,0 – 5,5	3,5 – 4,5	3,0 – 4,5

Таблица 2.114

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости
от вида резьбы

Вид резьбы					
Наружная		Внутренняя			
		$d \leq 100$		$d > 100$	
сквозная	в упор	сквозная	в упор	сквозная	в упор
1,0	0,9	0,85	0,8	1,0	0,9

Примечание: В качестве СОТС применять: 1) сульфозрезол; 2) смазки В-29Б, В-35Ж; 3) смесь – 60 % сульфозрезола, 25 % керосина, 15 % олеиновой кислоты.

Таблица 2.115

Число метчиков в комплекте при нарезании резьбы в глухих отверстиях

Материал детали	σ_B МПа	Материал метчика	Шаг резьбы	Число метчиков в комплекте
Жаропрочные деформируемые и литейные сплавы	800 – 1300	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	0,25 – 0,50	2
			0,70 – 1,75	3
			2,0 – 2,5	4

Таблица 2.116

Режимы резания при нарезании резьбы в сквозных отверстиях жаропрочных деформируемых и литейных сплавов комплектными метчиками

Обрабатываемый материал	Материал метчика	Диаметр резьбы, мм						
		M1-M1,6	M2-M3	M4-M5	M6-M8	M10-M12	M14-M16	M18-M20
		Скорость резания v , м/мин						
Жаропрочные деформируемые сплавы	Быстрорежущая сталь	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,8 – 2,5	2,5 – 3,5	3,0 – 4,0
		вручную	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,7	1,5 – 2,0
	Твердый сплав	2,0 – 2,5	3,0 – 4,0	4,5 – 6,0	–	–	–	–
		1,5 – 2,0	2,5 – 3,5	4,0 – 5,0	–	–	–	–
Жаропрочные литейные сплавы	Быстрорежущая сталь	вручную	0,3 – 0,5	0,5 – 0,8	0,5 – 1,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	1,2
	Твердый сплав	1,0 – 1,5	2,0 – 2,5	3,0 – 4,0				

Примечание: 1. Большие значения скоростей принимать для резьб больших диаметров, меньшие – для резьб меньших диаметров.
2. При измененных условиях работы приведенные скорости резания умножить на следующие коэффициенты:
а) при нарезании резьбы в сквозных отверстиях одним метчиком – $K_{v1} = 0,5$;
б) при нарезании резьбы в глухих отверстиях – $K_{v2} = 0,5$

ПРОТЯГИВАНИЕ

Элементами резания при протягивании являются периметр резания ΣB – наибольшая суммарная длина лезвий всех одновременно режущих зубьев, мм, подача на один зуб S_z , мм, и скорость резания v , м/мин (рис. 2.8).

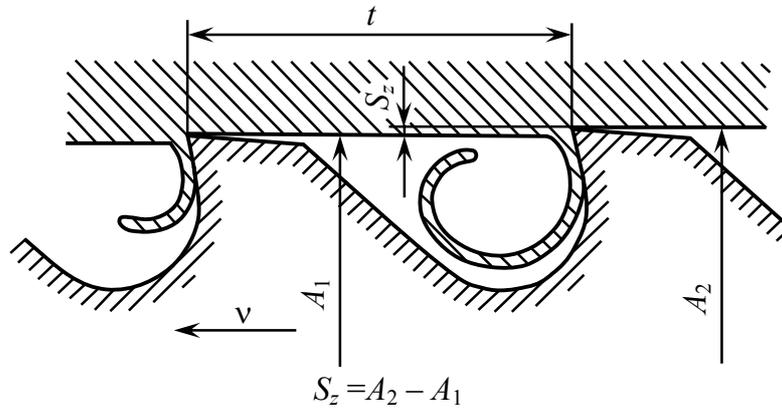


Рис. 2.8. Схема срезания припуска при протягивании

где z_c – число зубьев в секции протяжки при прогрессивной схеме резания (при профильной или генераторной схемах резания $z_c = l$); z_1 – наибольшее число одновременно режущих зубьев, определяемое из выражения $z_1 = l/t$, где l – длина обрабатываемой поверхности, мм (за вычетом пазов или выточек, если таковые имеются); t – шаг режущих зубьев, мм. Вычисленное значение z_1 округляют до ближайшего целого числа.

Периметр резания зависит от формы и размеров обрабатываемой поверхности и схемы резания и определяется уравнением $\Sigma B = Bz_1/z_c$, где B – периметр резания, мм, равный длине обрабатываемого контура заготовки или больше ее на величину $l/\cos\lambda$ при наклонном расположении зубьев под углом λ .

Подача при протягивании S_z – размерный перепад между соседними режущими зубьями протяжки (рис. 2.8) – является элементом конструкции протяжки.

Скорость резания, определяемую требованиями к точности обработки и параметрам шероховатости обработанной поверхности, выбирают по табл. 2.117 в зависимости от группы скорости, устанавливаемой из табл. 2.118. При нормативной скорости резания заданный параметр шероховатости поверхности может быть достигнут при оптимальных значениях переднего и заднего углов, при наличии у протяжки чистовых и переходных зубьев.

Таблица 2.117

Скорости резания, м/мин, для протяжек из быстрорежущей стали Р6М5

Группа скорости резания (см. табл. 2.123)	Протяжки			
	Цилиндрические	Шлицевые	Шпоночные и для наружного протягивания	Всех типов
I	8/6	8/3	10/7	4
II	7/5	7/4,5	8/6	3
III	6/4	6/3,5	7/5	2,5
IV	4/3	4/2,5	4/3,5	2

Примечания: 1. В числителе приведены скорости резания при $Ra = 3,2 - 6,3$ мкм и точности 8 – 9-го квалитетов, в знаменателе - при $Ra = 1,6$ мкм и точности 7-го квалитета; для протяжек всех типов – при $Ra = 0,8 - 0,4$ мкм.
2. При протягивании наружных поверхностей с допуском до 0,03 мм секциями протяжек с фасонным профилем скорость резания снижать до 4-5 м/мин.
3. Для протяжек из стали ХВГ табл. скорости резания снижать на 25 – 30 %.

Таблица 2.118

Группы скорости резания при протягивании стали и чугуна

Твердость НВ	Сталь							
	Углеродистая и автоматная	Марганцовистая и хромованадиевая	Хромистая	Хромомолибденовая	Хромокремнистая и кремнемарганцовистая	Хромомарганцовистая	Хромокремнемарганцовистая	
До 156	IV	–	–	–	–	–	–	
Св. 156 до 187	III	III	II	II		II		
Св. 187 до 197	II		I		II	I		
Св. 197 до 229	I	II	II	III	III	II	II	
Св. 229 до 269	II	III	III		IV	III	III	
Твердость НВ	Сталь						Чугун	
	Никелевая	Хромо-никелевая	Хромомарганцово-молибденовая	Никель-молибденовая	Хромо-марганцово-титановая	Хромо-никель-молибденовая	Серый	Ковкий
До 156	–	–	–	–	–	–	–	I
Св. 156 до 187		III					I	
Св. 187 до 197	IV	II	I	III	II	III	II	–
Св. 197 до 229	III		II	II			III	
Св. 229 до 269	III	III	III	III	–	IV	–	–
Св. 269 до 321	–		III	III			III	

Установленную нормативную скорость резания сравнивают с максимальной скоростью рабочего хода станка и скоростью резания, м/мин, допускаемой мощностью двигателя станка:

$$v = 61200 \frac{N}{P_z} \eta$$

где N – мощность двигателя станка, кВт; P_z – сила резания при протягивании, Н; η – КПД станка.

В качестве рабочей скорости принимают наименьшую из сравниваемых скоростей.

Сила резания, Н, при протягивании

$$P_z = P \Sigma B,$$

где P – сила резания на 1 мм длины лезвия, Н, зависящая от обрабатываемого материала и величины подачи S_z , мм, на один зуб протяжки. Значения её приведены в табл. 2.119.

Таблица 2.119

Сила резания P , Н, приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжки

Подача на один зуб S_z , мм	Обрабатываемый материал								
	Углеродистая сталь			Легированная сталь			Чугун		
	$HB < 197$	$HB 197 - 229$	$HB > 229$	$HB < 197$	$HB 198 - 229$	$HB > 229$	серый		ковкий
							$HB < 180$	$HB > 180$	
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431

Примечание. Значения силы резания приведены для нормальных условий эксплуатации: а) передние и задние углы зубьев оптимальные; б) величина износа не превышает допускаемую.

Таблица 2.120

Геометрия зубьев протяжек для обработки жаропрочных деформируемых литейных сплавов

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Геометрия протяжек					
		Передний угол γ°	Задний угол α°		Подъем на зуб $S_z, \text{мм}$		Угол наклона зуба λ°
			Наружное протягивание	Внутреннее протягивание	Наружное протягивание	Внутреннее протягивание	
Деформируемые сплавы	Быстрорежущая сталь	0 – 10	5 – 10	2 – 3	0,05 – 0,1	0,03 – 0,00	0 – 5
	Твердый сплав	0 – 5	5 – 6	2 – 3	0,04 – 0,06	0,03 – 0,00	0
Литейные жаропрочные сплавы	Быстрорежущая сталь	0 – 10	5 – 10	2 – 3	0,05	0,02 – 0,00	0
	Твердый сплав	0 – 5	5 – 6	2 – 3	0,04 – 0,06	0,02 – 0,00	0

При протягивании жаропрочных деформируемых сплавов на скоростях резания менее 4 м/мин рекомендуется применять быстрорежущие стали: Р12Ф2К5М3, Р6М5К5, Р18; для протягивания деталей из литейных жаропрочных сплавов – быстрорежущие стали Р9М4К8, Р18Ф2К8М. Режимы резания приведены в табл. 2.121, а сил резания в табл. 2.122.

Таблица 2.121

Режимы протягивания жаропрочных сплавов

Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Скорость $v, \text{мм}$
Жаропрочные деформируемые сплавы	быстрорежущая сталь	1 – 4 или 18 – 20
	твердый сплав	25 – 30
Жаропрочные литейные сплавы	быстрорежущая сталь	0,5 – 1,0
	твердый сплав	6 – 8

Таблица 2.122

Сила резания P , Н приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжек

Подача на зуб, мм/зуб	Обрабатываемые материалы			
	деформируемые сплавы		литейные сплавы	
	$P_{\text{осевая}}$	$P_{\text{радиальная}}$	$P_{\text{осевая}}$	$P_{\text{радиальная}}$
0,01	10,5	10,5	9,6	12,4
0,02	14,2	12,0	14,7	13,7
0,03	17,0	13,3	18,5	16,0
0,06	32,0	19,0	34,0	21,0
0,08	41,0	22,0	43,8	23,4
0,1	50,0	24,0	50,5	25,5

Величина износа для предварительной протяжки – 0,3 мм; для окончательной – 0,2 мм. Износ определяется по задней поверхности зубьев протяжки.

ШЛИФОВАНИЕ

Основными элементами резания при шлифовании являются:

скорость вращательного или поступательного движения заготовки v_3 , м/мин;

глубина шлифования t – слой металла, снимаемый периферией или торцом круга в результате поперечной подачи на каждый ход или двойной ход при круглом или плоском шлифовании S и в результате радиальной подачи S_p при врезном шлифовании, мм;

продольная подача S – перемещение шлифовального круга в направлении его оси, в миллиметрах на один оборот заготовки при круглом шлифовании или в миллиметрах на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга.

Мощность. Эффективная мощность при шлифовании периферией круга с продольной подачей

$$N = C_N v_3^r t^x S^y d^q, \text{ кВт},$$

при врезном шлифовании периферией круга

$$N = C_N v_3^r S_p^y d^q b^z, \text{ кВт},$$

при шлифовании торцом круга

$$N = C_N v_3^r t^x b^z, \text{ кВт},$$

где b – ширина шлифования, равная длине шлифуемого участка заготовки при круглом врезном шлифовании и поперечному размеру поверхности заготовки при шлифовании торцом круга, мм; d – диаметр шлифовального круга, мм.

Значения коэффициента C_N и показателей степени в формулах приведены в табл. 2.123.

Таблица 2.123

Значения коэффициента и показателей степени в формулах для определения мощности резания при шлифовании

Шлифование	Обрабатываемый материал	Шлифовальный круг		Коэффициент и показатели степени					
		Зернистость	Твердость	C_N	v	x	y	q	z
Круглое наружное: с поперечной подачей на двойной ход, с поперечной подачей на каждый ход, врезное	СЗН	50 – 40	СМ1-СМ	1,3	0,75	0,85	0,70	–	–
		50	СМ2	2,2	0,5	0,5	0,55		–
		40	СМ1-С1	2,65	0,5	0,5	0,55		
		50	СМ1	0,14	0,8	0,8		0,2	1,0
Круглое внутреннее	СН	40	С1	0,27	0,5				
	СЗ	50 – 40	СМ1-С1	0,36	0,35	0,4	0,4	0,3	–
		25	СМ1	0,3	0,35				
Ч	40	СМ1	0,81	0,55	1,0	0,7	0,3	–	
Круглое бесцентровое: на проход врезное	СН	40 – 25	С1-СТ1	0,1	0,85	0,6	0,7	0,5	–
		25	СМ2	0,075					
	СЗ	40	СМ1-С1	0,28	0,6	0,6	0,5	0,5	–
		25	СМ1-С1	0,34					
СЗН	40	СМ1-С1	0,07	0,65	0,65	–	0,5	1,0	
Плоское периферией круга на станках: с прямоугольным столом, с круглым столом	СН	50	СМ2	0,52	1,0	0,8	0,8	–	–
			С1	0,59					
			СТ2	0,68					
		50 – 40	МЗ-С1	0,53	0,8	0,65	0,7	–	–
СЗ	50 – 40	МЗ-СМ1	0,7	0,7	0,5	0,5	–	–	
Плоское торцом круга на станках: с прямоугольным столом, с круглым столом	СН	125	М2	0,17*	0,7				–
		125	С1	0,39*	0,7				–
		125	СТ1	0,59*	0,7	0,5	–	–	–
		80 – 50	М1-СМ2	1,9**	0,5				–
		50	М3	1,31**	0,5				0,6
	СЗ	80 – 50	М1-СМ2	5,2**					
			М3	3,8**	0,3	0,25	–	–	–
		Ч	80– 50	СМ1-СМ2	4,0**	0,4	0,4	–	–
		50	СМ2	2,6***					5

Примечания: 1. * – круги на бакелитовой связке; ** – круг кольцевой на керамической связке; *** – круг сегментный на керамической связке.

2. СЗН – сталь закаленная и незакаленная; СЗ – сталь закаленная; СН – сталь незакаленная; Ч – чугун.

3. Абразивный материал: электрокорунд – при обработки стали, карборунд – при обработке чугуна.

Режимы абразивных методов обработки приведены в табл. 2.124.

Таблица 2. 124

Режимы абразивного резания

Метод обработки	Чугуны и стали				
	t , мм	Продольная подача на оборот S_o , мм	Радиальная подача на оборот S_p , мм	v_k , м/с	Скорость, заготовки v_3 , м/мин
Круглое наружное шлифование					
С продольной подачей на каждый ход:					
предварительное	0,01 – 0,025	(0,3 – 0,7) B	–	30 – 35	15 – 25
окончательное	0,05 – 0,015	(0,2 – 0,4) B	–	–	15 – 55
С продольной подачей на двойной ход:	0,015 – 0,05	(0,3 – 0,7) B	–	30 – 35	20 – 30
Врезное:					
предварительное	–	–	0,0025 – 0,075	–	30 – 50
окончательное	–	–	0,001 – 0,05	30 – 35	40 – 60
Круглое внутреннее шлифование					
С продольной подачей на каждый ход:					
предварительное	0,005 – 0,02	(0,4 – 0,7) B	–	30 – 35	15 – 30
окончательное	0,0025 – 0,01	(0,25 – 0,4) B	–	–	20 – 40
Плоское шлифование					
Периферией круга:					
предварительное	0,005 – 0,015	(0,3 – 0,6) B	–	30 – 25	8 – 30
окончательное	0,005 – 0,01	(0,2 – 0,25) B	–	–	20 – 60
Торцом круга:					
предварительное	0,015 – 0,04	–	–	30 – 35	4 – 12
окончательное	0,005 – 0,01	–	–	–	2 – 3
Хонингование	Припуск:	$v_{в.п.}$ м/мин	S_p мкм/дв.ход		
предварительное ($p_d = 0,6 – 1,4$ МПа)	100 мкм	5 – 27	1,0 – 3,0	20 – 80 м/мин	–
окончательное ($p_d = 0,3 – 0,6$ МПа)	10 мкм	–	0,3 – 1,0	–	–
Суперфиниширование ($p_d = 0,4 – 0,8$ МПа)	–	$v_{в.п.}$ м/мин 1,0 – 2,0	–	–	180 – 360

Примечания. 1. Инструментальный материал: электрокорунд для обработки сталей, карбид кремния – для чугунов.
2. B , мм – высота абразивного круга.
3. $v_{в.п.}$ – скорость возвратно-поступательного движения инструмента.
4. p_d – давление брусков на обрабатываемую поверхность.
5. При суперфинишировании: частота колебаний инструмента $n_k = 350 – 1400$ кол/мин; амплитуда колебаний инструмента $A = 2...6$ мм.

3. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Период стойкости инструментов – время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа. Значения периода стойкости лезвийного инструмента зависят от ряда факторов; условий производства, типа оборудования, конструкции инструмента, инструментального материала. Чем выше серийность производства, тем меньший период стойкости инструмента следует принимать; чем выше стоимость станкоминуты используемого оборудования, тем меньший период стойкости инструмента следует принимать. Чем сложнее и дороже инструмент в изготовлении и наладке, тем больший период стойкости инструмента следует принимать; чем больше время, затрачиваемое на смену или восстановление инструмента, тем больший период стойкости следует принимать; чем выше стоимость материала инструмента, тем больший период стойкости следует принимать.

Период стойкости абразивного инструмента не является ограничивающим фактором и поэтому режимы абразивного резания принимаются исходя из требований по точности и качеству обработанной поверхности. Средние значения периодов стойкости лезвийных инструментов представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Периоды стойкости лезвийных инструментов

Инструмент	Вид обработки и диаметр инструмента	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал			
			Чугун	Сталь углеродистая	Сталь легированная	Сталь высокопрочная, коррозионно-стойкая, жаропрочная
			Период стойкости T , мин			
Резец	Точение черновое	ТС (ВК, ТТК, ТК)	90	90	60	30
		БВТС (ТМ, ТН)				
	получистовое	ТС (ВК, ТТК, ТК),	60	60	60	30
		МК (ВОК, ЦМ)	70	70	70	70
	тонкое	СТМ	90	90	80 – 90	80 – 90
Отрезание, про- резание канавок	ТС	30	30	30	30	
		БРС	30	30	30	30
Сверло	Диаметр, мм	БРС/ТС				
	до 5		20/5	15/18	6/5	6/5
	до 10		35/25	25/10	10/10	10/10
	до 20		60/45	45/20	17/20	17/20
	до 40		105/70	70/35	35/–	25/–
до 60	170/–	100/–	–/–	–/–		

Зенкер	Диаметр, мм до 20 до 40 до 60	БРС/ТС	30/30 55/55 70/70	30/30 50/50 80/80	24/24 50/50	24/24 50/50
Развертка	Диаметр, мм до 20 до 40 до 60	БРС/ТС	60/60 120/100 180/160	40/30 80/50 120/100	40/ 60/	40/ 60/
Метчик	Диаметр, мм до 10 св. 10	БРС/ТС	30 60	40 90	20 30	15 20
Круглая плашка	–	БРС	90	90	90	90
Фреза	Торцовая: Ø100мм Ø200 мм Концевая: Ø20мм Ø50 мм Цилиндрическая Дисковая Ø100мм Ø150 мм Зубообрабаты- вающая (червяч- ная): <i>m</i> до 4,0 <i>m</i> до 8,0	БРС/ТС	60/120 100/200	60/120 100/200	60/120 100/200	60/120 100/200
			40/60 60/80 90/	40/60 60/80 90/	40/60 40/60 90/	40/60 40/60 80/
		БРС	480 960	240 480	240 480	240 480
Протяжка	Круглая	БРС/ТС	45 – 90/180	55 – 70/180	45 – 55/120	45 – 55/120
	Шлицевая		35 – 70/180	45 – 55/180	25 – 45/120	25 – 45/120
Примечание. Периоды стойкости резцов ТС приведены для напайных пластин; для резцов со сменными пластинами из ТС период стойкости может быть снижен в 1,5 – 2 раза.						

4. СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ

В промышленном масштабе освоено производство жидких СОТС двух классов: масляных и водных СОЖ, а также отдельных марок твердых и пластичных технологических смазок.

МАСЛЯНЫЕ СОЖ представляют собой минеральные масла с вязкостью 2 – 40 мм²/с при 50 °С без присадок или с присадками различного функционального назначения (антифрикционными, противоизносными, противозадирными, антиокислительными, моющими, антипенными, противотуманными, антикоррозионными и др.). Обладая хорошими смазочными свойствами, этот класс СОЖ имеет ряд недостатков: низкую охлаждающую способность, повышенные испаряемость и пожароопасность, высокую стоимость.

Водные СОЖ могут содержать минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, противоизносно-противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, вещества-связки (воду, спирты, гликоли и др.) и другие органические и неорганические вещества. Водные СОЖ по сравнению с масляными отличаются более высокой охлаждающей способностью, пожаробезопасностью и меньшей опасностью для здоровья человека, сравнительно невысокой стоимостью рабочих растворов. Вместе с тем, им присущ ряд недостатков: сравнительно низкие смазочные свойства; невозможность применения в особо тяжелых условиях обработки металлов; необходимость решения вопросов разложения и утилизации отработанных водных растворов.

4.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СОЖ ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

СОЖ выбирают исходя, прежде всего, из физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки и вида технологических операций. При этом учитывают изменение физико-химических свойств материалов заготовки и инструмента с повышением температуры в контактных зонах при резании, а также ряд факторов, объединяемых понятием «условия обработки», форму, размеры и конструктивные особенности заготовки; кинематические и динамические особенности технологической операции; требуемое качество детали или заготовки (на промежуточной операции); форму и размеры режущего инструмента; инструментальный материал и вид резания (свободное, несвободное, прерывистое, непрерывное, прямоугольное и косоугольное), чистоту СОЖ, способ и технику подачи СОЖ в зону обработки и др. В табл. 4.1 – 4.8 представлены применяемые СОЖ при лезвийной обработке заготовок из:

- чугунов,
- конструкционных углеродистых и легированных сталей,
- высокопрочных сталей,
- коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов,
- титановых сплавов,
- из алюминиевых и медных сплавов.

В табл. 4.9 представлены примеры аналогов отечественных СОТС с зарубежными для обработки металлических заготовок резанием на машиностроительных предприятиях.

Таблица 4.1

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из чугунов

Технологическая операция	Рекомендуемые СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Акванол АЗМОЛ, 5 – 8 % -я микроэмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5%-я микроэмульсия, Аминил-ОР, АТМ-СОЖ – 1, 3...5 %-я эмульсия, Вексанол -3, 5 %-я эмульсия, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ИНКАМ -3, 3%-я эмульсия, Инкомет -1, 3 – 15 %-я микроэмульсия, Линнол -1, 5 – 7 %-я эмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ), ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия, ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, Лубрисол М-92, 5 – 50 %-й раствор в индустриальных маслах, МР-6, МР-11 марок А и Б, МР-17, МСВ-22, МЭП-1, ОСМ-5М, Полиэд-1, Росойл-320, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-11, Росойл-ОСМ-5, СП-44 10 – 50 %-й раствор в минеральном масле</p>
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	<p>Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-90</p>	<p>ОСМ-3, МР-4, МР-4П, МР-17, Росойл-101, Росойл-320, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5, СП-4</p>

Продолжение табл. 4.1

Сверление, зенкерование	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Акванол АЗМОЛ, 5 – 8 % -я микроэмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5 %-я микроэмульсия, Аминил-ОР, АТМ-СОЖ -1, 3...5 %-я эмульсия, Вексанол -3, 5 %-я эмульсия, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ИНКАМ-3, 3%-я эмульсия, Инкомет -1, 3 – 15 %-я микроэмульсия, Линнол -1, 5 – 7 %-я эмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ), ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-1МИО, Лубрисол М-92, 5...50 %-й раствор в индустриальных маслах, МР-6, МР-11 марок А и Б, МР-17-МСВ-22, МЭП-1, Ольвит МОР-У, ОСМ-5М, Полиэд-1, Росойл-320, Росойл-1МИО, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5, РС-1, РС-2</p>
Глубокое сверление	<p>Аквол -6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, МР-7, МР-17Б, В, МСВ-15, Росойл-101, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-МР-11, Росойл-ОСМ-5</p>

Развертывание	<p>Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321,-351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10%-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10%-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3%-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Универсал-1 СОЖ, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор</p>	<p>Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, В-3 марка А,М, ЛЗ-СОЖ-15, МР-4, МР-17, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-МР-99</p>
Резьбонарезание	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Акванол АЗМОЛ, 5 – 8 % -я микроэмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-1МИО, Лубрисол М-92, 5 – 50 %-й раствор в индустриальных маслах, МР-6, МР-11 марок А и Б, МР-17-МСВ-22, МЭП-1, Ольвит МОР-У, ОСМ-5М, Полиэд-1, Росойл-320, Росойл-1МИО, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5, РС-1, РС-2</p>

Фрезерование	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5 %-я микроэмульсия, Аминил-ОР, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Виктория -1,-2 1,5 – 10 %-я микроэмульсия, ВИПОЛ-311, -321,-351, 3 – 7%-я микроэмульсия, Волгол-300, 3 – 10 %-я микроэмульсия, ВПК, 5%-й водный раствор, Гретирол, 2 – 5 %-й раствор, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ), ОСД, 1 – 2 %-я микроэмульсия, Сувар-3М, 1 – 3 %-й раствор, Эмульсол ЕРМ, 5 – 10 %-я эмульсия, Эмульсол Тариан, 5 – 10 %-я эмульсия, ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия</p>	<p>ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗН-СОЖ-11, МР-17, МР-17Б, В, Ольвит МОР-У, Полиэд-1, РЖ-8</p>
--------------	--	---

Таблица 4.2

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Акванол АЗМОЛ, 5...8 %-я микроэмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5 %-я микроэмульсия, Аминил-ОР, АТМ-СОЖ -1, 3 – 5 %-я эмульсия, Вексанол -3, 5 %-я эмульсия, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ИНКАМ-3, 3 %-я эмульсия,</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, АЗМОЛ МР-3, Лубрисол М-92, 5 – 50 %-й раствор в промышленных маслах, МР-6, МР-11 марок А и Б,</p>

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, обрезка	Инкомет-1, 3 – 15 %-я микроэмульсия, Линнол-1, 5 – 7 %-я эмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ), ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия, ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия	МР-17, МСВ-22, МЭП-1, ОСМ-5М, Полиэд-1, Росойл-320, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-11, Росойл-ОСМ-5, СП-44 10 – 50 %-й раствор в минеральном масле
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-96, 3 – 8 %-я эмульсия	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, ЛЗ-23М, 20 %-й раствор в минеральном масле, МЛ-1, МР-1У, МР-4П, МР-7, МР-11 марок А и Б, МР-17, МСВ-22, МЭП-1, РС-1, РС-2, СП-4

Продолжение табл. 4.2

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Сверление, зенкерование	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Акванол АЗМОЛ, 5 – 8 %-я микроэмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5 %-я микроэмульсия, Аминил-ОР, АТМ-СОЖ -1, 3 – 5 %-я эмульсия, Вексанол -3, 5 %-я эмульсия, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ИНКАМ-3, 3 %-я эмульсия, Инкомет-1, 3 – 15 %-я микроэмульсия, Линнол-1, 5 – 7 %-я эмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ), ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-1МИО, Лубрисол М-92, 5 – 50 %-й раствор в промышленных маслах, МР-6, МР-11 марок А и Б, МР-17-МСВ-22, МЭП-1, Ольвит МОР-У, ОСМ-5М, Полиэд-1, Росойл-320, Росойл-1МИО, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5, РС-1, РС-2</p>
Глубокое сверление	<p>Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, МР-7, МР-17Б, В, МСВ-15,</p>

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
		Росойл-101, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-МР-11, Росойл-ОСМ-5
Развертывание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-15, МР-4, МР-4П, Ольвит МОР-У, Полиэд-1, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-6, Росойл-ОСМ-5
Резьбонарезание	Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, АРИАН МР-И, ОСМ-3, ЛЗ-СОЖ-1Т, ЛЗ-СОЖ-15, ЛЗН-СОЖ-11, МР-1У-МР-4П, МР-7, МР-11 марок А и Б, МР-17Б, В- МСВ-15, Ольвит МОР-У, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-7

Окончание табл. 4.2

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Резьбонарезание	—	Росойл-МР-11, Росойл-ОСМ-5, СП-44 10 – 50 %-й раствор в минеральном масле
Фрезерование	Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-90	ОСМ-3, ЛЗ-23М, 20 %-й раствор в минеральном масле, МР-17, МР-17Б, В, Росойл-320, Росойл-МР-1, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99

Таблица 4.3

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из инструментальных сталей и сплавов

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3...10%-ная эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-4, МР-17, МСВ-15, Росойл-101, Росойл-МР-1, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-96, 3 – 8 %-я эмульсия	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, МР-4, МР-4П, МР-7, МР-17, Росойл-МР-4, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ
Сверление, зенкование	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-4, МР-17, МСВ-15, Росойл-МР-1, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5
Глубокое сверление	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, МР-7, МР-17, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-ОСМ-5

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Развертывание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	В-3 марка А,М, МР-4, МР-4П, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-6, Росойл-ОСМ-5
Резьбонарезание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	В-3 марка А,М, МР-4, МР-4П, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-6, Росойл-ОСМ-5
Фрезерование	Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Аминил-М марки Д, 2 – 5 %-я микроэмульсия, Аминил-ОР, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Виктория -1,-2 1,5 – 10 %-я микроэмульсия, ВИПОЛ-311, -321,-351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Волгол-300, 3 – 10 %-я микроэмульсия, ВПК, 5 %-й водный раствор, Гретирол, 2 – 5 %-й раствор, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ОМ (АМАЗОЛ ОМ) - ОСД, 1 – 2 %-я микроэмульсия, Сувар-3М, 1 – 3 %-й раствор, Эмульсол ЕРМ, 5 – 10 %-я эмульсия, Эмульсол Тариан, 5 – 10 %-я эмульсия, ЯЗ-1, 5 %-я эмульсия	ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-1МИО, ЛЗН-СОЖ-11, МР-17, МР-17Б, В, Ольвит МОР-У, Полиэд-1

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ марки ПС, 2 – 10 %-я микроэмульсия, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-4, МСВ-15, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-7
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	—	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А, М, МР-4, МСВ-15, Росойл-МР, Росойл-МР-7
Сверление, зенкерование	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-4, МСВ-15, Росойл-101, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6

Продолжение табл. 4.4

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Глубокое сверление	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия	АЗМОЛ МР-7В, ОСМ-3, МР-1У, МР-7, МСВ-15, Росойл-МР-3
Развертывание	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Универсал-1 СОЖ, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия,	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, В-3 марка А,М, ЛЗ-СОЖ-15, МР-4, МР-17, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-МР-99
Резьбонарезание	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл-50, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Универсал-1 СОЖ	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, ЛЗ-СОЖ-15, МР-4, МР-17, Росойл-МР-3, Росойл-МР-4, Росойл-МР-7

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Фрезерование	Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия	ОСМ-3, ЛЗ-СОЖ-1МИО, МР-17, МР-17Б, В, Росойл-1МИО, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5

Таблица 4.5

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из высокопрочных сталей

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Карбол С-1П, 2 – 5 %-й раствор, Купрол, 1 – 3 %-й раствор, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ марки ПС, 2 – 10 %-я микроэмульсия	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А, М, МР-1У, МР-4, Росойл-101, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-7, Росойл-МР-11, Росойл-МР-99
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	—	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-И, ОСМ-3, МЛ-1, МР-1У, МР-7, МР-11 марок А и Б, ОСМ-5М, Росойл-МР-7, Росойл-ОСМ-5

Продолжение табл. 4.5

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Сверление, зенкерование	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321,-351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Карбол С-1П, 2 – 5 %-й раствор, Купрол, 1 – 3 %-й раствор, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ марки ПС, 2 – 10 %-я микроэмульсия	АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-1У, МР-4-36м, Росойл-101, Росойл-МР-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-7, Росойл-МР-11, Росойл-МР-99
Глубокое сверление	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор	АЗМОЛ МР-7В, ОСМ-3, МР-1У, МР-7, МР-17Б, В, МСВ-15, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99
Развертывание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор	ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-15, МР-4П, Ольвит МОР-У, Полиэд-1, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6, Росойл-МР-99

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Резьбонарезание	<p>Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ</p>	<p>Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, ЛЗ-СОЖ-1Т, ЛЗ-СОЖ-15, МР-1У, МР-6, МСВ-15, Росойл-МР-6, Росойл-МР-99</p>
Фрезерование	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Аквэхом-К, 3 – 7 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-96, 3 – 8 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия,</p>	<p>ОСМ-3, В-3 марка А, М, Ольвит МОР-У, Полиэд-1, РЖ-8, Росойл-305, Росойл-320, Росойл-МР-3</p>

Таблица 4.6

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из титановых сплавов

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321,-351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, ОСМ-3, МР-4, МР-6, МР-17, Росойл-МР-4, Росойл-МР-99
Сверление, зенкерование	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия,1	Амзол МР-6, МР-4, МР-6, Росойл-МР-4
Глубокое сверление	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия	ОСМ-3, МР-1У, МР-4, МР-4П
Развертывание	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия	ОСМ-3, МР-4, МР-4П, МР-17, Росойл-МР-4, Росойл-ОСМ-5

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Резьбонарезание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, РАТ АК 62 ЮР, 1 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	Амзол МР-6, ОСМ-3, МР-4, МР-6, МР-17, Росойл-МР-4, Росойл-МР-6
Фрезерование	Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-23М, 20 %-й раствор в минеральном масле, ЛЗ-СОЖ-ШП, ЛЗН-СОЖ-11, МР-17, МР-17Б, В, Росойл-320, Росойл-1МП, Росойл-МР-1, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-ОСМ-5

Таблица 4.7

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из алюминиевых сплавов

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка.	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Виктория -1,-2 1,5 – 10 %-я микроэмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Волгол-300, 3 – 10 %-я микроэмульсия, ВПК, 5 %-й водный раствор, Гретирол, 2 – 5 %-й раствор, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, ИНКАМ-3, 3%-я эмульсия, Инкомет-1, 3 – 15 %-я микроэмульсия, Купрол, 1 – 3 %-й раствор, Линнол-1, 5 – 7 %-я эмульсия, ОМД-1, 1 – 2 %-й раствор, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл -50, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Сувар-3М, 1 – 3 %-й раствор, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия, Эмульсол ЕРМ, 5 – 10 %-я эмульсия</p>	<p>ОСМ-3, В-3 марка А, М МР-4, МР-4П, МР-17, Ольвит МОР-У, Полиэд-1, Росойл-305, Росойл-МР-4, СП-4</p>
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	<p>Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-90</p>	<p>ОСМ-3, МР-4, МР-4П, МР-17, Росойл-101, Росойл-320, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5, СП-4</p>

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Сверление, зенкерование	Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, ВИПОЛ-311, -321, -351, 3 – 7 %-я микроэмульсия, Ивкат, 2 – 4 %-я микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия	ОСМ-3, В-3 марка А, М, МР-4, МР-4П, МР-17, Росойл-МР-4, Росойл-ОСМ-5
Глубокое сверление	Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Универсал-1 СОЖ марки Б, 3 – 10 %-я эмульсия	ОСМ-3, ЛЗ-СОЖ-1Т, МР-17, МР-17Б, В, Росойл-320, Росойл-1МИО, Росойл-МР-3, Росойл-ОСМ-5
Развертывание	Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-СОЖ-1Т, МР-4, МР-4П, МР-17, Ольвит МОР-У, Росойл-305, Росойл-МР-3, Росойл-ОСМ-5

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Резьбонарезание	<p>Автокат Ф-78, 1,5 – 7 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ</p>	<p>ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-23М, 20 %-й раствор в минеральном масле, МР-4П, МР-17, МР-17Б, В, Ольвит МОР-У, ОСМ-3, Росойл-305, Росойл-320, Росойл-МР-1, Росойл-ОСМ-5</p>
Фрезерование	<p>Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ Росойл-503, 3 – 10 %-я эмульсия, Синтезор-3ЭТ, 3 – 10 %-я эмульсия, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор,</p>	<p>ОСМ-3, В-3 марка А, М, ЛЗ-23М, 20 %-й раствор в минеральном масле, ЛЗ-СОЖ-ШП, ЛЗН-СОЖ-11, МР-17, МР-17Б, В, Росойл-320, Росойл-1МП, Росойл-МР-1, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-ОСМ-5</p>

Рекомендации по применению СОЖ на операциях лезвийной обработки заготовок из медных сплавов

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Точение, растачивание, отрезка	Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3 – 10 %-я эмульсия, ОМД-1, 1 – 2 %-й раствор, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия	ОСМ-3, Асфол-1, МР-2У, МР-17А, ОСМ-3, Росойл-МР-2, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5
Обработка заготовок на токарных автоматах и полуавтоматах	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-90, НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	ОСМ-3, МР-2У, МР-17А, ОСМ-3, Росойл-МР-2, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5
Сверление, зенкерование	Авитол-2 марок А и Б, 3 – 5 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Лубрисол Э-89, Лубрисол Э-90, НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3 – 10 %-я эмульсия, ОМД-1, 1 – 2 %-й раствор, Техмол-1, 2 – 7 %-й раствор, ТУВ-95, 3 – 5 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	ОСМ-3, Асфол-1, МР-2У, МР-17А, ОСМ-3, Росойл-МР-2, Росойл-МР-99, Росойл-ОСМ-5

Технологическая операция	СОЖ	
	Водные	Масляные
Глубокое сверление	—	ОСМ-3, МР-2У, МР-17А, Росойл-МР-2, Росойл-МР-99
Развертывание	Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3 – 10 %-я эмульсия, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ	ОСМ-3, Росойл-ОСМ-5
Фрезерование	Аквол-2, 3 – 10 %-я эмульсия, Аквол-6, 5 – 20 %-я эмульсия, Вексанол 5, 3 – 10 %-я эмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6), 3 – 10 %-я эмульсия, Прогресс-13К, 3 – 5 %-й раствор, Укринол-1М, 2 – 3 %-я эмульсия, Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2 – 5 %-й раствор	Амзол МР-6, АЗМОЛ МР-7В, АРИАН МР-7, ОСМ-3, В-3 марка А,М, МР-4, МР-17, МСВ-15, Росойл-101, Росойл-МР-1, Росойл-МР-3, Росойл-МР-7, Росойл-МР-99

Примеры аналогов отечественных СОТС с зарубежными для обработки металлических заготовок резанием

Отечественные СОТС	Зарубежные аналоги СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
Автокат Ф-40, Велс-1	SNS и Aerosols (СНС и Ауросол)	Миллоил (Италия)
Автокат Ф-78	Griton 520 (Гритон 520)	Тохо (Япония)
Аквахон	Discosol (Дискосоль)	Дискус (Германия)
Аквол-2	Trim Sol (Трим Сол)	Мастер Кемикл (США)
Аквол-6	Superedge 7 (Супередж 7)	Кастрол (Германия)
	Cimperial T22 (Симпериал Т22)	Цинциннати Милакрон (США, Голландия)
Гретерол	Syntilo R4 (Синтило R4)	Кастрол
Карбамол-С1П	Cress C5K (Кресс C5K)	Франклин ойл кор (США)
	Kutwell 60 (Катвелл 60)	Эссо (США)
	Clearedge E (Клиредж E)	Кастрол
	Energol SB40 (Энергол SB40), Fedaro G (Федаро G)	Бритиш Петролеум (Великобритания)
ЛЗ-СОЖ-1МИО	Machinery 16 (Мачинери 16), Acot 4 1/58 (Акот 4 1/58)	Миллоил
	UT81N (УТ81Н)	ФИАТ (Италия)
	Mobilmet 27 (Мобилмет 27)	Мобил ойл (США)
ЛЗ-СОЖ-1МИО	Energol GFS 55, GFS 80 (Энергол GFS 55, GFS 80)	Бритиш Петролеум
	Schell Macron Oil A (Шелл Макрон ойл А)	Шелл (Великобритания – Голландия)
	Grinding Oil 40 (Гриндинг ойл 40)	Эссо
ЛЗ-СОЖ-2МИО	Acot 41/21 (Акот 41/21)	Миллоил
	UTX 121	ФИАТ
	Fanox 40 (Фанокс 40)	Эссо
	Schell Garia Oil C (Шелл Гариа ойл С)	Шелл
ЛЗ-СОЖ-1МО	UTC41	ФИАТ

Продолжение табл. 4.9

Отечественные СОТС	Зарубежные аналоги СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
ЛЗ-СОЖ-2МО	UT 99/41	ФИАТ
	Schell Garia Oil D (Шелл Гариа ойл Д)	Шелл
	Dortan 44 (Дортан 44)	Эссо
	Mobilmet 24 (Мобилмет 24)	Мобил ойл
	Energol CFS 50 (Энергол СФС 50)	Бритиш Петролеум
	Acot 53/71 (Акот 53/71)	Миллоил
ЛЗ-23М	UT99	ФИАТ
ЛЗ-26МО	UTC	
ЛЗ-СОЖ-1МП	Esp-600 (Есп-600)	
ЛЗ-СОЖ-1Т	Milloil EL/6 (Миллоил ЕЛ/6)	Миллоил
	DC, LC	ФИАТ
	Milloil CB/1 (МиллоилСВ/1)	Миллоил
Линнол-1	Sarol-476 (Сарол 476)	Арал
Лубрисол В-93	Esp 640	ФИАТ
МР-1У	Dortan 37 (Дортан 37)	Эссо
	Mobilmet 24 (Мобилмет 24)	Мобил ойл
	Energol CFC (Энергол СФС)	Бритиш Петролеум
МР-2У	Dortan 53 (Дортан 53)	Эссо
	Macron Oil C (Макрон ойл С)	Шелл
МР-3	Mobilmet 25 (Мобилмет 25)	Мобил Ойл
	Schell Garia Oil T (Шелл Гариа ойл Т)	Шелл
	Uniplus 5-30 (Юниплас 5-30)	ЦМТ Интернешнл (Швейцария)

Отечественные СОТС	Зарубежные аналоги СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
MP-4	Dortan 33 (Дортан 33)	Эссо
MP-6, MP-7	Dasco4811 (Даско48П)	Стюарт ойл (США)
	Mobilmet 427 (Мобилмет 42 7)	Мобил ойл
MP-10, MP-10П	Sungrind 600, 600X, 602-330 (Санграинд 600, 600X, 602-330)	Сан ойл
Укринол-1М	Codol 995 (Кодол 995)	Стюарт ойл
	Solvac 77 (Сольвак 77), Solvac 1535 (Сольвак 1535), Mobilmet 122 (Мобилмет 122)	Мобил ойл
	OE/C, OE/ST	ФИАТ
	MDM/638	Миллоил
	Shell Dromus Oil: B, C (Шелл дромус ойл: B, C)	Шелл
	Katwell 40 (Катвелл 40)	Эссо

5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Металлообрабатывающий инструмент работает в условиях повышенных температур, трения и износа, а также значительных силовых нагрузок. Поэтому инструментальные материалы должны обладать определенными эксплуатационными физико-механическими свойствами.

1. Инструментальный материал должен обладать **ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТЬЮ**.

Твердость инструментального материала должна быть выше твердости обрабатываемого не менее чем в 1,5 – 2 раза.

2. При резании металлов выделяется значительное количество теплоты, вследствие чего режущая часть инструмента нагревается. Поэтому инструментальный материал должен сохранять высокую твердость при температурах резания, т. е. обладать высокой теплостойкостью с сохранением твердости. Увеличение уровня теплостойкости инструментального материала позволяет ему работать с большими скоростями резания и, следовательно, повышать эффективность обработки (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Теплостойкость и допустимая скорость резания инструментальных материалов

Материал	Теплостойкость, °С	Допустимая скорость при резании стали 45 м/мин
Углеродистая сталь	200 – 250	10 – 15
Легированная сталь	350 – 400	15 – 30
Быстрорежущая сталь	600 – 550	40 – 60
Твердые сплавы:		
Группа ВК	900 – 930	120 – 200
Группы ТК и ТТК	1000 – 1030	150 – 250
Безвольфрамовые	800 – 830	100 – 300
С покрытием	1000 – 1100	200 – 300
Керамика	1200 – 1230	400 – 600

3. Важным требованием является **ВЫСОКАЯ ПРОЧНОСТЬ** инструментального материала. Если высокая твердость материала рабочей части ин-

струмента не обеспечивается необходимой прочностью, то это приводит к поломке инструмента и выкрашиванию режущих кромок.

Таким образом, инструментальный материал должен иметь достаточный уровень ударной вязкости и сопротивляться появлению трещин.

4. Инструментальный материал должен иметь **ВЫСОКУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ** при повышенной температуре, т. е. обладать хорошей сопротивляемостью истиранию обрабатываемым материалом, что позволяет дольше обеспечивать первоначальную настройку инструмента на размер.

5. Инструментальный материал должен обладать технологическими свойствами, обеспечивающими оптимальные условия изготовления инструментов. Среди них можно выделить следующие: хорошая обрабатываемость резанием и давлением; благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т. д.); хорошая шлифуемость после термической обработки.

Известно, что твердость и прочность инструментальных материалов это свойства антагонисты, т. е. чем выше твердость материала, тем ниже его прочность. Поэтому набор основных свойств определяет область и условие рационального использования инструментального материала в режущем инструменте. Например, инструмент из сверхтвердых инструментальных материалов на основе алмаза и кубического нитрида бора или из режущей керамики, используют исключительно для суперчистовой обработки изделий на высоких и сверхвысоких скоростях резания, но при весьма ограниченных сечениях среза.

При обработке конструкционных сталей на малых и средних скоростях резания в сочетании со средними и большими сечениями среза большие преимущества получают инструменты из быстрорежущей стали.

Инструментальные материалы подразделяются на пять основных групп: инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие); твердые сплавы (группы ВК, ТК и ТТК); режущая керамика (оксидная, оксикарбидная и нитридная); абразивные материалы и сверхтвердые материалы (на основе алмаза и кубического нитрида бора).

Наиболее распространенная из этих групп – быстрорежущая сталь, из которой изготавливается около 60 % инструмента, из твердых сплавов – около 30 %, из остальных групп материалов – только около 10 % лезвийного инструмента.

Анализ основных направлений совершенствования инструментальных материалов показывает, что они связаны с ростом твердости, теплостойкости и износостойкости при снижении прочностных характеристик, вязкости и трещиностойкости. Эти тенденции не соответствуют идее создания идеального инструментального материала с оптимальным сочетанием свойств по твердости, теплостойкости, ударной вязкости, трещиностойкости, прочности.

Очевидно, что решение этой проблемы должно быть связано с разработкой композиционного инструментального материала, у которого высокие значения поверхностной твердости, теплостойкости, физико-химической инертности сочетались бы с достаточными значениями объемной прочности при изгибе, ударной вязкости, предела выносливости.

В мировой практике указанные методы совершенствования инструментальных материалов находят все большее применение, особенно при производстве сменных многогранных пластин для механического крепления на режущем инструменте.

5.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

5.2.1. Углеродистые инструментальные стали

Режущие инструменты, изготовленные из УГЛЕРОДИСТЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ У10А, У11А, У12А, У13А, обладают достаточной твердостью, прочностью и износостойкостью при комнатной температуре, их недостаток низкая – теплостойкость. При температуре 200 – 250 °С их твердость резко уменьшается. Поэтому они находят применение при изготовлении ручных и машинных инструментов, предназначенных для обработки мягких металлов с низкими скоростями резания, таких как напильники, мелкие сверла, развертки, метчики, плашки и др.

Углеродистые инструментальные стали имеют низкую твердость в состоянии поставки, что обеспечивает их хорошую обрабатываемость резанием и давлением. Однако они требуют применения при закалке резких закалочных сред, что усиливает коробление инструментов и опасность образования трещин. Инструменты из углеродистых инструментальных сталей плохо шлифуются из-за сильного нагревания, отпуска и потери твердости режущих кромок. Из-за больших деформаций при термической

обработке и плохой шлифуемости углеродистые инструментальные стали не используются при изготовлении фасонных инструментов, подлежащих шлифованию по профилю.

Область применения некоторых инструментальных углеродистых сталей приведена в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Свойства и область применения некоторых инструментальных углеродистых сталей

Сталь	Твердость в отожженном состоянии, HB, не более	Температура отпуска, °С	Твердость после закалки и отпуска, HRC, не менее	Область применения
У9, У9А	192	150 – 160 200 – 220	63 – 64 59 – 60	Дисковые пилы, зубила, ножницы для резки жести, резцы для обработки меди
У10, У10А	197	150 – 160 200 – 250	63 – 64 59 – 60	Сверла малого диаметра, метчики, развертки, плашки, фрезы малого диаметра, напильники
У11, У11А	207	150 – 160 200 – 250	63 – 64 58 – 59	
У12, У12А, У13, У13А	207 217	150 – 160 200 – 250	63 – 64 59 – 60	Сверла спиральные, ручные, машинные конические и насадные развертки, метчики, плашки, фрезы с затылованным зубом, долбяки, гребенки, протяжки и т. п.
<p>Примечания. 1. В качественной инструментальной стали содержание серы должно быть не более 0,030 %; фосфора – не более 0,035 %.</p> <p>2. В высококачественной инструментальной углеродистой стали содержание марганца 0,15 – 30 %; серы – не более 0,020 %; фосфора – не более 0,030 %.</p> <p>3. Температура закалки 760 – 780 °С; охлаждающая среда – вода, масло.</p>				

5.2.2. Легированные инструментальные стали

Инструментальные углеродистые стали обладают большей прокаливаемостью и закаливаемостью, меньшей чувствительностью к перегреву, чем углеродистые стали, и в то же время хорошо обрабатываются резанием и давлением. Применение легированных сталей уменьшает количество бракованных инструментов. Область применения таких сталей та же, что

и для углеродистых сталей. По теплостойкости легированные инструментальные стали незначительно превосходят углеродистые. Они сохраняют высокую твердость при нагреве до 200 – 260 °С и поэтому непригодны для резания с повышенной скоростью, а также для обработки твердых материалов. Легированные инструментальные стали подразделяются на стали неглубокой и глубокой прокаливаемости. Для изготовления режущих инструментов используются стали 11ХФ, 13Х, ХВ4, В2Ф неглубокой прокаливаемости и стали 9ХС, ХВГ, ХВСГ глубокой прокаливаемости. Стали неглубокой прокаливаемости, легированные хромом (0,2 – 0,7 %), ванадием (0,15 – 0,3 %) и вольфрамом (0,5 – 0,8 %) используются при изготовлении инструментов типа ленточных пил и ножовочных полотен. Некоторые из них имеют более специализированное применение. Например, сталь ХВ4 рекомендуется для изготовления инструментов, предназначенных для обработки материалов, имеющих высокую поверхностную твердость, при относительно небольших скоростях резания. Характерной особенностью сталей глубокой прокаливаемости является более высокое содержание хрома (0,8 – 1,7 %), а также комплексное введение в относительно небольших количествах таких легирующих элементов, как хром, марганец, кремний, вольфрам, ванадий, что существенно повышает прокаливаемость. В производстве инструментов из рассматриваемой группы наибольшее применение находят стали 9ХС и ХВГ. У стали 9ХС наблюдается равномерное распределение карбидов по сечению. Это позволяет использовать ее для изготовления инструментов относительно больших размеров, а также для резьбонарезных инструментов, особенно круглых плашек с мелким шагом резьбы. Вместе с тем сталь 9ХС имеет повышенную твердость в отожженном состоянии, высокую чувствительность к обезуглероживанию при нагреве. Содержащие марганец стали ХВГ, ХВСГ мало деформируются при термической обработке. Это позволяет рекомендовать сталь для изготовления инструмента типа протяжек, длинных метчиков, к которым предъявляются жесткие требования относительно стабильности размеров при термической обработке. Сталь ХВГ имеет повышенную карбидную неоднородность, особенно при сечениях, больших 30...40 мм, что усиливает выкрашивание режущих кромок и не позволяет рекомендовать ее для инструментов, работающих в тяжелых условиях.

Область применения некоторых инструментальных сталей приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Температура закалки и отпуска и область применения инструментальных легированных сталей

Марка стали	Температура закалки, °С, охлаждающая среда	Температура отпуска, °С	Область применения
Стали неглубокой прокаливаемости			
11ХФ	810...830, масло	–	Метчики и другие осевые инструменты диаметром до 30 мм
Стали глубокой прокаливаемости			
Х	840...860, масло	180	Токарные, строгальные и долбежные резцы
9ХС	840...860, масло	–	Сверла, развертки, метчики, плашки, гребенки, фрезы
ХВГ	830...850, масло	180	Протяжки, длинные метчики, плашки
ХВСГ	840...860, масло	–	Круглые плашки, развертки

5.2.3. Быстрорежущие стали

Широкое применение для изготовления металлорежущих инструментов нашли быстрорежущие стали, несмотря на то, что инструмент из твердого сплава, керамики и СТМ обеспечивает более высокую производительность обработки.

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложнопрофильных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до $HRC_{\Sigma} \cong 68$) и теплостойкости (600 – 650 °С) при высоком уровне хрупкой прочности и вязкости, значительно превышающих соответствующие значения для твердых сплавов. Кроме того, быстрорежущие стали обладают высокой технологичностью, так как хорошо обрабатываются давлением и резанием в отожженном состоянии.

В обозначении быстрорежущей стали буква Р означает, что сталь быстрорежущая, а следующая за буквой цифра – содержание средней массовой доли вольфрама в процентах. Следующие буквы обозначают: М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, А – азот. Цифры, следующие за бук-

вами, означают их среднюю массовую долю в процентах. Содержание массовой доли азота составляет 0,05 – 0,1 %.

Высокие режущие свойства быстрорежущей стали обеспечиваются за счет легирования сильными карбидообразующими элементами: вольфрамом, молибденом, ванадием и некарбидообразующим кобальтом. Содержание хрома во всех быстрорежущих сталях составляет 3,0 – 4,5 % и в обозначении марок не указывается. Практически во всех марках быстрорежущих сталей допускается серы и фосфора не более 0,3 % и никеля не более 0,4 %. Существенным недостатком этих сталей является значительная карбидная неоднородность, особенно в прутках большого сечения. С увеличением карбидной неоднородности прочность стали, снижается, при работе выкрашиваются режущие кромки инструмента, и снижается его стойкость. Карбидная неоднородность выражена сильнее в сталях с повышенным содержанием вольфрама, ванадия, кобальта. В сталях с молибденом карбидная неоднородность проявляется в меньшей степени.

Современные быстрорежущие стали можно разделить на три группы: НОРМАЛЬНОЙ, ПОВЫШЕННОЙ и ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ.

К сталям НОРМАЛЬНОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ относятся вольфрамовая P18 и вольфрамомолибденовая P6M5 стали. Эти стали имеют твердость в закаленном состоянии 63 – 64 HRC, предел прочности при изгибе 2900 – 3400 МПа, ударную вязкость 2,7 – 4,8 Дж/м² и теплостойкость 600 – 620°С.

Быстрорежущая сталь P18, содержащая 18 % вольфрама, долгое время была наиболее распространенной. Она сравнительно хорошо шлифуется. Большое количество избыточной карбидной фазы делает сталь P18 более мелкозернистой, менее чувствительной к перегреву при закалке, более износостойкой. Ввиду высокого содержания вольфрама сталь P18 целесообразно использовать только для изготовления инструментов высокой точности, когда стали других марок нецелесообразно применять из-за прижогов режущей части при шлифовании и заточке. Сталь P9 по красностойкости и режущим свойствам почти не уступает стали P18. Недостатком стали P9 является пониженная шлифуемость, вызываемая сравнительно высоким содержанием ванадия и присутствием в структуре очень твердых карбидов. Вместе с тем сталь P9, по сравнению со сталью P18, имеет более равномерное распределение карбидов, несколько большую прочность и пластичность, что облегчает ее деформируемость в горячем состоянии. Она пригодна для инструментов, получаемых различными методами пластической деформации. Из-за пониженной шлифуемости сталь P9 применяют в ограниченных пределах. Сталь P12 равноценна, по режу-

щим свойствам стали P18. По сравнению со сталью P18 сталь P12 имеет меньшую карбидную неоднородность, повышенную пластичность и пригодна для инструментов, изготавливаемых методом пластической деформации. По сравнению со сталью P9 сталь P12 лучше шлифуется, что объясняется более удачным сочетанием легирующих элементов. Стали марок P18M, P9M отличаются от сталей P18 и P9 тем, что они в своем составе вместо вольфрама содержат до 0,6 – 1,0 % молибдена (из расчета, что 1 % молибдена заменяет 2 % вольфрама). Эти стали имеют равномерно распределенные карбиды, но более склонны к обезуглероживанию. Поэтому закалку инструментов из сталей необходимо проводить в защитной атмосфере. Однако по основным свойствам стали P18M и P9M не отличаются от сталей P18 и P9 и имеют ту же область применения.

Вольфрамомолибденовые стали типа P6M3 и P6M5 являются более поздними сталями, значительно повышающими как прочность, так и стойкость инструмента. Молибден обуславливает меньшую карбидную неоднородность, чем вольфрам, поэтому замена 6 – 10 % вольфрама соответствующим количеством молибдена снижает карбидную неоднородность быстрорежущих сталей примерно на 2 балла и соответственно повышает пластичность. Недостаток молибденовых сталей заключается в том, что они имеют повышенную чувствительность к обезуглероживанию. Вольфрамомолибденовые стали рекомендуется применять в промышленности наряду с вольфрамовыми для изготовления инструмента, работающего в тяжелых условиях, когда необходима повышенная износостойкость, пониженная карбидная неоднородность и высокая прочность. Сталь P18, особенно в крупных сечениях (диаметром более 50 мм), с большой карбидной неоднородностью целесообразно заменить на стали P6M3 и P12. Сталь P12 пригодна для протяжек, сверл, особенно в сечениях диаметром менее 60 – 70 мм. Сталь P6M3 целесообразно использовать для инструментов, изготавливаемых способом пластической деформации, для инструментов, работающих с динамическими нагрузками, и для инструментов больших сечений с малыми углами заострения на режущей части. Среди быстрорежущих сталей нормальной производительности доминирующее положение заняла сталь P6M5. Ее применяют для изготовления всех видов режущих инструментов. Инструменты из стали P6M5 имеют стойкость, равную или до 20 % более высокую, чем стойкость инструментов из стали P18.

Указанные марки стали получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов. Объем производства стали P6M5 достигает 80 % от всего объема выпуска быстрорежущей стали. Она

используется при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс.

Стали ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ характеризуются повышенным содержанием углерода, ванадия и кобальта. Такие стали обладают повышенной производительностью и используются в основном при обработке жаропрочных сплавов, высокопрочных и нержавеющей сталей, других труднообрабатываемых материалов и конструкционных сталей с повышенными режимами резания. По сравнению со сталями нормальной теплостойкости высокованадиевые стали повышенной производительности обладают в основном более высокой износостойкостью, а стали, содержащие кобальт, более высокой красностойкостью и теплопроводностью. Вместе с тем, быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, содержащие кобальт, имеют повышенную чувствительность к обезуглероживанию. Быстрорежущие стали повышенной теплостойкости шлифуются хуже стали P18 и требуют более точного соблюдения температур нагрева при термической обработке. Ухудшение шлифуемости выражается в повышении износа абразивных кругов и увеличении толщины поверхностного слоя стали, повреждаемого при излишне жестком режиме шлифования. Быстрорежущие стали повышенной теплостойкости из-за технологических недостатков не являются сталями универсального назначения. Они имеют относительно узкие границы применения, более пригодны для инструментов, подвергаемых незначительному профильному шлифованию. Основной маркой быстрорежущей стали повышенной производительности является сталь P6M5K5. Она применяется для изготовления различных инструментов, предназначенных для обработки конструкционных сталей на повышенных режимах резания, а также нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов.

Стали ВЫСОКОЙ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов – B11M7K23, B14M7K25, 3B20K20X4Ф. Они имеют твердость 69 – 70 HRC и теплостойкость 700 – 720 °С. Наиболее рациональная область их использования – резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов. В последнем случае период стойкости инструментов в 60 раз выше, чем из стали P18, и в 8 – 15 раз выше, чем из твердого сплава BK8.

Значительными недостатками этих сталей является их низкая прочность при изгибе (не выше 2400 МПа) и низкая обрабатываемость резанием в отожженном состоянии (38 – 40 HRC) при изготовлении инструмента.

Перспективным способом получения быстрорежущих сталей является метод порошковой металлургии. Главной отличительной особенностью порошковых сталей является равномерное распределение карбидов по сечению, которое не превышает первого балла шкалы карбидной неоднородности (ГОСТ 19265-73). В определенных условиях, как показывают эксперименты, стойкость режущих инструментов из порошковых сталей в 1,2 – 2,0 раза выше стойкости инструментов, изготовленных из сталей обычного производства. Наиболее рационально порошковые стали использовать при обработке труднообрабатываемых сложнолегированных материалов и материалов, имеющих повышенную твердость ($HRC_{\Sigma} > 32$), а также для изготовления крупногабаритных инструментов диаметром более 80 мм. Проводятся работы по созданию и уточнению области целесообразного применения быстрорежущих сплавов дисперсионного твердения типа P18M7K25, P18M3K25, P10M5K25, которые представляют собой железокобальтовые вольфрамовые сплавы. В зависимости от марки они содержат: W 10 – 19 %, Co 20 – 26%, Mo 3 – 7 %, V 0,45 – 0,55 %, Ti 0,15 – 0,3 %, C до 0,06 %, Mn не более 0,23 %, Si не более 0,28 %, остальное железо. В отличие от быстрорежущих сталей, рассматриваемые сплавы упрочняются вследствие выделения при отпуске интерметаллидов, имеют более высокую красностойкость (700 – 720 °C) и твердость (68 – 69 HRC_{Σ}). Высокая теплостойкость у них сочетается с удовлетворительной прочностью, что обуславливает повышенные режущие свойства сплавов. Эти сплавы дорогостоящие, и применение их целесообразно лишь при резании труднообрабатываемых материалов.

Физико-механические свойства быстрорежущих сталей приведены в табл. 5.4, а область рационального применения в табл. 5.5.

5.3. ТВЕРДЫЙ СПЛАВ

Твердые сплавы являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку резанием. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750 – 1100 °C. Установлено что твердосплавным инструментом, имеющим в своем составе килограмм вольфрама, можно обработать в 5 раз больше материала, чем инструментом из быстрорежущей стали с тем же содержанием вольфрама. Недостатком твердых сплавов, по сравнению с быстрорежущей сталью, является их

повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания кобальта в сплаве. Скорости резания инструментами, оснащенными твердыми сплавами, в 3 – 4 раза превосходят скорости резания инструментами из быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей и таких неметаллических материалов, как стекло, фарфор и т. п.

Таблица 5.4

Физико-механические свойства быстрорежущих сталей

Марка стали	$\sigma_{и}^*$, МПа	Красностойкость, °С, не менее	Шлифуемость	Особые свойства
P18**	2600...3000	620	Повышенная	Пониженная склонность к перегреву при закалке
P18K5Ф2	2570...3160	640	Хорошая	>>
P12Ф3	3000...3100	630	Пониженная	>>
P9K5	2500	630	>>	>>
11P3AM3Ф2	2800...3000	620	>>	Повышенная склонность к перегреву при закалке
P2AM9K5	–	630	>>	Повышенная склонность к обезуглероживанию и перегреву при закалке
P9M4K8	2200...2600	630	>>	Повышенная склонность к обезуглероживанию
P6M5	3200...3600	620	Хорошая	>>
P6M5K5	2600...3000	630	>>	>>
P6M5Ф3	–	630	>>	>>
* В закаленном состоянии.				
** Характеристики стали P18 даны для сравнения.				
Условное обозначение: $\sigma_{и}$ – предел прочности на изгиб.				

Производство металлокерамических твердых сплавов относится к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта. Из этой смеси прессуют изделия требуемой формы и затем подвергают спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Так изготавливают пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др. Пластинки твердого сплава крепят к державке или корпусу напайкой или механически при помощи винтов и прижимов. Наряду с этим в машиностроительной промышленности применяют мелкогабаритные, монолитные твердосплавные инструменты, состоящие из твердых

сплавов. Их изготавливают из пластифицированных заготовок. В качестве пластификатора в порошок твердого сплава вводят парафин до 7 – 9 %. Из пластифицированных сплавов прессуют простые по форме заготовки, которые легко обрабатываются обычным режущим инструментом. После механической обработки заготовки спекают, а затем шлифуют и затачивают. Из пластифицированного сплава заготовки монолитных инструментов могут быть получены путем мундштучного прессования. В этом случае спрессованные твердосплавные брикеты помещают в специальный контейнер с твердосплавным профилированным мундштуком. При продавливании через отверстие мундштука изделие принимает требуемую форму и подвергается спеканию. По такой технологии изготавливают мелкие сверла, зенкеры, развертки и т. п. Монолитный твердосплавный инструмент может также изготавливаться из окончательно спеченных твердосплавных цилиндрических заготовок с последующим вышлифовыванием профиля алмазными кругами.

Таблица 5.5

Область рационального применения быстрорежущих сталей

Марка стали	Область применения
P6K5, P6M5K3	Для инструментов, работающих при прерывистых и непрерывных процессах резания, на черновых и чистовых операциях
P9K10, P9M4K8, P9K5Ф5, P12Ф4K5, P8M3K6C, P12Ф2K8M3, P12Ф3K10M3, P6Ф2K8M5, P2Ф2K8M6, P18Ф2K8M	Для инструментов, нагреваемых до высоких температур и работающих на черновых и получистовых операциях при равномерной нагрузке на режущие зубья
P9Ф5, P14Ф4, P12Ф5M, P3M3Ф3Б2	Для инструментов, работающих с малыми глубинами резания и не разогреваемых до высоких температур

Твердые сплавы по составу и областям применения можно разделить на четыре группы: ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫЕ (WC-Co), ТИТАНОВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫЕ (WC-TiC-Co), ТИТАНОТАНТАЛОВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫЕ (WC-TiC-TaC-Co), БЕЗВОЛЬФРАМОВЫЕ (на основе TiC, TiCN с различными связками).

5.3.1. Вольфрамкобальтовые сплавы

Вольфрамкобальтовые сплавы (группа ВК) состоят из карбида вольфрама(WC) и кобальта. Сплавы этой группы различаются содержанием в них кобальта, размерами зерен карбида вольфрама и технологией изготовления. Для оснащения режущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3 – 10 %.

В условном обозначении сплава цифра показывает процентное содержание кобальтовой связки. Например, обозначение ВК6 показывает, что в нем 6 % кобальта и 94 % карбидов вольфрама.

При увеличении в сплавах содержания кобальта в диапазоне от 3 до 10 % предел прочности, ударная вязкость и пластическая деформация возрастают, в то время как твердость и модуль упругости уменьшаются. С ростом содержания кобальта повышаются теплопроводность сплавов и их коэффициент термического расширения.

Из всех существующих твердых сплавов сплавы группы ВК при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности при изгибе, а также лучшей тепло- и электропроводностью. Однако стойкость этих сплавов к окислению и коррозии значительно ниже, кроме того, они обладают большой склонностью к схватыванию со стружкой при обработке резанием. При одинаковом содержании кобальта физико-механические и режущие свойства сплавов в значительной мере определяются средним размером зерен карбида вольфрама (WC). Разработанные технологические приемы позволяют получать твердые сплавы, в которых средний размер зерен карбидной составляющей может изменяться от долей микрометра до 10 – 15 мкм.

Сплавы с размерами карбидов от 3 до 5 мкм относятся к крупнозернистым и обозначаются буквой В (ВК6-В), с размерами карбидов от 0,5 до 1,5 мкм буквой М (мелкозернистым ВК6-М), а с размерами, когда 70 % зерен менее 1,0 мкм – ОМ (особо мелкозернистым ВК6-ОМ). Сплавы с меньшим размером карбидной фазы более износостойкие и теплостойкие, а также позволяют затачивать более острую режущую кромку (допускают получение радиуса округления режущей кромки до 1,0 – 2,0 мкм).

С ростом содержания кобальта в сплаве его стойкость при резании снижается, а эксплуатационная прочность растет.

Эти закономерности и положены в основу практических рекомендаций по рациональному применению конкретных марок сплавов. Так, сплав ВК3 с минимальным содержанием кобальта, как наиболее износо-

стойкий, но наименее прочный рекомендуется для чистовой обработки с максимально допустимой скоростью резания, но с малыми подачей и глубиной резания, а сплавы ВК8, ВК10М и ВК10-ОМ – для черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением среза в условиях ударных нагрузок.

5.3.2. Титановольфрамокобальтовые сплавы

Сплавы второй группы ТК состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана и вольфрама (TiC-WC), карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связки. Предназначены они главным образом для оснащения инструментов при обработке резанием сталей, дающих сливную стружку. По сравнению со сплавами группы ВК они обладают большей стойкостью к окислению, твердостью и жаропрочностью и в то же время меньшими теплопроводностью и электропроводностью, а также модулем упругости.

Способность сплавов группы ТК сопротивляться изнашиванию под воздействием скользящей стружки объясняется также и тем, что температура схватывания со сталью у сплавов этого типа выше, чем у сплавов на основе WC-Co, что позволяет применять более высокие скорости резания при обработке стали и существенно повышать стойкость инструмента.

Теплопроводность сплавов группы ТК существенно ниже, а коэффициент линейного термического расширения выше, чем у сплавов группы ВК. Соответственно меняются и режущие свойства сплавов: при увеличении содержания кобальта снижается износостойкость сплавов при резании, а при увеличении содержания карбида титана снижается эксплуатационная прочность. Поэтому такие сплавы, как Т30К4 и Т15К6, применяют для чистовой и получистовой обработки стали с высокой скоростью резания и малыми нагрузками на инструмент. В то же время сплавы Т5К10 и Т5К12 с наибольшим содержанием кобальта предназначены для работы в тяжелых условиях ударных нагрузок с пониженной скоростью резания.

Путем введения легирующих добавок получены сплавы, применяемые для резания стали с большими ударными нагрузками.

Разработан сплав Т4К8 для замены стандартного сплава Т5К10. Предел прочности его при изгибе 1600 МПа, в то время как у сплава Т5К10 он составляет 1400 МПа. Предельная пластическая деформация Т4К8 1,6 %, а у сплава Т5К10 – 0,4 %.

Сплав Т4К8 в большей степени, чем сплав Т5К10, сопротивляется ударным нагрузкам и может применяться при черновой токарной обработке стальных отливок при скорости резания 30 – 70 м/мин, глубине резания до 40 мм и подаче 1 – 1,2 мм/об. Стойкость инструмента, оснащенного сплавом Т4К8 в 1,5 – 2,0 раза выше, чем стойкость инструмента, оснащенного сплавом Т5К10.

5.3.3. Титанотанталовольфрамкобальтовые сплавы

Промышленные танталсодержащие твердые сплавы на основе TiC-WC-TaC-Co состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана, вольфрама и тантала (TiC-TaC-WC), а также карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связи.

Введение в сплавы добавок карбида тантала улучшает их физико-механические и эксплуатационные свойства, что выражается в увеличении прочности при изгибе при температуре 20 °С и 600 – 800 °С.

Сплав, содержащий карбид тантала, имеет более высокую твердость, в том числе и при 600 – 800 °С. Карбид тантала в сплавах снижает ползучесть, существенно повышает предел усталости трехфазных сплавов при циклическом нагружении, а также термостойкость и стойкость к окислению на воздухе.

Увеличение в сплаве содержания карбида тантала повышает его стойкость при резании, особенно благодаря меньшей склонности к лункообразованию и разрушению под действием термоциклических и усталостных нагрузок.

Поэтому танталсодержащие сплавы рекомендуются главным образом для тяжелых условий резания с большими сечениями среза, когда на режущую кромку инструмента действуют значительные силовые и температурные нагрузки, а также для прерывистого резания, особенно фрезерования.

Наиболее прочным для обработки стали в особо неблагоприятных условиях (прерывистое течение, строгание, черновое фрезерование) является сплав ТТ7К12. Применение его взамен быстрорежущей стали позволяет повысить скорость резания в 1,5 – 2 раза.

5.3.4. Безвольфрамовые твердые сплавы

В связи с дефицитностью вольфрама и кобальта промышленность выпускает безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбидов и карбонитридов титана с никельмолибденовой связкой (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Состав и характеристики физико-механических свойств безвольфрамовых твердых сплавов

Сплав	Состав, %				ρ , г/см ³
	Карбид титана	Карбонитрид титана	Никель	Молибден	
КНТ16	–	74	19,5	6,5	5,5 – 6,0
ТН20	79	–	15	6,0	5,5 – 6,0
Сплав	λ , Вт/(м · К)	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹	$\sigma_{изг}$, МПа, не менее	HRA, не менее	
КНТ16	12,6 – 21,0	8,5 – 90	1200	89	
ТН20	8,4 – 14,7	8,5 – 90	1050	90	

По твердости БВТС находятся на уровне вольфрамосодержащих сплавов (группы ВК), по прочностным характеристикам и, особенно, по модулю упругости им уступают. Твердость БВТС по Виккерсу при повышенных температурах в диапазоне температур 293-1073К несколько ниже, чем твердость вольфрамосодержащего сплава Т15К6.

БВТС имеют низкую окисляемость. Наибольшая термостойкость у сплава КНТ16, у сплава ТН20 она значительно ниже. Поэтому из сплава КНТ16 целесообразно изготавливать инструмент, работающий при прерывистом резании, например фрезеровании. Средняя «ломающая подача» (при которой происходит разрушение лезвия) составляет для сплава ТН20 – 0,3 мм/зуб, а для сплава КНТ16 – 0,54 мм/зуб. При выборе режимов резания подача не должна превышать этих значений, а глубина резания – 5 мм.

Наибольшей износостойкостью обладает сплав ТН20. При точении стали 45 и стали 40Х при $t = 1$ мм и $S = 0,2$ мм/об стойкость сплава ТН20 выше стойкости сплава Т15К6, во всем диапазоне скорости резания (от 200 до 600 м/мин).

Нагрев инструмента из БВТС на установках ТВЧ, обычно применяемых при пайке инструмента, ухудшает его эксплуатационные характеристики. Поэтому для резания из БВТС изготавливают в основном сменные неперетачиваемые пластины (СМП).

В связи с пониженной теплопроводностью наибольшую стойкость БВТС имеют в случае применения четырех-, пяти- и шестигранных СМП, а не трехгранных. Оптимальными геометрическими параметрами пластин

при этом являются передний угол 10° , задний угол $8 - 10^\circ$, радиус при вершине 0,8 мм.

Эффективность применения БВТС зависит от правильности подготовки инструмента, выбора режимов резания и условий обработки. Пластины должны иметь высококачественную доводку по режущим кромкам и опорной поверхности и прилегать к опоре без зазора.

Обрабатываемая заготовка не должна иметь биения, превышающего половину припуска на обработку, а также следов газовой сварки, шлаковых включений.

При точении по возможности следует применять охлаждение.

Для предотвращения катастрофических поломок инструмента рекомендуется производить принудительный поворот пластинки после обработки определенного числа заготовок. Допустимый износ резцов по задней грани 1,5 – 1,8 мм.

При фрезеровании БВТС можно эксплуатировать до износа 2,5 – 3,0 мм по задней грани.

Физико-механические свойства твердых сплавов представлены в табл. 5.7, рекомендуемые марки сплавов для обработки различных металлов в табл. 5.8.

Таблица 5.7

Физико-механические свойства твердых спеченных сплавов

Марка сплава	$\sigma_{и}$, МПа	Твердость HRA, не менее	ρ , г/м ³
ВК3	1176	89,5	–
ВК3М	1176	91	15,0...15,3
ВК6	1519	88,5	14,6...15,0
ВК6-М	1421	90	15,0...15,3
ВК6-ОМ	1274	90,5	14,7...15,0
ВК8	1666	88	14,5...14,8
ВК8-В	1813	86,5	14,4...14,8
ВК10-КС	1862	85	14,2...14,6
ВК10-ХОМ	1500	89	14,3...14,7
ВК15	862	86	13,9...14,4
Т30К4	980	92	9,5...9,8
Т15К6	1176	90	11,1...11,6
Т14К8	1274	89,5	11,2...11,6
Т5К10	1421	88,5	15,5...13,1
ТТ7К12	1666	87	13,0...13,3
ТТ8К6	1323	90,5	12,8...13,3
ТТ10К8Б	1617	89	13,5...13,8
ТТ20К9	1470	91	12,0...12,5
Т8К7	1519	90,5	12,8...13,1

Рекомендуемые марки твердых сплавов для обработки резанием различных металлов

Вид и режим обработки	Марка твердого сплава при обработке сталей						
	Углеродистых	Легированных	Инструментальных	Коррозионностойких	Высокопрочных и жаропрочных	Высокомарганцовистых	Закаленных
Точение чистовое: $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об; $t = 0,5 \dots 2,0$ мм	T30K4	T30K4, BK6-OM	BK3-M, BK3	BK6-OM, BK6-M, T15K6	BK6-OM, BK6-M, T15K6	BK6-OM, BK6-M	T30K4, BK3-M
Точение полустовое: $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об; $t = 2,0 \dots 4,0$ мм	T15K6, TT10K8B	T15K6, T14K8, TT10K8B	T15K6, T14K8	BK6-M, BK4, TT10K8B	BK6-M, T15K6, TT10K8B	BK6-M, TT8K6, TT10K8B	BK3-M, BK6-M, T15K6
Точение черновое: $S = 0,4 \dots 1,0$ мм/об; $t = 4,0 \dots 10,0$ мм	TT4K8, TT10K8B	T14K8, T5K10, TT10K8B	BK6, T14K8	BK6-M, BK8, BK10OM, TT10K8B	BK8, T5K12, TT7K12, TT10K8B	TT10K8B, BK8	—
Обдирка: $S > 1$ мм/об; $t = 6 \dots 20$ мм	T5K10, TT7K12	T5K10, TT7K12	BK8, T5K10	BK8, TT7K12,	BK8, TT7K12	BK6, BK8, TT7K12	—
Отрезка и прорезка канавки	T15K6, T5K10	T15K6, T14K8	T15K6, T14K8	BK6-M, BK8	BK6-M, BK8	BK8	—

Вид и режим обработки	Марка твердого сплава при обработке					
	сплавов				чугунов	
	Титановых	Жаропрочных	Тугоплавких	Цветных	Серых <i>НВ 240</i>	Ковких отбеленных высокопрочных, <i>НВ 460...700</i>
Точение чистовое: $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об; $t = 0,5 \dots 2,0$ мм	ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК6-ОМ, ВК3-М, ВК6-М	ВК6-М, ТТ8К6	ВК6-М, ВК3	ВК3-М, ВК3, ВК6-ОМ
Точение получистовое: $S = 0,2 \dots 0,5$ мм/об; $t = 2,0 \dots 4,0$ мм	ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК6-М, ВК6, ТТ10К8Б	ВК6-М, ВК6, ВК8	ВК6, ВК6-М, ТТ8К6	ВК6-М, ВК6, ТТ8К6	ВК6, ВК6-ОМ, ВК6-М, Т18К6
Точение черновое: $S = 0,4 \dots 1,0$ мм/об; $t = 4,0 \dots 10,0$ мм	ВК6, ВК8,	ВК6, ВК8, ТТ10К8Б	ВК8, ВК10-ХОМ	ВК6, ВК8	ВК6, ВК8	ВК6
Обдирка: $S > 1$ мм/об; $t = 6 \dots 20$ мм	ВК8, ВК10-КС	ВК8, ТТ7К12	ВК8, ВК10-ХОМ	ВК6, ВК8	ВК6, ВК8	ВК8
Отрезка и прорезка канавки	ВК8	ВК6-М, ВК6, ВК8	ВК6-ОМ, ВК8	ВК3-М, ВК3, ВК6-ОМ	ВК6-М, ВК6	ВК3, ВК6-М

Вид и режим обработки	Марка твердого сплава при обработке сталей						
	Углеродистых	Легированных	Инструментальных	Коррозионно-стойких	Высокопрочных и жаропрочных	Высокомарганцовистых	Закаленных
Нарезание резьбы	T15K6	T15K6, T14K8	T15K6, T14K8	BK3, BK6-M, BK8	BK6-OM, BK8	BK6-OM, BK8	BK3-M, BK6-M, T30K4
Сверление отверстий: $l < 5D$	T5K10, T14K8, BK8	T5K10, BK8	BK8	BK8	BK8	BK8	—
	T5K10, BK8	BK8	BK8	BK8	BK8	BK8	—
Зенкерование: Черновое	T14K8, T5K10,	T14K8, T5K10, BK8	T5K10, BK8	—	BK8	BK6-M, BK8	—
Получистовое и чистовое	T15K6, T14K8	T15K6, T14K8	T14K8, T5K10	BK6-M, BK6-OM	BK6-M, BK6-OM	BK6-M, BK6-OM	—
Развертывание	T30K4, T15K6	T30K4, T15K6	T30K4, T15K6, BK6-OM	BK6-M, BK6-OM	BK6-M, BK6-OM	BK6-M, BK6-OM	T30K4, BK3-M, BK6-OM

Окончание табл. 5.8

Вид и режим обработки	Марка твердого сплава при обработке					
	сплавов				чугунов	
	Титановых	Жаропрочных	Тугоплавких	Цветных	Серых, 240 НВ	Ковких отбеленных высокопрочных, 460...700 НВ
Нарезание резьбы	ВК6-ОМ, ВК6-М, ВК8	ВК6-ОМ, ВК6-М, ВК8	ВК6-ОМ, ВК8	ВК3, ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК3, ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК3-М, ВК6-ОМ, ВК6-М
Сверление отверстий: $l < 5 D$	ВК6, ВК8	ВК8	ВК8	ВК6-М	ВК6, ВК8	ВК8
	ВК6-М	ВК8	ВК8, ВК6-ОМ	ВК6-М	ВК6, ТТ8К6	ВК8, ТТ8К6
Зенкерование: черновое и Получистовое чистовое	ВК8	ВК8	ВК8	ВК6	ВК6, ВК8	ВК6-М
	ВК6-М, ВК8	ВК6-М, ВК8	ВК6-ОМ, ВК8	ВК6	ВК3-М, ТТ8К6	ВК6-М, ТТ8К6
Развертывание	ВК3-М, ВК6-ОМ	ВК3-М, ВК6-ОМ	ВК3-М, ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК3-М, ВК3, ВК6-ОМ	ВК3-М, ВК3, ВК6-ОМ, ВК6-М	ВК3-М, ВК6-ОМ
Примечание: l, D – соответственно длина и диаметр обрабатываемого отверстия						

В последнее время наряду с отечественными твердыми сплавами используют твердые сплавы фирм: ISCAR Member IMC Group, SANDVIK Coromant, и др.

Для выбора зарубежных твердых сплавов необходимо использовать международную классификацию машиностроительных материалов, которая разработана Международной организацией по стандартизации (ISO) в соответствии с DIN/ISO 513 и VDI 3323 (табл. 5.9), включающая в себя шесть основных групп *P*, *M*, *K*, *N*, *S*, *H*, имеющих различный цвет при обозначении в технической документации:

- *синяя группа P* – материалы, образующие сливную стружку, в основном стали;
- *желтая группа M* – материалы, образующие сегментную стружку, нержавеющие стали и литье;
- *красная группа K* – материалы, образующие стружку скалывания, в основном чугуны;
- *зеленая группа N* – материалы, образующие сливную стружку, алюминиевые сплавы, медные сплавы, неметаллические материалы;
- *темно-желтая группа S* – материалы, образующие сливную стружку, жаропрочные стали, титан и титановые сплавы;
- *серая группа H* – материалы, образующие стружку скалывания, закаленная сталь, отбеленный чугун, чугун.

Отличием зарубежных твердых сплавов от отечественных является включение в их состав карбида ниобия (NbC), что повышает красностойкость инструментального материала и, соответственно, скорость резания также повышают за счет нанесения на режущие пластины износостойких покрытий карбида титана, оксида алюминия, нитрида титана и др. Обычно общая толщина покрытия составляет 2...12 мкм, чрезмерная толщина может вызвать отрицательные эффекты.

Пластины с покрытием применяются почти для всех операций точения, фрезерования и сверления для обработки большинства материалов.

Основными методами нанесения покрытий являются химическое осаждение – CVD и физическое осаждение – PVD.

В табл. 5.10 приведены рекомендации по использованию твердых сплавов ISCAR для различных материалов. В табл. 5.11 приведены сведения о соответствии отечественных марок твердых сплавов зарубежным для различных видов токарной обработки.

Таблица 5.9

Международная классификация машиностроительных материалов
в соответствии с DIN/ISO 513 и VDI 3323

ISO	Материал	Состояние	Прочность на разрыв, МПа	Твердость, HB	
P	Конструкционная сталь, стальное литьё, автоматная сталь	< 0,25 % C	Отпущенная	420	125
		≥ 0,25 % C	Отпущенная	650	190
		< 0,55 % C	Закаленная и отпущенная	850	250
		≥ 0,55 % C	Отпущенная	750	220
		≥ 0,5 % C	Закаленная и отпущенная	1000	300
	Низколегированная сталь и стальное литьё (содержание легирующих элементов менее 5 %)	Отпущенная	600	200	
			930	275	
		Закаленная и отпущенная	1000	300	
			1200	350	
	Легированная сталь, стальное литьё и инструментальная сталь	Отпущенная	680	200	
Закаленная и отпущенная		1100	325		
M	Нержавеющая сталь и литьё	Ферритная / мартенситная	680	200	
		Мартенситная	820	240	
		Аустенитная	600	180	
K	Шаровидный чугун (GGG)	Ферритный / перлитный		180	
		Перлитный		260	
	Серый чугун (GG)	Ферритный		160	
		Перлитный		250	
	Ковкий чугун	Ферритный		130	
		Перлитный		230	
N	Деформируемые сплавы	алюминиевые	Не структурированный	60	
			Структурированный	100	
	Литейные сплавы	алюминиевые	≤ 12 % Si	Не структурированный	75
				Структурированный	90
			> 12 % Si	Жаропрочный	130
	Медные сплавы		> 1 % Pb	Свинцовая бронза	110
				Латунь	90
	Неметаллические материалы		Прочные пластики, волокнисты		
			Твердая резина		
	S	Жаропрочные сплавы	на основе Fe	Отпущенные	200
Структурированные				280	
на основе Ni или Co			Отпущенные	250	
			Структурированные	350	
			Литые	320	
Титан и титановые сплавы			RM 400		
	α- и β-сплавы структурированные	RM 1050			
H	Закаленная сталь	Закаленная		55 HRC ₃	
		Закаленная		60 HRC ₃	
	Отбеленный чугун	Литой		400	
	Чугун	Упрочненный		55 HRC ₃	

Применение твердых сплавов фирмы ISCAR

Вид обработки	Группа материалов					
	<i>P</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>K</i>	<i>N</i>
Фрезерование	IC900/908 IC30N IC950* IC928 IC328	IC903* IC900/908 IC950	IC900/908 IC08 IC900/908* IC928 IC328 IC28	IC20 IC08 IC900/908* IC928 IC328 IC28	IS8 IC900/908 IC910* IC4050	IC20 IC07 IC08 IC28*
Сверление	IC908* IC528 IC328	IC908* IC528 IC328	IC908* IC528 IC328	IC908* IC528 IC328	IC908* IC350	IC908* IC350
Отрезание	IC908* IC1008 IC354 IC1028 IC328	IC908	IC908* IC1008 IC1028 IC328	IC20* IC1008 IC908 IC1028 IC328	IC908* IC20 IC354	IC20* IC1008 IC908
Точение канавок	IC20N IC570 IC9015* IC9025* IC9054 IC354 IC328	IB50* IB55 IC428	IC908* IC354 IC635 IC328	IC907* IC908 IC08 IC20	IB50 IC428* IC20 IC418	ID5 IC20*
Подрезание	IC908 IC9015 IC9025* IC9054* IC354 IC328	IC908* IC508	IC508 IC908* IC9015 IC9054 IC635	IC20* IC08	IC428* IC20 IC418	IC20
Точение	IC520N IC530N IC570 IC9015* IC8048 IC9025 IC635 IC3028	IB50 IB55* IN22 IC907	IC907* IC507 IC530N IC570 IC635 IC3028	IC907* IC507 IC07 IC20 IC3028	IC9007 IC428 IC4028* IC9015 IC8048	IC570 IC520 IC20*
Резьбонарезание	IC908* IC250 IC228	IC908	IC08 IC908* IC22	IC08 IC908* IC228	IC908* IC228	IC08* IC908 IC228

* предпочтительный выбор

Примечание. Марки твердых сплавов приведены в порядке снижения твердости и увеличения вязкости

Таблица 5.11

Применение отечественных марок твердых сплавов (по ГОСТ 3882-74) и зарубежным DIN/ISO 513 для различных видов токарной обработки

ISO	Основное применение	SANDVIK Coromant	ISCAR Member IMC Group	Марка сплава по ГОСТ 3882-74	Обрабатываемый материал
<i>P</i>	Сверление	GC1220	IC908	BK8, T15K6	Нелегированная сталь, низколегированная сталь (легирующих элементов меньше 5%), высоколегированная сталь (легирующих элементов меньше > 5%), стальное литье
	Отрезание	GC4125	IC908	T5K10, T15K6, T14K8	
	Точение канавок	GC4125	IC9015	T5K10, T15K6, T14K8	
	Подрезание	GC4125	IC9025, IC9054	BK8, T15K6	
	Точение	GC4025	IC9015	T15K6, T5K10, T14K8	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC908	T15K6, T14K8, T30K8	
<i>M</i>	Сверление	GC1220	IC908	T15K6, BK8	Коррозионно-стойкая сталь (в состоянии поставки), ферритная, аустенитная, мартенситная
	Отрезание	GC4125	IC908	BK6-M	
	Точение канавок	GC4125	IC908	BK8, BK6-M	
	Подрезание	GC4125	IC908	BK8, BK6-M	
	Точение	GC2015	IC907	BK6-M, BK8, TT8K6, BK6-OM	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC908	BK3-M, BK6-M	
<i>K</i>	Сверление	GC1220	IC908	BK8, BK6-M, BK4	Ковкий чугун, серый чугун, серый чугун с шаровидным графитом
	Отрезание	GC4025	IC908	BK8, BK6-M	
	Точение канавок	GC4025	IC428	BK8, BK6-M	
	Подрезание	GC4025	IC428	BK8, BK6-M	
	Точение	GC3205	IC4028	BK3, BK8, TT8K6, BK6-M	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC908	BK8, BK6-M	

ISO	Основное применение	SANDVIK Coromant (преимущественный выбор)	ISCAR Member IMC Group (преимущественный выбор)	Марка сплава по ГОСТ 3882-74	Обрабатываемый материал
N	Сверление	GCN20D	IC908	BK8	Алюминиевые сплавы, медь и медные сплавы
	Отрезание	H10	IC20	BK3-M	
	Точение канавок	H10	IC20	BK3-M	
	Подрезание	H10	IC20	BK3-M, BK6-M	
	Точение	CD1810	IC20	BK3-M, BK6-M	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC08	BK3-M	
S	Сверление	GC1220	IC908	BK8, BK8-B	Жаропрочные и специальные сплавы на основе железа, никеля, кобальта, титановые сплавы
	Отрезание	GC4125	IC20	BK8, T15K6	
	Точение канавок	GC4125	IC907	BK8, T15K6	
	Подрезание	GC4125	IC20	BK8, T15K10	
	Точение	GC1005	IC907	BK8, BK4, T15K10	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC908	T15K6	
H	Сверление	GC1020	IC908	T15K6, BK6-M, BK8	Закаленная сталь, сверхтвердая сталь, отбеленный чугун
	Отрезание	CB20	IC908	BK3-M, BK6-M	
	Точение канавок	CB20	IB50	BK3-M, BK6-M	
	Подрезание	CB20	IC908	T5K10, BK8, T15K6	
	Точение	CB20, 7020	IB55	BK6-M, BK3-M	
	Резьбонарезание	GC1020, 4125	IC908	BK6-M	

Отличием зарубежных твердых сплавов от отечественных является включение в их состав карбида ниобия (NbC), что повышает красностойкость инструментального материала и скорость резания. Скорость резания также повышают за счет нанесения на режущие пластины износостойких покрытий карбида титана, оксида алюминия, нитрида титана и др. Обычно общая толщина покрытия составляет 2 – 2 мкм, чрезмерная толщина может вызвать отрицательные эффекты.

Пластины с покрытием применяются почти для всех операций точения, фрезерования и сверления для обработки большинства материалов.

Основными методами нанесения покрытий являются химическое осаждение – CVD и физическое осаждение – PVD.

В табл. 5.10 приведены рекомендации по использованию твердых сплавов ISCAR для различных материалов. В табл. 5.11 приведены сведения о соответствии отечественных марок твердых сплавов зарубежным для различных видов токарной обработки.

5.4. КЕРАМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Минералокерамические материалы для изготовления режущих инструментов стали применять с 50-х годов прошлого столетия. В настоящее время промышленность выпускает четыре группы режущей керамики: оксидную (белая керамика) на основе Al_2O_3 , оксидно-карбидную (черная керамика) на основе композиции Al_2O_3-TiC , оксиднонитридную (кортинит) на основе Al_2O_3-TiN и нитридную керамику на основе Si_3N_4 .

Основной особенностью режущей керамики является отсутствие связующей фазы, что значительно снижает степень ее разупрочнения при нагреве в процессе изнашивания, повышает пластическую прочность, что и предопределяет возможность применения высоких скоростей резания, намного превосходящих скорости резания инструментом из твердого сплава. Если предельный уровень скоростей резания для твердосплавного инструмента при точении сталей с тонкими срезами и малыми критериями затупления составляет 500 – 600 м/мин, то для инструмента, оснащенного режущей керамикой, этот уровень увеличивается до 900 – 1000 м/мин.

Недостаток оксидной керамики – ее относительно высокая чувствительность к резким температурным колебаниям (тепловым ударам). Поэтому охлаждение при резании керамикой не применяют.

Указанное является главной причиной микро- или макрорывчатости режущей керамики и контактных площадок инструмента уже на стадиях приработочного или начального этапа установившегося изнашивания, приводящего к отказам из-за хрупкого разрушения инструмента. Отмеченный механизм изнашивания керамического режущего инструмента является преобладающим.

В последние годы появились новые марки оксидной керамики в состав которых введены окись циркония (ZrO_2) и армирование ее «нитевидными» кристаллами карбида кремния (SiC). Армированная керамика имеет высокую твердость (HRC_A-92) и повышенную прочность ($\sigma_{изг}$ до 1000 МПа).

Параллельно с совершенствованием керамических материалов на основе оксида алюминия созданы новые марки режущей керамики на основе нитрида кремния (силинит-Р). Такой керамический материал имеет высокую прочность на изгиб ($\sigma_{изг} = 800$ МПа), низкий коэффициент термического расширения, что выгодно отличает его от оксидных керамических материалов. Это позволяет с успехом использовать нитридокремниевый инструмент при черновом точении, полустачковом фрезеровании чугуна, а также чистовом точении сложнолегированных и термообработанных (до HRC 60) сталей и сплавов.

Режущую керамику выпускают в виде неперетачиваемых сменных пластин. Пластины изготавливают с отрицательными фасками по периметру с двух сторон. Размер фаски $f = 0,2 - 0,8$ мм, угол ее наклона отрицательный от 10 до 30°. Фаска необходима для упрочнения режущей кромки.

Допустимый износ керамических пластин намного меньше износа твердосплавных пластин. Максимальный износ по задней поверхности не должен превышать 0,3 – 0,5 мм, а при чистовых операциях 0,25 – 0,30 мм.

5.5. АЛМАЗЫ И ДРУГИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Алмаз как инструментальный материал получил широкое применение в машиностроении. В настоящее время выпускается большое количество разнообразного инструмента с использованием алмазов: шлифовальные круги, инструменты для правки шлифовальных кругов из электрокорунда и карбида кремния, пасты и порошки для доводочных и притироч-

ных операций. Значительные по размерам кристаллы алмазов применяют для изготовления алмазных резцов, фрез, сверл и других режущих инструментов. Коэффициент теплопроводности алмаза в два и более раза выше, чем у сплава ВК8, поэтому тепло от зоны резания отводится сравнительно быстро. Возросшие потребности в алмазном инструменте не могут быть полностью удовлетворены за счет природных алмазов. Освоено промышленное производство синтетических алмазов из графита при больших давлениях и высоких температурах. Синтетические алмазы могут быть различных марок, которые отличаются между собой прочностью, хрупкостью, удельной поверхностью и формой зерен. В порядке возрастания прочности, снижения хрупкости и удельной поверхности марки шлифовальных порошков из синтетических алмазов располагаются так: АС2, АС4, АС6, АС15, АС32. Микropорошки из природных алмазов имеют марки АМ и АН, а из синтетических АСМ и АСН. Микropорошки марок АМ и АСМ нормальной абразивной способности предназначены для изготовления абразивного инструмента, которым обрабатывают твердые сплавы и другие твердые и хрупкие материалы, а также детали из стали, чугуна, цветных металлов при необходимости получения высокой чистоты поверхности. Микropорошки марок АН и АСН, имеющие повышенную абразивную способность, рекомендуются для обработки сверхтвердых, хрупких, труднообрабатываемых материалов. С целью повышения эффективности работы алмазного абразивного инструмента применяют алмазные зерна, покрытые тонкой металлической пленкой. В качестве покрытий используют металлы с хорошими адгезионными и капиллярными свойствами по отношению к алмазу – медь, никель, серебро, титан и их сплавы. Эльбор имеет твердость, близкую к твердости алмаза, такую же прочность и большую теплостойкость и не теряет режущих свойств при нагреве до 1500 – 1600 °С. Абразивные порошки эльбора выпускаются двух марок: ЛО и ЛП. Зерна ЛО имеют более развитую поверхность и меньшую прочность, чем зерна ЛП. Подобно зернам синтетических алмазов, абразивные порошки эльбора имеют три группы зернистости: шлифзерно (Л25-Л16), шлифпорошки (Л12-Л4) и микropорошки (ЛМ40-ЛМ1).

К числу новых видов инструментальных материалов относятся сверхтвердые поликристаллы на основе алмаза и кубического нитрида бора. Диаметр заготовок из сверхтвердых поликристаллов находится в пределах 4 – 8 мм, а высота – 3 – 4 мм. Такие размеры заготовок, а также совокупность физических, механических свойств позволяют с успехом использовать рассматриваемые материалы в качестве материала для изготовления режущей части таких инструментов, как резцы, торцевые фрезы и др. Сверхтвердые поликристаллы на основе алмаза особенно эффективны при резании таких материалов, как стеклопластики, цветные металлы и

их сплавы, титановые сплавы. Значительное распространение рассматриваемых композитов объясняется рядом присущих им уникальных свойств – твердостью, приближающейся к твердости алмаза, высокой теплопроводностью, химической инертностью к железу. Однако они обладают повышенной хрупкостью, что делает невозможным их применение в условиях ударных нагрузок. Более устойчивы к удару инструменты из композитов 09 и 10. Они оказываются эффективными при обработке с тяжелыми режимами и ударными нагрузками закаленных сталей и чугунов. Применение сверхтвердых синтетических материалов оказывает существенное влияние на технологию машиностроения, открывая перспективу замены во многих случаях шлифования точением и фрезерованием. Перспективным видом инструментального материала являются двухслойные пластины круглой, квадратной, трехгранной или шестигранной форм. Верхний слой пластин состоит из поликристаллического алмаза, а нижний из твердого сплава либо металлической подложки. Поэтому пластины можно применять для инструментов с механическим креплением в державке. Сплав силинит-Р на основе нитрида кремния с добавками окиси алюминия и титана занимает промежуточное положение между твердыми сплавами на карбидной основе и сверхтвердыми материалами на основе алмаза и нитрида бора. Как показали исследования, он может применяться при чистовом точении сталей, чугуна, сплавов алюминия и титана. Преимущество этого сплава заключается и в том, что нитрид кремния никогда не станет дефицитным.

Физико-механические свойства сверхтвёрдых материалов приведены в табл. 5.12.

Таблица 5.12

Физико-механические свойства СТМ

Материал		Микротвердость, ГПа	$\sigma_{\text{И}}$, МПа	$\sigma_{\text{СЖ}}$, МПа	Красностойкость, °С
АСБ		75 – 80	4900 – 6350	4900 – 7850	650 – 700
АСПК		80 – 85	4900 – 6850	785 – 11750	700 – 800
Композиты	01, 02	73 – 78	5900 – 6850	4900 – 5900	≈ 1200
	09	39	6860 – 9800	39000 – 49000	≈ 1400
Силинит-Р		20 – 31	5000...7000	25000	≈ 1600

Этапы начала применения инструментальных материалов для обработки металлов резанием приведены на рис. 5.1.

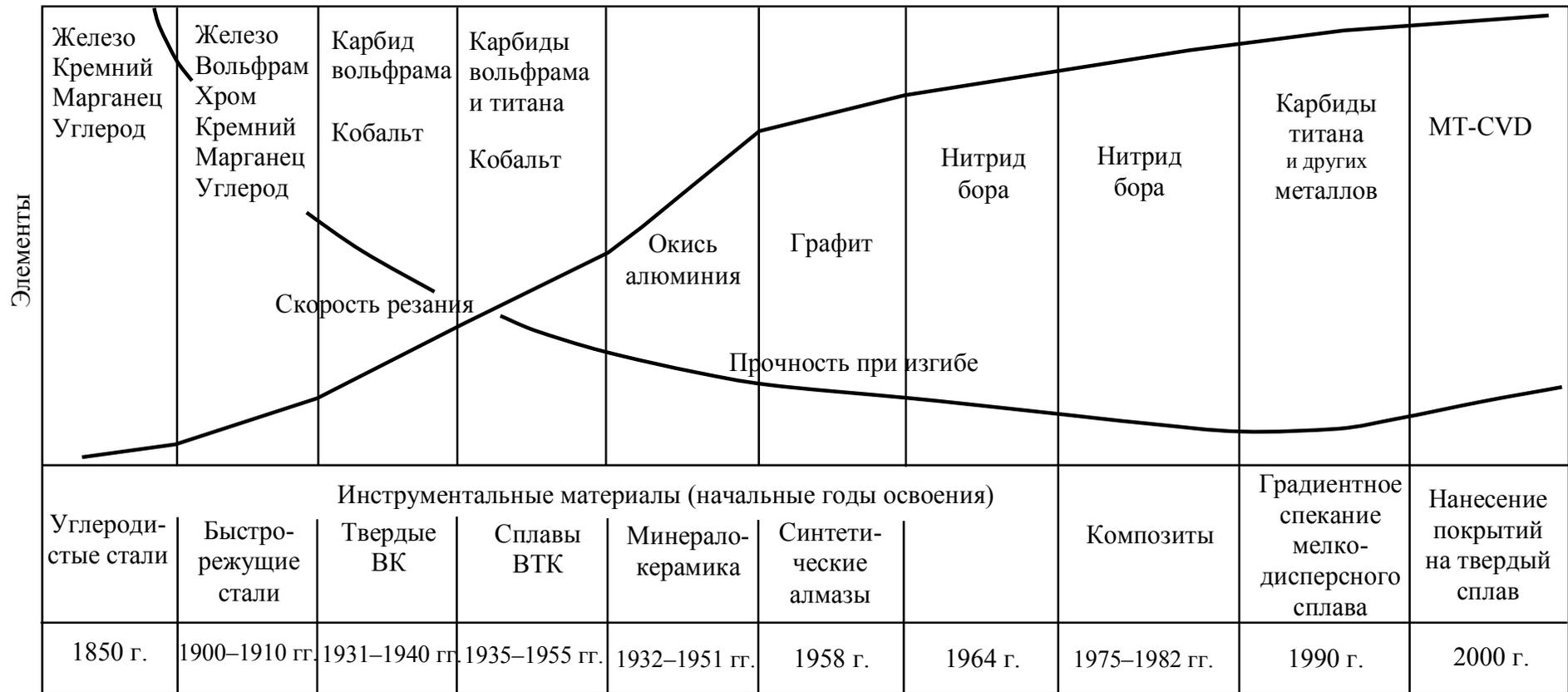


Рис. 5.1. Этапы начала применения инструментальных материалов для обработки металлов резанием

5.6. АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Большое место в современном производстве деталей машин занимают процессы шлифования, при которых используются различные абразивные инструменты. Режущими элементами этих инструментов служат твердые и теплоустойчивые зерна абразивного материала с острыми кромками. Абразивные материалы подразделяются на естественные и искусственные. К естественным абразивным материалам относятся такие минералы, как кварц, наждак, корунд и др. Естественные абразивные материалы отличаются большой неоднородностью, наличием посторонних примесей. Поэтому по качеству абразивных свойств они не удовлетворяют потребностям промышленности. В настоящее время обработка искусственными абразивными материалами занимает ведущее место в машиностроении. Наиболее распространенными искусственными абразивными материалами являются электрокорунды, карбиды кремния и бора. К искусственным абразивным материалам относятся также полировально-доводочные порошки – оксиды хрома и железа. Особую группу искусственных абразивных материалов составляют синтетические алмазы и кубический нитрид бора.

ЭЛЕКТРОКОРУНД получают электрической плавкой материалов, богатых оксидом алюминия, например, из боксита или глинозема в смеси с восстановителем (антрацитом или коксом). Электрокорунд выпускается следующих разновидностей: нормальный, белый, хромистый, титанистый, циркониевый, монокорунд и сферокорунд. Электрокорунд нормальный содержит 92 – 95 % оксида алюминия и подразделяется на несколько марок: 12А, 13А, 14А, 15А, 16А. Зерна электрокорунда нормального наряду с высокой твердостью и механической прочностью имеют значительную вязкость, необходимую при выполнении работ с переменными нагрузками при больших давлениях. Поэтому электрокорунд нормальный применяют для обработки различных материалов повышенной прочности: углеродистой и легированной сталей, ковкого и высокопрочного чугуна, никелевых и алюминиевых сплавов. Электрокорунд белый марок 22А, 23А, 24А, 25А отличается высоким содержанием оксида алюминия (98 – 99 %). По сравнению с электрокорундом нормальным он является более твердым, имеет повышенную абразивную способность и хрупкость. Электрокорунд белый может быть использован для обработки тех же материалов, что и электрокорунд нормальный. Однако из-за более высокой стоимости его применяют на более ответственных работах для операций окончательного и профильного шлифования, резьбошлифования, заточки режущего инструмента. Электрокорунд хромистый марок 32А, 33А, 34А наряду с оксидом алюминия Al_2O_3 содержит до 2 % оксида хрома Cr_2O_3 . Добавка оксида

хрома меняет его микроструктуру и строение. По прочности электрокорунд хромистый приближается к электрокорунду нормальному, а по режущим свойствам – к электрокорунду белому. Рекомендуются применять электрокорунд хромистый для круглого шлифования изделий из конструкционных и углеродистых сталей при интенсивных режимах, где он обеспечивает повышение производительности на 20 – 30 % по сравнению с электрокорундом белым. Электрокорунд титанистый марки 37А наряду с оксидом алюминия содержит оксид титана TiO_2 . Он отличается от электрокорунда нормального большим постоянством свойств и повышенной вязкостью. Это позволяет использовать его в условиях тяжелых и неравномерных нагрузок. Электрокорунд титанистый применяется на операциях предварительного шлифования с увеличенным съемом металла. Электрокорунд циркониевый марки 33А наряду с оксидом алюминия содержит оксид циркония. Он имеет высокую прочность и применяется в основном для обдирочных работ с большими удельными давлениями резания. Монокорунд марок 43А, 44А, 45А получается в виде зерна, имеющего повышенную прочность, острые кромки и вершины с более выраженным свойством самозатачивания по сравнению с электрокорундом. Это обеспечивает ему повышенные режущие свойства. Монокорунд предпочтителен для шлифования труднообрабатываемых сталей и сплавов, для прецизионного шлифования сложных профилей и для сухого шлифования режущего инструмента, Сферокорунд содержит более 99 % Al_2O_3 и получается в виде полых сфер. В процессе шлифования сферы разрушаются с образованием острых кромок. Сферокорунд целесообразно применять при обработке таких материалов, как резина, пластмассы, цветные металлы.

КАРБИД КРЕМНИЯ получается в результате взаимодействия кремнезема и углерода в электрических печах, а затем дробления на зерна. Он состоит из карбида кремния и незначительного количества примесей. Карбид кремния, обладает большой твердостью, превосходящей твердость электрокорунда, высокой механической прочностью и режущей способностью. Карбид кремния черный марок 53С, 54С, 55С применяют для обработки твердых, хрупких и очень вязких материалов; твердых сплавов, чугуна, стекла, цветных металлов, пластмасс. Карбид кремния зеленый марок 63С, 64С используют для заточки твердосплавного инструмента, шлифования керамики.

КАРБИД БОРА В4С обладает высокой твердостью, высокой износостойкостью и абразивной способностью. Вместе с тем, карбид бора очень хрупок, что и определяет его применение в промышленности в виде порошков и паст для доводки твердосплавных режущих инструментов.

Абразивные материалы характеризуются такими основными свойствами, как форма абразивных зерен, зернистость, твердость, механическая

прочность, абразивная способность зерен. Твердость абразивных материалов характеризуется сопротивлением зерен поверхностному измельчению, местному воздействию приложенных сил. Она должна быть выше твердости обрабатываемого материала. Твердость абразивных материалов определяют методом царапания острия одного тела по поверхности другого или методом вдавливания алмазной пирамиды под малой нагрузкой в абразивное зерно. Механическая прочность характеризуется дробимостью зерен под влиянием внешних усилий. Оценку прочности производят раздавливанием навески абразивных зерен в стальной форме под прессом с помощью определенной статической нагрузки. При обдирочных режимах с большим съемом металла требуются прочные абразивы, а при чистовом шлифовании и обработке труднообрабатываемых материалов предпочтительны абразивы с большей хрупкостью и способностью к самозатачиванию.

Область применения некоторых абразивных материалов приведена в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Основные марки абразивных материалов и область их применения

Абразивный материал	Обозначение	Марка	Область применения
Электрокорунд: нормальный	1А	12А, 13А, 14А, 15А, 16А	Для заточки инструмента из углеродистых инструментальных сталей
белый	2А	22А, 23А, 24А, 25А	Для заточки инструмента из быстрорежущих сталей нормальной производительности
хромистый	3А	32А, 33А, 34А	Для заточки инструмента из быстрорежущих сталей повышенной производительности
титанистый	3А	37А	
Монокорунд	4А	43А, 44А, 45А	
Карбид кремния: черный	5С	53С, 54С, 55С	Для заточки инструмента из твердых сплавов, минералокерамики и быстрорежущих сталей
зеленый	6С	63С, 64С	
Электрокорунд хромотитанистый	9А	91А	Для притирки
Корунд природный	9Е	—	Для правки кругов

Алмаз: природный синтетический шлифпорошок синтетический микropорошок	А	А, АМ, АН	Для заточки инструмента из твердых сплавов, минерало- керамики и быстрорежущих сталей
	АС	АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС	
	АС	АСМ, АСН	
Кубический нитрид бора: эльбор кубонит	Л	ЛО, ЛП, ЛД, ЛОМ, ЛОС	Для заточки инструмента из труднообрабатываемых быст- рорежущих сталей
	К	КО, КР, КМ, КОМ, КРМ, КОС, КОМА	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник технолога машиностроителя: в 2-х т.; справочник / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. Изд. 5-е. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 1. – 912 с.; Т. 2. – 944 с.
2. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л. В. Худобин, А. П. Бабичев, Е. М. Булышев и др. / Под ред. Л. В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
3. Справочник токаря универсала /Под ред. М. Г. Шеметова и В. Ф. Безъязычного. Изд. 2-е. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. – 576 с.
4. Палей М. М. Технология производства металлорежущих инструментов: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты. Изд. 2-е. перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1982. – 256 с.: ил.
5. Боровский Г. В., Григорьев С. Н., Маслов А. Р. Справочник инструментальщика: Под общей ред. А. В. Маслова. Изд. 2-е. исп. – М.: Машиностроение, 2007 – 464 с.: ил.

Учебное издание

ВЯЧЕСЛАВ ФЕОКТИСТОВИЧ БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ,
ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ АВЕРЬЯНОВ,
АНТОН ВЛАДИМИРОВИЧ КОРДЮКОВ

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Учебное пособие

Зав. РИО М. А. Салкова
Редактор М. А. Салкова
Компьютерная верстка Л. В. Калинина

Подписано в печать 23.04.2009 г.
Формат 60×84 1/16. Уч.-изд.л. 11,5. Тираж . Заказ 23.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
имени П. А. Соловьева (РГАТА)
Адрес редакции: 152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53
Отпечатано в множительной лаборатории РГАТА
152934, г. Рыбинск, ул. Пушкина, 53