

**С. М. ГАЙДАР
А. М. КОЛОКАТОВ
А. М. ПИКИНА**

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

*Рекомендовано Федеральным учебно-методическим объединением
по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования
в учебном процессе*

Москва
ООО «Мегаполис»
2021

УДК 621.7/.9(075.8)

ББК 34.6

Г14

Рецензенты

доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, главный научный сотрудник отдела научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех» **И. Г. Голубев**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Детали машин и теория механизмов» ФГБОУ ВО «МАДИ» **М. Ю. Карелина**

Гайдар С. М., Колокатов А. М., Пикина А. М.

Г14 Технология конструкционных материалов: учебное пособие /
С. М. Гайдар, А. М. Колокатов, А. М. Пикина / ФГБОУ ВО
РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева. – М. : ООО «Мегаполис», 2021.
– 282 с.

ISBN 978-5-6047495-4-8

В учебном пособии даны общие сведения об основных процессах обработки металлов резанием и изложены рекомендации и последовательность назначения режимов резания при точении, фрезеровании, сверлении, зенкеро-вании, развертывании и протягивании на основе справочных данных.

Данные рекомендации могут быть использованы при выполнении контрольных, расчетно-графических, курсовых работ, при выполнении выпускных квалификационных работ (ВКР) студентами-бакалаврами, при выполнении магистерских диссертаций магистрантами, а также при проведении практических и научно-исследовательских работ.

Заключение Федерального учебно-методического объединения по сельскому, лесному и рыбному хозяйству: «Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлению «Агроинженерия» и рекомендуется Федеральным УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования в учебном процессе».

УДК 621.7/.9(075.8)

ББК 34.6

ISBN 978-5-6047495-4-8

© Коллектив авторов, 2021

© ООО «Мегаполис», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Токарная обработка	5
1. Общие сведения.....	5
1.1. Классификация токарных резцов.....	5
1.2. Основные виды точения.....	7
1.3. Влияние углов резца на процесс резания.....	8
1.4. Дробление стружки.....	10
1.5. Изнашивание токарных резцов.....	11
2. Методика назначения рационального режима резания.....	13
2.1. Выбор типа резца, материала и геометрических параметров.....	13
2.2. Назначение глубины резания.....	16
2.3. Назначение подачи.....	16
2.4. Определение скорости резания.....	17
2.5. Проверка выбранного режима резания.....	18
3. Расчет времени выполнения операции.....	21
4. Расчет потребности в оборудовании.....	23
5. Оценка технико-экономической эффективности.....	23
Пример расчета режима резания.....	24
Глава 2. Фрезерование	34
1. Фрезерование торцовыми фрезами.....	34
2. Фрезерование цилиндрическими фрезами.....	41
3. Методика назначения рационального режима резания.....	45
3.1. Назначение глубины резания.....	45
3.2. Назначение подачи.....	46
3.3. Назначение скорости резания.....	47
3.4. Проверка выбранного режима резания.....	48
3.5. Расчет времени выполнения операции.....	51
4. Расчет оборудования.....	53
5. Оценка технико-экономической эффективности.....	53
Пример расчета режима резания при торцевом фрезеровании.....	54
Пример расчета режима резания при цилиндрическом фрезеровании.....	65
Глава 3. Сверление, зенкерование, развертывание	74
1.1. Общие сведения.....	74
1.2. Основные виды сверления.....	106
1.3. Влияние углов сверла на процесс резания.....	106
1.4. Стружка при сверлении.....	108
1.5. Изнашивание сверл.....	110
1.6. Точность при сверлении, зенкеровании и развертывании.....	117
1.7. Оборудование при сверлении, зенкеровании и развертывании.....	120
2. Методика назначения режима резания.....	121

2.1. Выбор типа сверла, материала и геометрических параметров режущей части, размеров сверла.....	121
2.2. Назначение глубины резания.....	122
2.3. Назначение подачи.....	123
2.4. Определение скорости резания.....	124
2.5. Проверка выбранного режима резания.....	125
2.6. Определение основного технологического времени.....	126
Примеры режима резания.....	127
Глава 4. Протягивание.....	133
Пример расчета режима резания при протягивании.....	195
Приложение 1. Точение.....	201
Приложение 2. Фрезерование.....	216
Приложение 3. Сверление.....	233
Приложение 4. Протягивание.....	259
Библиографический список.....	281

ГЛАВА 1. ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА

1. Общие сведения

Назначение режимов резания является важным элементом при разработке технологических процессов изготовления или ремонта деталей на металлорежущих станках. Специалисты по ремонту и эксплуатации сельскохозяйственной техники должны уметь назначать режимы резания при обработке деталей на основных типах металлорежущих станков. Наиболее распространенной является обработка на токарных станках.

Студенты всех специальностей и направлений сталкиваются с вопросами назначения режимов резания при выполнении домашних заданий по курсам кафедры материаловедения и технологии машиностроения, выполнении курсовых работ по «Технологии машиностроения» и выпускных квалификационных работ.

1.1. Классификация токарных резцов

Резец – это однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным движением резания и возможностью подачи в любом направлении (ГОСТ 25761–83).

Токарные резцы подразделяются по ряду отличительных признаков (табл. 1П*): виду и характеру обработки, форме рабочей части, направлению подачи, материалу рабочей части, способу изготовления, сечению крепежной части, установке относительно заготовки.

*Таблицы приведены в приложениях.

По направлению подачи резцы делятся на правые и левые. Правые резцы работают справа налево (от задней бабки к передней), левые – в обратном направлении.

По форме рабочей части резцы могут быть прямые, отогнутые, оттянутые и изогнутые. По материалу рабочей части резцы разделяют на резцы из быстрорежущей стали, с пластинками твердого сплава, режущей керамикой, со вставками из композитов и алмаза, а также непосредственно с кристаллами алмаза. Углеродистые и легированные инструментальные стали для изготовления токарных резцов применяют редко.

По характеру обработки резцы бывают черновые, чистовые, для тонкого точения.

По виду обработки различают резцы: проходные (прямые, отогнутые, упорные – представлены на рисунке 1.1 а–в); подрезные (рисунок 1.1 г); расточные (рисунок 1.1 д); отрезные (рисунок 1.1 е); резьбовые (рисунок 1.1 ж); контурные (рисунок 1.1 з) – для работы на станках с копировальными устройствами и станках с ЧПУ; фасонные (рисунок 1.1 и) – для выполнения фасонных работ и др.

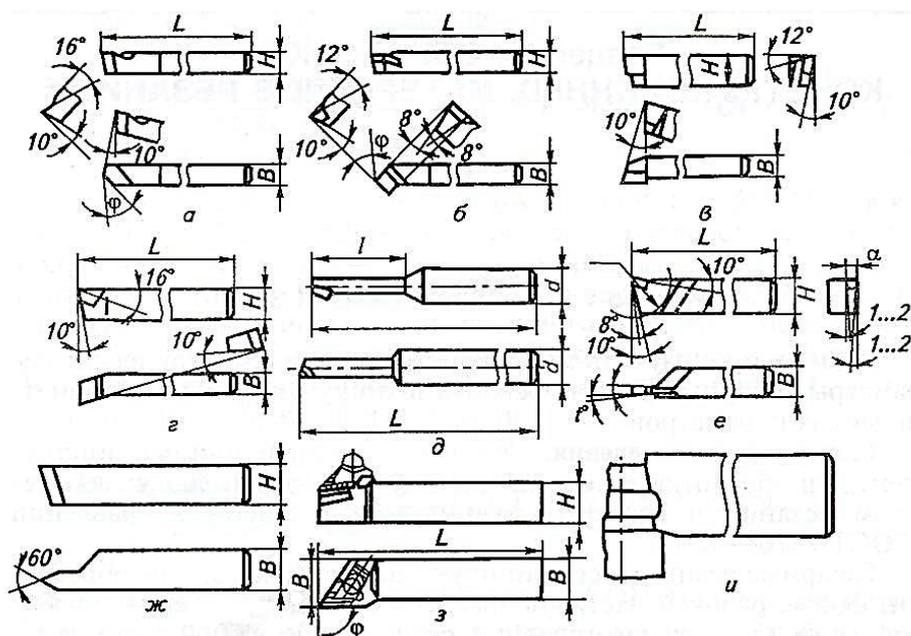


Рисунок 1.1 – Типы токарных резцов: а–в – проходные (прямой, отогнутый, упорный); г – подрезной; д – расточной; е – отрезной; ж – резьбовой; з – контурный; и – фасонный

По способу изготовления резцы бывают цельные (головка и тело сделаны из одного материала), составные (с приваренной или припаянной рабочей частью), сборные (с механическим креплением

пластин). В последние годы широкое применение нашли резцы с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП), имеющих различную форму (трех-, четырех-, пяти-, шестигранных и др.), предназначенных для разных типов резцов и условий резания.

Помимо высоких механических свойств, быстроты смены пластины без потери установленного размера, на твердосплавных пластинах значительно проще получить необходимые геометрические параметры режущей части. Крепежная часть резцов изготавливается из обычных конструкционных сталей (сталь 40, 45, У7 и др.).

По сечению крепежной части резцы делят на стержневые, призматические, круглые (дисковые). Стержневые резцы, в свою очередь, могут иметь крепежную часть с прямоугольным, квадратным и круглым сечением. Круглые и призматические резцы обычно бывают фасонными и резьбовыми.

По установке относительно заготовки резцы бывают радиальные (наиболее часто применяемые) и тангенциальные.

1.2. Основные виды точения

К основным видам точения относятся: продольное наружное точение, подрезание торца, отрезание, прорезание, растачивание.

На рисунке 1.2 приведена схема продольного наружного точения, на которой обозначены поверхности заготовки при резании и указаны главное движение резания, движение подачи и элементы режима резания.

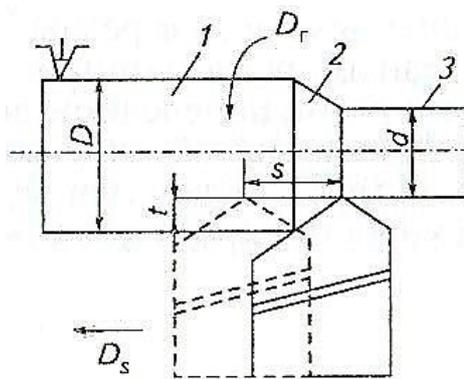


Рисунок 1.2 – Схема наружного точения с продольной подачей:
 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – поверхность резания; 3 – обработанная поверхность; D – диаметр обрабатываемой поверхности; d – диаметр обработанной поверхности; D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; t – глубина резания; s – подача на оборот

На рисунке 1.3 приведены схемы точения с поперечной подачей.

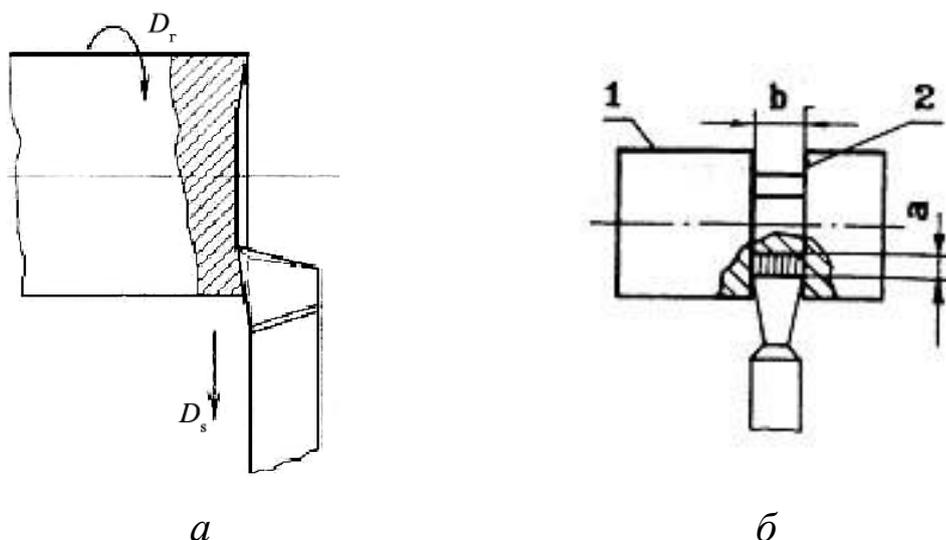


Рисунок 1.3 – Схемы точения с поперечной подачей:
 подрезание торца (а); отрезание (прорезание) заготовки (б);
 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – поверхность резания

При различных видах точения применяются резцы определенных типов: при наружном точении – проходные (прямые, отогнутые и упорные); подрезании торцов и обработка ступенчатых поверхностей – подрезные; отрезании заготовок и точение канавок – отрезные и канавочные; обработке отверстий, предварительно просверленных или полученных штамповкой или литьем, – расточные; работе на станках с копировальными устройствами и станках с ЧПУ – контурные; при выполнении фасонных работ – фасонные.

1.3. Влияние углов резца на процесс резания

Углы резца рассматриваются в главной (P_τ) и вспомогательной ($P_{\tau 1}$) секущих плоскостях, а также в плане (рисунок 1.4). Углы режущей части влияют на процесс резания. Задние углы α и α_1 уменьшают трение между задними поверхностями инструмента и поверхностью обрабатываемой заготовки, что ведет к снижению силы резания и уменьшению износа резца; однако чрезмерное увеличение заднего угла приводит к ослаблению режущей кромки резца.

С увеличением переднего угла γ уменьшается работа, затрачиваемая на процесс резания, и уменьшается шероховатость обрабатываемой поверхности.

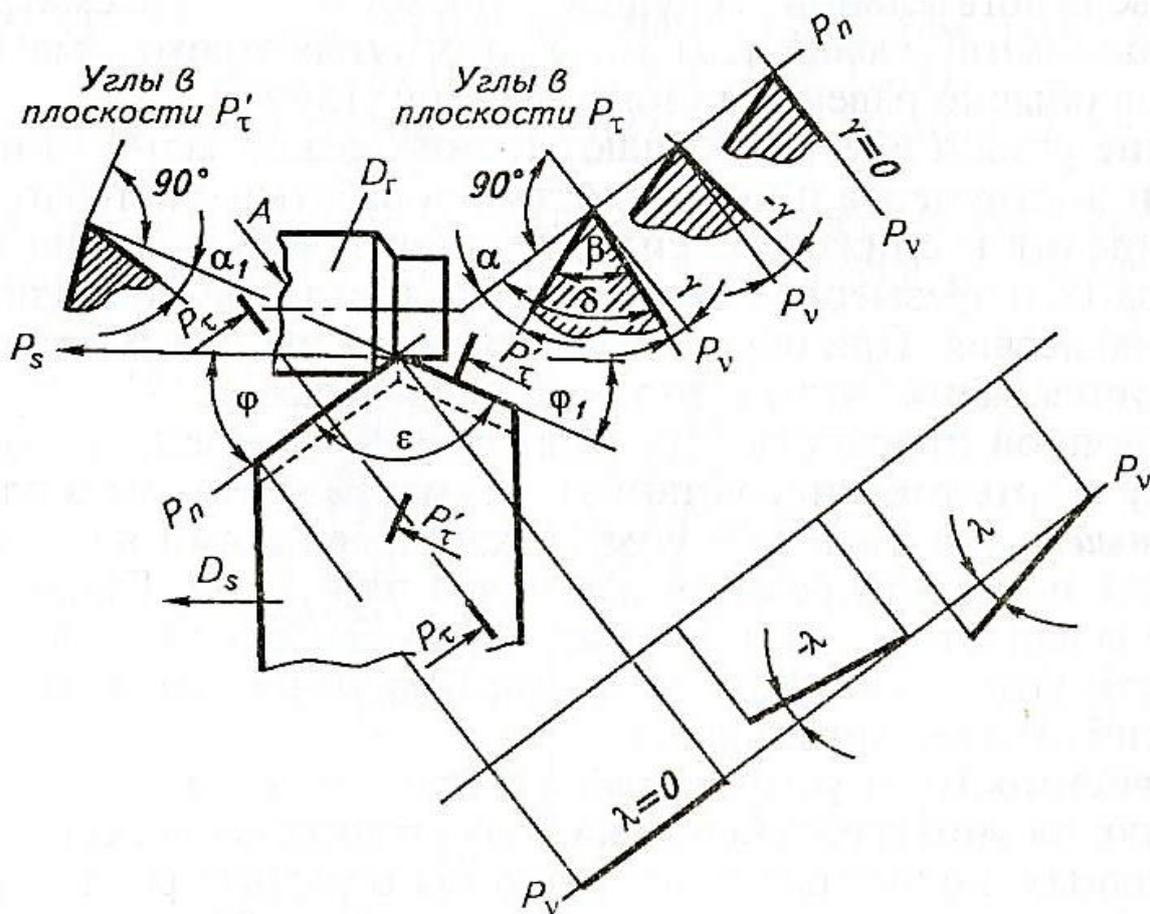


Рисунок 1.4 – Углы токарного резца в статическом состоянии:

P_v – след основной плоскости; P_n – след плоскости резания;
 P_s – след рабочей плоскости; P_τ – след главной секущей плоскости; $P_{\tau 1}$ – след вспомогательной секущей плоскости

Главный угол в плане φ определяет соотношение между радиальной и осевой силами резания. При обработке деталей малой жесткости берут угол φ близким или равным 90° , так как в этом случае радиальная сила, вызывающая изгиб детали, минимальна. В зависимости от условий работы принимают $\varphi = 10 \dots 90^\circ$.

Угол наклона главной режущей кромки λ определяет направление схода стружки. Угол λ считается положительным, когда вершина резца является низшей точкой режущей кромки (не рекомендуется при чистовой обработке, так как стружка сходит на обработанную поверхность); равным нулю, когда главная режущая кромка лежит в основной плоскости (стружка сходит на резец – принимается наиболее часто); и отрицательным, когда вершина является низшей точкой режущей кромки (стружка сходит на обрабатываемую поверхность – у резцов для чистовой обработки).

1.4. Дробление стружки

В процессе обработки сливная стружка часто мешает проводить высокопроизводительный процесс точения, так как она запутывается вокруг детали и инструмента и вынуждает часто прекращать обработку с целью ее удаления.

Для обеспечения скоростного точения вязких сталей применяют ряд способов дробления стружки в процессе обработки:

- подбор геометрии инструмента и режимов резания;
- изготовление на передней поверхности резцов стружколомных лунок (рисунок 1.5) и уступов (порожков);
- установка на передней поверхности накладных стружколомов (рисунок 1.6).

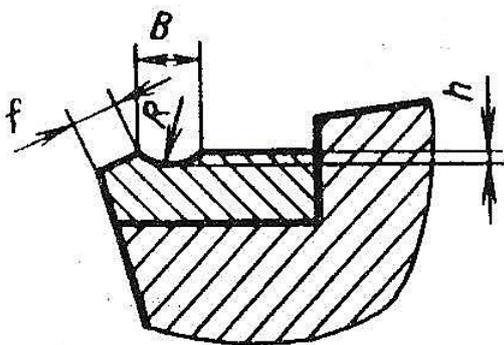


Рисунок 1.5 – Резец со стружколомной канавкой на передней поверхности

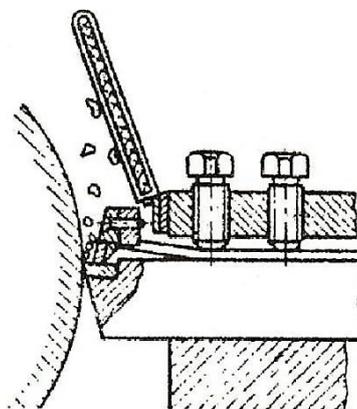


Рисунок 1.6 – Резец с накладным стружколомом и стружкоотражательным экраном

Дробление стружки можно обеспечить путем придания главной режущей кромке положительного угла $+\lambda$, заточки отрицательного переднего угла $\gamma = -(10-15)^\circ$ и соответствующего сочетания глубины резания t и подачи s в пределах $t/s = 5-8$.

В таблице 1.1 приведены рекомендуемые углы заточки в зависимости от соотношения t и s .

Таблица 1.1 – Значения углов заточки и фаски f в зависимости от глубины резания t и подачи s для резцов, оснащенных твердым сплавом

Тип резца	φ	γ	γ_{ϕ}	λ	f
	град.				мм
Проходной	45	0	-5	0	4*
Проходной	60	10	-2	+18	2,5
Подрезной	90	-3	-	0	4
Подрезной	90	+15	-	+15	1,5

* При $f \geq 4$ и $s \geq 0,3$ мм

1.5. Изнашивание токарных резцов

В процессе резания происходит интенсивное трение поверхностей режущей части инструмента об обработанную поверхность и поверхность резания, а также трение стружки о переднюю поверхность. Процесс трения сопровождается значительным выделением тепла за счет трения и пластического деформирования срезаемого слоя металла.

Эти явления приводят к износу инструмента по передней и задним поверхностям. Инструмент может нормально работать до какого-то предельно допустимого износа, величина которого определяет стойкость инструмента, измеряемую в минутах, которая характеризует собой время его непрерывной работы до переточки.

Параметры износа приведены на рисунке 1.7. За критерий износа принимают износ по задней поверхности. Значения допускаемого износа резцов h_3 приведены в таблице 1.2.

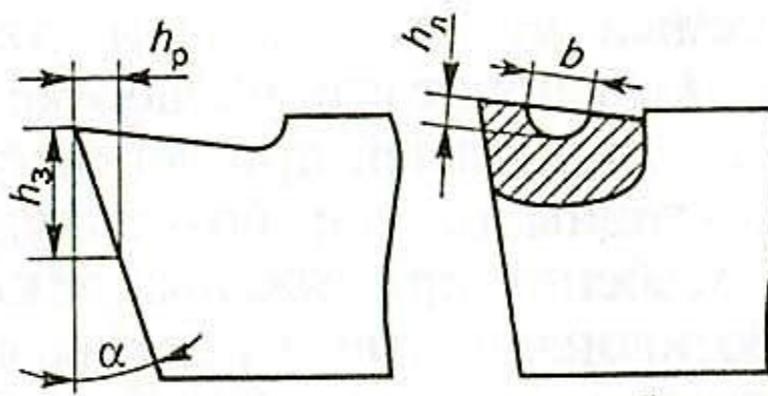


Рисунок 1.7 – Параметры износа резца: h_3 – износ по задней поверхности; h_p – радиальный износ; h_n, b – параметры лунки при изнашивании по передней поверхности

**Таблица 1.2 – Рекомендуемые значения допускаемого износа
токарных проходных резцов**

Резцы	Обрабатываемый материал			
	Сталь, стальное литье		Серый чугун	
	Условия обработки	Допускаемый износ, мм	Условия обработки	Допускаемый износ, мм
Резцы из быстрорежущей стали				
Проходные	С охлаждением	1,5...2,0	Черновое точение	3,0...4,0
Подрезные и расточные	Без охлаждения	0,3...0,5	Получистовое точение	1,5...2,0
Подрезные и отрезные	С охлаждением	0,8...1,0	–	–
	Без охлаждения	0,3...0,5	Точение	1,5...2,0
Резцы с пластинами твердых сплавов				
Проходные, подрезные и расточные с пластинами Т15К6, Т5К10, Т14К8	Без охлаждения при подаче 0,3 мм/об	0,8...1,0	0,3 мм/об	1,4...1,7
		1,5...2,0		0,8...1,0
То же с пластиной Т30К4	Без охлаждения	0,5...0,8	–	–
То же с пластинами ВК6 и ВК8	То же при подаче 0,3 мм/об	0,8...1,0 0,3	0,3 мм/об	1,4...1,7 0,8...1,0

2. Методика назначения рационального режима резания

Рациональным (наивыгоднейшим) режимом резания является такой, при котором деталь требуемого качества изготавливают при минимальных затратах средств (с учетом затрат на инструмент). Этот режим соответствует экономическому периоду стойкости инструмента.

При назначении рационального режима резания необходимо учитывать: марку обрабатываемого материала, его физико-механические свойства, состояние поверхности, вид точения, характер обработки (черновое или чистовое точение, непрерывное или прерывистое) и др.

Этапы при назначении режима резания следующие.

2.1. Выбор типа резца, материала и геометрических параметров режущей части, размеров токарных резцов

2.1.1. Выбор материала режущей части резца

Тип токарного резца выбирают по таблице 1 приложений в зависимости от вида выполняемой работы.

2.1.2. Выбор материала режущей части резца

На выбор материала режущей части токарных резцов оказывают влияние условия и вид обработки (прерывистое или непрерывное резание, наличие литейной корки, чистовое, черновое резание и др.), а также обрабатываемый материал.

Режущая часть токарных резцов изготавливается из металло-керамических, безвольфрамовых твердых сплавов, реже из быстрорежущей стали, режущей керамики и сверхтвердых материалов. Рекомендуемые материалы для режущей части токарных резцов приведены в таблице 2 приложений.

2.1.3. Определение размеров резца и геометрических параметров режущей части

Размеры резцов определяют в зависимости от их отличительных признаков (см. таблицу 1П). Размеры поперечного сечения державки резца берут в зависимости от высоты центров станка, на котором выполняется работа. При высоте центров 150...160 мм рекомен-

дуются сечение державки $B \times H = 12 \times 20$ мм (где B – ширина, H – высота), при высоте центров 180...200 мм – от 12×20 до 16×25 мм, при высоте центров 250...300 мм – от 16×25 до 20×32 мм.

На токарных станках моделей 1А62, 1А62Б, 1А62Г, 1В62Г, 1К62, 16К20 высота центров составляет 200 мм, на станке 1А616 – 160 мм.

Размеры токарных проходных отогнутых резцов с пластинками из твердого сплава приведены на рисунке 1.8 и в таблице 3П. Примеры условного обозначения правого резца сечением $H \times B = 25 \times 16$ мм с пластиной из твердого сплава марки Т15К6 или Т5К10:

Резец 2102-0055 Т15К6 ГОСТ 18877-73;

Резец 2102-0055 Т5К10 ГОСТ 18877-73.

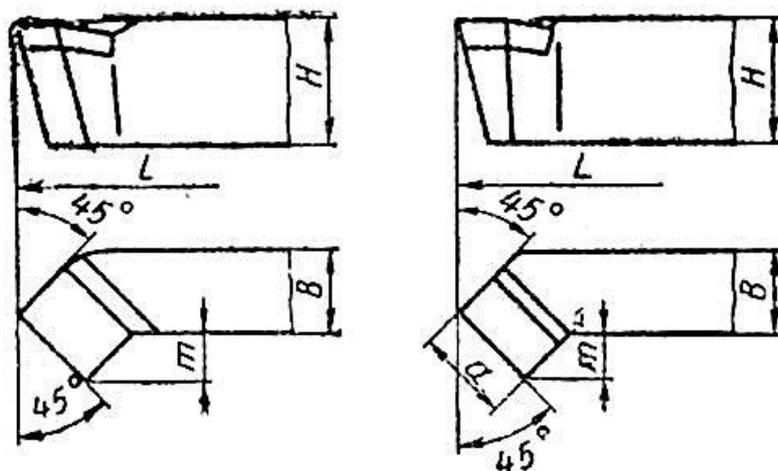


Рисунок 1.8 – Основные параметры проходного отогнутого резца:

B, H – ширина и высота крепежной части; m – величина, на которую отогнута головка резца

В условиях серийного и массового производства применяют резцы с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин и режущей керамики. Применение многогранных твердосплавных неперетачиваемых пластин на резцах обеспечивает:

- сокращение вспомогательного времени на смену и переточку резцов;
- повышение стойкости на 20...25 % по сравнению с напаянными резцами;
- сокращение затрат на инструмент в 2...3 раза и потерь вольфрама и кобальта в 4–4,5 раза;

- упрощение инструментального хозяйства;
- уменьшение расхода абразивов на заточку.

Многогранные пластины различных форм могут быть одно- и двусторонними, с отверстием или без него, иметь плоскую переднюю поверхность, с вышлифованной лункой.

Сверхтвердые инструментальные материалы предназначены для чистовой обработки материалов с высокими скоростями резания (св. 500 м/мин), а также материалов с большой твердостью ($HRC \geq 60$). Наиболее распространенными сверхтвердыми материалами являются материалы на основе КНБ.

Изготавливают также резцы, оснащенные режущими пластинами из композитов, причем режущие элементы могут быть как перетачиваемыми, так и в виде многогранных неперетачиваемых пластин.

В зависимости от материала режущей части резца и условий обработки выбирается форма передней поверхности резца (таблица 4П).

Углы режущей части резцов в зависимости от условий обработки обрабатываемого материала, материала режущей части и формы передней поверхности определяются по таблицам 5П–7П.

Значения задних углов при обработке стальных и чугуновых деталей рекомендуется принимать в пределах $6...12^\circ$ (меньшие значения – при черновой обработке, большие – при чистовой).

При обработке мягких сталей рекомендуется принимать значения переднего угла $\gamma = 8...20^\circ$. При обработке твердых сталей (с $\sigma_b \geq 1000$ МПа) и работе с ударом рекомендуется принимать отрицательный угол $\gamma = -(5...10)^\circ$, при обработке чугуна $\gamma \geq 0^\circ$.

При обработке на универсальных станках для угла в плане наиболее распространены значения $\varphi = 0...45^\circ$. Вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 0...45^\circ$, наиболее распространен $\varphi_1 = 12...15^\circ$. У подрезных и отрезных углов $\varphi = 90^\circ$. Резцы для растачивания глухих отверстий имеют главный угол в плане $\varphi \geq 90^\circ$, а для растачивания сквозных отверстий $\varphi = 45...60^\circ$.

Угол наклона главной режущей кромки $\lambda > 0$ рекомендуется при черновой обработке, $\lambda < 0$ – при чистовой обработке. Чаще всего угол λ принимают равным нулю.

2.2. Назначение глубины резания

Глубину резания t желательно выбирать равной припуску на обработку для данной операции. В свою очередь, величина припуска зависит от ряда факторов, а именно от размера обрабатываемой поверхности, метода получения заготовки, масштабов производства (числа изготавливаемых деталей) и т. п.

Заготовками могут являться прокат (круглый, квадратный и др.), поковки, штамповки, отливки. Припуск на сторону для штамповок колеблется в пределах 1,5–7 мм, для поволоков – 2,5...20 мм, для отливок 3...30 мм.

Если припуск нельзя снять за один рабочий ход, то число ходов должно быть как можно меньше. Если предусмотрена чистовая обработка, то для ее проведения должна быть оставлена часть припуска.

В таблице 8П приведены значения припуска на обработку наружных поверхностей в зависимости от номинального диаметра и длины обрабатываемой заготовки.

При чистовой обработке глубина резания зависит от требуемых значений точности и шероховатости обработанной поверхности. При параметре шероховатости поверхности до $R_a = 5$ мкм ($R_z = 20$ мкм) включительно рекомендуется принимать глубину резания равной 0,5...2 мм, при $R_a \leq 0,2$ мкм ($R_z \leq 0,8$ мкм) – 0,1...0,4 мм.

При наружном точении глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (1.1)$$

где D – диаметр заготовки, мм (диаметр заготовки следует брать с учетом допуска на ее изготовление со знаком «плюс»); d – диаметр после обработки, мм.

2.3. Назначение подачи

При черновой обработке выбирают максимально возможную подачу исходя из прочности и жесткости системы станок – приспособление – инструмент – деталь, мощности привода станка и других ограничивающих факторов.

При чистовой обработке подачу выбирают в зависимости от требуемой точности и шероховатости обработанной поверхности.

Табличные значения рекомендуемых подач приведены в табл. 9 и 10 приложений. После выбора подачи по справочным таблицам s_T ее уточняют по паспорту станка и выбирают фактическую s_{ϕ} – ближайшую меньшую.

2.4. Определение скорости резания

Скорость резания, допускаемую режущими свойствами инструмента, рассчитывают по следующим формулам:

а) при наружном продольном и поперечном точении и растачивании:

$$v_p = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v, \quad (1.2)$$

б) при отрезании, прорезании и фасонном точении:

$$v_p = \frac{C_v}{T^m s^y} K_v, \quad (1.3)$$

где v – скорость резания, м/мин; C_v – коэффициент, зависящий от условий обработки; T – стойкость инструмента, мин (среднее значение стойкости проходных резцов при одноинструментной обработке – 30–60 мин.; для резьбовых, фасонных резцов – 120 мин); t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об; m , x , y – показатели степени; K_v – общий поправочный коэффициент.

Значения постоянной C_v для данных табличных условий резания и показатели степени x , y , m приведены в таблице 11П.

Общий поправочный коэффициент K_v представляет собой произведение отдельных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора на скорость резания:

$$K_v = K_{\mu v} \times K_{\pi v} \times K_{\text{ив}} \times K_{\phi v} \times K_{\phi 1 v} \times K_{r v} \times K_{q v} \times K_{\text{ов}}, \quad (1.4)$$

где $K_{\mu v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала (таблица 12П, 13П); $K_{\pi v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (таблица 14П); $K_{\text{ив}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий материал режущей части (таблица 15П); $K_{\phi v}$, $K_{\phi 1 v}$, $K_{r v}$, $K_{q v}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие параметры резца – главный угол в плане, вспомогательный угол в плане, радиус при вершине, размер поперечного сечения державки (таблица 16П), причем, $K_{\phi 1 v}$, $K_{r v}$, $K_{q v}$ учитывают только при обработке резцами из быстрорежущей стали; $K_{\text{ов}}$ – вид обработки (таблица 17П).

Зная допустимую (расчетную) скорость резания v , определяют расчетную частоту вращения, мин^{-1} :

$$n_p = \frac{1000v}{\pi d}, \quad (1.5)$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Берут ближайшую фактическую частоту вращения по паспорту станка при условии $n_\phi \leq n_p$ (*паспортные данные станков приведены в конце приложений*).

По выбранной частоте вращения шпинделя станка рассчитывают фактическую скорость резания:

$$v_\phi = \frac{\pi d n_\phi}{1000}. \quad (1.6)$$

2.5. Проверка выбранного режима резания

Выбранный режим резания необходимо проверить по мощности привода шпинделя станка, прочности механизма подачи, прочности державки резца и прочности пластинки твердого сплава.

2.5.1. Проверка по мощности привода шпинделя станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p , кВт, должна быть меньше или равна допустимой мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$, определяемой по мощности привода:

$$N_p \leq N_{\text{шп}} = N_3 \eta, \quad (1.7)$$

где N_3 – мощность электродвигателя токарного станка, кВт (см. паспортные данные станков в приложениях); η – КПД станка (в паспорте станка).

Мощность по наиболее слабому звену при малой частоте вращения шпинделя меньше мощности по приводу (номинальной), т. е. слабое звено не дает возможности при малой частоте вращения шпинделя использовать всю мощность электродвигателя. Поэтому для малых значений частот вращения (n) шпинделя мощность на шпинделе надо взять из паспорта станка как мощность по наиболее слабому звену. Например, для станка 1А62 при минимальной частоте вращения $n = 11,5 \text{ мин}^{-1}$ допустимая мощность на шпинделе, допускаемая слабым звеном (зубчатое колесо), составляет 1,42 кВт, в то время как номинальная мощность (по приводу) составляет 5,9 кВт. С

увеличением частоты вращения мощность на шпинделе по наиболее слабому звену увеличивается и, начиная с 58 мин^{-1} , достигает номинальной – 5,9 кВт.

Мощность резания (кВт) определяется по формуле:

$$N_p = \frac{P_z v_\phi}{1000 \times 60}, \quad (1.8)$$

где P_z – сила резания, Н; v_ϕ – фактическая скорость резания, м/мин.

Силу резания (в ньютонах), при точении рассчитывают по следующей эмпирической формуле:

$$P_z = 9,81 C_p \times t^x \times s_\phi^y \times v_\phi^n \times K_p, \quad (1.9)$$

где C_p – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, материал режущей части резца, а также условия обработки; x , y , n – показатели степени; K_p – общий поправочный коэффициент, численно равный произведению ряда коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора на силу резания:

$$K_p = K_{mp} \times K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}, \quad (1.10)$$

где K_{mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала, определяется по формуле

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75}, \quad (1.11)$$

где $K_{\phi p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца; $K_{\gamma p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий передний угол резца; $K_{\lambda p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий угол наклона главной режущей кромки; K_{rp} – поправочный коэффициент, учитывающий радиус при вершине резца, определяется для резцов из быстрорежущей стали.

Значения коэффициента C_p и показателей степени x , y , n приведены в таблицу 18П, а значения поправочных коэффициентов на обрабатываемый материал и геометрические параметры режущей части резцов – соответственно в таблицах 19 и 20П.

Если условие $N_p \leq N_{шп}$ не выдерживается, то необходимо в первую очередь уменьшить скорость резания.

2.5.2. Проверка по прочности механизма продольной подачи

Осевая сила P_x , которая оказывает непосредственное влияние на прочность механизма продольной подачи станка, должна быть меньше или равна наибольшему усилию, допускаемому механизмом продольной подачи станка:

$$P_x \leq P_{\text{хдоп}}, \quad (1.12)$$

где P_x – осевая сила резания, Н, $P_x = (0,25-0,45)P_z$; $P_{\text{хдоп}}$ – наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи станка, Н (берется из паспортных данных станка).

Если условие $P_x \leq P_{\text{хдоп}}$ не выдерживается, то необходимо уменьшить силу резания P_z , в первую очередь за счет уменьшения подачи.

2.5.3. Проверка по прочности державки резца

Условие прочности державки резца выражается следующей формулой

$$\sigma_{\text{изг}} \leq [\sigma_{\text{изг}}], \quad (1.13)$$

где $\sigma_{\text{изг}}$ – наибольшее напряжение в теле резца, зависящее от воспринимаемой нагрузки, материала тела резца и размеров поперечного сечения МПа;

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W} = \frac{P_z \ell}{W}, \quad (1.14)$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, Н·м; P_z – сила резания, Н; ℓ – вылет резца из резцедержателя, м (рисунок 9), его берут наибольшим, чтобы обеспечить жесткость резца, $\ell = (1-3)H$; W – осевой момент сопротивления или момент сопротивления при изгибе, м³ (для прямоугольного сечения $W = BH^2/6$, для круглого – $0,1d^3$); $[\sigma_{\text{изг}}]$ – допускаемое напряжение для державки резца, МПа (для стали марок У7, 45 $[\sigma_{\text{изг}}] = 200-250$ МПа).

2.5.4. Проверка по прочности пластинки твердого сплава

Условие прочности пластинки твердого сплава:

$$P_z \leq [P_z], \quad (1.15)$$

где P_z – фактическая сила резания, Н; $[P_z]$ – сила резания, допускаемая прочностью пластинки твердого сплава, приведена в таблице 21П.

Если условие прочности не выдерживается, то необходимо увеличить толщину пластинки.

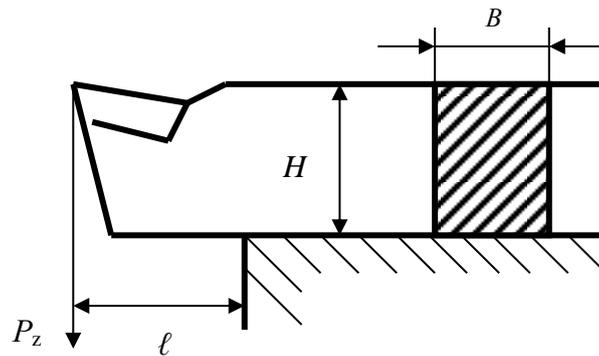


Рисунок 1.9 – Схема для проверки резца на прочность:
 P_z – сила резания; B и H – размеры сечения державки резца;
 l – вылет резца

3. Расчет времени выполнения операции

Штучное время $T_{шт.}$ – время, затрачиваемое на выполнение операции, мин, оно равно:

$$T_{шт.} = T_o + T_{всп} + T_{обс} + T_{пер}, \quad (1.16)$$

где T_o – основное время, $T_{всп}$ – вспомогательное время; $T_{обс}$ – время обслуживания рабочего места; $T_{пер}$ – время на личные надобности.

Основное время это часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояние предмета труда, т. е. время непосредственного воздействия инструмента на заготовку.

Вспомогательное время это часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения непосредственного воздействия на заготовку; к этому времени относится время, затрачиваемое на установку, закрепление, снятие заготовки, время на управление станком при подготовке рабочего хода, выполнение измерений в процессе обработки); (часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом, время обслуживания рабочего места складывается из времени организационного обслуживания (осмотр и опробование станка, раскладка и уборка инструмента, смазка и очистка станка) и времени технического обслуживания (регулирование и подналадка станка, смена и подналадка режущего инструмента и т. п.); это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых.

3.1. Определение основного времени

Основное технологическое время T_o определяется по формуле:

$$T_o = \frac{Li}{ns}, \quad (1.17)$$

где L – общая длина рабочего хода инструмента (резца) в траектории движения подачи, мм; i – число рабочих ходов.

Длина рабочего хода резца

$$L = \ell + \ell_1 + \ell_2 + \ell_3,$$

где ℓ – длина обрабатываемой поверхности детали, мм; ℓ_1 – величина пути врезания, мм, $\ell_1 = t \text{ctg} \varphi + (0,5-2)$; ℓ_2 – величина перебега резца, $\ell_2 = 1 \dots 3$ мм; ℓ_3 – величина пути для снятия пробных стружек или для замеров детали, $\ell_3 = 5 \dots 8$ мм. При работе на настроенных станках $\ell_3 = 0$.

3.2. Вспомогательное время

К этому времени относится, затрачиваемое на установку, выверку и снятие заготовки (таблица 22П), на рабочий ход (таблица 23П), на выполнение измерений в процессе обработки (таблица 24П).

3.3. Определение оперативного времени

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем:

$$T_{оп} = T_o + T_{всп}. \quad (1.18)$$

Оперативное время является основной составляющей штучного времени.

3.4. Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности

Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности часто берут в процентах от оперативного времени:

$$T_{обс} = (3-8 \%) T_{оп}; \quad T_{пер} = (4-9 \%) T_o.$$

3.5. Штучно-калькуляционное время

Штучно-калькуляционное $T_{шк}$ определяет норму времени – время выполнения определенного объема работ в конкретных произ-

водственных условиях одним или несколькими рабочими. В состав штучно-калькуляционного времени входит, помимо штучного времени, еще и время на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение их в первоначальное состояние после ее окончания – подготовительно-заключительное время $T_{пз}$. Это время необходимо для получения задания, приспособлений, оснастки, инструмента, установки их, для наладки станка на выполнение операции, снятие всех средств оснащения и сдачи их (таблица 25П).

Подготовительно-заключительное время входит в штучно-калькуляционное время как доля его, приходящаяся на одну заготовку. Чем большее число заготовок n обрабатывается с одной наладки станка (с одного установа в одной операции), тем меньшая часть подготовительно-заключительного времени входит в состав штучно-калькуляционного:

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}. \quad (1.19)$$

В массовом производстве $T_{пз}$ принимается равным нулю, так как практически вся работа выполняется при одной наладке станка.

4. Расчет потребности в оборудовании

Расчетное количество станков для выполнения определенной операции

$$z = \frac{T_{шт} \Pi}{T_{см} 60}, \quad (1.20)$$

где $T_{шт}$ – штучное время, мин; Π – программа выполнения деталей в смену, шт.; $T_{см}$ – время работы станка в смену, ч (обычно $T_{см} = 8$ ч).

5. Оценка технико-экономической эффективности

Оценку технико-экономической эффективности технологической операции проводят по расчетам потребного количества станков и ряда коэффициентов, в числе которых: коэффициент основного времени и коэффициент использования станка по мощности.

Коэффициент K_0 основного времени (T_0) определяет его долю в общем времени ($T_{шт}$), затрачиваемом на выполнении операции:

$$K_o = \frac{T_o}{T_{шт}}. \quad (1.21)$$

Чем больше значение K_o , тем лучше построен технологический процесс, поскольку больше времени, отведенного на операцию, станок работает, а не простаивает, т. е. в этом случае уменьшается доля вспомогательная времени.

Ориентировочно величина коэффициента K_o следующая:

- протяжные станки $- K_o = 0,35-0,95$;
- фрезерные непрерывного действия $- K_o = 0,85-0,90$;
- остальные $- K_o = 0,35-0,90$.

Если коэффициент основного времени K_o ниже этих величин, то необходима разработка мероприятий по снижению вспомогательного времени (применение быстродействующих приспособлений, автоматизация измерений детали и др.).

Коэффициент использования станка по мощности

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ст} \eta}, \quad (1.22)$$

где K_N – коэффициент использования станка по мощности; N_p – мощность резания, кВт (выбирают технологический переход операции с максимальным расходом мощности); $N_{ст}$ – мощность главного привода станка, кВт; η – КПД станка.

Чем ближе K_N к единице, тем более полно используется мощность станка. Например, если $K_N = 0,5$, то станок используется на 50 % от своей мощности и, если это возможно, следует выбрать станок меньшей мощности.

Пример расчета режима резания

Исходные данные:

1. Заготовка – штамповка, сталь 40Х ГОСТ 4543–71;
2. Предел прочности стали 40Х, $\sigma = 1000$ МПа, твердость по Бринеллю – 200НВ;
3. Общий припуск на обработку (на диаметр) $h = 8$ мм;
4. Диаметр заготовки $D = 95$ мм;
5. Диаметр детали после чистовой обработки $d = 87$ мм;
6. Длина обрабатываемой поверхности $\ell = 140$ мм;

7. Требуемая шероховатость $R_a = 2,5$ мкм;

8. Станок токарно-винторезный – 1К62.

При расчете режимов резания необходимо:

- выбрать тип, размеры, материал режущей части и геометрические параметры резца:
- выбрать станок (если не задан);
- рассчитать элементы режима резания;
- провести проверку выбранного режима резания по мощности привода главного движения резания, крутящему моменту, прочности державки резца и прочности механизма подачи станка;
- произвести расчет времени, необходимого для выполнения операции;
- произвести расчет необходимого количества станков;
- провести проверку эффективности выбранного режима резания и выбранного оборудования.

1. Выбор токарного резца

1.1. Выбор типа резца

Тип резца выбираем в зависимости от его назначения. В данном примере – проходной отогнутый резец (таблица 1П).

1.2. Выбор материала режущей части резца

Исходя из общего припуска на обработку и требований к шероховатости поверхности обработку проводим в два прохода (черновое и чистовое точение). По таблице 2П выбираем материал пластинки из твердого сплава: для чернового точения – Т5К10, для чистового точения – Т15К6.

1.3. Назначение размеров резца

Для станка 1К62 с высотой центров 200 мм размеры принимаем сечения державки резца $H \times B = 25 \times 16$ мм. При таких размерах сечения державки длина резца равна 140 мм (таблица 3П). Выбираем резец 2102-0055 ГОСТ 18877–73.

1.4. Назначение геометрических параметров режущей части резца

В зависимости от материала режущей части резца и условий обработки выбираем одинаковую форму передней поверхности резцов (для черного и чистового точения) по таблице 4П: номер Пб – плоская, с отрицательной фаской.

Согласно ГОСТ на токарные резцы, по таблицам 5П–7П выбираем геометрические параметры резцов: $\gamma_{\phi} = -5^{\circ}$, $\varphi = 45^{\circ}$, $\varphi_1 = 45^{\circ}$; $\gamma = 10^{\circ}$, $\alpha_{\text{черн}} = 8^{\circ}$, $\alpha_{\text{чист}} = 10^{\circ}$, принимаем $\lambda = 0^{\circ}$.

2. Назначение глубины резания

Определяем припуск на сторону: $h_{\text{стор}} = 8/2 = 4$ мм.

При чистовом точении глубину резания принимаем $t_2 = 1$ мм.

Тогда глубина резания t_1 при черновом точении равна:

$$t_1 = h_{\text{стор}} - t_2 = 4 - 1 = 3 \text{ мм.}$$

3. Назначение подачи

При черновой обработке подачу выбираем по таблице 9П в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра заготовки и глубины резания:

$s_{1\tau} = 0,6 \dots 1,2$ мм/об; принимаем 1,2 мм/об, т. к. есть чистовая обработка.

При чистовой обработке подачу выбираем по таблице 10П в зависимости от шероховатости поверхности и радиуса при вершине резца, который принимаем равным 1 мм, $s_{2\tau} = 0,11 \dots 0,16$ мм/об; принимаем 0,2 мм/об.

Выбранные подачи уточняем по паспортным данным станка 1К62, приведенным в приложении. Назначаем следующие подачи $s_{1\phi} = 1,21$ мм/об, $s_{2\phi} = 0,12$ мм/об.

4. Определение скорости резания

4.1. Определение расчетной скорости резания

Расчетную скорость резания, м/мин, определяем по формуле (1.2):

$$v_p = \frac{C_v}{T^m t^x s_{\phi}^y} \times K_v,$$

где C_v – коэффициент, зависящий от условий обработки; для данного примера по

таблице 11П для черновой обработки $C_{v1} = 340$, для чистовой $C_{v2} = 420$; T – стоимость резца, мин; принимаем $T_1 = T_2 = 60$ мин; x , y , m – показатели степени, находим по таблице 11П для черновой и чистовой обработки: для черновой обработки – при $s_{1\phi} = 1,21$ мм/об $x_1 = 0,15$, $y_1 = 0,45$, $m_1 = 0,20$ (при s св. 0,70 мм/об); для чистовой – при $s_{2\phi} = 0,195$ мм/об $x_2 = 0,15$, $y_2 = 0,20$, $m_2 = 0,20$ (при s до 0,30 мм/об); K_v – общий поправочный коэффициент. Для резцов с пластиной из твердого сплава коэффициент K_v равен произведению коэффициентов (1.4):

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{iv} K_{\phi v} K_{ov},$$

где K_{mv} – общий поправочный коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала, по таблице 12П в случае применения резцов, оснащенных твердыми сплавами:

$$K_{mv} = \frac{750}{1000} = 0,75,$$

где K_{nv} – поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки, по табл.14П – при черновой обработке поковок $K_{nv1} = 0,8$, при чистовой обработке – $K_{nv2} = 1$; K_{iv} – поправочный коэффициент, учитывающий материал режущей части, по таблице 15П – для материала режущей части Т5К10 $K_{iv1} = 0,65$, для Т15К6 – $K_{iv2} = 1$; $K_{\phi v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца, по табл.16П – для $\phi = 45^\circ$, $K_{\phi v1} = K_{\phi v2} = 1,0$; K_{ov} – поправочный коэффициент, учитывающий вид обработки, для продольного точения по таблице 17П $K_{ov} = 1,0$.

Общий поправочный коэффициент равен:

для черновой обработки: $K_{v1} = 0,75 \times 0,8 \times 0,65 \times 1,0 \times 1,0 = 0,39$;

для чистовой обработки: $K_{v2} = 0,75 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,75$.

Скорость резания:

при черновой обработке:

$$v_{1p} = \frac{340}{60^{0,2} \times 3^{0,15} \times 1,21^{0,45}} \times 0,39 = \frac{340}{2,267 \times 1,179 \times 1,09} \times 0,39 = 45,51 \text{ м/мин};$$

при чистовой обработке:

$$v_{2p} = \frac{420}{60^{0,2} \times 1^{0,15} \times 0,12^{0,2}} \times 0,75 = \frac{420}{2,267 \times 1 \times 0,65} \times 0,75 = 213,8 \text{ м/мин}.$$

4.2. Определение расчетной частоты вращения шпинделя

Используя формулу (1.5) по расчетной скорости резания определяем частоту вращения шпинделя:

$$\text{при черновой обработке } n_{1p} = \frac{1000v_{1p}}{\pi d_1} = \frac{1000 \times 45,51}{3,14 \times 95} = 152,6 \text{ мин}^{-1};$$

$$\text{при чистовой обработке } n_{2p} = \frac{1000v_{2p}}{\pi d_2} = \frac{1000 \times 213,8}{3,14 \times 89} = 765 \text{ мин}^{-1}.$$

4.3. Определение фактической частоты вращения

Фактическую частоту вращения шпинделя уточняем по паспорту станка.

Для черновой обработки выбираем 11 ступень коробки скоростей $n_{1ф} = 125 \text{ мин}^{-1}$, для чистовой обработки выбираем 20 ступень коробки скоростей $n_{2ф} = 800 \text{ мин}^{-1}$.

4.4. Определение фактической скорости резания

По формуле (1.6) определяем фактическую скорость резания:

$$\text{при черновой обработке } v_{1ф} = \frac{\pi d_1 n_{1ф}}{1000} = \frac{3,14 \times 95 \times 125}{1000} = 37,3 \text{ м/мин};$$

$$\text{при чистовой обработке } v_{2ф} = \frac{\pi d_2 n_{2ф}}{1000} = \frac{3,14 \times 89 \times 800}{1000} = 223 \text{ м/мин}.$$

5. Проверка выбранного режима резания

Выборный режим резания проверяем по мощности привода шпинделя станка, прочности механизма подач, прочности державки резца и по прочности пластинки твердого сплава.

5.1. По мощности привода шпинделя станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p , должна быть меньше или равна мощности на шпинделе $N_{шп}$ (формула 1.7):

$$N_p \leq N_{шп} = N_э \eta,$$

где $N_э$ – мощность электродвигателя токарного станка, кВт, для станка 1К62 $N_э = 10$ кВт; η – КПД привода токарного станка, $\eta = 0,8$ (из паспорта станка).

Мощность резания определяется по формуле (1.8):

$$N_p = \frac{P_{z1} \times v_{1ф}}{1000 \times 60},$$

где P_{z1} – сила резания, Н; $v_{1ф}$ – фактическая скорость резания, м/мин.

Для определения мощности резания определяем силу резания при черновой обработке используя формулу (1.9):

$$P_{z1} = 9,81 C_p t_1^x s_{1ф}^y V_{1ф}^n K_p,$$

где C_p – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, материал режущей части резца, а также условия обработки, для заданных условий по таблице 18П $C_p = 300$; K_p – общий поправочный коэффициент, определяемый по формуле (1.10). В случае обработки резцами, оснащенными твердым сплавом:

$$K_p = K_{mp} \times K_{фp} \times K_{γp} \times K_{λp},$$

где K_{mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала, определяется по таблице 19П:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75} = 1,24,$$

где $K_{фp}$ – поправочный коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца, по таблице 20П $K_{фp} = 1,0$; $K_{γp}$ – поправочный коэффициент, учитывающий передний угол резца, по таблице 20П $K_{γp} = 1,25$; $K_{λp}$ – поправочный коэффициент, учитывающий угол наклона главного лезвия, по таблице 20П $K_{λp} = 1,0$.

Общий поправочный коэффициент равен:

$$K_p = 1,24 \times 1,0 \times 1,25 \times 1,0 = 1,55.$$

Показатели степени x , y и n принимаем по таблице 18П для черновой обработки: $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = -0,15$.

Сила резания при черновом точении:

$$P_{z1} = 9,81 \times 300 \times 3^1 \times 1,21^{0,75} \times 37,3^{-0,15} \times 1,55 = 9178 \text{ Н.}$$

Мощность резания:

$$N_p = \frac{9178 \times 37,3}{1000 \times 60} = 5,7 \text{ кВт.}$$

Мощность на шпинделе равна:

$$N_{шп} = 10 \times 0,8 = 8 \text{ кВт.}$$

Так как $N_p < N_{шп}$ ($5,7 < 8$ кВт), выбранный режим резания удовлетворяет условию по мощности на шпинделе станка.

5.2. По прочности механизма продольной подачи станка

Осевая сила P_x должна быть меньше или равна наибольшему усилию, допускаемому механизмом продольной подачи станка (1.12):

$$P_x \leq P_{\text{хдоп}},$$

где P_x – осевая сила резания, Н, принимаем $P_x = 0,35P_z$; $P_{\text{хдоп}}$ – наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи станка, Н. По паспортным данным станка 1К62 наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи станка, равно 3600 Н.

Осевая сила $P_x = 0,35 \times 9178 = 3212$ Н.

Так как ($3212 < 3600$ Н), выбранный режим резания удовлетворяет условию прочности механизма продольной подачи станка.

5.3. По прочности державки резца

Условие по прочности державки резца выражается формулой (1.13):

$$\sigma_{\text{изг}} \leq [\sigma_{\text{изг}}],$$

где $\sigma_{\text{изг}}$ – наибольшее напряжение в теле резца, зависящее от воспринимаемой нагрузки, материала крепежной части резца и размеров ее поперечного сечения (1.14)

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}} \ell}{W},$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, Н·м; ℓ – вылет резца из резцедержателя, м, вылет резца принимаем $\ell = 1,5H$ (H – высота державки резца, $H = 25$ мм); W – осевой момент сопротивления или момент сопротивления при изгибе, м³ (для прямоугольного сечения $W = BH^2/6$); $[\sigma_{\text{изг}}]$ – допускаемое напряжение для державки резца, МПа (для стали $[\sigma_{\text{изг}}] = 200\text{--}250$ МПа. Принимаем $[\sigma_{\text{изг}}] = 220$ МПа.

Тогда напряжение в теле резца определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{P_z \ell}{W} = \frac{6P_z \ell}{BH^2} = \frac{9P_z}{BH} = \frac{9 \times 9178}{16 \times 25} = 206 \text{ МПа.}$$

Так как $206 < 220$ МПа, выбранный режим резания удовлетворяет условию по прочности державки резца.

5.4. По прочности пластинки твердого сплава

Условие прочности пластинки твердого сплава резца выражается формулой (1.15):

$$P_z < [P_z],$$

где P_z – фактическая сила резания, Н, $P_z = 9178$ Н; $[P_z]$ – значение силы резания, допускаемое прочностью пластинки твердого сплава в зависимости от ее толщины (в миллиметрах). В соответствии с таблицей 21П толщину пластинки твердого сплава следует брать не менее 8 мм.

6. Расчет времени выполнения операции

6.1. Расчет основного времени

Основное время T_o на изменение формы и размеров заготовки определяем по формуле (1.17):

$$T_o = \frac{Li}{ns},$$

где L – длина рабочего хода резца, мм,

$$L = \ell + \ell_1 + \ell_2 + \ell_3,$$

где ℓ – длина обрабатываемой поверхности, мм, $\ell = 140$ мм; ℓ_1 – длина пути врезания, мм, $\ell_1 = t \operatorname{ctg} \varphi + (0,5 \dots 2) = 3 \operatorname{ctg} 45^\circ + 2 = 5$ мм; ℓ_2 – длина перебега резца, мм, $\ell_2 = 1 \dots 3$ мм, принимаем $\ell_2 = 3$ мм; ℓ_3 – длина пути для снятия пробных стружек, мм. В массовом производстве при работе на настроенных станках ℓ_3 не учитывается; i – число рабочих ходов резца, $i = 1$.

Основное время при черновой и чистовой обработке соответственно равно:

$$T_{o1} = \frac{Li}{n_{1\phi} s_{1\phi}} = \frac{(140 + 5 + 3) \times 1}{125 \times 1,21} = 0,98;$$

$$T_{o2} = \frac{Li}{n_{2\phi} s_{2\phi}} = \frac{(140 + 5 + 3) \times 1}{630 \times 0,195} = 1,2 \text{ мин.}$$

Таким образом, основное время равно – $T_o = 0,98 + 1,2 = 2,18$ мин.

6.2. Расчет штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию (1.16):

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{обс} + T_{пер},$$

где $T_{всп}$ – вспомогательное время, мин:

– время на установку и снятие детали, по таблице 22П – 1,10 мин;

– время на рабочий ход, по таблице 23П принимаем 0,5 мин;

– время на измерение детали, по таблице 24П принимаем 0,16 мин.

$$T_{всп} = 1,10 + 0,5 + 0,16 = 1,66 \text{ мин.}$$

Оперативное время (1.18)

$$T_{оп} = T_o + T_{всп} = 2,18 + 1,66 = 3,84 \text{ мин.}$$

Время обслуживания рабочего места $T_{обс} = (3...8 \%)T_{оп}$, принимаем

$T_{обс} = 4 \% T_{оп}$; время перерывов в работе $T_{пер} = (4...9 \%)T_{оп}$, $T_{пер} = 6 \% T_{оп}$.

Штучное время $T_{шт} = 2,18 + 1,66 + 0,04 \cdot 3,84 + 0,06 \cdot 3,84 = 4,22 \text{ мин.}$

7. Расчет потребности в оборудовании

Расчетное количество станков z для выполнения определенной операции определяем по формуле (1.20)

$$z = \frac{T_{шт} \cdot \Pi}{T_{см} \cdot 60},$$

где Π – программа выпуска деталей в смену, шт., $\Pi = 450$ шт; $T_{см}$ – время работы станка в смену, ч, $T_{см} = 8$ ч,

$$z = \frac{4,22 \times 450}{8 \times 60} = 3,956 \text{ станка.}$$

Принимаем 4 станка.

8. Техничко-экономическая эффективность

8.1. Коэффициент основного времени

Коэффициент основного времени определяем по формуле (1.21)

$$K_o = T_o / T_{шт} = 2,18 / 4,22 = 0,52.$$

Данные говорят о том, что при выполнении операции точения относительно много времени отводится для вспомогательных действий, поэтому следует провести организационные или технологические мероприятия по механизации процессов, сокращению вспомогательного времени и др.

8.2. Коэффициент использования станка по мощности

Коэффициент использования станка по мощности K_N определяем по формуле (1.22)

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ст} \times \eta},$$

где N_p – мощность резания, кВт, $N_p = 5,7$ кВт; $N_{ст}$ – мощность главного привода станка, кВт, $N_{ст} = 10$ кВт; η – КПД станка, $\eta = 0,8$:

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ст} \times \eta} = \frac{5,7}{10 \times 0,8} = 0,71,$$

В нашем случае коэффициент использования станка по мощности достаточно высок, так как чем ближе K_N к 1, тем более полно используется мощность станка.

ГЛАВА 2. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Фрезерование является одним из наиболее распространенных и высокопроизводительных способов механической обработки резанием. Фрезерованием обрабатываются горизонтальные, вертикальные, наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля.

Особенностью процесса резания при фрезеровании является то, что зубья фрезы не находятся в постоянном контакте с обрабатываемой поверхностью. Каждое лезвие фрезы последовательно вступает в процесс резания, при этом толщина срезаемого слоя изменяется от наибольшего значения до наименьшего, или наоборот. Одновременно в процессе резания могут участвовать несколько режущих кромок.

Фрезы представляют собой многолезвийный инструмент, лезвия которого расположены последовательно в направлении главного движения резания, предназначенные для обработки с вращательным главным движением резания без изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения.

Наиболее часто для обработки плоских поверхностей деталей применяют торцовые, цилиндрические и концевые фрезы.

1. Фрезерование торцовыми фрезами

1.1. Конструкция торцовых фрез

Торцовые фрезы бывают: *по конструкции* – цельные, составные, сборные, насадные, хвостовые; *по применяемому материалу режущей кромки* – быстрорежущие и твердосплавные; *по расположению лезвий* – периферийные, торцовые и периферийно-торцовые;

по направлению вращения – право- и леворежущие.

На фрезерных станках торцовыми фрезами обрабатывают горизонтальные, вертикальные; наклонные плоскости и скосы; комбинированные поверхности (рисунок 2.1).

Горизонтальные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами (рисунок 2.1а) на вертикально-фрезерных станках. Обработка торцовыми фрезами предпочтительнее, чем цилиндрическими, поскольку у торцовой фрезы одновременно в резании участвует большее количество зубьев.

Вертикальные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами на горизонтально-фрезерных (рисунок 2.1б) и вертикально-фрезерных станках (рисунок 2.1д).

Наклонные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами на вертикально-фрезерных станках с поворотом оси шпинделя на угол наклона плоскости (рисунок 2.1в, г).

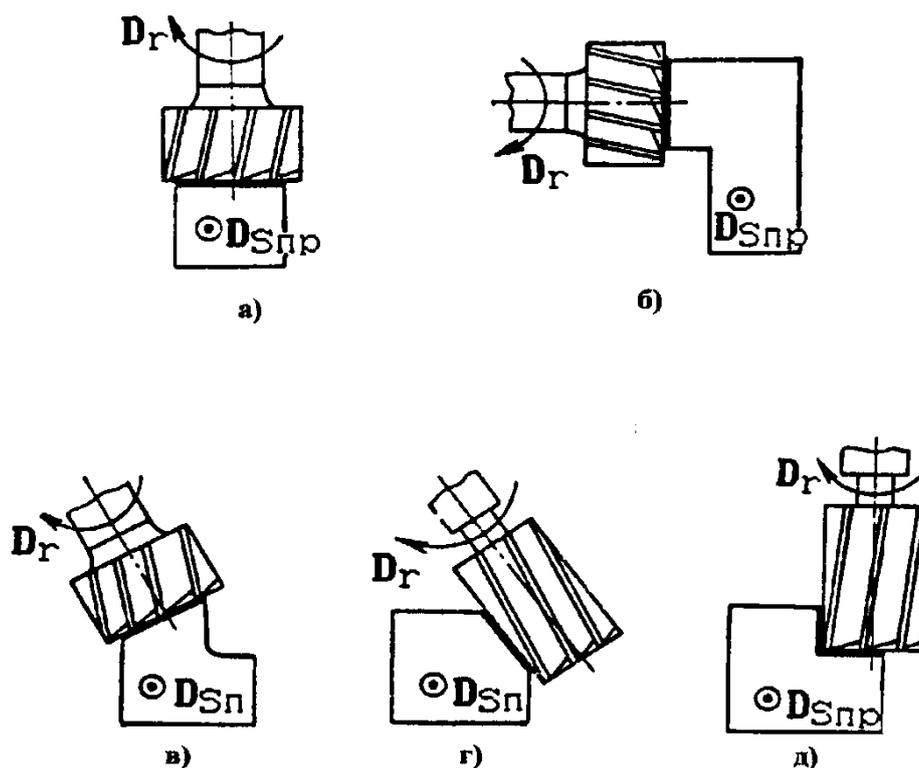


Рисунок 2.1- Схемы обработки поверхностей заготовок торцовыми фрезами: а – горизонтальной плоскости на вертикально-фрезерном станке; б – вертикальной плоскости на горизонтально-фрезерном станке; в и г – наклонной плоскости на вертикально-фрезерном станке; д – уступа на вертикально-фрезерном станке

1.2. Основные типы и геометрия торцовых фрез

Конструкции торцовых фрез стандартизованы, и их основные типы приведены в таблице 1 приложений.

В большинстве случаев для обработки открытых и углубленных плоскостей применяют торцовые фрезы, имеющие периферийные лезвия, т. е. работающие по принципу периферийно-торцовых.

Зуб торцовой фрезы имеет режущее лезвие сложной формы, состоящее из главной (1), переходной (2) и вспомогательной (3) режущих кромок (рисунок 2.2).

При обработке плоскостей этими фрезами основную работу по удалению припуска выполняют главные режущие кромки. Режущие кромки, расположенные на торце, производят зачистку поверхности, поэтому шероховатость обработанной поверхности получается ниже, чем при фрезеровании цилиндрическими фрезами.

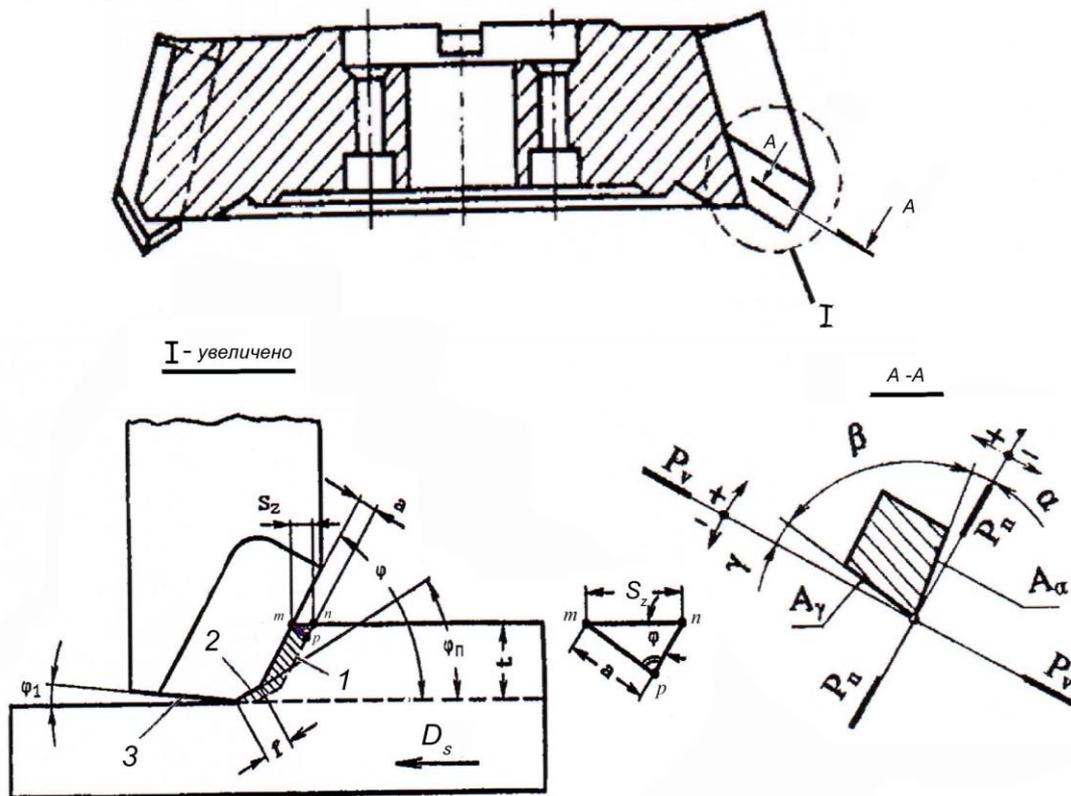


Рисунок 2.2 – Торцовая фреза: геометрические элементы: φ – главный угол в плане, φ_n – угол в плане переходной режущей кромки, φ_1 – вспомогательный угол в плане; **элементы резания:** D_r – главное движение резания, D_s – движение подачи, s_z – подача на зуб, t – глубина резания, a – толщина срезаемого слоя одним зубом, f – переходная режущая кромка (фаска); **координатные плоскости:** P_v – основная, P_n – резания

Из геометрических параметров торцовой фрезы рассматривают следующие углы (в статической системе координат).

В основной плоскости P_v рассматривают углы в плане: главный угол в плане φ , вспомогательный угол в плане φ_1 , угол в плане переходной режущей кромки $\varphi_{п}$ и угол вершины ε . Главный угол в плане φ – это угол между рабочей плоскостью P_s и плоскостью резания P_n . При $\varphi = 0^\circ$ режущая кромка становится торцовой, а при $\varphi = 90^\circ$ – периферийной.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – это угол между рабочей плоскостью P_s и вспомогательной плоскостью резания, P_n' он составляет $5...10^\circ$, а угол в плане переходной режущей кромки $\varphi_{п}$ – половину главного угла в плане. Переходное режущее лезвие увеличивает прочность зуба.

С уменьшением главного угла в плане при постоянных подаче на зуб и глубине резания толщина среза уменьшается, а ширина увеличивается, вследствие чего стойкость фрезы повышается. Однако при работе фрезы с малым углом в плане ($\varphi \leq 20^\circ$) происходит увеличение радиальной и осевой составляющих сил резания, что при недостаточно жесткой системе станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД) приводит к вибрациям обрабатываемой заготовки и станка. Поэтому для торцовых твердосплавных фрез при жесткой системе СПИД и при глубине резания $t = 3...4$ мм принимают угол $\varphi = 10...30^\circ$. При нормальной жесткости системы $\varphi = 45...60^\circ$; обычно принимают $\varphi = 60^\circ$. Вспомогательный угол в плане φ_1 у торцовых фрез принимают равным $2...10^\circ$. Чем меньше этот угол, тем меньше шероховатость обработанной поверхности.

В главной секущей плоскости P_t рассматривают углы: передний γ и главный задний α . Передний угол γ – это угол между основной плоскостью P_v и передней поверхностью A_γ , главный задний угол α – это угол между плоскостью резания P_n и главной задней поверхностью A_α .

В плоскости резания рассматривают угол наклона главной режущей кромки λ – угол между режущей кромкой и основной плоскостью P_v . Угол λ оказывает влияние на прочность зуба и стойкость фрезы. У торцовых твердосплавных фрез угол λ рекомендуется выполнять в пределах от 0 до $+15^\circ$ при обработке стали и от -5 до $+15^\circ$ при обработке чугуна.

1.3. Выбор торцовой фрезы

Выбор конструкции фрезы

При выборе конструкции фрезы предпочтительным является применение сборных конструкций фрез с неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава. Механическое крепление пластин дает возможность их поворота с целью обновления режущей кромки и использования фрезы без переточки. После полного износа пластина заменяется новой. Завод-изготовитель снабжает каждую фрезу 8...10 комплектами запасных пластин. Весь комплект пластин можно заменить непосредственно на станке, при этом затраты времени на замену 10...12 ножей не превышают 5...6 мин.

Выбор материала режущей части

Фрезы для работы при невысоких скоростях резания и малых подачах изготавливают из быстрорежущих и легированных сталей марок P18, ХГ, ХВ9, 9ХС, ХВГ, ХВ5. Фрезы для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей и сталей изготавливают из быстрорежущих сталей марок P9K5, P9K10, P18Ф2, P18K5Ф2, а при фрезеровании с ударами – из стали марки P10K5Ф5.

Марки твердых сплавов выбирают в зависимости от обрабатываемого материала и характера обработки (таблица 6). Для чистовой обработки применяют твердый сплав с меньшим содержанием кобальта и большим содержанием карбидов (BK2, BK3 T15K6 и др.), а для черновой обработки – с большим содержанием кобальта, который придает определенную пластичность инструментальному материалу и способствует лучшей работе при неравномерных и ударных нагрузках (BK8, BK10, BK10-OM, T5K10 и др.).

Выбор типа и диаметра торцовой фрезы

Тип и диаметр торцовой фрезы выбирают исходя из условий обработки по таблицам 1...3 приложений. Параметры фрезы определяются размерами обрабатываемой поверхности и толщиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы, для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала, выбирают с учетом жесткости технологической системы, схемы резания, формы и размеров обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании для достижения режимов резания, обеспечивающих наибольшую производительность, диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B :

$$D = (1,25...1,5)B \quad (2.1)$$

Выбор геометрических элементов

Рекомендуемые значения геометрических элементов режущей части торцовых фрез с пластинами из твердого сплава приведены в таблице 7, а из быстрорежущей стали P18 – в таблице 8 приложений.

1.4. Выбор схемы торцового фрезерования

Схема фрезерования определяется по расположению оси торцовой фрезы относительно средней линии обрабатываемой поверхности (рисунок 2.3). Различают симметричное и несимметричное фрезерование.

Симметричным называют такое фрезерование, при котором ось торцовой фрезы проходит через среднюю линию обрабатываемой поверхности (рисунок 2.3а). Различают симметричное торцовое фрезерование полное, когда диаметр фрезы D_f равен ширине обрабатываемой поверхности B , и неполное, когда D_f больше B (рисунок 2.3а).

При несимметричном фрезеровании ось торцовой фрезы смещена относительно средней линии обрабатываемой поверхности. Несимметричное фрезерование может быть встречным или попутным.

При несимметричном встречном торцовом фрезеровании (рисунок 2.3б) толщина срезаемого слоя «а» изменяется от некоторой небольшой величины (зависящей от величины смещения) до наибольшей a_{\max} , равной s_z , а затем несколько уменьшается. Смещение зуба фрезы за пределы обрабатываемой поверхности со стороны зуба, начинающего резание, обычно принимается в пределах $C_1 = (0,03...0,05)D$.

При несимметричном попутном торцовом фрезеровании (рисунок 2.3в) зуб фрезы начинает работать с толщиной среза близкой к максимальной. Смещение зуба фрезы за пределы обрабатываемой поверхности со стороны зуба, заканчивающего резание, принимается незначительным, близким к нулю, $C_2 \approx 0$.

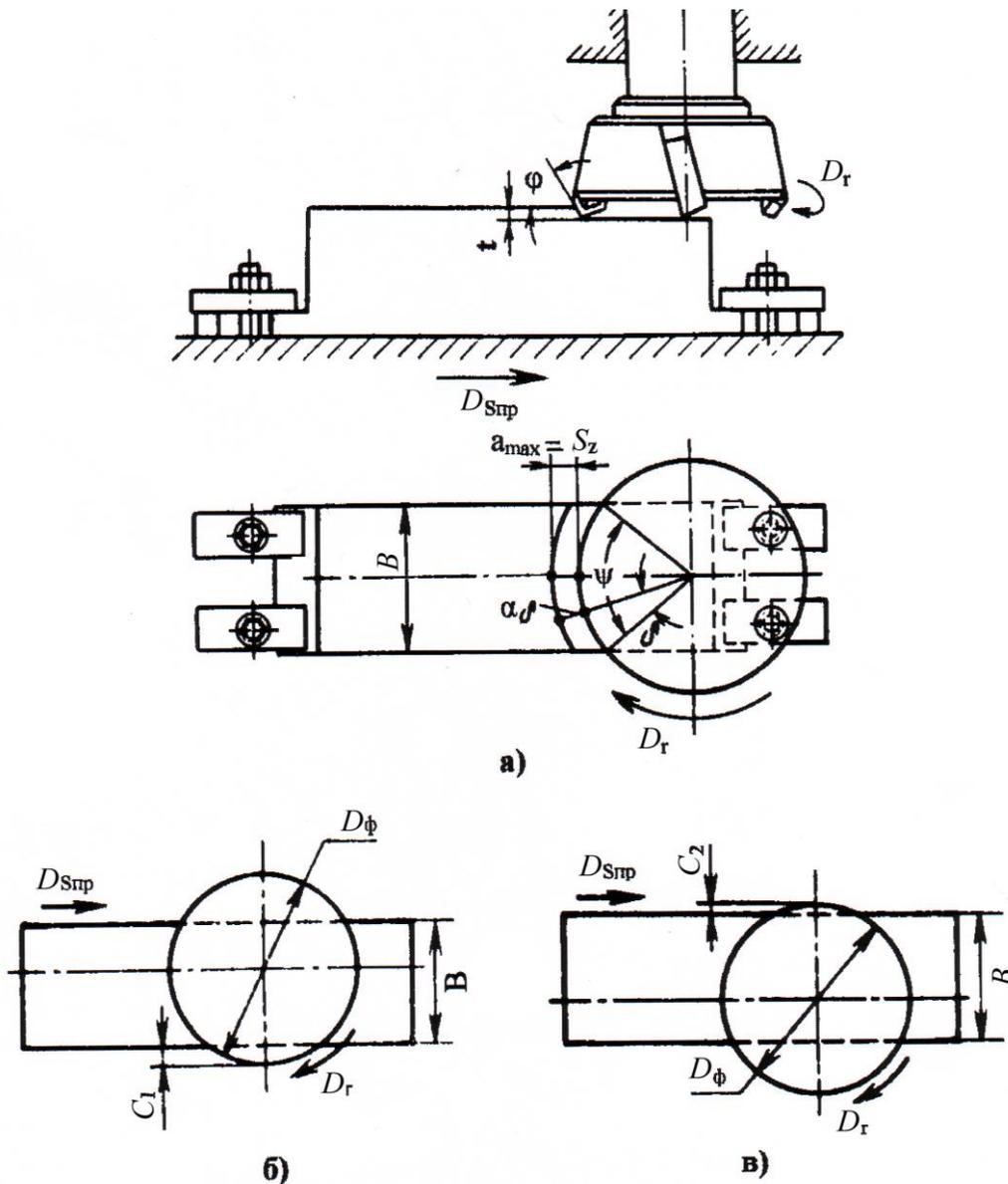


Рисунок 2.3 – Схемы торцевого фрезерования: *а* – симметричное неполное; *б* – несимметричное встречное; *в* – несимметричное попутное; D_r – главное движение резания; $D_{спр}$ – движение продольной подачи; B – ширина фрезерования; D_ϕ – диаметр фрезы; C_1, C_2 – значение смещения зуба

При обработке чугунных заготовок во многих случаях диаметр фрезы меньше ширины обрабатываемой поверхности, поскольку чугунные заготовки ввиду хрупкости чугуна, особенно при изготовлении корпусных деталей, выполняются больших габаритов.

Торцовое фрезерование чугунных заготовок при $B < D_\phi$ рекомендуется проводить при симметричном расположении фрезы.

При торцовом фрезеровании стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы, при этом:

для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей и заготовок с коркой (черновое фрезерование) сдвиг заготовок – в направлении врезания зуба фрезы (встречное фрезерование), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя;

для заготовок из жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и при чистовом фрезеровании сдвиг заготовки – в сторону выхода зуба фрезы из резания (попутное фрезерование), чем обеспечивается выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя.

Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости фрезы.

2. Фрезерование цилиндрическими фрезами

2.1. Выбор цилиндрической фрезы

Область применения цилиндрических фрез и их стандартные размеры приведены в таблицах 4 и 5.

Выбор типа и диаметра фрезы

Тип цилиндрической фрезы выбирают исходя из условий обработки по таблицам 4 и 5. Параметры фрезы определяются размерами обрабатываемой поверхности и толщиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы выбирают с учетом жесткости технологической системы, схемы резания, формы и размеров обрабатываемой заготовки, а также от диаметра посадочного отверстия. Соотношение между диаметрами представлено выражением

$$D = (1,6 \dots 2,5)d \quad (2.2)$$

где d – диаметр отверстия фрезы; D – наружный диаметр фрезы.

Выбор материала режущей части

Материал режущей части выбирается так же, как и для торцовых фрез.

Выбор геометрических элементов

У цилиндрической фрезы (рисунок 2.4) различают следующие элементы лезвия: переднюю поверхность лезвия A_γ (1), главную режущую кромку K (2), фаску f (3), главную заднюю поверхность лезвия A_α (4), корпус фрезы (6), зуб фрезы (7), спинку зуба (5).

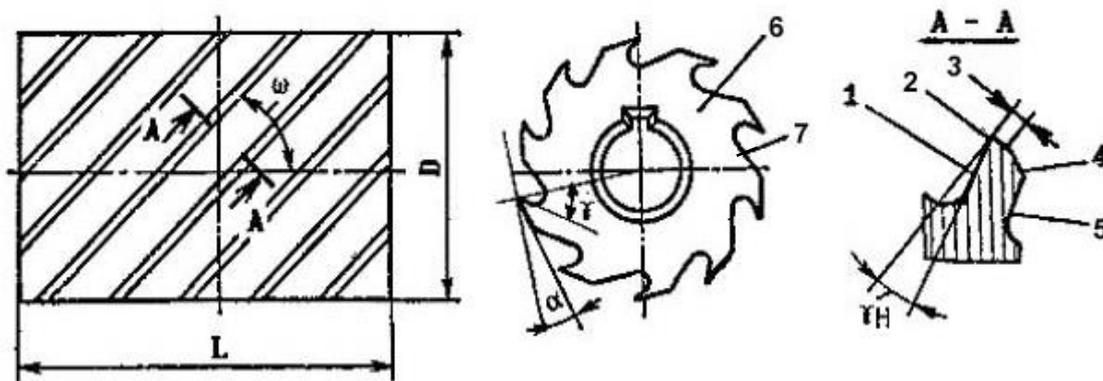


Рисунок 2.4 – Элементы лезвия цилиндрической фрезы

Элементы лезвия фрезы, среди которых γ , α – передний и задний углы в главной секущей плоскости, γ_H – передний угол в нормальной секущей плоскости, ω – угол наклона зуба, рассматриваются в координатных плоскостях в статической системе координат.

Передний угол γ облегчает образование и сход стружки, главный задний угол α способствует уменьшению трения задней поверхности по обработанной поверхности заготовки. У незатылованных зубьев передний угол выполняется в пределах $\gamma = 10...30^\circ$, задний угол $\alpha = 10...15^\circ$ в зависимости от обрабатываемого материала.

Угол наклона зубьев ω обеспечивает более плавное вхождение лезвия в процесс резания по сравнению с прямыми зубьями и придает определенное направление сходу стружки.

2.2. Выбор способа фрезерования

При обработке цилиндрическими фрезами рассматривают два способа обработки (рисунок 2.5) в зависимости от направления движения подачи заготовки:

- встречное фрезерование, когда направление главного движения фрезы D_T противоположно направлению движения подачи D_S (рисунок 2.5а);
- попутное фрезерование, когда направление главного движения фрезы D_T совпадает с направлением движения подачи D_S (рисунок 2.5б).

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума, силы, действующие на заготовку, стремятся оторвать ее от стола, а стол поднять. Это увеличивает зазоры в системе

СПИД, вызывает вибрации, ухудшает качество обработанной поверхности. Этот способ применим для обработки заготовок с коркой – резание из-под корки значительно облегчает резание. Недостатком такого способа является большое скольжение лезвия по предварительно обработанной и наклепанной поверхности. При наличии некоторого округления режущей кромки она не сразу вступает в процесс резания, а вначале проскальзывает, вызывая большое трение и износ инструмента по задней поверхности.

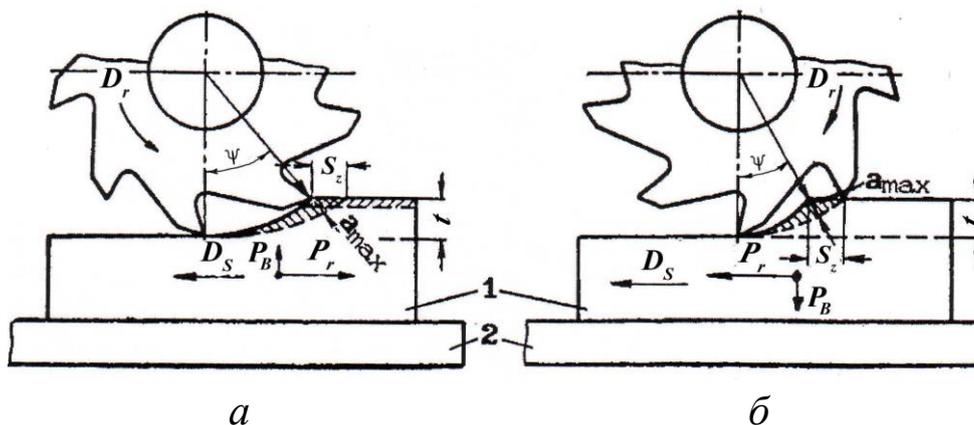


Рисунок 2.5- Схемы встречного (а) и попутного (б) цилиндрического фрезерования: 1 – обрабатываемая заготовка; 2 – стол станка; a_{\max} – наибольшая толщина срезаемого слоя; s_z – подача на зуб фрезы; t – глубина резания; P_r , P_B – силы, действующие на заготовку соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях; ψ – угол контакта

Чем меньше толщина срезаемого слоя, тем больше относительная величина проскальзывания, тем большая часть мощности резания расходуется на вредное трение.

При попутном фрезеровании этого недостатка нет, но зуб начинает работу с наибольшей толщины срезаемого слоя, что вызывает большие ударные нагрузки, однако исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость поверхности. Силы, действующие на заготовку, прижимают ее к столу, а стол – к направляющим станины, что уменьшает вибрации и повышает точность обработки.

При фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой осевая составляющая силы резания отсутствует, а равнодействующую можно разложить на главную P_z и радиальную P_y составляющие или на вертикальную P_B и горизонтальную P_r .

По горизонтальной составляющей рассчитывают механизм подачи станка на прочность, вертикальная составляющая – это сила прижатия фрезы к заготовке. Главная составляющая силы резания создает момент сопротивления резанию, который должен быть преодолен крутящим моментом на шпинделе станка. Радиальная и главная составляющие изгибают оправку, помимо этого оправка испытывает упругие деформации.

При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовым зубом (рисунок 2.6) возникает осевая составляющая силы резания P_x , величина которой стремится сдвинуть фрезу с оправки или прижимает к буртику шпинделя, а также оказывает воздействие на крепежные приспособления, на ходовой винт поперечной подачи станка и на его направляющие. Для уравнивания этой силы применяют набор фрез с разным направлением наклона зубьев (рисунок 2.7).

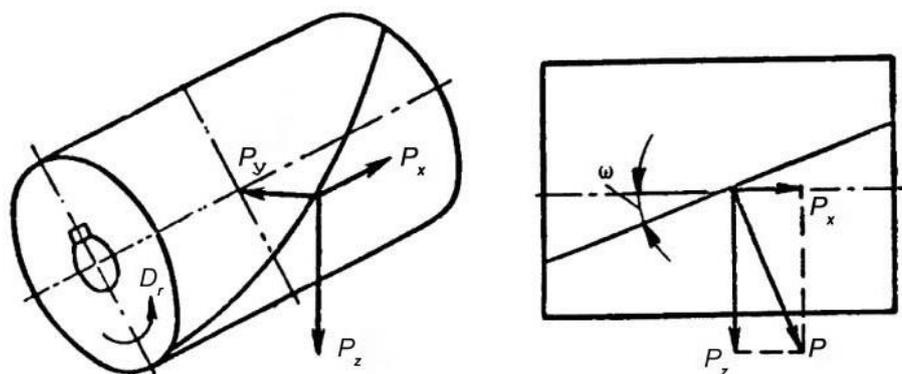


Рисунок 2.6 – Схема сил при работе цилиндрической фрезой с косым (винтовым) зубом

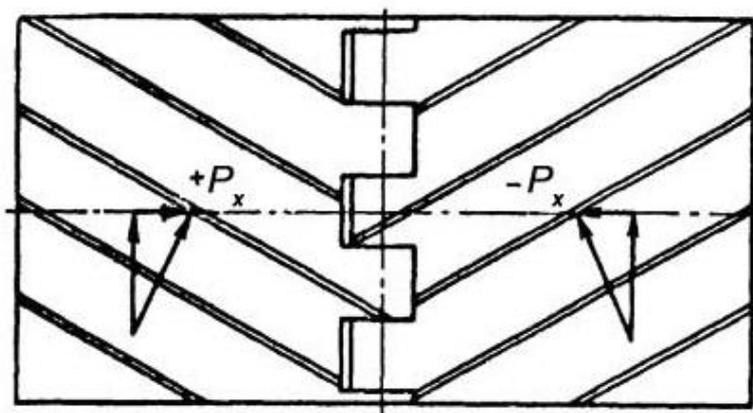


Рисунок 2.7 – Набор фрез с разным направлением наклона зубьев для уравнивания осевой силы

3. Методика назначения рационального режима резания

3.1. Назначение глубины резания

Глубина резания t определяется как расстояние между точками обрабатываемой и обработанной поверхностей, находящимися в плоскости резания и измеренное в направлении, перпендикулярном направлению движения подачи.

Глубину резания выбирают в зависимости от припуска на обработку, мощности и жесткости станка. Надо стремиться вести фрезерование за один рабочий ход, если это позволяет мощность станка. Обычно глубина резания составляет 1...5 мм.

При выборе числа рабочих ходов i необходимо учитывать требования по шероховатости обработанной поверхности:

черновое фрезерование – $R_a = 12,5...6,3$ мкм (3–4 класс);

чистовое фрезерование – $R_a = 3,2...1,6$ мкм (5–6 класс);

тонкое фрезерование – $R_a = 0,8...0,4$ мкм (7–8 класс).

Число рабочих ходов i при черновой обработке определяют по величине припуска и мощности станка. При чистовой обработке число рабочих ходов определяется требованиями к шероховатости поверхности.

При чистовой обработке глубину резания принимают в пределах 0,75...2 мм. Независимо от высоты микронеровностей глубина резания не может быть меньше $t = 0,5...0,7$ мм, так как режущая кромка имеет некоторый радиус округления ρ , который по мере износа инструмента увеличивается, и при малой глубине резания материал поверхностного слоя подминается, подвергается пластическому деформированию. В этом случае резание не происходит.

При глубине резания, большей 3...4 мм, применяют фрезы с шести-, пяти- и четырехгранными пластинами. При малой глубине резания целесообразно применять фрезы с круглыми пластинами.

В производственных условиях при необходимости проведения черновой и чистовой обработки выполняют две отдельные операции фрезерования. Это вызвано следующими соображениями.

Черновую и чистовую обработку проводят фрезами с различным материалом и геометрией режущей части фрезы, при разных скоростях резания. Объединение их в одну операцию вызвало бы неоправданные затраты времени на переналадку станка.

Черновая обработка сопровождается большими вибрациями, неравномерными и знакопеременными нагрузками. Это, в свою очередь, приводит к быстрому износу узлов станка и потере точности обработки, что недопустимо при чистовой обработке.

При черновой обработке образуется много стружки, а также абразивной пыли, что требует специальных мер по удалению отходов. Как правило, станки для черновой обработки находятся обособленно от станков, выполняющих окончательную обработку – чистовую и тонкую.

3.2. Назначение подачи

Подача при фрезеровании – это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой заготовки в направлении движения подачи, к числу оборотов фрезы (или к части оборота), соответствующей угловому шагу зубьев. Таким образом, при фрезеровании рассматривают подачу на оборот s_o (мм/об) – перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее одному обороту фрезы, и подача на зуб s_z (мм/зуб) – перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее повороту фрезы на один угловой шаг зубьев.

Помимо этого рассматривают скорость движения подачи v_s (ранее определялась как минутная подача s_m), измеряемая в мм/мин. Эта величина используется на станках для наладки на необходимый режим, поскольку у фрезерных станков движение подачи и главное движение резания кинематически не связаны между собой.

Применение соотношения скоростей подачи и резания помогает правильно определить величины s_o и s_z используя следующие зависимости:

$$s_o = s_z z; v_s = s_o n = s_z z n, \quad (2.3)$$

где z – число зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Исходной величиной при черновом фрезеровании является подача на один зуб s_z , так как она определяет жесткость зуба фрезы. Подачу при черновой обработке выбирают максимально возможной. Ее величина может быть ограничена прочностью механизма подачи станка, прочностью зуба фрезы, жесткостью системы СПИД, прочностью и жесткостью оправки и по другим соображениям.

При чистовом фрезеровании определяющей является подача на один оборот фрезы s_o , которая влияет на шероховатость поверхности.

Ширина фрезерования B , мм – величина обрабатываемой поверхности, измеренная в направлении, параллельном оси фрезы – при периферийном фрезеровании, и перпендикулярном к направлению движения подачи – при торцовом фрезеровании. Ширина фрезерования определяется наименьшей из двух значений: ширины обрабатываемой заготовки и длины или диаметра фрезы.

3.3. Назначение скорости резания

Скорость резания при фрезеровании v определяется как линейная скорость точки фрезы, м/мин. Действительная скорость резания определяется по формуле

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (2.4)$$

где D – диаметр фрезы по наиболее удаленной от оси вращения точке режущей кромки, мм; n – частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Допустимая (расчетная) скорость резания v_p , м/мин, определяется по эмпирической формуле

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v, \quad (2.5)$$

где C_v – коэффициент, характеризующий условия обработки (таблица 14); T – стойкость фрезы, мин (таблица 15 и 18); t – глубина резания, мм; s_z – подача на зуб, мм/зуб (таблица 9, 10 и 11); z – число зубьев фрезы; B – ширина фрезерования, мм; q, m, x, y, u, p – показатели степени (таблица 14); K_v – общий поправочный коэффициент на измененные условия обработки.

Эмпирические формулы учитывают постоянство некоторых факторов. В данном случае ими являются физико-механические свойства заготовки и материала режущей части инструмента, геометрические параметры инструмента и т. д. В каждом конкретном случае эти параметры меняются. Для учета этих изменений и вводится общий поправочный коэффициент K_v , который представляет собой произведение отдельных поправочных коэффициентов, каждый из которых отражает изменение, относительно исходных, отдельных параметров:

$$K_v = K_{\mu v} \times K_{nv} \times K_{uv} \times K_{\phi v}, \quad (2.6)$$

где $K_{\mu v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала (таблицы 16 и 17); K_{nv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхностного слоя заготовки (таблица 19); K_{uv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала (таблица 20); $K_{\phi v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий величину главного угла в плане ϕ (таблица 21).

Зная допустимую скорость резания v_p , определяют расчетную частоту вращения фрезы n_p :

$$n_p = \frac{1000 \times v_p}{\pi D}, \quad (2.7)$$

где n_p – расчетная частота вращения фрезы, мин^{-1} ; D – диаметр фрезы, мм.

По паспорту станка (таблицы 27 и 28) выбирают такую ступень скорости, при которой фактическая (устанавливаемая на станке) частота вращения фрезы n_ϕ будет равна или меньше расчетной, т. е.

$$n_\phi \leq n_p, \quad (2.8)$$

По выбранной частоте вращения шпинделя станка уточняют фактическую скорость резания

$$v_\phi = \frac{\pi D n_\phi}{1000}, \quad (2.9)$$

и определяют скорость движения подачи (минутную подачу):

$$v_s(s_M) = s_z \times z \times n_\phi = s_o \times n_\phi, \text{ мм/мин.} \quad (2.10)$$

Затем по паспорту станка выбирают подходящее значение v_s – ближайшее меньшее или равное расчетной величине.

3.4. Проверка выбранного режима резания

Проверку выбранного режима резания можно осуществить 2 способами: 1 – по расчетным формулам (способ является предпочтительным); 2 – по номограмме (графику на рисунке 2.8).

3.4.1. Проверка выбранного режима резания по формулам

Выбранный режим резания проверяют по характеристикам станка: мощности на шпинделе станка и максимально допустимому усилию, прилагаемому к механизму подачи.

Проверка по мощности на шпинделе станка

Мощность, затрачиваемая на резание, должна быть меньше или равна мощности на шпинделе:

$$N_p \leq N_{\text{шп}}, \quad (2.11)$$

где N_p – эффективная мощность резания, кВт; $N_{\text{шп}}$ – допустимая мощность на шпинделе, определяемая по мощности привода, кВт.

Приводом станка является совокупность механизмов от источника движения до рабочего органа. Приводом главного движения резания является совокупность механизмов от электродвигателя до шпинделя станка, а его мощность определяют исходя из мощности электродвигателя и потерь в механизмах.

Мощность на шпинделе определяют по формуле

$$N_{\text{шп}} = N_3 \eta, \quad (2.12)$$

где N_3 – мощность электродвигателя привода главного движения резания, кВт; η – КПД механизмов привода станка, $\eta = 0,7 \dots 0,8$.

Мощность резания при фрезеровании определяют по формуле

$$N = \frac{M_{\text{кр}} n_{\text{ф}}}{9750}, \quad (2.13)$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент на шпинделе, Нм; $n_{\text{ф}}$ – фактическая частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Крутящий момент на шпинделе станка определяют по формуле:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z D}{2 \times 1000}, \quad (2.13)$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; D – диаметр фрезы, мм.

Главную составляющую силы резания P_z при фрезеровании определяют по формуле

$$P_z = \frac{9,81 C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_p, \quad (2.15)$$

где C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; значения коэффициента C_p и показателей степеней x, y, u, q, w приведены в таблице 22; K_p – общий поправочный коэффициент, представляющий собой произведение коэффициентов, отражающих состояние отдельных параметров, влияющих на значения силы резания:

$$K_p = K_{\mu p} \times K_{v p} \times K_{\gamma p} \times K_{\varphi p}, \quad (2.16)$$

где $K_{\mu p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала (таблица 23); $K_{v p}$ – коэффициент, учитывающий скорость резания (таблица 24); $K_{\gamma p}$ – коэффициент, учитывающий значение переднего угла γ (таблица 25); $K_{\varphi p}$ – коэффициент, учитывающий значение угла в плане φ (таблица 25).

Если условие $N_p \leq N_{\text{шп}}$ не выполняется, то необходимо уменьшить скорость резания или изменить другие параметры резания.

Проверка по прочности механизма подачи

При фрезеровании важно представление силы резания по вертикальной P_v и горизонтальной P_r составляющим. Горизонтальная составляющая силы резания P_r представляет собой силу, которую необходимо приложить для обеспечения движения подачи, она должна быть меньше (или равна) наибольшей силы, допускаемой механизмом продольной подачи станка $P_{\text{доп}}$:

$$P_r \leq P_{\text{доп}}.$$

Для разных видов фрезерования P_r определяют по таблице 26; $P_{\text{доп}}$ берут из паспортных данных станков (таблицы 27 и 28).

Если условие $P_r \leq P_{\text{доп}}$ не выдерживается, необходимо уменьшить силу резания P_z за счет уменьшения подачи на зуб s_z и, соответственно, скорости движения подачи v_s .

3.4.2. Проверка выбранного режима резания по номограмме

Данный способ проверки выбранного режима резания применяют для быстрого определения мощности резания N_p по номограмме (рисунок 8) в зависимости от объема срезаемого слоя. При этом, как и в первом способе, мощность резания, должна быть меньше или равна мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$:

$$N_p \leq N_{\text{шп}}.$$

Мощность резания N_p определяют по формуле

$$N_p = N_r K, \quad (2.17)$$

где N_r – мощность резания по данным номограммы, определяемая в зависимости от объема срезаемого слоя в единицу времени Q ; K – коэффициент, зависящий от материала и его твердости (таблица 34).

Значение Q , см³/мин, определяют по формуле

$$Q = \frac{tBv_s}{1000}, \quad (2.18)$$

где t – глубина резания, мм; B – ширина фрезерования, мм; при фрезеровании концевыми фрезами $B = d$; v_s – скорость движения подачи, мм/мин.

3.5. Расчет времени выполнения операции

3.5.1. Основное время

Основное время при фрезеровании равно отношению длины пути, пройденного фрезой за число рабочих ходов, к скорости движения подачи и определяется по формуле

$$T_o = \frac{Li}{v_s} = \frac{l + l_1 + l_2}{v_s} i, \quad (2.19)$$

где L – общая длина прохода фрезы в траектории движения подачи, мм; i – число рабочих ходов; v_s – скорость движения подачи, мм/мин; l – длина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; l_1 – длина врезания фрезы, мм; l_2 – длина перебега фрезы, мм; $l_2 = 1 \dots 5$ мм.

Длина врезания фрезы l_1 при фрезеровании цилиндрическими, фасонными, дисковыми фрезами равна

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)}. \quad (2.20)$$

Длина врезания фрезы l_1 при фрезеровании торцовыми фрезами:

при симметричном неполном (для случая на рисунке 2.3а):

$$l_1 = 0,5 \left(D - \sqrt{D^2 - B^2} \right); \quad (2.21)$$

при несимметричном встречном (для случая на рисунке 2.3б):

$$l_1 = 0,5 \times D - \sqrt{C_1(D - C_1)}; \quad (2.22)$$

при несимметричном попутном (для случая на рисунок 2.3в):

$$l_1 = 0,5 \times D, \quad (2.23)$$

где D – диаметр фрезы, мм; B – ширина заготовки, мм; C_1 – величина смещения фрезы относительно торца заготовки, мм.

3.5.2. Штучное время

Штучное время $T_{шт}$ – время, затрачиваемое на выполнение опе-

рации, определяется как интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых изделий и рассчитывается как сумма составляющих

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{обс} + T_{отд}, \quad (2.24)$$

где T_o – основное время, это часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояние предмета труда, т. е. время непосредственного воздействия инструмента на заготовку; $T_{всп}$ – вспомогательное время, это часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения непосредственного воздействия на заготовку. Вспомогательное время отводится на установку и снятие заготовки; выполнение действий, связанных с выполнением переходов; перемещение частей станка (суппорта, стола и т. д.); изменение режимов работы, смену инструмента; контрольно-измерительные операции, выполняемые по окончании перехода или технологической операции. Рекомендации по определению вспомогательного времени приведены в таблицах 29, 30 и 32; $T_{обс}$ – время обслуживания рабочего места, это часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом. Время обслуживания рабочего места складывается из времени организационного обслуживания (осмотр и опробование оборудования, раскладка и уборка инструмента, очистка, смазка оборудования, работы по уходу за оборудованием и приведение в порядок рабочего места) и времени технического обслуживания (регулирование и подналадка станка, смена и подналадка режущего инструмента (правка шлифовальных кругов); наладка и подналадка оснастки; снятие и отвод стружки); $T_{отд}$ – время на личные потребности, это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых. Время на личные потребности сокращать нельзя, но можно не допускать его увеличения путем уменьшения утомительных работ, ликвидации однообразных часто повторяющихся операций, применения механизации, автоматизации и других средств для психологической разгрузки человека.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем $T_{оп} = T_o + T_{всп}$. Оперативное время является основной составляющей штучного времени.

Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности часто берут в процентах от оперативного времени:

$$T_{обс} = (3...8 \%)T_{оп}; \quad T_{отд} = (4...9 \%)T_{оп}. \quad (2.25)$$

3.5.3 Штучно-калькуляционное время

Для определения нормы времени – времени выполнения определенного объема работ в конкретных производственных условиях одним или несколькими рабочими, необходимо определить штучно-калькуляционное время $T_{\text{шк}}$, которое равно

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (2.26)$$

Где $T_{\text{пз}}$ – подготовительно-заключительное время, мин. Это время на подготовку рабочих и оборудования к выполнению операции и приведение их в первоначальное состояние после ее окончания, т. е. время, необходимое рабочему для получения наряда (задания) и технологической документации, ознакомления с работой, инструктажа, получения материалов и недостающей оснастки и ее установки, для наладки оборудования на нужные режимы, а также снятия оснастки; сдачи готовой продукции, остатков материала, оснастки, инструмента, технической документации, наряда и др.; n – число деталей в партии, шт.

В массовом производстве $T_{\text{пз}}$ принимается равным нулю, так как практически вся работа выполняется при одной наладке станка.

4. Расчет оборудования

Расчетное количество станков z для выполнения определенной операции рассчитывается по формуле:

$$z = \frac{T_{\text{шт}} \cdot \Pi}{T_{\text{см}} \cdot 60}, \quad (2.26)$$

где $T_{\text{шт}}$ – штучное время, мин; Π – программа выполнения деталей в смену, шт.; $T_{\text{см}}$ – время работы станка в смену, ч. В расчетах принимается время работы станка в смену $T_{\text{см}} = 8$ ч, в реальных условиях на каждом предприятии это время может приниматься иным.

5. Техничко-экономическая эффективность

Оценку технико-экономической эффективности технологической операции проводят по ряду коэффициентов, в числе которых: коэффициент основного времени и коэффициент использования станка по мощности.

Коэффициент основного времени K_0 определяет его долю в общем времени, затрачиваемом на выполнение операции:

$$K_o = \frac{T_o}{T_{шт}}. \quad (2.26)$$

Чем выше K_o , тем лучше построен технологический процесс, поскольку больше времени, отведенного на операцию, станок работает, а не простаивает, т. е. в этом случае уменьшается доля вспомогательного времени.

Ориентировочно величина коэффициента K_o для разных станков находится в следующих пределах: протяжные станки – $K_o = 0,35 \dots 0,945$; фрезерные непрерывного действия – $K_o = 0,85 \dots 0,90$; остальные – $K_o = 0,35 \dots 0,90$.

Если коэффициент основного времени K_o ниже этих величин, то необходимо разработать мероприятия по уменьшению вспомогательного времени (применение быстродействующих приспособлений, автоматизация измерений детали, совмещение основного и вспомогательного времени и др.).

Коэффициент использования станка по мощности K_N определяют по формуле:

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ст} \eta}, \quad (2.29)$$

где N_p – мощность резания, кВт (в расчете принимают ту часть технологической операции, которая происходит с наибольшими затратами мощности резания); $N_{ст}$ – мощность главного привода станка, кВт; η – КПД станка.

Чем K_N ближе к 1, тем более полно используется мощность станка, чем он меньше, тем хуже используется мощность станка. Например, если $K_N = 0,5$, то станок используется на 50 % от своей мощности и, если это возможно, следует выбрать станок меньшей мощности.

Пример расчета режима резания при фрезеровании торцовыми фрезами

Исходные данные:

Материал заготовки	Поковка, сталь 20Х
предел прочности при растяжении материала	$\sigma_B = 800$ МПа
ширина обрабатываемой поверхности заготовки	$B = 100$ мм
длина обрабатываемой поверхности заготовки	$\ell = 800$ мм
требуемая шероховатость обработанной поверхности	$Ra = 0,8$ мкм (7 класс)
общий припуск на обработку	$h = 6$ мм
средняя дневная программа производства	$\Pi = 200$ шт.

В результате проведенных расчетов необходимо:

- выбрать фрезу по элементам и геометрическим параметрам;
- выбрать фрезерный станок;
- рассчитать значения элементов режима резания;
- провести проверку выбранного режима резания по мощности привода и прочности механизма подачи станка;
- произвести расчет времени, необходимого для выполнения операции;
- произвести расчет необходимого количества станков;
- оценить эффективность выбранного режима резания и выбранного оборудования.

1. Выбор режущего инструмента и оборудования

Исходя из общего припуска на обработку $h = 6$ мм и требований к шероховатости поверхности, фрезерование ведем в два перехода: черновой и чистовой.

Тип фрезы определяем по таблице 1 – выбираем торцовую фрезу с многогранными твердосплавными пластинками по ГОСТ 26595–85.

Диаметр фрезы выбираем из соотношения:

$$D = (1,25 \dots 1,5) B = 1,3 \times 100 = 130 \text{ мм.}$$

Тип фрезы уточняем по таблице 2. Принимаем диаметр фрезы $D = 125$ мм, число зубьев $z = 12$, пятигранные пластинки.

Условное обозначение фрезы – Фреза 2214–0535 ГОСТ 26595–85.

Материал режущей части фрезы выбираем по таблице 6 при обработке углеродистой и легированной незакаленной стали: для чернового фрезерования – Т5К10, для чистового фрезерования – Т15К6.

Геометрические параметры фрезы выбираем по таблице 7 для фрез с пластинами из твердого сплава при обработке стали конструкционной углеродистой с $\sigma_b \leq 800$ МПа:

с подачей $> 0,25$ мм/зуб – для чернового фрезерования: $\gamma = -5^\circ$;
 $\alpha = 8^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_0 = 22,5^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $\lambda = 10^\circ$;

с подачей $< 0,25$ мм/зуб – для чистового фрезерования: $\gamma = -5^\circ$;
 $\alpha = 15^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_0 = 30^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $\lambda = 10^\circ$.

Черновое фрезерование производим по схеме несимметричное встречное (рисунок 3б), чистовое – по схеме несимметричное попутное (рисунок 3в) фрезерование.

Предварительно планируем использовать вертикально-фрезерный станок 6Р13 (таблица 27). Окончательно выбираем станок после оценки эффективности его использования по мощности привода.

2. Расчет элементов режима резания

2.1. Назначение глубины резания

При назначении глубины резания в первую очередь из общего припуска выделяем ту его часть, которая остается для проведения чистовой обработки – $t_2 = 1$ мм. Чистовое фрезерование проводим за 1 рабочий ход, $i_2 = 1$. Отсюда припуск h_1 при черновом фрезеровании составит:

$$h_1 = 6 - 1 = 5 \text{ мм.}$$

Для снятия этого припуска достаточно одного рабочего хода, поэтому принимаем число рабочих ходов при черновом фрезеровании $i_1 = 1$. Тогда глубина резания t_1 при черновом фрезеровании составит

$$t_1 = h_1 / i_1 = 5 / 1 = 5 \text{ мм.}$$

2.2. Назначение подачи

Подачу при черновом фрезеровании выбираем по таблице 9. Для торцовых фрез с пластинами из твердого сплава Т5К10 с мощностью станка больше 10 кВт при несимметричном встречном фрезеровании подача на зуб находится в пределах $s_{z1} = 0,32 \dots 0,40$ мм/зуб. Принимаем меньшую величину для гарантированного обеспечения условия по мощности на шпинделе $s_{z1} = 0,32$ мм/зуб. Подача на оборот составит

$$s_{o1} = s_{z1} \times z = 0,32 \times 12 = 3,84 \text{ мм/об.}$$

Подачу при чистовом фрезеровании выбираем по таблице 12. Для торцовых фрез с пластинами из твердого сплава (часть Б) с материалом, имеющим $\sigma_B \geq 700$ МПа с шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 0,8$ мкм с углом $\varphi_1 = 5^\circ$ подача на оборот фрезы находится в пределах $s_{o2} = 0,30 \dots 0,20$ мм/об.

Принимаем большую величину для повышения производительности процесса $s_{02} = 0,30$ мм/об. При этом подача на зуб составит $s_{z2} = s_{02} / z = 0,30 / 12 = 0,025$ мм/зуб.

2.3. Определение скорости резания

Скорость резания определяем по формуле:

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

где C_v – коэффициент, характеризующий условия обработки; по таблице 14 для чернового и чистового фрезерования конструкционной углеродистой стали с $\sigma_B \geq 750$ МПа с применением твердосплавных пластин $C_v = 332$; T – стойкость фрезы, мин (по таблице 20 принимаем $T_1 = T_2 = 180$ мин); B – ширина фрезерования, мм, $B = 100$ мм; z – число зубьев фрезы, $z = 12$; q, x, y, u, p, m – показатели степени; значения показателей степени определяем по таблице 14 для чернового и чистового фрезерования конструкционной углеродистой стали с $\sigma_B \geq 750$ МПа с применением твердосплавных пластин $q = 0,2$; $x = 0,1$; $y = 0,4$; $u = 0,2$; $p = 0$; $m = 0,2$; K_v – общий поправочный коэффициент на измененные условия обработки; равен

$$K_v = K_{\mu v} \times K_{nv} \times K_{uv} \times K_{\varphi v},$$

где $K_{\mu v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала; при обработке стали по таблице 16.

$$K_{\mu v} = K_r (750/\sigma_B)^{nv}.$$

По таблице 17 находим для обработки стали углеродистой с $\sigma_B > 550$ МПа для материала инструмента из твердого сплава $K_r = 1$, $n_v = 1$.

Тогда

$$K_{\mu v1} = K_{\mu v2} = 1 \times (750/800)^{1,0} = 0,938;$$

где K_{nv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхностного слоя заготовки; по таблице 19 при черновом фрезеровании выбираем для обработки поковки $K_{nv1} = 0,8$, при чистовом фрезеровании – выбираем без корки $K_{nv2} = 1$; K_{uv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала; по таблице 20 для обработки стали конструкционной фрезой с пластинками из твердого сплава Т5К10 при черновом фрезеровании $K_{uv1} = 0,65$, с пластинками из твердого сплава Т15К6 при чистовом фрезеровании $K_{uv2} = 1,0$; $K_{\varphi v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий величину главного угла в плане φ ; по таблице 21 для чернового фрезерования при $\varphi = 45^\circ$ $K_{\varphi v1} = 1,1$; для чистового фрезерования при $\varphi = 60^\circ$ $K_{\varphi v2} = 1,0$.

Общий поправочный коэффициент:

для чернового фрезерования – $K_{v1} = 0,938 \times 0,8 \times 0,65 \times 1,1 = 0,536$;

для чистового фрезерования – $K_{v2} = 0,938 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,938$.

Скорость резания:

при черновом фрезеровании

$$v_1 = \frac{332 \times 125^{0,2}}{180^{0,2} \times 5^{0,1} \times 0,32^{0,4} \times 100^{0,2} \times 12^0} 0,536 = 88,45 \text{ м/мин};$$

при чистовом фрезеровании

$$v_2 = \frac{332 \times 125^{0,2}}{180^{0,2} \times 1^{0,1} \times 0,025^{0,4} \times 100^{0,2} \times 12^0} 0,938 = 504,13 \text{ м/мин.}$$

Расчетную частоту вращения фрезы определяем для чернового и чистового фрезерования по выражению

$$n_p = \frac{1000v}{\pi D};$$

$$n_1 = \frac{1000 \times 88,45}{3,14 \times 125} = 225,35 \text{ мин}^{-1}; \quad n_2 = \frac{1000 \times 504,13}{3,14 \times 125} = 1284,4 \text{ мин}^{-1}.$$

2.4. Уточнение режимов резания

По паспорту станка 6Р13 (таблица 27) уточняем частоты вращения фрезы, т. е. выбираем ближайшие наименьшие значения к расчетным – фактические значения: для черновой обработки – $n_{\phi 1} = 200 \text{ мин}^{-1}$; для чистовой обработки – $n_{\phi 2} = 1050 \text{ мин}^{-1}$.

В результате этого изменится и фактическая скорость резания, которая составит:

при черновой обработке

$$v_{\phi 1} = \pi D n / 1000 = 3,14 \times 125 \times 200 / 1000 = 78,50 \text{ м/мин};$$

при чистовой обработке

$$v_{\phi 2} = \pi D n / 1000 = 3,14 \times 125 \times 1050 / 1000 = 412,12 \text{ м/мин.}$$

Для уточнения значений подач необходимо рассчитать скорость движения подачи v_s по величине подачи на зуб и на оборот фрезы

$$v_s = s_o \times n = s_z \times z \times n;$$

$$v_{s1} = 0,32 \times 12 \times 200 = 768 \text{ мм/мин}; \quad v_{s2} = 0,3 \times 1050 = 315 \text{ мм/мин.}$$

По паспорту станка находим возможную настройку на скорость движения подачи, выбирая ближайшие наименьшие значения, $v_{S1} = 800$ мм/мин, поскольку эта величина только на 4 % выше расчетной и $v_{S2} = 315$ мм/мин. Исходя из принятых величин, уточняем значения подач на зуб и на оборот:

$$\begin{aligned} s_{\text{оф}1} &= 800 / 200 = 4 \text{ мм/об}; & s_{\text{зф}1} &= 4 / 12 = 0,333 \text{ мм/зуб}; \\ s_{\text{оф}2} &= 315 / 1050 = 0,3 \text{ мм/об}; & s_{\text{зф}2} &= 0,3 / 12 = 0,025 \text{ мм/зуб}. \end{aligned}$$

3. Проверка выбранного режима резания

Поскольку нагрузки на станок при черновой обработке значительно выше, чем при чистовой, проверку выбранного режима резания проводим для чернового фрезерования.

Проверку выбранного режима резания осуществим двумя способами.

3.1. Проверка выбранного режима резания по формулам

3.1.1. Проверка по мощности привода шпинделя станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p , кВт, должна быть меньше или равна допустимой мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$, определяемой по мощности привода:

$$N_p \leq N_{\text{шп}} = N_3 \eta,$$

где N_3 – мощность электродвигателя станка, кВт; η – КПД станка. Для станка 6Р13 (таблица 27) $N_3 = 11$ кВт, $\eta = 0,8$.

Мощность на шпинделе

$$N_{\text{шп}} = N_3 \eta = 11 \times 0,8 = 8,8 \text{ кВт}.$$

Мощность резания при черновом фрезеровании определяем по формуле

$$N_{\text{р}1} = \frac{M_{\text{кр}1} n_{\text{ф}1}}{9750}.$$

Крутящий момент $M_{\text{кр}}$, Н·м, определяем по формуле

$$M_{\text{кр}1} = \frac{P_{\text{з}1} D_{\text{ф}}}{2000}.$$

Главную составляющую силу резания определяем по формуле

$$P_z = \frac{9,81 \times C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_p,$$

где C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; по таблице 22 находим значения коэффициента и показателей степеней: $C_p = 825$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $u = 1,1$; $q = 1,3$; $w = 0,2$.

Согласно примечаниям к таблице 22, сила P_z , рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезы без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила P_z возрастает в 1,3...1,4 раза. Принимаем увеличение в 1,3 раза.

Общий поправочный коэффициент K_p равен:

$$K_p = K_{\mu p} \times K_{v p} \times K_{\gamma p} \times K_{\varphi p},$$

где $K_{\mu p}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала; по таблице 23 для обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей $K_{\mu p} = (\sigma_B/750)^{n_p}$, показатель степени $n_p = 0,3$, тогда: $K_{\mu p} = (800/750)^{0,3} = 1,02$; $K_{v p}$ – коэффициент, учитывающий скорость резания; по таблице 24 для черновой обработки при скорости резания до 100 м/мин при отрицательных значениях передних углов – $K_{v p1} = 1$; $K_{\gamma p}$ – коэффициент, учитывающий значение переднего угла γ (таблица 25); $K_{\varphi p}$ – коэффициент, учитывающий значение угла в плане φ (таблица 25).

По таблице 25 для $\gamma = -5^\circ$ принимаем $K_{\gamma p} = 1,20$, а для $\varphi = 45^\circ$ $K_{\varphi p} = 1,06$.

Величина общего поправочного коэффициента составит

$$K_p = 1,02 \times 1 \times 1,20 \times 1,06 = 1,297.$$

Главная составляющая силы резания при черновом фрезеровании составляет

$$P_{z1} = \frac{9,81 \times 82,5 \times 5^1 \times 0,333^{0,75} \times 100^{1,1} \times 12}{125^{1,3} \times 200^{0,2}} \times 1,3 \times 1,297 = 3702,56 \text{ Н.}$$

Крутящий момент

$$M_{kp1} = \frac{P_{z1} D_{\phi}}{2000} = \frac{3702,56 \times 125}{2000} = 231,44 \text{ Нм.}$$

Мощность резания при черновом фрезеровании

$$N_{p1} = \frac{M_{kp1} n_{\phi1}}{9750} = \frac{231,41 \times 200}{9750} = 4,84 \text{ кВт.}$$

Так как $N_p \leq N_{\text{шп}}$ ($4,84 < 8,8$), выбранный режим резания соответствует допустимой мощности на шпинделе станка.

3.1.2. Проверка по прочности механизма подачи

Горизонтальная составляющая силы резания P_r (усилие подачи) должна быть меньше или равна наибольшей силе, допускаемой механизмом продольной подачи станка: $P_r \leq P_{\text{доп}}$.

Горизонтальная составляющая силы резания P_r по таблице 26 при условии несимметричного встречного чернового фрезерования составит $0,6 \dots 0,8$ от P_z . Для станка 6Р13 $P_{\text{доп}} = 15\ 000$ Н.

Тогда $P_r = 0,8 \times P_{z1} = 0,8 \times 3702,56 = 2962$ Н.

Так как условие $P_r \leq P_{\text{доп}}$ ($2962 < 15\ 000$) соблюдается, выбранный режим резания удовлетворяет условию прочности механизма продольной подачи станка.

3.2. Проверка выбранного режима резания по номограмме

Мощность, затрачиваемая на резание N_p должна быть меньше или равна допустимой мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$:

$$N_p \leq N_{\text{шп}} = N_3 \eta,$$

где N_3 – мощность электродвигателя станка, кВт; η – КПД станка. Для станка 6Р13 (таблица 27) $N_3 = 11$ кВт, $\eta = 0,8$.

Тогда $N_{\text{шп}} = N_3 \eta = 11 \times 0,8 = 8,8$ кВт.

Мощность резания N_p определяем по формуле

$$N_p = N_r K,$$

где N_r – мощность резания по данным номограммы, определяемая в зависимости от объема срезаемого слоя Q , кВт; K – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и его твердости, по таблице 34 $K = 1,12$.

Значение Q определяем для чернового фрезерования по формуле

$$Q_1 = \frac{tBv_{s1}}{1000} = \frac{5 \times 100 \times 800}{1000} = 400 \text{ см}^3/\text{мин}.$$

По номограмме (рисунок 8) по оси абсцисс мощность резания для значений $Q_1 = 400$ см³/мин и $s_{zф1} = 0,33$ мм/зуб составит $N_r = 17$ кВт, что значительно превышает мощность на шпинделе станка. Необходимо уменьшить объем срезаемого слоя за счет уменьшения глубины резания.

При $t = 2$ мм, $Q = 160$ см³/мин и N_r составит 6,5 кВт. Тогда $N_p = N_r K = 6,5 \times 1,12 = 7,28$ кВт.

Так как $N_p \leq N_{\text{шп}} (7,28 < 8,8)$, выбранный режим резания соответствует допустимой мощности на шпинделе станке.

4. Расчет времени выполнения операции

4.1. Расчет основного времени

Основное время определяем по формуле

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{v_s} i,$$

где l – длина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; $l = 800$ мм; l_1 – длина врезания фрезы, мм; l_2 – длина перебега фрезы, мм; $l_2 = 1 \dots 5$ мм; для чернового и чистового фрезерования принимаем одинаковой $l_2 = 5$ мм; i – число рабочих ходов, при чистовом и черновом фрезеровании $i = 1$; v_s – скорость движения подачи, мм/мин; $v_{s1} = 80$ мм/мин; $v_{s2} = 315$ мм/мин.

Длина врезания фрезы l_1 определяется для условия несимметричного встречного фрезерования. Принимаем $C_1 = 0,04D$, тогда

$$l_1 = 0,5D - \sqrt{C_1(D - C_1)} = 0,5 \times 125 - \sqrt{0,04 \times 125(125 - 0,04 \times 125)} = 38 \text{ мм.}$$

Основное время при торцовом фрезеровании заготовки за черновой и чистовой переходы составит:

$$T_{o1} = \frac{800 + 38 + 5}{80} 1 = 10,54 \text{ мин, } T_{o2} = \frac{800 + 38 + 5}{315} 1 = 2,68 \text{ мин.}$$

4.2. Определение штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию, определяется как

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\text{всп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{отд.}}$$

Вспомогательное время $T_{\text{всп}}$, затрачиваемое на установку и снятие детали, определяем по таблице 29. Принимаем способ установки детали – на столе с выверкой средней сложности при массе детали до 10 кг – время на установку и снятие заготовки равно 1,8 мин.

Вспомогательное время на рабочий ход (таблица 30) принимаем для обработки плоскостей со снятием одной пробной стружки – 0,7 мин и на последующие ходы – 0,1 мин, всего – 0,8 мин. Время на из-

мерение заготовки с помощью штангенциркуля (таблица 32) по ширине и толщине заготовки (высоте от стола) – размеры до 100 мм с точностью до 0,1 мм, принимаем равным 0,13 мин. Таким образом

$$T_{всп} = 1,8 + 0,8 + 0,13 = 2,73 \text{ мин.}$$

Тогда оперативное время:

$$T_{оп1} = T_{о1} + T_{всп1} = 10,54 + 2,73 = 13,27 \text{ мин.};$$

$$T_{оп2} = T_{о2} + T_{всп2} = 2,68 + 2,73 = 5,41 \text{ мин.}$$

Время на обслуживание рабочего места и время на отдых принимаем в процентах от оперативного времени:

$$T_{обс1} + T_{отд1} = 10 \% \times T_{оп} = 0,1 \times 13,27 = 1,32 \text{ мин.};$$

$$T_{обс2} + T_{отд2} = 10 \% \times T_{оп} = 0,1 \times 5,41 = 0,54 \text{ мин.}$$

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию:

$$T_{шт1} = T_{о1} + T_{всп1} + T_{обс1} + T_{отд1} = 13,27 + 1,32 = 14,59 \text{ мин.};$$

$$T_{шт2} = T_{о2} + T_{всп2} + T_{обс2} + T_{отд2} = 5,41 + 0,54 = 5,95 \text{ мин.}$$

4.3. Определение штучно-калькуляционного времени

Штучно-калькуляционное время

$$T_{шт.-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n},$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, мин; по таблице 31 подготовительно-заключительное время на выполнение данной операции при установке заготовки на столе с креплением болтами и планками составит и 24 мин.

Тогда

$$T_{шт.-к1} = 14,59 + \frac{24}{200} = 14,71 \text{ мин.}; T_{шт.-к2} = 5,95 + \frac{24}{200} = 6,07 \text{ мин.}$$

5. Определение технико-экономической эффективности

5.1. Определение числа станков

Требуемое число станков для выполнения черного фрезерования Z_1 и чистового фрезерования Z_2 рассчитывается по формуле

$$Z = \frac{T_{шт.П}}{T_{см} 60}; Z_1 = \frac{14,71 \times 200}{8 \times 60} = 6,13; Z_2 = \frac{6,07 \times 200}{8 \times 60} = 2,53.$$

Принимаем для выполнения черновой обработки $Z_1 = 6$ шт. и для чистовой обработки $Z_2 = 3$ шт.

Шести станков для черновой операции на всю операционную партию не хватает, однако, приняв семь станков, получим большую недозагрузку станков по времени работы. Предпочтительней принять загрузку шести станков с добавлением одной целой смены за определенный период времени.

Для операции чистовой обработки три станка не будут полностью загружены в течение смены и, чтобы их не переналаживать на выполнение другой операции, необходимо откорректировать размер сменного задания – операционную партию. Одну смену за определенный период можно освободить для выполнения других работ или профилактики оборудования. При этом операционные партии составят

$$П_{1ф} = Z_1 \times T_{см} \times 60 / T_{шт.-к1} = 6 \times 8 \times 60 / 14,71 = 196 \text{ шт.},$$

$$П_{2ф} = Z_2 \times T_{см} \times 60 / T_{шт.-к2} = 3 \times 8 \times 60 / 6,07 = 237 \text{ шт.}$$

Нехватка оборудования при черновой обработке составит

$$(П_1 - П_{1ф}) / П_1 = (200 - 196) / 200 = 1 / 50,$$

т. е. через 50 смен необходимо добавить еще одну для выполнения всего задания.

При чистовой обработке излишек времени оборудования составит

$$(П_{2ф} - П_2) / П_2 = (237 - 200) / 200 = 10 / 54,$$

т.е. примерно на каждые 6 смен одна смена может быть освобождена для выполнения других работ.

5.2. Коэффициент основного времени

Оценку технико-экономической эффективности технологической операции для чернового и чистового фрезерования проводим по коэффициенту основного времени и коэффициенту использования станка по мощности.

Коэффициент основного времени K_o определяет его долю в общем времени, затрачиваемом на выполнение черновой и чистовой операции

$$K_{o1} = \frac{T_{o1}}{T_{шт1}} = \frac{10,54}{14,59} = 0,72; \quad K_{o2} = \frac{T_{o2}}{T_{шт2}} = \frac{2,68}{5,95} = 0,45.$$

Данные говорят о том, что при чистовой обработке относительно много времени отводится для вспомогательных действий, поэтому следует провести организационные или технологические мероприятия по механизации процессов, сокращению вспомогательного времени, совмещению основного и вспомогательного времени и т. д.

При черновой обработке доля основного времени достаточно высока и не требует первоочередного проведения каких-либо мероприятий.

5.3. Коэффициент использования мощности станка

Коэффициент использования станка по мощности K_N определяется

$$K_N = \frac{N_p}{N_{ct} \eta},$$

где N_p – мощность резания, кВт; в расчете принимаем операцию черновой обработки с наибольшими затратами мощности резания $N_{p1} = 8,04$ кВт; N_{ct} – мощность главного привода станка, кВт; η – КПД станка; по таблице 27 для станка 6Р13 $N_{ct} = 11$ кВт; $\eta = 0,8$.

$$K_N = \frac{8,04}{11 \times 0,8} = 0,92.$$

Коэффициент использования мощности станка K_N достаточно высок.

Исходя из данных по использованию мощности привода главного движения резания окончательно выбираем для выполнения операции вертикально-фрезерный станок 6Р13.

Пример расчета режима резания при цилиндрическом фрезеровании

Исходные данные:

Материал заготовки	Поковка, сталь 20Х
предел прочности при растяжении материала	$\sigma_B = 800$ МПа
ширина обрабатываемой поверхности заготовки	$B = 75$ мм
длина обрабатываемой поверхности заготовки	$\ell = 800$ мм
требуемая шероховатость обработанной поверхности	$Ra = 1,6$ мкм (6 класс)
общий припуск на обработку	$h = 3$ мм

В результате проведенных расчетов необходимо:

- выбрать фрезу по элементам и геометрическим параметрам;
- выбрать фрезерный станок;
- рассчитать величины элементов режима резания;
- провести проверку выбранного режима резания по мощности привода и прочности механизма подачи станка;
- произвести расчет времени, необходимого для выполнения операции;
- произвести расчет необходимого количества станков;
- оценить эффективность выбранного режима резания и выбранного оборудования.

1. Выбор режущего инструмента и оборудования

Исходя из общего припуска на обработку $h = 3$ мм и требований по шероховатости поверхности, фрезерование ведем в два перехода: черновой и чистовой.

Тип фрезы определяем по таблицам 4 и 5 – выбираем цилиндрическую фрезу из быстрорежущей стали.

Диаметр фрезы выбираем из соотношения:

$$D = (1,25 \dots 1,5)B = 1,3 \times 75 = 97 \text{ мм.}$$

Тип фрезы уточняем по таблице 2 (по ОСТ 27-72-287–79). Принимаем диаметр фрезы $D = 100$ мм, число зубьев $z = 18$.

Есть ОСТ 24.667.03–80 на фрезы цилиндрические обдирочные.

Для черновой обработки принимаем схему встречного фрезерования (рисунок 3б), для чистовой – попутное (рисунок 3в).

Предварительно выбираем для проведения работ горизонтально-фрезерный станок 6Н81 (таблица 32). Окончательный выбор станка подтверждаем после оценки эффективности его использования по мощности привода.

2. Расчет элементов режима резания

2.1. Назначение глубины резания

При назначении глубины резания в первую очередь из общего припуска выделяем ту его часть, которая остается для проведения чистовой обработки – $t_2 = 1$ мм. Чистовое фрезерование проводится за 1 рабочий ход $i_2 = 1$. Отсюда припуск h_1 при черновом фрезеровании составит:

$$h_1 = 3 - 1 = 2 \text{ мм.}$$

Для снятия этого припуска достаточно одного рабочего хода, поэтому принимаем число рабочих ходов при черновом фрезеровании $i_1 = 1$. Тогда глубина резания t_1 при черновом фрезеровании составит

$$t_1 = h_1 / i_1 = 2 / 1 = 2 \text{ мм.}$$

2.2. Назначение подачи

Подачу при черновом фрезеровании выбираем по таблице 11. Для цилиндрических фрез из быстрорежущей стали с мощностью станка больше 10 кВт при встречном фрезеровании подача на зуб находится в пределах $s_{z1} = 0,12 \dots 0,20$ мм/зуб. Принимаем меньшую величину для гарантированного обеспечения условия по мощности на шпинделе $s_{z1} = 0,12$ мм/зуб. Подача на оборот составит

$$s_{o1} = s_{z1} \times z = 0,12 \times 18 = 2,16 \text{ мм/об.}$$

При чистовом фрезеровании подачу выбираем по таблице 13. Для цилиндрических фрез из быстрорежущей стали при обработке конструкционной стали с шероховатостью обработанной поверхности $Ra = 1,6$ мкм, подача на оборот фрезы находится в пределах $s_{o2} = 1,0 \dots 2,1$ мм/об.

Принимаем большую величину для повышения производительности процесса $s_{o2} = 2,1$ мм/об. При этом подача на зуб составит

$$s_{z2} = s_{o2} / z = 2,1 / 18 = 0,12 \text{ мм/зуб.}$$

2.3. Определение скорости резания

Скорость резания определяем по формуле:

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

где C_v – коэффициент, характеризующий условия обработки; по таблице 19 для черного и чистового фрезерования конструкционной углеродистой стали с $\sigma_b \geq 750$ МПа фрезами из быстрорежущей стали при подаче $S_z > 0,1$ $C_v = 35,4$; T – стойкость фрезы, мин; по таблице 15 принимаем $T_1 = T_2 = 180$ мин; B – ширина фрезерования, мм, $B = 75$ мм; z – число зубьев фрезы, $z = 18$; q, x, y, u, p, m – показатели степени; значения показателей степени определяем по таблице 19 для черного и чистового фрезерования конструкционной углеродистой стали с $\sigma_b \geq 750$ МПа с применением твердосплавных пластин $q = 0,45$; $x = 0,3$; $y = 0,4$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$; K_v – общий поправочный коэффициент на измененные условия обработки; равен

$$K_v = K_{\mu v} \times K_{nv} \times K_{iv},$$

где $K_{\mu v}$ – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала; при обработке стали по таблице 16: $K_{\mu v} = K_r \times (750/\sigma_B)^{nv}$. По таблице 17 находим для обработки стали углеродистой с $\sigma_B > 550$ МПа для материала инструмента из твердого сплава $K_r = 1$, $n_v = -0,9$.

Тогда

$$K_{\mu v1} = K_{\mu v2} = 1 \times (750/800)^{-0,9} = 1,06;$$

где K_{nv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхностного слоя заготовки; по таблице 19 при черновом фрезеровании выбираем для обработки поковки $K_{nv1} = 0,8$, при чистовом фрезеровании – выбираем без корки $K_{nv2} = 1$; K_{uv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала; по таблице 20 для обработки стали конструкционной фрезой из быстрорежущей стали $K_{iv} = 0,3$.

Общий поправочный коэффициент равен:

для чернового фрезерования – $K_{v1} = 1,06 \times 0,8 \times 0,3 = 0,25$;

для чистового фрезерования – $K_{v2} = 1,06 \times 1,0 \times 0,3 = 0,32$.

Скорость резания при черновом фрезеровании равна:

$$v_1 = \frac{35,4 \times 100^{0,45}}{180^{0,33} \times 2^{0,3} \times 0,12^{0,4} \times 75^{0,2} \times 18^{0,1}} 0,25 = 11,69 \text{ м/мин.}$$

Скорость резания при чистовом фрезеровании равна:

$$v_2 = \frac{35,4 \times 100^{0,45}}{180^{0,33} \times 1^{0,3} \times 0,12^{0,4} \times 75^{0,2} \times 18^{0,1}} 0,32 = 18,4 \text{ м/мин.}$$

Расчетную частоту вращения фрезы определяем для чернового и чистового фрезерования по выражению

$$n_p = \frac{1000v}{\pi D};$$

$$n_1 = \frac{1000 \times 11,69}{3,14 \times 100} = 37,2 \text{ мин}^{-1}; \quad n_2 = \frac{1000 \times 18,4}{3,14 \times 100} = 58,59 \text{ мин}^{-1}.$$

2.4. Уточнение режимов резания

По паспорту станка 6Н81 уточняем частоты вращения фрезы, т. е. выбираем ближайшие наименьшие значения от расчетных – фактические значения:

для черновой обработки – $n_{\phi 1} = 60 \text{ мин}^{-1}$;

для чистовой обработки – $n_{\phi 2} = 60 \text{ мин}^{-1}$.

В результате этого изменится и фактическая скорость резания, которая составит:

при черновой обработке

$$v_{\phi 1} = \pi D n / 1000 = 3,14 \times 100 \times 60 / 1000 = 18,84 \text{ м/мин},$$

при чистовой обработке

$$v_{\phi 2} = \pi D n / 1000 = 3,14 \times 100 \times 60 / 1000 = 18,84 \text{ м/мин}.$$

Для уточнения величин подач необходимо рассчитать скорость движения подачи v_s по величине подачи на зуб и на оборот

$$v_s = s_o \times n = s_z \times z \times n;$$

$$v_{s1} = 0,12 \times 18 \times 60 = 129,6 \text{ мм/мин}; v_{s2} = 2,1 \times 60 = 126 \text{ мм/мин}.$$

По паспорту станка находим возможную настройку на скорость движения подачи, выбирая ближайшие наименьшие значения, $v_{s1} = 125 \text{ мм/мин}$, и $v_{s2} = 125 \text{ мм/мин}$. Исходя из принятых величин, уточняем значения подач на зуб и на оборот

$$s_{o\phi 1} = 125 / 60 = 4 \text{ мм/об}; s_{z\phi 1} = 4 / 18 = 0,22 \text{ мм/зуб};$$

$$s_{o\phi 2} = 125 / 60 = 4 \text{ мм/об}; s_{z\phi 2} = 4 / 18 = 0,22 \text{ мм/зуб}.$$

3. Проверка выбранного режима резания

Выбранный режим резания проверяем по характеристикам станка: мощности на шпинделе станка и максимально допустимому усилию, прилагаемому к механизму подачи.

Поскольку нагрузки на станок при черновой обработке значительно выше, чем при чистовой, проверку выбранного режима резания проводим для чернового фрезерования.

3.1. Проверка по мощности привода шпинделя станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p , кВт, должна быть меньше или равна допустимой мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$ определяемой по мощности привода:

$$N_p \leq N_{\text{шп}} = N_3 \times \eta,$$

где N_3 – мощность электродвигателя станка, кВт; η – КПД станка; по таблице 28 для станка 6Н81 $N_3 = 5,8 \text{ кВт}$, $\eta = 0,7$.

Мощность на шпинделе

$$N_{\text{шп}} = N_3 \times \eta = 5,8 \times 0,7 = 4,06 \text{ кВт.}$$

Мощность резания при черновом фрезеровании определяется по формуле

$$N_{\text{pl}} = \frac{M_{\text{кpl}} n_{\text{ф1}}}{9750}.$$

Крутящий момент $M_{\text{кpl}}$, Н·м, определяем по формуле

$$M_{\text{кpl}} = \frac{P_{z1} D_{\text{ф}}}{2000}.$$

Главную составляющую силы резания определяем по формуле

$$P_z = \frac{9,81 \times C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{\text{пр}},$$

где C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; по таблице 22 находим значения коэффициента и показателей степеней: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$; $K_{\text{пр}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала; по таблице 23 для обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей $K_{\text{пр}} = (\sigma_{\text{в}}/750)^{n_p}$, показатель степени $n_p = 0,3$.

Тогда:

$$K_{\text{пр}} = (800/750)^{0,3} = 1,02;$$

Согласно приложению таблицы 22 сила P_z , рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезы без затупления. При затуплении фрезы до допустимой величины износа сила P_z возрастает в 1,3...1,4 раза. Принимаем увеличение в 1,3 раза.

Главная составляющая силы резания при черновом фрезеровании

$$P_{z1} = \frac{9,81 \times 68,2 \times 2^{0,86} \times 0,22^{0,72} \times 75^1 \times 18}{100^{0,86} \times 60^0} \times 1,02 = 10\,803,16 \text{ Н.}$$

Крутящий момент

$$M_{\text{кpl}} = \frac{P_{z1} D_{\text{ф}}}{2000} = \frac{10\,803,16 \times 100}{2000} = 540,16 \text{ Нм.}$$

Мощность резания при черновом фрезеровании

$$N_{\text{pl}} = \frac{M_{\text{кpl}} n_{\text{ф1}}}{9750} = \frac{540,16 \times 60}{9750} = 3,32 \text{ кВт.}$$

Условие правильности выбора режима резания по мощности привода $N_p \leq N_{\text{штп}}$ соблюдается, поскольку $3,32 < 4,06$ это означает, что выбранный режим резания может быть осуществлен на данном станке.

3.2. Проверка по прочности механизма подачи

Горизонтальная составляющая силы резания P_r (усилие подачи) должна быть меньше или равна наибольшей силе, допускаемой механизмом продольной подачи станка:

$$P_r \leq P_{\text{доп}}$$

Горизонтальная составляющая силы резания P_r по таблице 31 при условии несимметричного встречного чернового фрезерования составит $0,6 \dots 0,8$ от P_z .

Тогда

$$P_r = 0,6 \times P_{z1} = 0,6 \times 10\,803,16 = 6481,89 \text{ Н.}$$

Для станка 6Н81 $P_{\text{доп}} = 15\,000 \text{ Н.}$

Так как условие $P_r \leq P_{\text{доп}}$ соблюдается ($6481,89 < 15\,000$), выбранный режим резания удовлетворяет условию прочности механизма продольной подачи станка.

Окончательно данные расчета сведены в таблице.

Сводная таблица данных расчета режима резания

Наименование показателя	Для перехода	
	чернового	чистового
Глубина резания t , мм	2	1
Расчетная подача на зуб фрезы s_z , мм/зуб	0,12	0,12
Расчетная подача на оборот фрезы s_o , мм/об	3,84	0,3
Расчетная скорость резания v , м/мин	88,24	503,25
Расчетное число оборотов фрезы n , мин ⁻¹	224,82	1282,16
Фактическое число оборотов фрезы $n_{\text{ф}}$, мин ⁻¹	60	60
Фактическая скорость резания $v_{\text{ф}}$, м/мин	18,84	18,84
Расчетная скорость движения подачи v_s , мм/мин	129,6	126
Фактическая скорость движения подачи $v_{\text{сф}}$, мм/мин	125	125
Фактическая подача на оборот фрезы $s_{\text{оф}}$, мм/об	4	4
Фактическая подача на зуб фрезы $s_{z\text{ф}}$, мм/зуб	0,22	0,22
Главная составляющая силы резания P_z , Н	10803,6	
Крутящий момент $M_{\text{кр}}$, Н·м	540,16	
Мощность резания N_p , кВт	3,32	

Таким образом, станок налаживается на следующий режим:

- черновой переход $n_{\phi 1} = 60 \text{ мин}^{-1}$, $v_{s1} = 125 \text{ мм/мин}$;
- чистовой переход $n_{\phi 2} = 60 \text{ мин}^{-1}$, $v_{s2} = 125 \text{ мм/мин}$.

4. Расчет времени выполнения операции

4.1. Расчет основного времени

Основное время определяем по формуле

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{v_s} i,$$

где l – длина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; $l = 800$ мм; l_1 – длина врезания фрезы, мм; l_2 – длина перебега фрезы, мм; для чернового и чистового фрезерования перебеги принимаем одинаковыми $l_2 = 5$ мм; i – число рабочих ходов, при чистовом и черновом фрезеровании $i = 1$; v_s – скорость движения подачи, мм/мин; $v_{s1} = 125$ мм/мин; $v_{s2} = 125$ мм/мин.

Величина врезания фрезы l_1 определяется для условия несимметричного встречного фрезерования. Принимаем $C_1 = 0,04D$, тогда

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)} = \sqrt{2(100-2)} = 14 \text{ мм};$$

$$l_1 = \sqrt{t_2(D-t_2)} = \sqrt{1(100-1)} = 9,95 \text{ мм}.$$

Основное время при фрезеровании заготовки за черновой и чистовой переходы составит:

$$T_{o1} = \frac{800 + 14 + 5}{125} 1 = 6,55 \text{ мин}, \quad T_{o2} = \frac{800 + 9,95 + 5}{315} 1 = 6,52 \text{ мин}.$$

4.2. Определение штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию, определяется как

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{обс} + T_{отд}.$$

Вспомогательное время $T_{всп}$, затрачиваемое на установку и снятие детали, определяем по таблице 29. Принимаем способ установки детали – на столе с выверкой средней сложности при массе детали до 10 кг – время на установку и снятие заготовки равно 1,8 мин.

Вспомогательное время на рабочий ход (таблица 30) принимаем для обработки плоскостей с одной пробной стружкой – 0,7 мин и на последующие ходы – 0,1 мин, всего – 0,8 мин.

Время на измерение заготовки с помощью штангенциркуля (таблица 32) по ширине и толщине заготовки (высоте от стола) – размеры до 100 мм с точностью до 0,1 мм, принимаем равным 0,13 мин.

Таким образом

$$T_{всп} = 1,8 + 0,8 + 0,13 = 2,73 \text{ мин.}$$

Тогда оперативное время:

$$T_{оп1} = T_{о1} + T_{всп1} = 6,55 + 2,73 = 9,28 \text{ мин;}$$

$$T_{оп2} = T_{о2} + T_{всп2} = 6,52 + 2,73 = 9,25 \text{ мин.}$$

Время на обслуживание рабочего места и время на отдых принимаем в процентах от оперативного времени:

$$T_{обс1} + T_{отд1} = 10 \% \times T_{оп} = 0,1 \times 9,28 = 0,93 \text{ мин;}$$

$$T_{обс2} + T_{отд2} = 10 \% \times T_{оп} = 0,1 \times 9,25 = 0,92 \text{ мин.}$$

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию:

$$T_{шт1} = T_{о1} + T_{всп1} + T_{обс1} + T_{отд1} = 9,28 + 0,93 = 10,21 \text{ мин;}$$

$$T_{шт2} = T_{о2} + T_{всп2} + T_{обс2} + T_{отд2} = 9,25 + 0,92 = 10,17 \text{ мин.}$$

4.3. Определение штучно-калькуляционного времени

Штучно-калькуляционное время $T_{шт.-к}$ равно

$$T_{шт.-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n},$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, мин; по таблице 31 подготовительно-заключительное время на выполнение данной операции при установке заготовки на столе с креплением болтами и планками составит 24 мин.

Тогда

$$T_{шт.-к1} = 10,21 + \frac{24}{200} = 10,33 \text{ мин; } T_{шт.-к2} = 10,17 + \frac{24}{200} = 10,29 \text{ мин.}$$

5. Определение технико-экономической эффективности

Определение технико-экономической эффективности проводится по аналогии с расчетом фрезерования торцевыми фрезами.

ГЛАВА 3. СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

1.1. Общие сведения

Сверление – вид механической обработки материалов резанием, при котором с помощью сверла получают отверстия различного диаметра и глубины, или многогранные отверстия различного сечения и глубины.

Сверление – основной способ образования отверстий в сплошном металле обрабатываемых заготовок. Сверление отверстий без дальнейшей их обработки проводят в тех случаях, когда необходимая точность размеров находится в пределах 11...13 квалитета, а шероховатость поверхности $Ra = 20...80$ мкм. Наиболее часто сверлением получают отверстия для болтовых соединений и для нарезания в них внутренней крепежной резьбы.

История сверления

История сверления начинается с древнего палеолита. Именно к этому периоду многие ученые относят самые древние находки женских бус и подвесок из камня с отверстиями. Уже в это время первобытные люди с достаточной мерой совершенства освоили процессы обрабатывания камней и их резки с помощью острых каменных (кремниевых) лезвий. Сочетание приема резания с одновременным вращением инструмента стало естественным продолжением известных операций и привело к освоению нового технологического приема — сверления, величайшего изобретения палеолита. Если согласиться, что сверление отверстий в морских или речных разноцветных

камнях или раковинах понадобилось женщинам для изготовления украшений и пуговиц, то родоначальником сверления впервые стала прекрасная половина древнего человеческого рода. По крайней мере, как можно предположить, первые инструменты для сверления были сделаны мужчиной по заказу или настоянию женщины.

Необходимость сверления отверстий в камне появилась также для инструментов, которыми пользовался только мужчина. Ему необходимо было иметь надежный каменный топор или мотыгу с рукояткой, закрепленной в отверстии. Сверление дало возможность первобытному человеку перейти на качественно новый этап изготовления орудий: от простых к сложным. Не случайно появление сверления относят к тем революционным преобразованиям техники, которые поднимают человечество на более высокий этап развития.

Для наиболее ранних по времени каменных инструментов с отверстиями, по-видимому, способ получения отверстий был связан не только с чистым сверлением, но и с двусторонним долблением, и с последующей разверткой и шлифовкой отверстия. Впрочем, долбление и развертку отверстия тоже можно считать элементами операции сверления. Сейчас развертку в бурении называют расширением ствола скважины, а инструменты – расширителями

Слово «сверление» приведено не случайно. Различие понятий бурение – как способ прохождения скважины (отверстия) в каменной основе, и сверление – получение отверстия в материале, независимо от его происхождения и характеристик, присутствует только в русском языке. Drilling (англ.) или bohren (нем.), означают как процесс бурения, так и сверления. В технической литературе их звучание и смысл одинаковы.

Поначалу роль сверла выполняла деревянная палка, на конце которой укреплялся заостренный камень. В Швейцарии, в историческом музее г. Берна, хранится топор, в искривленном отверстии которого сохранился защемленный деревянный обломок, вероятно, остаток сверла. Это одно из немногих в мире вещественных доказательств предположения современных археологов о материале древних инструментов.

Имеются находки кремневых наконечников для сверла. Одно из них в сечении имеет форму пятигранника, что в современном представлении можно было бы считать весьма удачным конструктивным решением: для удаления мелкой каменной пыли были преду-

смотрены отверстия, позволяющие очищать сверленное отверстие без остановки вращения. Впрочем, рассуждали конструкторы древнего сверла подобным образом или нет, можно только предполагать.

Во Франции, в пещере Ла Феррасси, в 1921 году были обнаружены плиты из сравнительно мягкого известняка с высверленными чашеобразными углублениями весьма правильной формы. Они могли быть получены только вращательным движением сверла с заостренным концом, снабженным более твердым, чем известняк, камнем. Этот пример убедительно свидетельствует, что древние люди интуитивно, опытным путем, достаточно ясно представляли себе сравнительную твердость и, выражаясь современным языком, буримость горных пород различного состава. Твердость породы учитывалась и при выборе материала для заготовок каменных топоров и молотов: диорит, серпентин, разного рода сланцы, нефрит и другие материалы, сравнительно нетвердые, но вязкие и с малой хрупкостью [5].

Бурильщик каменного века обычно учитывал слоистость горной породы. Большинство отверстий в исследованных топорах направлено точно в крест простирания слоев. Это облегчало получение правильного не искривленного отверстия (вот когда человеку уже были известны причины искривлений скважин!). Такой выбор направления сверления позволял избежать раскола каменной заготовки вдоль плоскости напластования при изготовлении отверстия.

До тех пор, пока не появились металлические петли для дверных проемов, были широко распространены каменные упорные подшипники. Чашеобразные углубления подшипников у древнего человека также получали сверлением. Подшипники считались большой ценностью, особенно в местностях, бедных камнем. В Древнем Египте, например, арендатор, останавливаясь в жилище, обязан был приносить с собой дверное углубление так же, как и кушетку. Во дворцах и замках на подшипниках оставляли памятные надписи.

Сверленные углубления применялись также для сопряженной пары каменных подшипников гончарных колес.

Недавно на болгарском побережье, на дне моря были обнаружены древние каменные якоря, имеющие возраст второй половины второго тысячелетия до н.э. Плоские камни, из которых они были сделаны, имеют сверленные отверстия для якорного пенькового каната.

Интересно, что на одном из египетских барельефов гробницы фараона Сахуры (середина третьего тысячелетия до н.э.) также про-

сматривается каменный якорь аналогичной формы с одним отверстием.

Археологические раскопки дают богатый материал, иллюстрирующий образцы камней с просверленными отверстиями. Особенный интерес представляют орудия, по тем или иным причинам не завершённые до конца. Незавершённая операция позволяет проследить ход сверления и его особенности.

Первое сверло было сделано из обычной палки, на конце которого находился кусок острого камня. Сверление проводилось катанием палки между руками. Рубикон в сверлильном деле произошёл, когда был придуман лучковый способ в неолитическую эпоху (теперь палку зажимали в нити, и процесс шёл значительно быстрее, за счёт вращения палки нитью). Во время использования этого метода, человек одной рукой управлял луком, на котором была веревка, за счёт чего двигалось сверло, другой рукой надавливал на палку с острым наконечником. Далее сверло из дерева и каменного наконечника пришло на замену сверлу из костей крупных животных.

Совершенно случайно в сверлении твёрдых горных пород роль резцов была возложена на дисперсный абразивный материал (мелкий песок и т. п.). Зерна песка стали своеобразным заменителем многочисленных мельчайших резцов, одновременное применение которых при других технологических приемах обработки камня стало бы просто невозможным. Включение в работу одновременно большого количества резцов при сверлении цилиндрическим трубчатым сверлом – одно из новинок неолита, позволивших улучшить обработку камня. Так родился качественно новый способ сверления. Вода охлаждала сверло, связывала отдельные разрушенные частицы и облегчала их удаление.

К применению абразива при бурении в виде стальной или чугунной дроби человечество пришло в конце XIX века при бурении дробовым способом. Этот способ существует и до настоящего времени. Так, в конце 20-х годов первые нефтяные скважины знаменитого Второго Баку в Чусовских городках на западном склоне Урала были пробурены с помощью дроби.

На процесс сверления сильно влияет усилие нажатия на сверло, поэтому сверла стали дополнять искусственными утяжелителями.

Самые первые упоминания изобретения похожего на сверло приписывают персонажу древнегреческой мифологии Дедалу, кото-

рого считали выдающимся инженером и художником. В то же время, в VIII веке до н.э. легендарный поэт Гомер упоминает сверления бревен во время постройки корабля.

Считается, что сверление было освоено людьми примерно 8000 лет назад. Перед тем, как использовать вращающие движения для изготовления отверстий, люди прибегали к выбиванию, но это было не эффективно.

Во время археологических работ, в остатках построек учеными часто находили различное множество костей рыб, которые они использовали как иголки, с просверленными ушками. Эти ушки первобытные люди сверлили скорее всего при помощи острых осколков кремниевого камня. Также в найденных каменных молотках, были обнаружены сквозные отверстия, предположительно сделанных методом сверления острой палочкой из твердых пород дерева. Считается, что для ускорения сверления первобытные люди лунку под отверстия присыпали мокрым песком. Палочку вращали не вручную, а при помощи веревки, дергая ее в разные стороны.

Опыт сверления в древнем Египте

В древнем Египте замечено множество отверстий в пирамидах, что говорит о том, что им сверление давалось достаточно легко. Есть догадки, что древние египтяне использовали для сверления сверла с алмазными наконечниками, или другими твердыми камнями.

Технология сверления с применением абразивных порошков и трубчатых костей стала великим открытием в производстве инструментов. Под перпендикулярно срезанный торец трубчатой кости, приводимой во вращение сначала руками, а затем, с открытием лука, – тетивой лука, обернутой вокруг кости, подсыпался абразивный порошок и подавалась вода как смачивающая и охлаждающая жидкость. Эта технология позволяла выполнять сквозное сверление во всех известных материалах, включая и кремень.

Умение сверлить кремень позволило окончательно решить проблему надежного закрепления ручек в ударных инструментах – топорах, молотках и т. п. В сквозные отверстия вставлялась и расклинивалась ручка инструмента. Применение абразивных материалов для заточки и полировки режущих лезвий каменных инструментов позволило довести их остроту до максимально возможного предела.

Из новых видов инструментов, возникших в Древнем Египте и Междуречье, нужно назвать коловорот – инструмент для сверления

отверстий. Египтяне широко применяли для соединения частей деревянных изделий деревянные же гвозди, для которых требовалось сверлить огромное количество отверстий в соединяемых деталях. Египтяне ввели в употребление и деревянный молоток, т. е. молоток с головкой из дерева. Этот молоток вполне годился для работы с деревянными гвоздями. Отдельно необходимо упомянуть специализированный ювелирный инструмент, возникший при работах с золотом и серебром. Новый вид инструмента – измерительный инструмент – применялся, в основном, для землемерных работ, а также при разбивке строительных площадок под возводимые сооружения.

Опыт сверления древних римлян

Около 500 лет до н.э. в Центральной Италии находились поселения Этрусков. Они известны как первопроходцы в зубном деле. Считается, что они умели изготавливать коронки и даже мосты для зубов, которые по качеству не хуже изделий протезирования созданных в XIX веке. В древнем Риме дантисты унаследовали опыт своих коллег из Италии.

Одним из высочайших достижений является опыт проведенный дантистом Архигеном, являвшимся личным врачом императора Траяна. Архиген впервые смог описать такое заболевание, как пульпит и изобрел особое сверло, при помощи которого произвел успешное лечение пульпита. В XV веке опыт Архигена был повторен профессором Болонского и Падуанского университетов Джиовани ди Арколи.

При популяризации железа, стали применять сверление при помощи режущих материалов. Так в XV веке в чертежах известного изобретателя Леонардо да Винчи (1452–1519) были обнаружены чертежи первых сверлильных станков, которые применялись для сверления пушек.

Первое упоминание вертикальных сверлильных машин

С распространением железа начали сверлить с помощью режущих инструментов. Первые сверлильные машины для пушек появились в XV столетии, о чем свидетельствуют чертежи Леонардо да Винчи.

Первое упоминание вертикальных сверлильных машин, которые использовались в мастерских было в середине XIX века.

Вертикальные сверлильные машины и сверлильные устройства изобрели англичане Генри Модсли (1771–1831) и Джозеф Витворт (Уитуорт) (1803–1887). Они использовались для изготовления от-

верстей во время производства паровых цилиндров.

Сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание являются технологическими способами обработки круглых отверстий различной степени точности и шероховатости, осуществляемых, как правило, на сверлильных и токарных станках (рисунок 3.1).

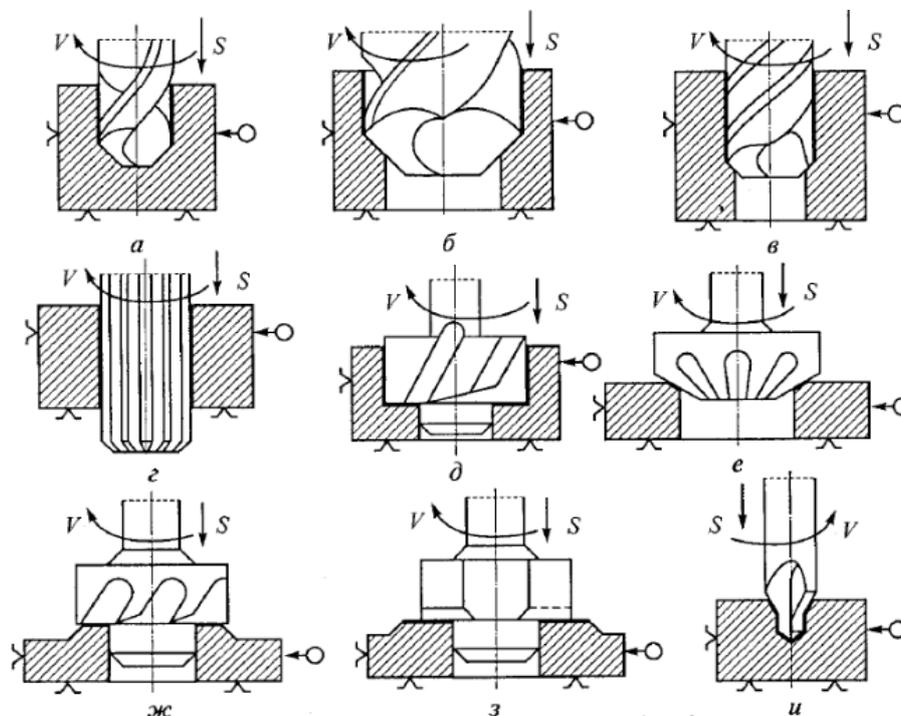


Рисунок 3.1 – Схемы обработки поверхностей на сверлильных станках:
а – сверление; *б* – рассверливание; *в* – зенкерование; *г* – развертывание; *д, е* – зенкование; *ж, з* – цекование; *и* – обработка базовых центровых отверстий

На сверлильных станках производят сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, зенкование, цекование, обработку ступенчатых отверстий и нарезание внутренних резьб. Сверлением (рисунок 3.1, *а*) получают сквозные и глухие отверстия. Рассверливанием (рисунок 3.1, *б*) увеличивают диаметр ранее просверленного отверстия. Зенкерованием (рисунок 3.1, *в*) также увеличивают диаметр отверстия, но по сравнению с рассверливанием зенкерование позволяет получить бóльшую точность и производительность обработки.

Зенкерованием можно обрабатывать отверстия, полученные в заготовке литьем или давлением. Развертывание (рисунок 3.1, *г*) – чистовая операция, обеспечивающая высокую точность отверстия. Развертыванием обрабатывают цилиндрические и конические отверстия после зенкерования или растачивания.

Зенкованием (рисунок 3.1, *д, е*) обрабатывают цилиндрические и конические углубления под головки болтов и винтов. Для обеспечения перпендикулярности и соосности обработанной поверхности основному отверстию режущий инструмент (зенковку) снабжают направляющей цапфой (рисунок 3.1, *д*).

Цекованием (рисунок 3.1, *ж, з*) обрабатывают торцевые опорные плоскости для головок болтов, винтов и гаек.

Перпендикулярность обработанной торцевой поверхности основному отверстию обеспечивает направляющий цилиндр режущего инструмента (цековки). Центровочным сверлом (рисунок 3.1, *и*) обрабатывают центровые базовые отверстия в валах.

На рисунке 3.2 приводятся движения осевого инструмента при обработке отверстий.

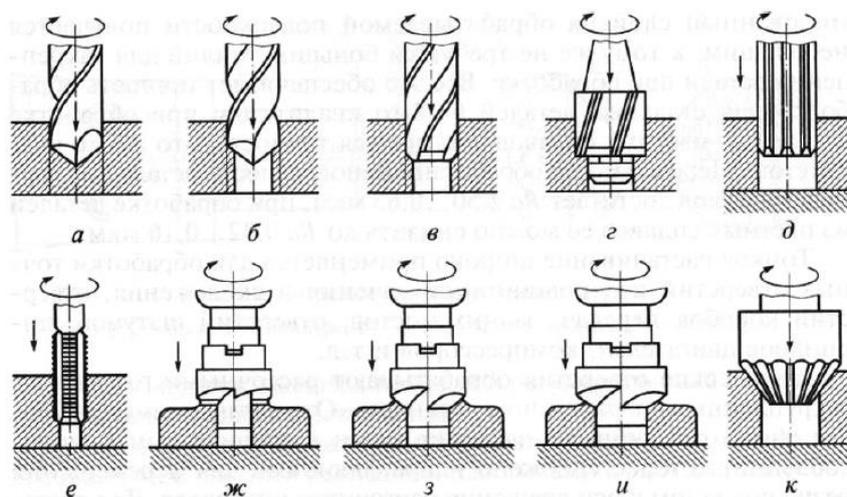


Рисунок 3.2 – Движения осевого инструмента при обработке отверстий:

а – сверление; *б* – рассверливание; *в, г* – зенкерование; *д* – развертывание;
е – нарезание внутренней резьбы; *ж* – цекование; *з, и, к* – зенкование

Рассверливание – способ обработки поверхностей сверлом большого диаметра (рисунок 3.2, *б*). Применяется при невозможности сразу просверлить отверстие большого диаметра (из-за больших усилий и крутящих моментов) или при отсутствии зенкера требуемого диаметра.

Зенкерование применяют для обработки глухих и сквозных отверстий, предварительно подготовленных сверлением либо полученных в заготовках литьем, ковкой или штамповкой (рисунок 3.2 *в, г*). Различают черновое и чистовое зенкерование. Обработку выполняют зенкером. По сравнению со сверлом зенкер имеет большее число режущих лезвий и большую жесткость. Меньшая глубина и меньшая

сила резания позволяет получить отверстие более точное по геометрической форме и размерам (8...12 квалитет точности) и шероховатость обработанной поверхности $Ra = 2,5...10$ мкм.

Развертывание применяют для окончательной обработки цилиндрических и конических отверстий (рисунок 3.2, д), обычно после зенкерования или растачивания. Различают следующие виды развертывания: черновое (нормальное), чистовое (точное) и тонкое. При развертывании достигается точность, соответствующая 6...10 квалитету, и шероховатость $Ra = 0,32...1,25$ мкм. Развертывание осуществляют развертками, представляющими собой многолезвийный инструмент с четным числом режущих лезвий. Стандартные цельные машинные развертки в зависимости от их диаметра имеют 6...14 режущих лезвий. Например, если диаметр развертки не превышает 10 мм число лезвий равно 6, у разверток диаметром 11...19 мм число лезвий равно 8 и т. д. Большое число режущих лезвий, малые толщины среза (глубина резания $t = 0,1...0,4$ мм) и наличие калибрующей части обеспечивают высокую точность обработки.

Зенкование применяют для получения конических и цилиндрических углублений под головки винтов и болтов, в предварительно обработанных отверстиях (рисунок 3.2 з, и, к). Обработку выполняют зенкерами и зенковками. Для обеспечения перпендикулярности и соосности обработанной поверхности основному отверстию зенковку снабжают направляющим цилиндром.

Цекование используют для обработки плоских поверхностей со стороны торца отверстия, которые служат опорными поверхностями под крепежные детали болтов, винтов и гаек. Этот вид обработки обеспечивает перпендикулярность оси отверстия к опорной поверхности. Обработку осуществляют зенковкой-подрезкой или цековкой (рисунок 3.2, ж). Перпендикулярность обработанной торцевой поверхности основному отверстию обеспечивает направляющий цилиндр (цапфу) режущего инструмента.

Наибольшее применение при обработке отверстий имеют спиральные сверла (рисунок 3.3). Винтовые стружечные канавки у сверла фрезеруются на рабочей части или образуются завиванием прутка соответствующего профиля. В последнем случае режущую часть приваривают к хвостовику, а дальнейшую обработку производят так же, как и фрезерованных сверл.

У стандартных сверл угол наклона стружечных канавок $\omega = 20...30^\circ$. Две главные режущие кромки 11 затачивают по углам $2\phi = 90...120^\circ$ в зависимости от обрабатываемого материала и технологической необходимости.

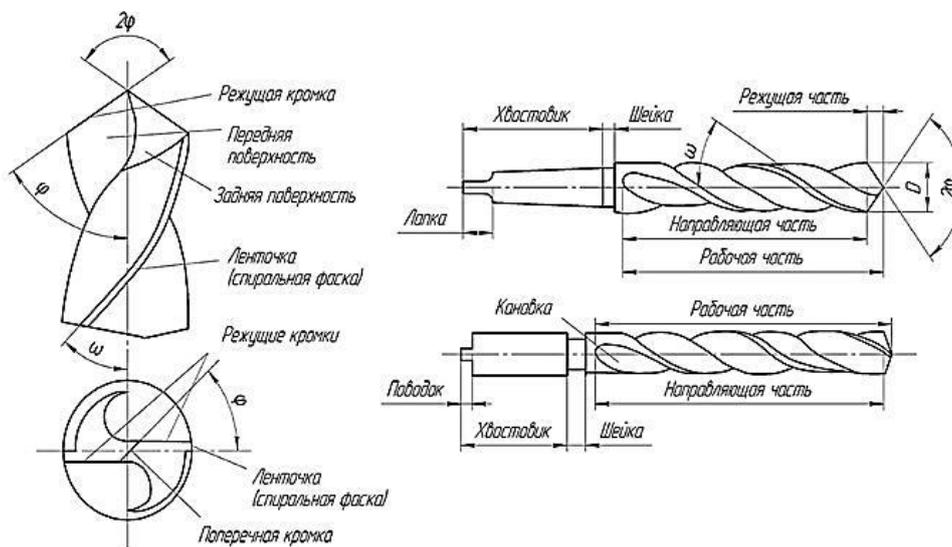


Рисунок 3.3– Элементы спирального сверла

Тип рабочей части. Тело сверла бывает цилиндрическим в виде спирали (для создания сквозных отверстий), конусным (для углублений или быстрого сверления неглубоких отверстий разного диаметра), ступенчатым (мгновенные переходы к разным диаметрам отверстий при сверловке листовой стали без смены оснастки).

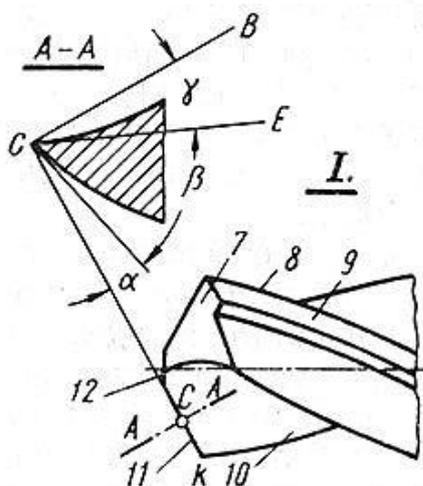


Рисунок 3.4– Части и элементы спирального сверла: 7 – задняя поверхность; 8 – кромка ленточки; 9 – ленточка; 10 – передняя поверхность; 11 – главная режущая кромка; 12 – поперечная режущая кромка

Передний угол γ образован касательной AA к передней поверхности 10 в точке C главной режущей кромки 11 и линией CB , перпендикулярной к поверхности резания (боковая поверхность усеченного конуса) в той же точке.

Так как передняя поверхность сверла является винтовой поверхностью, то передний угол γ будет переменным по величине в различных точках главной режущей кромки. На периферии сверла (точка k) угол γ будет наибольшим ($\gamma_k \approx \omega$), а с приближением к вершине сверла он уменьшается, достигая у поперечной режущей кромки 12 величины, близкой к нулю.

Для сохранения примерно равного значения угла заострения β вдоль всей главной режущей кромки затачивают задние поверхности 7 сверла таким образом, чтобы задний угол α был бы переменным по величине, так чтобы в точке K угол $\alpha = 8...10^\circ$, а у поперечной режущей кромки $\alpha = 20\div 25^\circ$.

Задний угол образован касательными к задней поверхности сверла и поверхности резания в рассматриваемой точке (точка C).

Постоянный угол β вдоль режущей кромки обеспечивает ее равнопрочность во всех точках. Поперечная режущая кромка 12 , расположенная перпендикулярно оси сверла, работает в тяжелых условиях (в этом случае угол γ имеет отрицательное значение, а угол резания $\delta > 90^\circ$), поэтому требуется приложить значительную осевую силу для внедрения сверла в обрабатываемый материал.

Для улучшения условий работы у сверл больших диаметров укорачивают длину поперечной режущей кромки специальной подточкой. Применяют также сверление отверстий больших диаметров последовательно двумя сверлами, причем диаметр первого сверла (меньшего) должен быть больше длины поперечного лезвия последующего (большого).

Таким образом, у большего сверла поперечная режущая кромка не работает, отверстие рассверливается, осевая сила, которую нужно приложить к сверлу в направлении подачи s , меньше на 50 %.

Для уменьшения трения сверла в процессе резания на его рабочей части имеются две ленточки 9 (шириной $0,2...2,6$ мм в зависимости от диаметра сверла), на которых нет заднего угла α , так как по наружному диаметру D сверло шлифуется с небольшой обратной конусностью к хвостовику. На каждые 100 мм длины диаметр D

уменьшается к хвостовику на 0,03...0,1 мм, что, не ухудшая направление сверла в отверстии, уменьшает трение ленточек с обработанной поверхностью.

Хвостовик 3 может быть конусным и цилиндрическим. Инструменты с конусным хвостовиком закрепляют непосредственно в конусном отверстии шпинделя станка или посредством промежуточных (переходных) конусных втулок. Инструменты с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в зажимных патронах.

Существует 4 метода сверления отверстий: простое, сверление с образованием фаски, ступенчатое сверление и трепанирование (кольцевое сверление или процесс создания круглых отверстий или пазов в твердом металле для изготовления дисков, цилиндров или труб (рисунок 3.5).

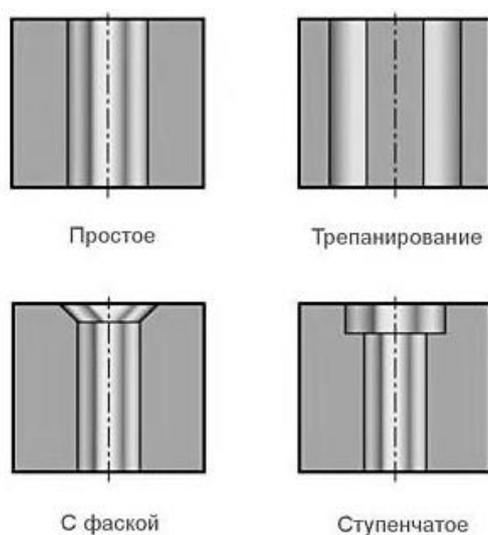


Рисунок 3.5 – Методы сверления отверстий

Классификация сверл

По сферам применения сверла подразделяют на: станочные (слесарные), столярные и строительные.

Сверла подразделяются по ряду отличительных признаков: назначению (типы), по конструкции, материалу рабочей части, способу изготовления.

По назначению (типы) сверла бывают:

1. Спиральные сверла (рисунки 3.3 и 3.4).
2. Центровочные сверла (рисунок 3.6).
3. Перовые (ступенчатые, фасонные, сборные) сверла (рисунок 3.7).

4. Корончатые (многолезвийные, кольцевые) (рисунки 3.8, 3.9).
5. Конические сверла (рисунок 3.10).
6. Ступенчатые сверла (рисунок 3.11).
7. Шлифующие сверла (рисунок 3.12).
8. Сверла для глубокого сверления (рисунки 3.13, 3.14, 3.15).
9. Зенковочное сверло (рисунок 3.16).
10. Модульные сверла (рисунки 3.17, 3.18, 3.19).
11. Сверло конструкции Жирова (рисунок 3.20).
12. Специальные виды сверл по металлу (рисунки 3.21, 3.22).

По конструкции сверла подразделяют на:

- цельные;
- правые и левые;
- с пластинами из твердого сплава;
- с прямыми и наклонными канавками;
- ступенчатые;
- с двойным наконечником;
- повышенной жесткости;
- с внутренним подводом СОЖ.

Центровочные сверла применяют для изготовления центровых отверстий в валиках или подобных им деталях (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6– Центровочные сверла

Перовые сверла (рисунок 3.7) применяют для обработки гладких и многоступенчатых отверстий на станках токарной группы (главным образом в заготовках из цветных сплавов).



Рисунок 3.7 – Перовые сверла со сменными пластинами

Корончатое (многолезвийное, кольцевое) сверло

Корончатое сверло (также известное под названиями пустотелое сверло, кольцевое сверло, кольцевая фреза) – сверло в виде пустотелого цилиндра, предназначенное для сверления отверстий в стали и цветных металлах. Сверло удаляет материал по периферии отверстия, оставляя материал в центре (который при сверлении насквозь удаляется в виде «пробки»).

Корончатые сверла – альтернатива менее эффективным и более дорогим и медленным спиральным сверлам. Корончатые сверла очень похожи на кольцевые пилы, разница лишь в материале и геометрии режущих кромок. Корончатые сверла производительнее, проще и более точные, чем обычные спиральные сверла.

Корончатые сверла применяют для качественного сверления отверстий больших диаметров. Конструктивно они представляют собой полый цилиндр, по нижнему краю которого расположены острые зубья. Благодаря этому площадь обрабатываемой поверхности значительно уменьшена и сопротивление силы трения становится минимальным. При этом удается получить более качественные края, чем при работе со спиральными моделями. Затраты энергии на изготовление отверстия таким способом в несколько раз ниже за счет небольшой площади соприкосновения инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Корончатое сверло удаляет материал только по периферии отверстия, а не из всего отверстия, как обычные спиральные сверла. Они изготавливаются из быстрорежущей стали или из стали с напайками из твердого сплава.

Корончатые сверла выпускаются в различных размерах, от 12 мм до 200 мм (и более под заказ). Типичная длина корончатого сверла 30, 55, 75 и 110 мм.

Корончатое сверло было изобретено и запатентовано мистером Дизом Хогеном (Dough Hougen) в 1973 году. Корончатое сверло из быстрорежущей стали было изобретено Майклом Бехари (Michael Beharry) в 1983 году. Корончатое сверло с твердосплавными напайками было изобретено в 1985 году Микией Тосио (Mikiya Toshio) и Содзи Митихиро (Shoji Michihiro).

Несмотря на то, что некоторые используют корончатые сверла на обычных сверлильных станках, такое использование не рекомендуется – частота вращения у обычных сверлильных станков слишком высокая, что может повести к поломке или порче инструмента. Недостатком корончатого сверла является невозможность сверления глухих отверстий.



Рисунок 3.8 – Корончатые (многолезвийные, кольцевые) сверла



Рисунок 3.9– Устройство корончатого сверла:

- 1 – рабочая коронка; 2 – пилотное сверло;
- 3 – хвостовик; 4 – соединительные винты

Конусные сверла

Конусное сверло представляет собой сверло конусной формы с одной или несколькими продольными прямыми или спиральными канавками, которые образуют режущую кромку инструмента. Благодаря переменному диаметру сверла с его помощью можно получать в обрабатываемых деталях различные по размеру отверстия.

Конусные сверла бывают 2 основных видов, которые часто путают между собой: непосредственно **коническое** сверло и **ступенчатое** сверло (рисунок 3.10).

Качественное конусное сверло по металлу имеет твердые острые кромки, что позволяет ему работать с металлом с высокой плотностью и твердостью. Некоторые сверла также имеют абразивное напыление, что еще больше повышает их эффективность. Там, где другой инструмент бессилён, часто очень удобно воспользоваться рассматриваемым видом сверл. Конусное сверло имеет острый наконечник, что позволяет проводить операцию сверления без предварительного кернения и дополнительной центровки.

Конические сверла отличаются плавным переходом диаметра от меньшего к большему. С их помощью можно просверлить в металле отверстие с диаметром в диапазоне от минимального до максимального значения диаметра самого инструмента.

Ступенчатые сверла отличаются последовательным ступенчатым переходом диаметров. При использовании такого типа режущего инструмента намного легче контролировать размер обрабатываемого отверстия, причем его диаметр будет строго соответствовать одному из значений диаметров последовательного ряда сверла.



Рисунок 3.10 – Конусные сверла:

слева – 2 конических сверла, справа – 2 ступенчатых сверла

Коническое сверло (иногда мастера называют его сверло-морковка) выделяется также тем, что при правильной работе с ним отверстие практически не имеет дефектов. Грамотное использование инструмента позволяет получить ровные стенки и края отверстия, отсутствие заусенцев и трещин. После сверления отсутствует необходимость дополнительной обработки отверстий. Поэтому часто мастера используют их для того, чтобы исправить дефекты отверстий, полученных другим типом сверлильного инструмента.

Конусные сверла бывают с плавным переходом диаметра и с шаговым, ступенчатым. Наибольшее применение нашли сверла ступенчатые, поскольку они позволяют получить отверстие строго определенного размера с ровными стенками. Отверстие, полученное плавным конусным сверлом, всегда будет иметь небольшой уклон. В случае работы с тонколистовым металлом это будет малозаметно.

Ступенчатые сверла

Ступенчатые сверла выбирают в зависимости от типа обрабатываемого металла. Если плотность заготовки слишком высока, то лучше приобрести более дорогие, золотистой окраски изделия. В быту этот вид сверл применяется редко. Если необходимо часто производить сверление тонких металлических листов или обрабатывать мягкие материалы, то, несмотря на относительно высокую стоимость, его следует приобрести для домашней мастерской.



Рисунок 3.11 – Ступенчатые сверла

Конические сверла по металлу применяются для получения отверстий в листовом и тонкостенном металле. Обычно толщина обрабатываемого металла составляет от 1 до 4 мм и зависит от высоты ступени сверла. Если высота ступени составляет 4 мм, то и максимальная толщина листа или металлопроката, которые поддаются обработке, составит, соответственно, 4 мм. Ступенчатое сверло позволяет работать даже с тонколистовым металлом.

Шлифующие сверла

Шлифующие сверла предназначены для засверливания имеющих отверстия в листовой стали толщиной 0,1...2,0 мм, для сверления отверстий больших диаметров в тонколистовых материалах, нержавеющей стали толщиной 0,1...5,0 мм, стальных профилей и труб, пластика толщиной до 10 мм, плексигласа.



Рисунок 3.12 – Шлифующее сверло

Сверла для глубокого сверления

Сверление называется глубоким в том случае, если глубина выполняемого отверстия превышает пять его диаметров. Данная технологическая операция отличается высокой сложностью и трудоемкостью, а главным условием ее качественного выполнения является эффективное охлаждение используемого инструмента, которое, как правило, осуществляется под давлением.

Чтобы качественно и точно выполнить глубокое сверление, очень важно обеспечить правильное направление инструмента в самом начале обработки. Для этого используют специальную кондукторную втулку или осуществляют такую процедуру по предварительно выполненному отверстию меньшего диаметра.

Глубокое сверление может вестись 3 методами, которые обеспечивают надежный подвод СОЖ и удаление стружки (рисунок 3.13).

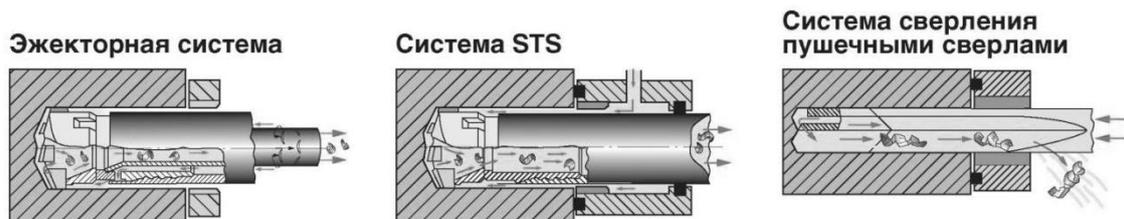


Рисунок 3.13– Методы глубокого сверления

В качестве сверл для глубокого сверления могут быть использованы:

- спиральные с цилиндрическим хвостовиком, параметры которых регламентирует ГОСТ 886–77 (по своей конструкции спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком относятся к инструментам длинной серии, при помощи которых создают отверстия с глубиной, превышающей величину, равную 15 диаметрам);
- ружейные, режущая часть которых полностью выполнена из твердого сплава;

- ружейные, на режущей части, которых твердосплавные пластины фиксируются при помощи пайки;
- ружейные, оснащенные не только основными, но и промежуточными твердосплавными пластинами;
- эжекторные, которые используются для выполнения глубокого сверления на станках с горизонтальным расположением режущего инструмента;
- пушечные, на поверхности, которых имеется V-образная канавка, предназначенная для удаления стружки (обработка при помощи сверл данного типа является устаревшим методом получения глубоких отверстий).

Сверло, используемое для глубокого сверления, нельзя вращать на полных оборотах вне самой обрабатываемой детали: это может привести к смещению режущей части с требуемой траектории. Кроме того, при сверлении глубоких отверстий с помощью длинного сверла создаются неблагоприятные условия для отвода стружки из зоны обработки, что также может привести к уходу инструмента от заданного направления.

Сверла глубокого сверления относятся к инструментам однорезцового типа, при помощи которых можно создавать глубокие отверстия с диаметрами, находящимися в интервале 0,5...100 мм. Охлаждение сверл данного типа осуществляется через отверстие, выполненное в их внутренней части, а стружка, образующаяся в процессе обработки, отводится при помощи специальной канавки, выполненной на их наружной поверхности. Глубинные сверла, оснащенные режущими твердосплавными пластинами, отличаются конической конфигурацией рабочей части, что обеспечивает лучшее направление инструмента в зону выполнения обработки.

В силу технических сложностей глубокое сверление следует выполнять на специальном оборудовании.

Выбирая сверла для глубокого сверления, следует учитывать целый ряд факторов: диаметр и глубину отверстия, которое необходимо выполнить; характеристики обрабатываемого материала; тип оборудования, которое будет использоваться для выполнения обработки.

Следует иметь в виду, что аппарат, на который будет устанавливаться такое сверло, должен быть предназначен именно для глубо-

кого сверления. Перед началом сверления следует выбрать оптимальную скорость вращения и подачи режущего инструмента, а также обеспечить его эффективное охлаждение. Для обработки материалов, которые в процессе их резания образуют длинную стружку, лучше всего использовать сверло с полированными стружечными канавками.

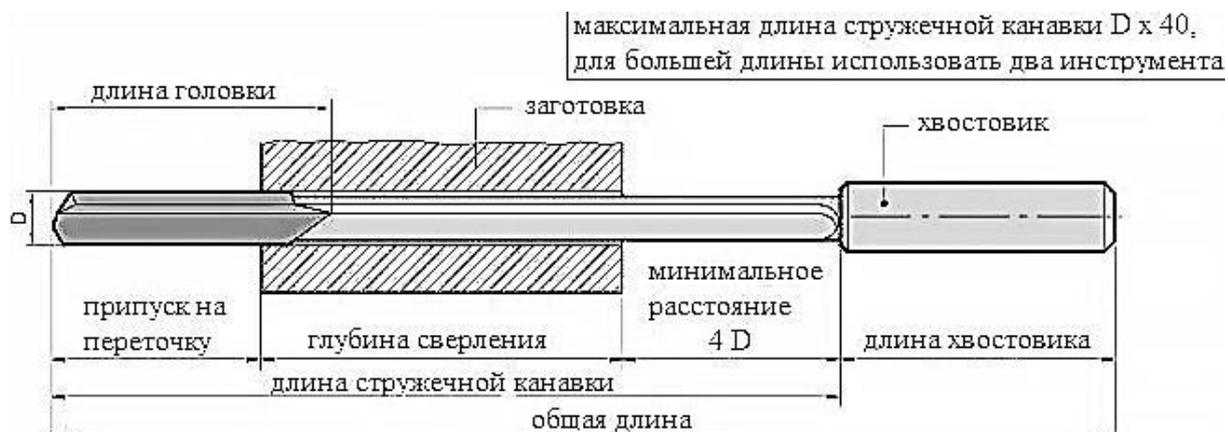


Рисунок 3.14 – Сверла ружейные одно- или двухстороннего резания

Пушечное сверло (рисунок 3.15,а) представляет собой инструмент, при помощи которого выполняется сверление сквозных и глухих отверстий, отличающихся значительной глубиной. Отверстия данного типа выполняются в валах различного назначения, в шпинделях, а также в других деталях, характеризующихся значительной длиной. С этой целью используются не только пушечные сверла, но и, в частности, однокромочные и двухкромочные сверла с внутренним отводом стружки. Сверление с помощью последних отличается невысокой производительностью, но при этом выполняемые глубокие отверстия характеризуются высокой чистотой, точностью геометрических параметров и прямолинейностью.

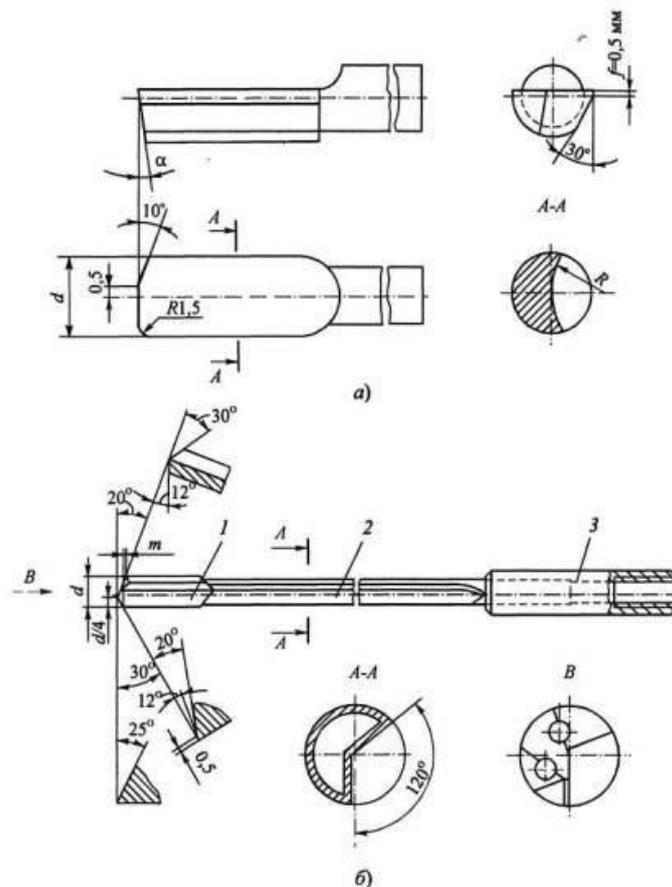


Рисунок 3.15– Сверла для глубокого сверления:
а – пушечное сверло; *б* – ружейное сверло

Зенковочные сверла

Сверла с зенкером пользуются популярностью при работе с разными типами материалов: от пластика и древесины до стали. Их основной особенностью является совмещение функций: изделие одновременно проделывает отверстие нужного диаметра, глубины и снимает фаску для утапливания шляпки крепежа (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Зенковочные сверла

Современные сверла с зенковкой изготавливаются в различном диапазоне диаметров. Хвостовая часть может иметь цилиндрическую или шестигранную форму, хорошо подходящую для установки в шуруповерт или дрель.

Модульные сверла

Твердосплавные сверла обеспечивают высокую точность и скорость обработки, однако они довольно дорогие, поэтому использование цельных твердосплавных сверл больших диаметров экономически неэффективно.

Один из способов экономии для дорогостоящих твердосплавных сверл – использование стальных сверл со сменными режущими пластинами из твердых сплавов. Однако они могут не удовлетворять требования точности или качества обработанной поверхности.

Еще один выход – использование сверла со стальным корпусом и сменной твердосплавной головкой-наконечником. Сверла такого типа обеспечивают высокую производительность по скорости резания и подаче при значительно меньшей цене, чем цельные твердосплавные сверла, при этом сохраняя практически те же характеристики по точности обработки, одновременно значительно выигрывая по скорости замены.

Модульные сверла – это сверла со сменными твердосплавными головками различной конструкции. Это высокоэффективный инструмент для получения точных отверстий с превосходной производительностью, созданный заменить традиционные инструменты с низкой производительностью и неудобным использованием. Сверла со сменными головками состоят из двух частей – корпуса и сменной головки (рисунок 3.17).

Преимущества модульных сверл:

- благодаря 14 корпусам сверл 1 можно сверлить отверстия в диапазоне от Ø 9,5 до Ø 114 мм;
- подвод СОЖ 2 непосредственно в зону резания обеспечивает превосходное удаление стружки и хорошее охлаждение при сверлении глубоких отверстий;
- высокая точность соединения 3 между сменной головкой и корпусом сверла обеспечивает точную фиксацию и легкость замены головки;

- легкозаменяемые сменные головки 5 наиболее удобны в использовании. Нет необходимости отрываться от работы для переточки сверла;
- сменные головки 4 изготавливаются из порошковой стали и твердого сплава и оснащаются различными износостойкими покрытиями. Это значительно увеличивает срок службы инструмента и скорость сверления по сравнению с обычными спиральными сверлами;
- новый тип режущей кромки 6 – XR значительно уменьшает нагрузки при сверлении;
- сменные головки имеют стружколом 7, который улучшает стабильность сверления и обеспечивает правильное формирование стружки.

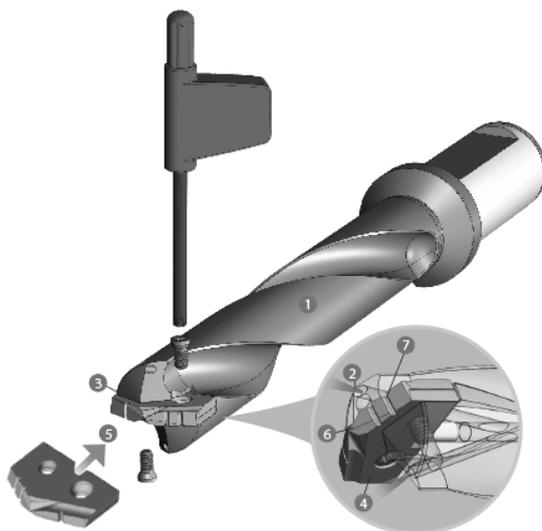


Рисунок 3.17 – Конструкция модульного сверла

Геометрические параметры сменной головки приведены на рисунке 3.18.

Стружколом 1 измельчает стружку и лучше ее удаляет. Уменьшается крутящий момент при сверлении.

Износостойкое покрытие 2 имеют все сменные головки.

Канавка для разделения стружки 3 уменьшает длину стружки и улучшает отвод стружки, а также уменьшает крутящий момент при сверлении.

Фаска 4 увеличивает стабильность работы сменной головки, уменьшает износ наружного диаметра, улучшает шероховатость отверстия.

Отверстия под крепежные винты 5 – безопасная и надежная фиксация сменной головки. Обеспечивает стабильность во время сверления.

Позиционирующий паз 6 обеспечивает точность позиционирования сменных головок по радиальному направлению.

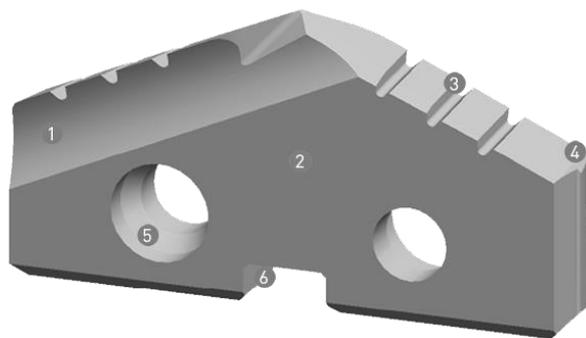


Рисунок 3.18 – Геометрические параметры сменной головки модульного сверла

Геометрические параметры вершины сменной головки модульного сверла приведены на рисунок 3.19. Вершина сверла 1 обеспечивает лучшее самоцентрирование по оси. Такая геометрия вершины сверла на 20 % снижает осевое сопротивление по сравнению с обычным сверлением.

Режущая кромка с новой геометрией XR 2 улучшает прочность режущей кромки и увеличивает стабильность режущих кромок.

Две задние боковые поверхности 3 уменьшают трение с заготовкой и уменьшают осевое сопротивление, обеспечивая лучшее самоцентрирование по оси.

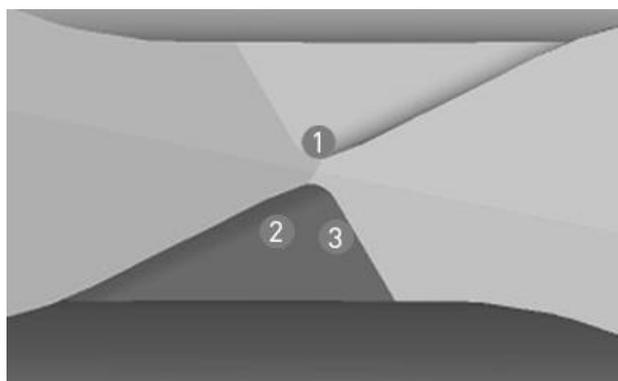


Рисунок 3.19 – Геометрические параметры сменной головки модульного сверла

Сверла со сменными твердосплавными головками – это идеальный инструмент для получения точных отверстий с высоким качеством обрабатываемой поверхности, которые подходят для всех со-

временных станков с ЧПУ, таких как: вертикально-сверлильные станки с ЧПУ, обрабатывающие центры с ЧПУ, токарные станки с ЧПУ, многоцелевые станки.

Предпочтительно применение твердосплавных сменных головок.

Сверло конструкции Жирова

Сверло конструкции В. И. Жирова представляет собой спиральное сверло с комбинированной заточкой, подточкой и прорезкой поперечной кромки, а также с тройной заточкой режущих кромок под углами: 118° , 70° , 55° (30°).

Такой особый способ заточки позволяет добиться уменьшения осевой силы при сверлении чугуна в 3–4 раза, а при сверлении стали в 2–3 раза. Это достоинство особенно ощутимо на станках с ручной подачей режущего инструмента. По методу Жирова перемычку вообще вырезают на небольшой длине сверла (рисунок 3.20). Вместо нее на сверле образуются две выступающие кромки. Сверло становится как бы двухвершинным. Такое сверло получают из стандартного сверла с применением особой заточки.

Однако лучшие результаты (повышение производительности и увеличение стойкости) обеспечивает комбинированная подточка поперечного лезвия сверла (рисунок 3.19). Здесь на расстоянии K , равном одной трети длины режущего лезвия, производится подточка поперечного лезвия с поднутрением ее сердцевины под углом 30° . Ширина прорезанного паза и глубина h равны $0,15$ диаметра сверла.

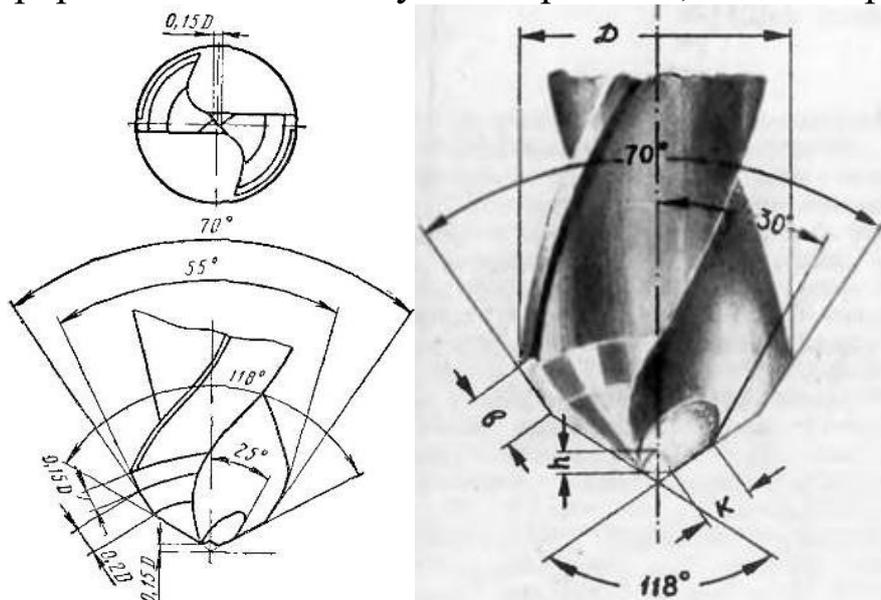


Рисунок 3.20 – Сверло без перемычки конструкции В. И. Жирова

Специальные виды сверл по металлу

К специальным сверлам относятся однокромочные модели. Рабочие поверхности таких сверл прямой конструкции сточены наполовину. Это обеспечивает более эффективный отвод стружки. Однокромочные сверла применяют при изготовлении ружейных стволов (рисунок 3.21).

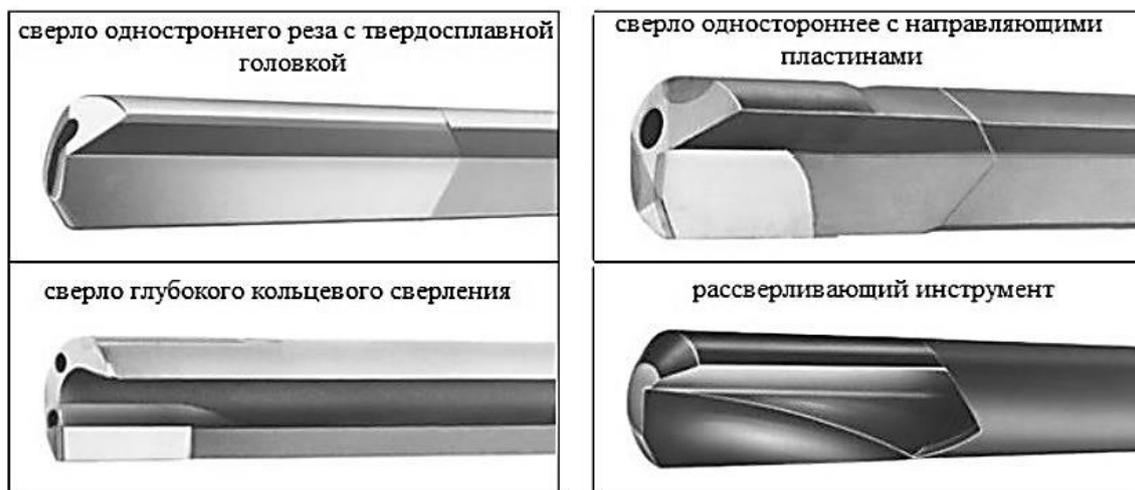


Рисунок 3.21– Специальные виды сверл по металлу

Специальное комбинированное сверло формирует за один рабочий ход отверстие под шпильку диаметром от 13 до 21 мм в автомобильных дисках с подводом СОЖ (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Комбинированное сверло

Специальные сверла могут быть комбинацией 2 различных инструментов. Их применяют для совмещения некоторых последовательных технологических операций. Например, сверление предшествует нарезанию резьбы, зенкованию, поэтому логично появление комбинаций сверло-метчик, сверло-зенковка.

По материалу рабочей части сверла разделяют на:

- сверла из быстрорежущей стали;
- сверла с пластинками из твердого сплава.

В 1858 году Р. Мюшett получил сталь, содержащую 1,85 % углерода, 9 % вольфрама и 2,5 % марганца. Спустя десять лет Мюшett изготовил новую сталь, получившую название самокалки. Она содержала 2,15 % углерода, 0,38 % марганца, 5,44 % вольфрама и 0,4 % хрома. Через три года на заводе Самуэля Осберна в Шеффилде началось производство мюшеттовой стали. Она не теряла режущей способности при нагревании до 300°C и позволяла в полтора раза увеличить скорость резания металла – 7,5 м/мин.

Спустя сорок лет на рынке появилась быстрорежущая сталь американских инженеров Тэйлора и Уатта. Резцы из этой стали допускали скорость резания до 18 м/мин. Эта сталь стала прообразом современной быстрорежущей стали P18.

Еще через 5–6 лет появилась сверхбыстрорежущая сталь, допускающая скорость резания до 35 м/мин. Так, благодаря вольфраму было достигнуто повышение скорости резания за 50 лет в семь раз и, следовательно, во столько же раз повысилась производительность металлорежущих станков.

Сверла отечественного производителя Зубр выполнены из быстрорежущей стали P6M5, отличаются высокой точностью и скоростью сверления, применяются для сверления как легированной, так и углеродистой стали.

Большая часть современных сверл по металлу изготавливается из стали P6M5, хотя разница между современными сверлами и сверлами времен СССР просто огромная, китайские сверла моментально закатываются и ими невозможно просверлить даже обычный уголок из 3 мм железа. Одного сверла хватает на несколько отверстий. Однако есть и качественные сверла, которых хватает надолго.

Сталь P18 теперь уже легендарная сталь. Содержит 18 % W, благодаря чему эта сталь поддерживает обработку металла даже на

высоких скоростях. Сверла из стали P18 не перегреваются, долго и отлично сверлят. В советское время сталь P18 использовали очень широко для изготовления металлорежущего инструмента. Однако в 1970-х годах в связи с дефицитом вольфрама быстрорежущая сталь марки P18 была почти повсеместно заменена на сталь марки P6M5 (так называемый «самокал», самозакаливающаяся сталь), которая, в свою очередь, вытесняется безвольфрамовыми P0M5Ф1 и P0M2Ф3.

Сталь P6M5 – рядовая сталь для металлорежущего инструмента, содержащая 6 % W, 5 % Mo. Если сверло по металлу советское из P6M5, то оно отлично подойдет для повседневного использования в быту, хватает таких сверл надолго, правда более закаленное железо ими не просверлить. Для этого подойдут сверла с добавлением кобальта.

P6M5K5 – тоже самое, что и P6M5, только добавлено 5 % Co (кобальта), отчего эти сверла стали еще крепче и выносливее. Сверла с кобальтом подходят для сверления там, где при сверлении получается высокая температура.

Инструмент на основе спеченного карбида вольфрама (WC) начали использовать в середине 1920-х годов в Германии. В СССР победит впервые был изготовлен в 1929 году. Предназначался преимущественно для изготовления режущего инструмента. Основная цель заключалась в том, чтобы подобрать оптимальный состав и получить материал исключительной прочности. В состав нового на тот момент твердого сплава BK10 вошли 90 % WC и 10 % кобальта в качестве связки. Из победита начали изготавливать напайки на сверла и применять в других целях. Новая технология позволила значительно упростить и сделать более эффективной обработку материалов, которые отличались особой прочностью. Обладая высокой твердостью 80...90 HRA, применяются при изготовлении различного режущего инструмента, как в виде напайных и вставных пластин различной формы, так и цельного твердосплавного инструмента.

С момента создания состав сплава много раз менялся: применялось другое соотношение вольфрама и кобальта, добавлялись присадки и пр.

Сверла с пластинками из твердого сплава подходят для обработки металлов большой толщины, обладают односторонним, острым углом заточки.

В настоящее время практическое применение получили следующие сверла с пластинками из твердого сплава:

- сверла с напайными твердосплавными пластинами (рисунок 3.23,*а*);
- сверла с напайными коронками (рисунок 3.23,*б*);
- сверла с механическим креплением сменных пластин (СМП) (рисунок 3.23,*в*).

Сверла с напаянными твердосплавными пластинами. Позволяют обеспечить увеличенные характеристики износостойкости во время обработки особо прочных металлов. К тому же экономически целесообразны во время обрабатывания больших отверстий, т.к. цена существенно ниже твердосплавного аналога или со сменными пластинами. Эти сверла успешно применяются при сверлении чугунов, цветных металлов, пластмасс, многих строительных материалов, при обработке которых силы невелики и требуется повышенная износостойкость сверл, так как в этом случае превалирует абразивный износ.

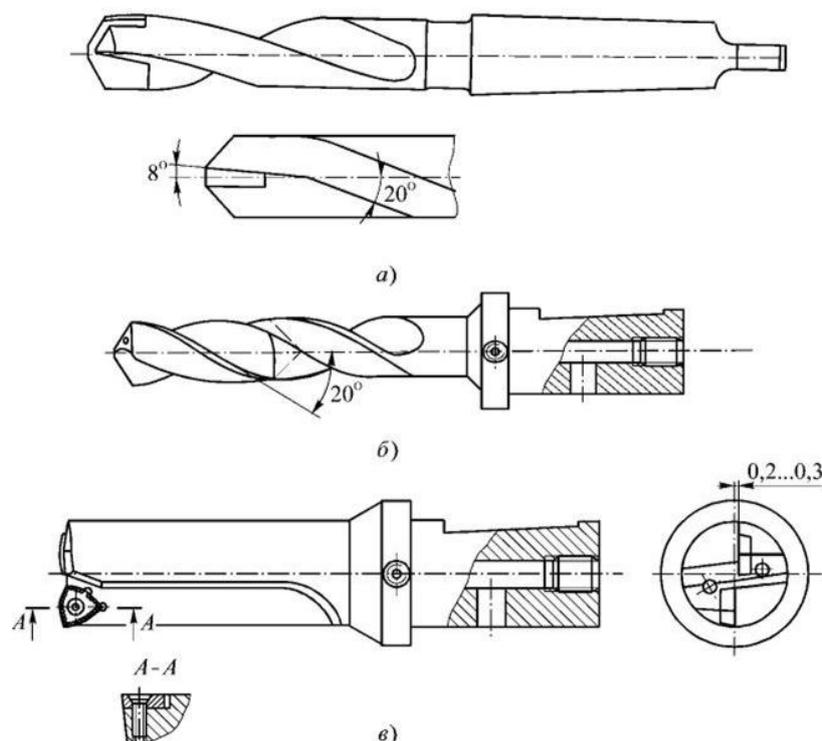


Рисунок 3.23 – Конструкции твердосплавных спиральных сверл:

а – с напайной пластиной; *б* – с напайной коронкой;

в – с механическим креплением СМН

При сверлении сталей и сплавов, особенно высокопрочных и твердых, наилучшие результаты показывают сверла с напайными коронками и сверла с механическим креплением СМП. Многочисленные эксперименты показали, что эти сверла обладают повышенной жесткостью и могут успешно работать только в условиях применения внутреннего напорного охлаждения.

У сверл с напайными коронками направляющие ленточки выполняют только на твердосплавной режущей части, так как при высоких скоростях резания, допускаемых этими сверлами, диаметр рабочей части сверла во избежание затирания корпуса занижают.

Сверла со сменными пластинами (рисунки 3.23, 3.24) используются для обработки деталей в массовом и серийном производстве. Отличаются быстрым процессом смены пластин, что существенно упрощает работу операторов, т.к. сверла не требуется перетачивать и снова устанавливать. Применяются при обработке глухих отверстий, имеющих плоское дно, а также при невысоком требовании к точности обработки. Сверла с механическим креплением СМП обычно имеют прямые канавки и применяются для сверления неглубоких отверстий ($l < 2...2d$) относительно больших диаметров ($d > 18$ мм).



Рисунок 3.24 – Конструкции твердосплавных спиральных сверл

Для повышения устойчивости сверл в отверстиях и уменьшения поперечных колебаний в процессе резания разработаны различные варианты асимметричной заточки твердосплавных сверл, обеспечивающие их повышенные надежность и стойкость в процессе сверления.

Популярные марки сверл от зарубежных производителей

Для использования сверл зарубежного производства, надо знать какие материалы лучше подходят для решения определенных технологических задач, иметь представление о материале, который предстоит обрабатывать с их помощью. Так, зарубежные производители

дают следующие рекомендации по выбору инструмента с маркировкой (HSS-G и HSS-R) (рисунок 3.25).

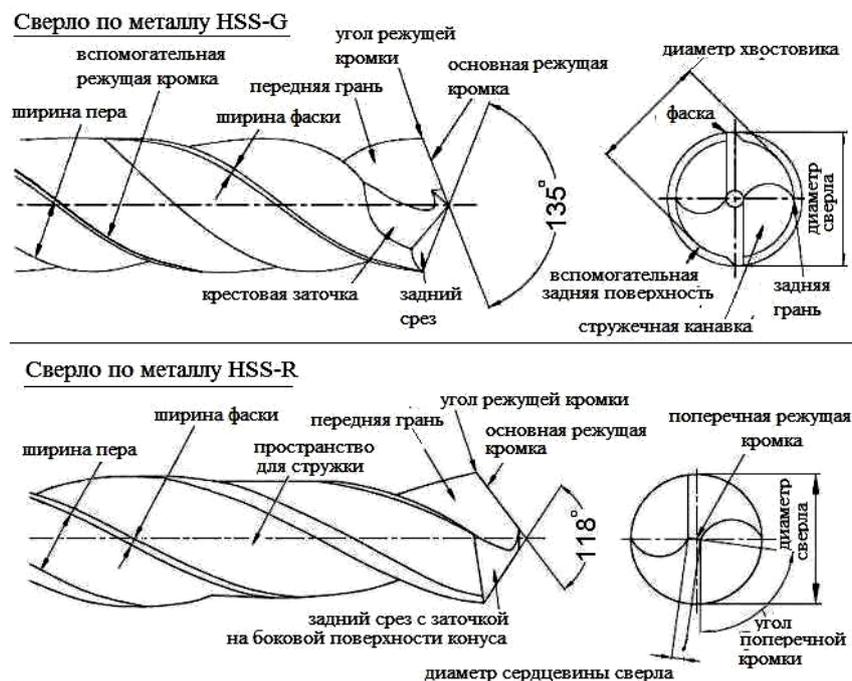


Рисунок 3.25– Сверла по металлу HSS-G и HSS-R

При помощи инструментов с такой маркировкой рекомендуется выполнять сверление: стальных деталей, изготовленных методом простого литья и литья под давлением; изделий из углеродистых и легированных сталей, прочность которых не превышает 900 Н/мм^2 ; изделий из металлических сплавов, содержащих в своем составе алюминий, графит, медь, никель, цинк (бронзы, латуни, мельхиора и др.); заготовок из серого и ковкого чугуна.

Если на сверлах по металлу присутствует обозначение HSS-G TiAlN/TiN, то это означает, что на их рабочую часть нанесено титано-алюминиево-нитридное напыление. Такое покрытие значительно повышает устойчивость сверл не только к коррозии, но и к износу, что способствует увеличению их стойкости. Инструменты с такой маркировкой можно использовать для обработки металлов с прочностью, достигающей до значения 1100 Н/мм^2 . Производители рекомендуют применять такие разновидности сверл для обработки ковкого и серого чугуна, в структуре которого включения графита имеют шаровидную форму, сплавов на основе меди (латуни, бронзы), стальных заготовок.

По способу изготовления сверла бывают цельные (сделаны из одного материала), составные (с припаянной рабочей частью), сборные (с механическим креплением пластин). В последние годы широкое применение нашли сверла с механическим креплением сменных многогранных пластин, имеющих различную форму (трех-, четырех-, пяти-, шестигранных и др.), предназначенных для разных условий сверления (рисунки 3.23, 3.24).

Помимо высоких механических свойств, быстроты смены пластины без потери установленного размера, на твердосплавных пластинах значительно проще получить необходимые геометрические параметры режущей части. Крепежная часть сверл изготавливается из обычных конструкционных сталей (сталь 40, 45, У7 и др.).

Размеры сверл существуют разные, но ГОСТ нашей страны устанавливает следующие параметры:

1. Короткие (ГОСТ 4010–77) – диаметром 0,3...0,20 мм, длиной – 20...131 мм;
2. Удлиненные (ГОСТ 10902–77) – диаметром 0,3...0,20 мм, длиной – 19...205 мм;
3. Длинные (ГОСТ 886–77) – диаметром 1...20 мм, длиной – 56...254 мм.

По направлению вращения сверла делятся на правые и левые.

У правых сверл рабочее вращение происходит по часовой стрелке (со стороны оператора), а левые – против. Левые сверла очень слабо распространены из-за специфичности их применения. В быту они используются в основном для высверливания заевших болтов и некоторых операций при монтаже оконных рам и дверных коробок, а наибольшее распространение получили как оснастка для токарных станков.

Классификация сверл по длине и диаметру

По соотношению длины и диаметра инструмент различается на:

- короткие сверла, длиной 20...131 мм, диаметр находятся в пределах 0,3...20 мм;
- удлиненные, длиной 19...205 мм, диаметр – 0,3...20 мм;
- длинные с длиной 56–254 мм и диаметром 1–20 мм.

Угол наклона винтовой канавки сверла ω . Возрастает с увеличением диаметра инструмента. Варьируется в пределах от 18 до 45°. Выбор сверла с определенным углом наклона канавки зависит от материала обрабатываемой заготовки (рисунок 3.26).

1. Алюминий и дюралюминий – 45°;
2. Вязкие и легкие металлы – 40...45°;
3. Хрупкие металлы – 22...25°;
4. Различные виды стали – 26...30°.

Угол при вершине 2φ (угол заточки, угол между режущими кромками). С его увеличением прочность сверла повышается, но при этом возрастает усилие подачи. С уменьшением сверление облегчается, но рабочая часть ослабляется. Выбор сверла с определенным углом 2φ зависит от материала заготовки.

Для различных видов металла угол при вершине 2φ рекомендуется:

- для стали – 116...140°;
- для работы с бронзой, латуной и алюминием – 110...135°;
- для «нержавейки» – 120°;
- для чугуна – 118°;
- для пластмассы – 50...60°;
- мрамор и иные хрупкие материалы – 80°;
- целлулоид и эбонит – 85...90°;
- сплавы на основе магния – 110...120°;
- силумин – 90...100°;
- электрон, баббит, алюминий – 130...140°;
- красная медь – 125°;
- бронза и латунь – 130...140°;
- закаленная сталь и стальные поковки – 125°.

Угол наклона винтовой канавки обозначается греческой буквой ω (рисунок 3.26). С увеличением этого угла процесс резания протекает легче и улучшается выход стружки. Величина ω зависит от диаметра сверла. Для сверл диаметром 0,25...9,9 мм $\omega = 18...28^\circ$, для сверл диаметром 10 мм и более $\omega = 30^\circ$.

Если рассечь спиральное сверло плоскостью, перпендикулярной главной режущей кромке, то мы увидим передний угол γ (см. сечение Б-Б на рисунок 3.26).

Передний угол γ (гамма) в разных точках режущей кромки имеет разную величину: он больше у периферии сверла и заметно меньше у его оси. Так, если у наружного диаметра передний угол $\gamma = 25...30^\circ$, то у перемычки он близок к 0° . Непостоянство величины переднего угла относится к недостаткам спирального сверла и является одной из причин неравномерного и быстрого его износа.

Задний угол сверла α предусмотрен для уменьшения трения задней поверхности о поверхность резания. Этот угол рассматривается в плоскости А-А, параллельной оси сверла (см. рисунок 3.26).

Величина заднего угла также изменяется по направлению от периферии к центру сверла: у периферии он равен $\alpha = 8...12^\circ$, а у оси $\alpha = 20...26^\circ$.

Угол наклона поперечной кромки ψ для сверл диаметром 1...12 мм от 47 до 50° (см. рисунок 3.26), а для сверл диаметром более 12 мм $\psi = 55^\circ$.

1.4. Стружка при сверлении

Стружка появляется при сверлении в любом случае. Только в одной ситуации она легко эвакуируется из зоны обработки, а в другой – скапливается, провоцируя смещение сверла. В результате качество обработки отверстий падает, а инструмент сильно изнашивается или даже выходит из строя.

Равномерное жужжание сверла говорит о том, что стружка отводится идеально. А вот прерывистые звуки указывают на проблему с эвакуацией стружки.

Типичная проблема при сверлении – отвод стружки из отверстия. Если не справиться с этой задачей, то пострадает качество работы, да и инструмент сломать недолго.

Стружкообразование во время сверления напрямую зависит от материала обрабатываемой детали, типа инструмента (параметров монолитного сверла или геометрии сменных пластин), наличия или отсутствия СОЖ, а также от интенсивности работы.

Затем осмотрите саму стружку. Если она не закручивается спиралькой, да еще и довольно длинная, то это говорит о ее пакетировании.

Оцените качество отверстия. Если стружка плохо отводится во время работы, поверхность будет неровной.

Все вышеперечисленные признаки указывают на наличие проблемы с отводом стружки во время сверления. Но все устранимо.

Меры борьбы со скоплением стружки во время сверления.

1. Проверить, правильно ли подобран инструмент и установлен режим обработки.

2. Скорость резания и подача материала также являются очень важными факторами, влияющими на отвод стружки.

Так, высокая скорость сверления позитивно влияет на эвакуацию стружки. Однако работа на повышенных оборотах имеет и обратную сторону. Температура в месте сверления постоянно колеблется – то вырастая до предельных значений, то уменьшаясь до минимума. Как следствие – инструмент быстро изнашивается. Между тем, излишне медлительная обработка ведет к наростообразованию на режущей кромке и заметно ухудшает стружкоотвод. И это не говоря о снижении производительности. Так что ищем баланс, чтобы и инструмент не сильно изнашивался, и стружка не забивалась.

Подача материала также влияет на образование стружки. При высокой подаче эвакуация стружки сильно замедляется, да и качество отверстий оставляет желать лучшего.

3. Обратите внимание на рекомендации производителя инструмента относительно использования СОЖ.

4. Оцените, в каком состоянии находятся режущие кромки инструмента. Длинная стружка свидетельствует об их повреждениях.

Отвод стружки – важная деталь процесса сверления. Чтобы лучше управлять процессом стружкоудаления, в первую очередь нужно определить характер образования стружки. Для этого надо просверлить несколько отверстий и осмотреть стружку, определить размер отверстий и их качество обработки, после чего скорректировать процесс сверления. Умение разбираться в характеристиках твердосплавных сверл, сверл со сменными многогранными пластинами и сменными головками помогает улучшить контроль удаления стружки и повысить надежность процесса сверления.

Улучшенный отвод стружки изначально достигается за счет оптимизации процесса стружкообразования. Для этого при изучении стружки на сверлах со сменными многогранными пластинами нужно знать, какой формы стружка получается на центральных и периферийных пластинах.

1.5. Изнашивание сверл

В процессе резания происходит интенсивное трение поверхностей режущей части сверла об обработанную поверхность и поверхность резания, а также трение стружки о переднюю поверхность. Процесс трения сопровождается значительным выделением тепла за счет трения и пластического деформирования срезаемого слоя металла. Эти явления приводят к износу сверла по передней и задним поверхностям.

При сверлении скорость резания и величина трения переменны по длине режущих кромок. Стружки срезаются широкие и тонкие, поэтому спиральные сверла изнашиваются в основном по задним поверхностям главных режущих кромок. При этом износ имеет вид фаски, переменной по длине режущих кромок, величина которой примерно пропорциональна радиусу сверла.

При сверлении хрупких материалов износ сверла происходит по уголкам. При сверлении на высоких скоростях вязких материалов износ происходит по передним поверхностям и по ленточкам в виде фаски износа (рисунок 3.24).

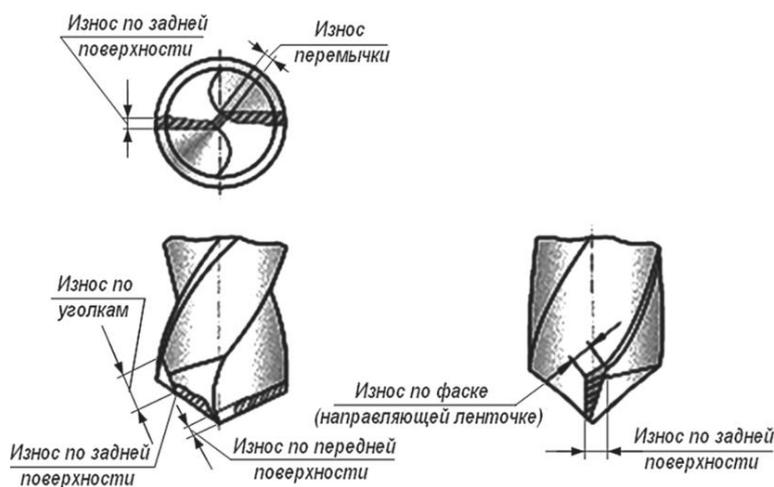


Рисунок 3.24 – Виды износа спирального сверла на различных участках передних и задних поверхностей

Наиболее опасным является износ по уголкам и ленточкам сверла, так как в этом случае при большом износе в процессе переточки приходится стачивать значительный объем инструментального материала. Поэтому при сверлении нельзя допускать катастрофического износа сверл в виде оплавления уголков и затирания ленточек.

При любом сверлении вместе с режущими кромками действует поперечная режущая кромка (так называемая перемычка), образованная двумя задними поверхностями (рисунок 3.24). Она не режет материал, а лишь мнет и раздвигает его в стороны, вынуждая на немалые усилия. Очевидно, что, чем меньше длина перемычки, тем легче сверло будет проникать в материал, но вовсе ребро нельзя ликвидировать, иначе тело сверла в своей центральной части может сильно утончиться и сломаться.

Поперечная режущая кромка из-за малых скоростей трения в центре сверла изнашивается значительно медленнее. Большой износ этой кромки вызывает резкий рост осевой силы резания, а износ по ленточкам – значительное увеличение крутящего момента. Интенсивный износ поперечной режущей кромки свидетельствует о том, что в процессе изготовления сверла был нарушен режим термической обработки инструментального материала.

Влияние различных факторов на износ сверл по задним поверхностям при обработке конструкционной стали может быть выражено следующей эмпирической формулой:

$$h_3 = C_v v^{4,85} s^{2,35} T^{1,42}.$$

Из этой формулы следует, что наибольшее влияние на износ сверла оказывает скорость резания и значительно меньшее влияние подача. Поэтому с точки зрения износа сверла предпочтительнее работать с большей подачей и меньшей скоростью резания, что при заданной стойкости обеспечивает большую производительность процесса сверления.

Сверло может нормально работать до какого-то предельно допустимого износа, величина которого определяет стойкость инструмента, измеряемую в минутах, которая характеризует собой время его непрерывной работы до переточки.

За критерий износа принимают износ по задней поверхности. Значения допускаемого износа сверл h_3 приведены в таблице 3.1.

**Таблица 3.1 – Допускаемый износ режущей части сверл,
зенкеров, разверток**

Инструмент	Обрабатываемый материал и характер работы	Марка материала режущей части инструмента	Критерий затупления	Диаметр инструмента D , мм	Износ по задней поверхности h_3 , мм
Сверла	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности	≤ 20	0,4...0,8
				> 20	0,8...1,0
	Чугун, без охлаждения		По ленточке	≤ 20	1,0...1,2
				> 20	1,3...1,5
			По уголкам	≤ 20	0,5...0,8
				> 20	0,8...1,2
	Чугун, без охлаждения	VK8	По задней поверхности на расстоянии 1,5 мм от уголка	–	0,3
Зенкеры	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности	–	1,2...1,5
	Чугун, без охлаждения		По уголкам		0,8...1,5
	Сталь и чугун	T15K6, VK8	По задней поверхности	≤ 20	1,0
				≤ 40	1,2
				≤ 60	1,4
			≤ 80	1,6	
Развертки машинные	Сталь, с охлаждением	P18	По задней поверхности заборного конуса	–	0,6...0,8
	Чугун, без охлаждения				
	Сталь и чугун	T15K6, VK8			–

Виды износа и поломок сверл при обработке металлов и способы их устранения приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Виды износа и поломок сверл и способы их устранения

Характер износа и поломки	Причины	Способы предупреждения и устранения
Выкрашивание режущих лезвий	Высокая скорость резания	Уменьшить скорость резания
	Неправильный режим охлаждения (количество и состав охлаждающей жидкости)	Увеличить количество охлаждающей жидкости; изменить ее состав
	Наличие твердых включений	Заменить заготовку
Затупление режущих лезвий	Продолжительная работа сверлом с изношенной перемычкой	Заточить сверло
	Завышенная подача	Уменьшить подачу
	Неправильная заточка	Правильно заточить сверло
	Провертывание сверла в патроне	Тщательно закрепить сверло
	Плохая пригонка конусных поверхностей хвостовика сверла и переходной втулки	То же
Быстрый износ режущих лезвий	Высокая скорость резания	Уменьшить скорость резания
Повреждение кромок ленточек	Кондукторная втулка большего размера, чем сверло	Заменить втулку
Поломка сверла	Сильное затупление сверла	Не доводить сверло до сильного затупления
	Перегрузка сверла	Установить правильный режим работы
	Спиральная канавка сверла забивается стружкой	Чаще выводить сверло из отверстий, очищать его и отверстие от стружки
	Малая скорость при большой подаче	Увеличить скорость или уменьшить подачу
	Недостаточная величина заднего угла сверла	Заправить сверло, увеличить задний угол
	Пустоты, раковины и неоднородность обрабатываемого материала	Заменить заготовку
Поломка лапки хвостовика	Наличие в переходной втулке грязи и заусенцев	Очистить и насухо протереть переходную втулку и хвостовик сверла
	Плохая пригонка хвостовика в конусной переходной втулке	Исправить переходную втулку или заменить ее новой

К основным недостаткам спиральных сверл, снижающих их стойкость, относятся:

- 1) большие положительные передние углы на периферии;
- 2) неблагоприятная геометрия поперечной режущей кромки;
- 3) отсутствие задних углов на вспомогательных режущих кромках, расположенных на ленточках сверла.

Для исправления этих недостатков спиральных сверл рекомендуются следующие мероприятия.

1. *Двойная заточка* (рисунок 3.25). Применяют для уменьшения интенсивности изнашивания уголков на внешних участках главных режущих кромок. Для этого на уголках сверла затачивают фаски длиной $l = (0,2...0,25)$ с двойными углами при вершине $2\varphi_0 = 70^\circ$ и $2\varphi = 116...120^\circ$. Такая заточка при сверлении сталей сверлами диаметром $d > 10$ мм увеличивает стойкость сверл в 2...4 раза за счет уменьшения толщины срезаемой стружки, улучшения теплоотвода и небольшого снижения передних углов на уголках сверла.

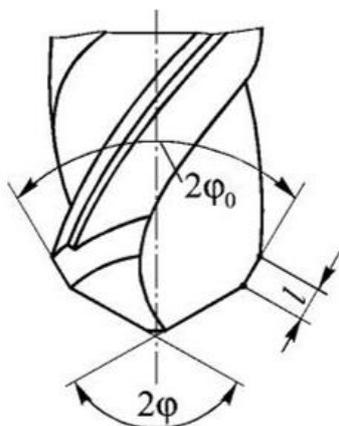


Рисунок 3.25 – Двойная заточка спирального сверла

2. *Подточка перемычки*. Применяют для снижения осевой силы P_a и повышения подачи. Наиболее часто применяемые способы подточки сверл показаны на рисунок 3.26. Например, на обеих полукромках путем выборки металла с передних поверхностей и оставления перемычки длиной $l_{\text{п}}$ создают нулевые передние углы вместо отрицательных углов (рисунок 3.26,а) или уменьшают длину перемычки до величины $l'_{\text{п}} = 1,5$ мм у сверл диаметром $d = 12...15$ мм или $l' = 4$ мм у сверл диаметром $d = 40...50$ мм (рисунок 3.26б). Последний способ за счет сокращения длины перемычки и улучшения условий отвода стружки позволяет снизить осевую силу. Подточка поперечной режущей кромки не уменьшает жесткость сверла, но снижает осевую силу и способствует повышению стойкости сверл в 1,5...1,7 раза.

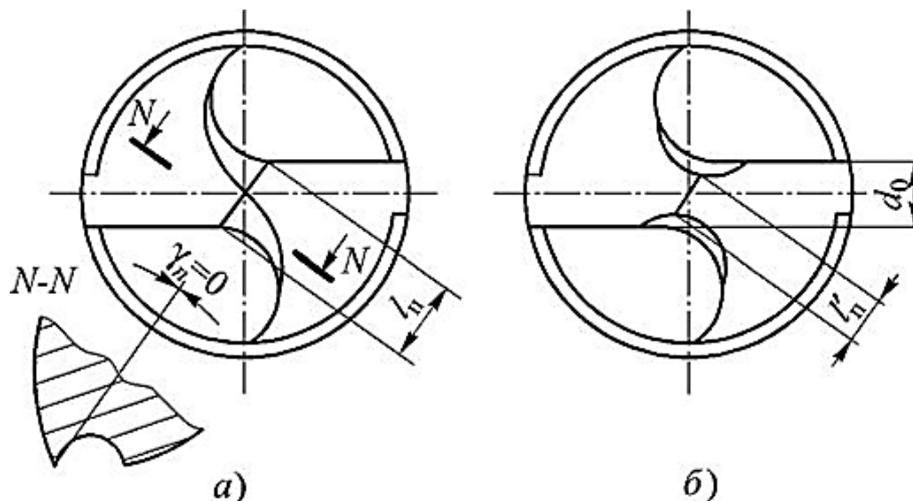


Рисунок 3.26 – Подточка поперечной режущей кромки спирального сверла

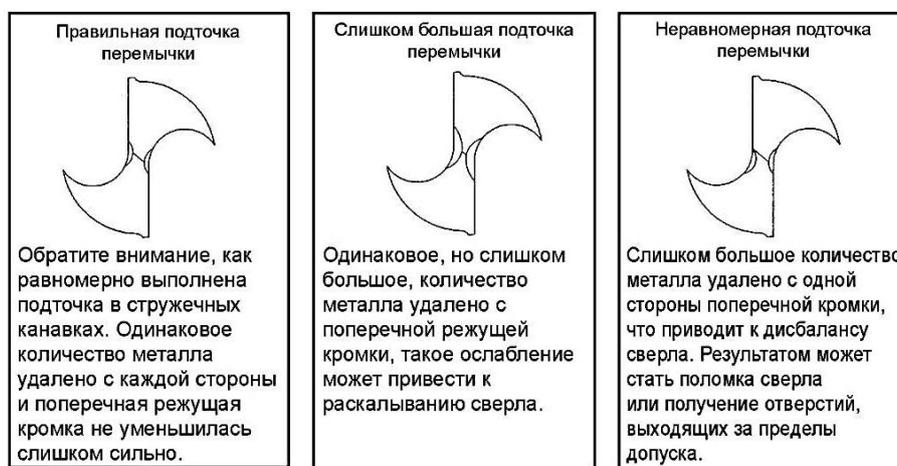


Рисунок 3.27 – Виды подточки поперечной режущей кромки сверла

3. *Подточка ленточки.* Создание задних углов на ленточках сверла ($\alpha = 6...8^\circ$) (рисунок 3.28) обеспечивает снижение сил трения между сверлом и стенками обработанного отверстия. Это достигается за счет подточки ленточки на небольшом участке длиной $l_{\phi} = 1,5...3$ мм с оставлением участка ленточки шириной $f_0 = 0,2...0,4$ мм во избежание ухудшения условий центрирования и направления сверла в отверстии. При сверлении сталей такая подточка обеспечивает повышение стойкости сверл в 1,5 раза за счет снижения трения и предотвращения налипания мелкой стружки, увеличивающей интенсивность износа сверл. Подточка ленточек не рекомендуется при сверлении заготовок с литейной или штамповочной корками, а также при сверлении материалов повышенной твердости из-за быстрого износа калибрующих ленточек сверл.

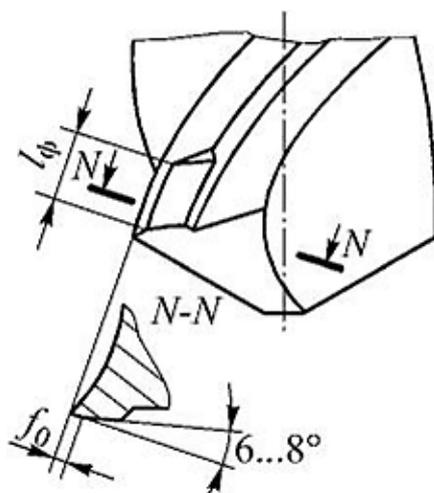


Рисунок 3.28 – Подточка ленточки спирального сверла

Износ сверла вызывает повышение значения M или P , или той и другой величины вместе.

В случае износа ленточки момент от сил сопротивления, резанию резко возрастает, а осевая сила почти не изменяется. Объясняется это тем, что дополнительная сила трения, вызванная износом, будет действовать на плече, равном радиусу сверла, что в большей степени скажется на моменте от сил сопротивления резанию M и в меньшей степени – на осевой силе P .

В случае износа поперечной кромки более резко увеличится P и меньше M , так как такой износ образует еще более тупой, закругленный угол у вершины сверла, что будет препятствовать внедрению сверла в обрабатываемый металл. Незначительное же увеличение момента M в этом случае объясняется малым плечом, на котором действуют силы, так как длина поперечной кромки по сравнению с диаметром сверла относительно невелика. Большой износ поперечной кромки считается ненормальным и проявляется у сверл, плохо термически обработанных (несквозная прокатка), или у сверл, имеющих большую длину поперечной кромки. В случае износа уголка и задней поверхности происходит увеличение осевой силы P и момента M .

При обработке сталей за лимитирующий принимается износ по задней поверхности. Износ по задней поверхности происходит неравномерно: больше на периферии сверла и меньше в центре. Это объясняется тем, что на периферии сверла скорость резания наибольшая, что вызывает наибольшее тепловыделение и скорость относительного скольжения точек сверла относительно поверхности резания.

1.6. Точность при сверлении, зенкеровании и развертывании

Выбор способа обработки отверстия зависит от того, для каких целей оно предназначено. Конструктор на чертеже указывает точность обработки и шероховатость поверхности отверстия согласно служебному назначению детали.

Точность и шероховатость поверхности отверстий, получаемых при обработке различными способами, приведены в таблицах 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Точность и шероховатость отверстий

Вид обработки	Параметр шероховатости Ra , мкм	Точность обработки, квалитеты
Сверление	12,5...25	10...12
Рассверливание	12,5	10...12
Зенкерование	6,3	9...10
Растачивание	6,3	8...9
Развертывание	2,5...3,2	6...8

Таблица 3.4 – Точность и качество поверхности при обработке отверстий

Вид обработки	Параметр шероховатости Ra , мкм	Квалитет
Сверление до 15 мм: без кондуктора	12,5...6,3	14...12
по кондуктору	–	11
Сверление свыше 15 мм: без кондуктора	25...12,5	14...12
по кондуктору	–	11
Зенкерование: черновое	25...12,5	15...12
чистовое	6,3...3,2	11...10
Развертывание: получистовое	12,5...6,3	10...8
чистовое	3,2...1,6	7...8
тонкое	0,8...0,4	7...6

При обработке точного отверстия под зенкер или развертку оставляется определенный припуск на обработку в зависимости от диаметра отверстия, требуемой точности и шероховатости обработанной поверхности.

На рисунке 3.29 показана последовательность обработки отверстия 2-го класса точности (7 квалитет) под диаметр 30 мм при сверлении, зенкеровании, черновом и чистовом развертывании.

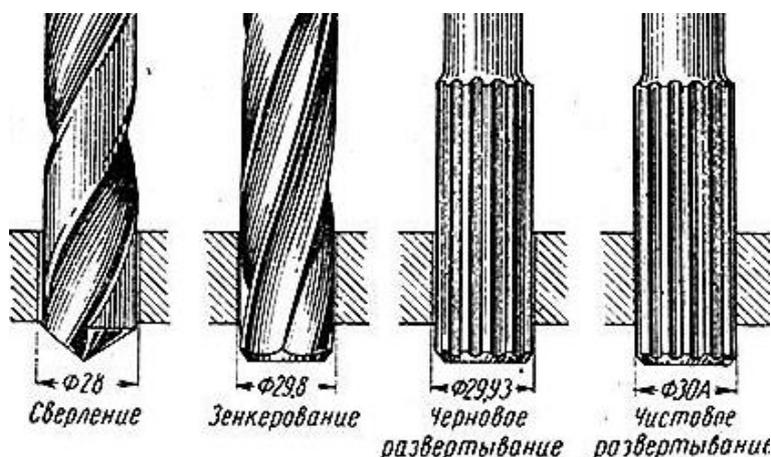


Рисунок 3.29 – Последовательность обработки отверстия 2-го класса

Последовательность обработки отверстия по 2-му классу точности (7 квалитет) под диаметр 25 мм показана на рисунок 3.30 двумя развертками с припуском на черновое развертывание 0,13 мм, а на чистовое – 0,07 мм.

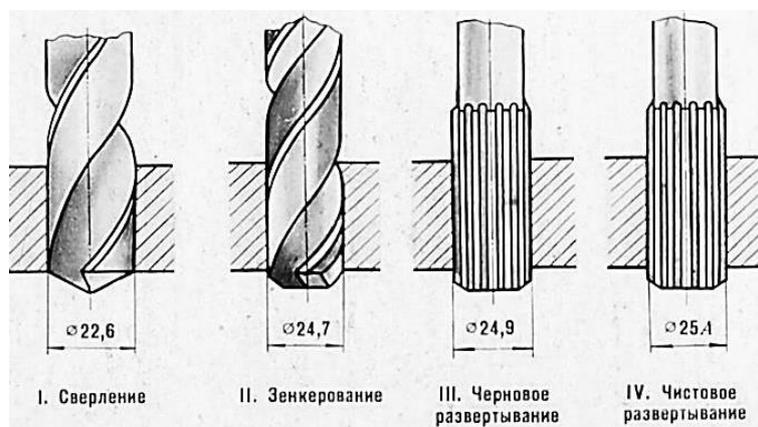


Рисунок 3.30 – Последовательность обработки отверстия 2-го класса

Подбор сверла

Сверление отверстий может быть сквозное и глухое под резьбу и под развертку. Выполнение того или другого вида сверления не влияет на выбор сверла, станка и способ закрепления изделия. Разница заключается лишь в подборе диаметра сверла. Необходимо учесть твердость обрабатываемого металла и в зависимости от нее подобрать диаметр сверла, приняв во внимание, что сверло увеличивает диаметр (разрабатывает) отверстие (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Средняя разработка отверстий

Диаметр сверла, мм	5	10	25	50	75
Разработка отверстия, мм	0,1	0,15	0,25	0,30	0,40

Подбор сверла под резьбу

При сверлении отверстий под резьбу также надо иметь в виду твердость металла и соответственно с нею подбирать сверла. Для правильного подбора сверла имеются специальные таблицы. Одна из этих таблиц приводится ниже (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Подбор сверла под резьбу

Диаметр резьбы	Шаг (основной)	Диаметр сверла	Шаг	Диаметр сверла	Шаг	Диаметр сверла
M2	0,4	1,6	0,25	1,75		
M3	0,5	2,5	0,35	2,65		
M4	0,7	3,3	0,5	3,5		
M5	0,8	4,2	0,5	4,5		
M6	1	5	0,75	5,2	0,5	5,5
M7	1	6	0,75	6,2	0,5	6,5
M8	1,25	6,7	1	7	0,75	7,2
M9	1,25	7,7	1	8	0,75	8,2
M10	1,5	8,5	1,25	8,7	1	9
M11	1,5	9,5	1	10	0,75	10,2
M12	1,75	10,2	1,5	10,5	1,25	10,7
M14	2	12	1,5	12,5	1,25	12,6
M16	2	14	1,5	14,5	1	15
M18	2,5	15,4	2	16	1,5	16,5
M20	2,5	17,4	2	18	1,5	18,5
M22	2,5	19,4	2	20	1,5	20,5
M24	3	20,9	2	22	1,5	22,5
M27	3	23,9	2	25	1,5	25,5
M30	3,5	26,4	3	26,9	2	28
M33	3,5	29,4	3	29,9	2	31
M36	4	31,9	3	32,9	2	34
M39	4	34,9	3	35,9	2	37
M42	4,5	37,4	4	37,9	3	38,9
M45	4,5	40,4	4	40,9	3	41,9
M48	5	42,8	4	43,9	3	44,9

1.7. Оборудование при сверлении, зенкеровании и развертывании

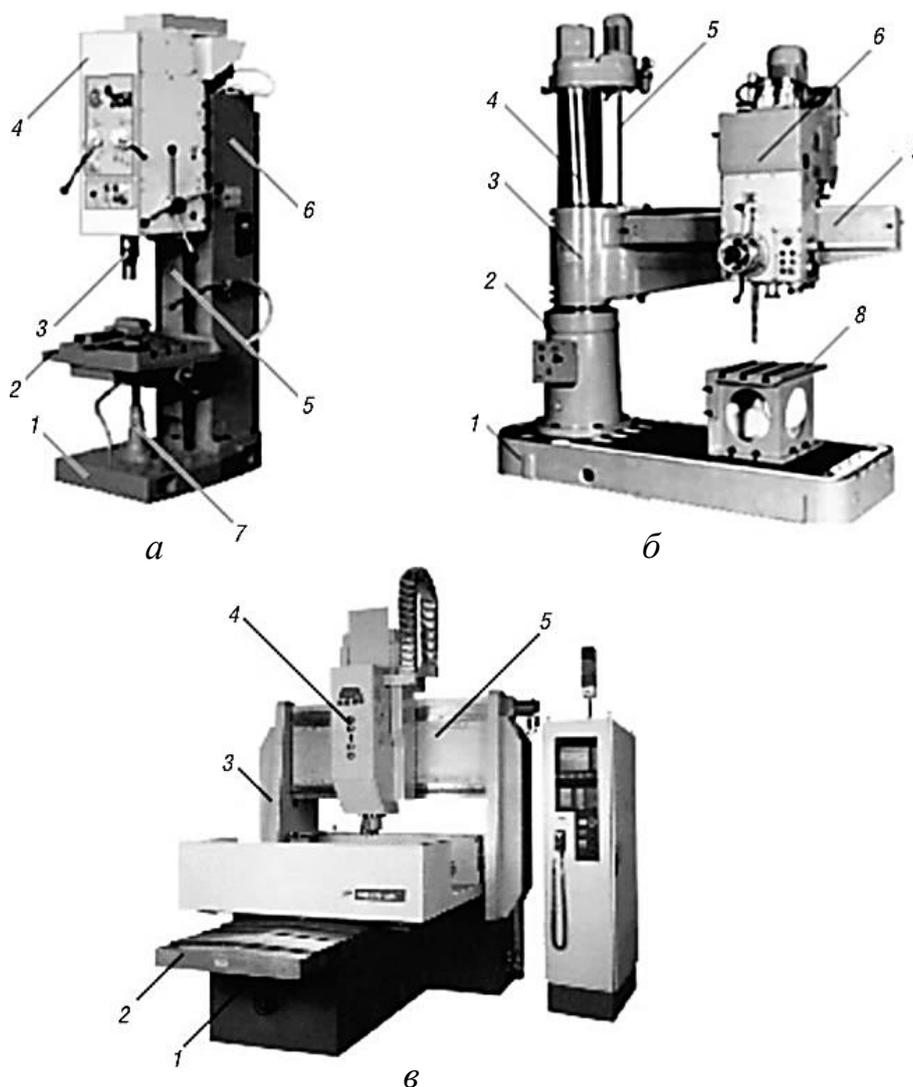


Рисунок 3.31 – Станки сверильной группы: *а* – вертикально-сверильный станок: 1 – фундаментная плита; 2 – стол; 3 – шпиндель; 4 – сверильная головка; 5 – колонна; 6 – вертикальные направляющие; 7 – домкрат; *б* – радиально-сверильный станок: 1 – фундаментная плита; 2 – тумба; 3 – гильза; 4 – колонна; 5 – винтовой механизм; 6 – сверильная головка; 7 – траверса; 8 – стол; *в* – вертикально-сверильный станок с ЧПУ: 1 – станина; 2 – салазки; 3 – стойки; 4 – сверильная головка; 5 – траверса

2. Методика назначения режима резания

2.1. Выбор типа сверла, материала и геометрических параметров режущей части, размеров сверла

Назначение режима резания при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании производят для конкретного станка и режущего инструмента. Поэтому перед выбором режима резания необходимо выбрать тип сверлильного станка, марку инструментального материала для инструмента, тип, размеры и геометрию инструмента.

Основные модели наиболее распространенных сверлильных станков приведены в таблицах 1П и 2П приложениях.

Свойства и рекомендуемые области применения сверл, зенкеров и разверток из наиболее распространенных быстрорежущих сталей приведены в таблице 3П. Марки твердых сплавов и рекомендуемые области применения твердосплавного инструмента приведены в таблице 4П.

Тип и размеры инструмента даны в таблицах 5-10П. Рекомендуемые формы заточки сверл при обработке различных материалов приведены в таблице 11П. Параметры лезвий сверл приведены в таблицах 12-13П. Геометрические параметры зенкеров даны в таблице 14П. Элементы лезвий цилиндрических разверток из быстрорежущей стали приведены в таблице 15П. Формы заточки и геометрические параметры разверток, оснащенных пластинами из твердого сплава, даны в таблицах 16-17П. Углы элементов лезвия разверток в таблице 18П.

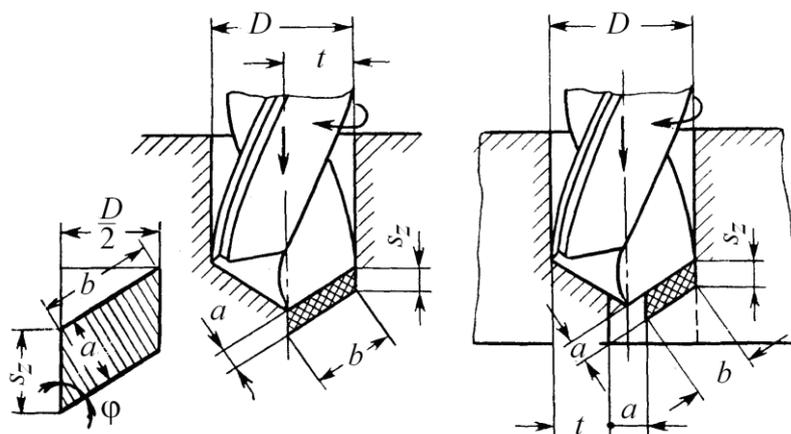


Рисунок 3.25 – Сверление и рассверливание отверстий

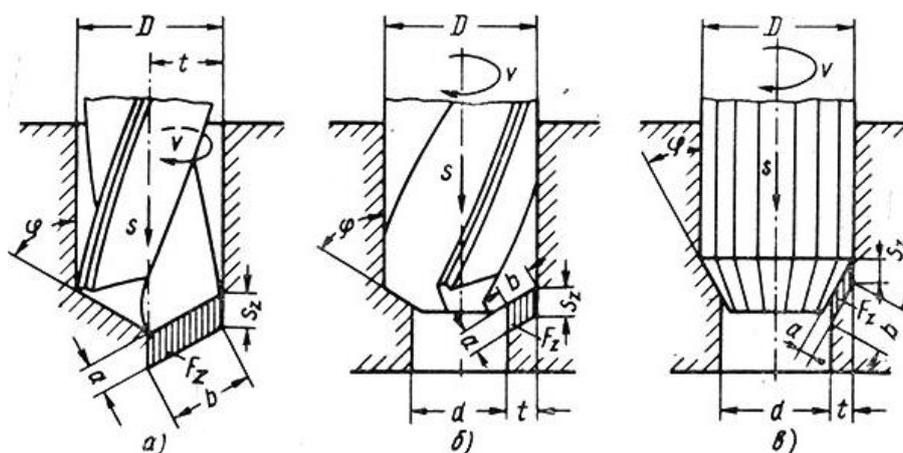


Рисунок 3.26 – Элементы режима резания и срезаемого слоя:
 при сверлении (а), зенкерования (б) и развертывании (в);
a и *b* – соответственно толщина и ширина срезаемого слоя;
F – площадь поперечного сечения срезаемого слоя, приходящаяся
 на зуб инструмента

2.2. Назначение глубины резания

Глубина резания при сверлении в сплошном материале равна:

$$t = \frac{D}{2}, \quad (3.1)$$

где *D* – диаметр сверла, мм.

При рассверливании, зенкерования и развертывании глубина резания определяется припуском на обработку и технологическими требованиями. При черновой обработке отверстий глубину резания берут равной припуску, который снимают за один проход. При точной обработке отверстия весь припуск снимают в два-четыре прохода, при этом на каждом последующем проходе глубина резания должна быть меньшей. Например, сверление, зенкерование, черновое и чистовое развертывание.

При рассверливании, зенкерования и развертывании:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad (3.2)$$

где *D* – наружный диаметр инструмента, мм; *d* – диаметр до обработки (исходного) отверстия, мм.

Согласно учения о резании металлов для достижения рационального режима резания необходимо вести обработку при максимально возможной глубине резания. Исчерпав возможности увели-

чения глубины резания работают при возможно большой подаче. Затем, зная глубину резания и подачу, и задавшись периодом стойкости инструмента, определяют скорость резания.

Припуск на зенкерование (на сторону) принимается равным 0,5...2 мм, т.е. глубина резания равна этой величине. При черновом развертывании удаляется припуск в пределах 0,1...0,5 мм на диаметр, а при чистовом 0,05...0,2 мм, т. е. глубина резания при черновом развертывании 0,05...0,25 мм, при чистовом 0,025...0,1 мм.

2.3. Назначение подачи

Подачей S мм/об является величина перемещения сверла, зенкера или развертки в мм за один оборот инструмента или заготовки (если вращается заготовка).

Подача S в основном зависит от диаметра инструмента, обрабатываемого материала и условий обработки.

Подача, приходящаяся на один зуб инструмента равна:

$$S_z = \frac{S}{z}, \quad (3.3)$$

где z – число зубьев инструмента.

Подача на один оборот шпинделя при сверлении составляет примерно 0,02...0,03 диаметра сверла.

$$S = (0,02...0,03)D.$$

Подача при зенкеровании берется в 2–2,5 раза больше, а при развертывании в 2,5–3 раза больше подачи при сверлении.

Табличные значения подач для сверления приведены в таблице 19П, для зенкерования в таблице 20П, для развертывания в таблице 21П.

$$S = S_0 \times K_{LS} \times K_{OS} \times K_{ЖС} \times K_{ИС} \quad (3.4)$$

где S_0 – табличное значение подачи, мм/об; K_{LS} , K_{OS} , $K_{ЖС}$, $K_{ИС}$ – поправочные коэффициенты: на глубину отверстия, на достижение более высокого качества, на недостаточную жесткость системы СПИД на инструментальный материал.

Значения поправочных коэффициентов приведены в приложениях к таблицам 19-21П. При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз. Выбранную по таблицам подачу S необходимо уточнить с учетом паспортных данных станка (таблица 1П), исходя из условия:

$$S_{\phi} \leq S, \quad (3.5)$$

где S_{ϕ} – фактическая подача по паспорту станка.

2.4. Определение скорости резания

Вначале определяют расчетную скорость резания (допускаемую режущими свойствами инструмента) V_p . При сверлении:

$$V_p = \frac{C_v D^g}{T^m S^y} K_v, \text{ м/мин}; \quad (3.6)$$

при рассверливании, зенкерования, развертывании:

$$V_p = \frac{C_v D^g}{T^m l^x S^y} K_v, \text{ м/мин}; \quad (3.7)$$

где C_v – коэффициент, зависящий от условий обработки; g, m, x, y – показатели степени; T – стойкость инструмента, мин; K_v – общий поправочный инструмент.

Значение коэффициента C_v и показателей степени приведены: для сверления в таблице 22П, для рассверливания, зенкерования и развертывания в таблице 23П. Значения периода стойкости T – в таблице 24П.

Общий поправочный коэффициент K_v , учитывающий фактические условия резания, равен:

$$K_v = K_{\mu V} K_{IV} K_{IV} K_{nV}, \quad (3.8)$$

где $K_{\mu V}$ – коэффициент на обрабатываемый материал (таблица 25–28П); K_{IV} – коэффициент на инструментальный материал (таблица 30П); K_{IV} – коэффициент, учитывающий глубину сверления (таблица 31П); K_{nV} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (таблица 29П).

По расчетной скорости резания определяем расчетную частоту вращения инструмента (шпинделя станка) n_p .

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D} K_v \text{ мин}^{-1}. \quad (3.9)$$

Корректируем расчетную частоту вращения шпинделя по паспортным данным станка (см. таблицу 1–2П), исходя из условия:

$$n_{\phi} \leq n_p, \quad (3.10)$$

где n_{ϕ} – фактическая частота вращения шпинделя станка, мин^{-1} .

Определяем фактическую скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} \text{ м/мин,} \quad (3.11)$$

где D – наружный диаметр инструмента, мм.

2.5. Проверка выбранного режима резания

Проверку выбранного режима резания производят по мощности привода шпинделя станка и прочности механизма подачи.

2.5.1. Проверка по мощности привода шпинделя станка

Мощность, затрачиваемая на резание N_p , должна быть меньше или равна мощности на шпинделе $N_{\text{шп}}$

$$N_p \leq N_{\text{шп}} = N_3 \eta, \text{ кВт,} \quad (3.12)$$

где N_3 – мощность электродвигателя главного двигателя (см. таблицу 1–2П); η – КПД привода станка (см. таблицу 1–2П)

Мощность резания определяем по формуле:

$$N_{\phi} = \frac{M_{\text{кр}} n_{\phi}}{9750}, \text{ кВт,} \quad (3.13)$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент, Н·м.

Осевая сила резания P_o должна быть меньше или равна максимальной осевой силе резания, допускаемой механизмом подачи станка P_o доп.:

$$P_o \leq P_o \text{ доп.} \quad (3.14)$$

Крутящий момент $M_{\text{кр}}$ и осевую силу P_o рассчитывают по формулам:

при сверлении

$$M_{\text{кр}} = 10 C_m D^g S^y K_p, \text{ Н·м;} \quad (3.15)$$

$$P_o = 10 C_p D^g S^y K_p, \text{ н;} \quad (3.16)$$

при рассверливании и зенкерования

$$M_{\text{кр}} = 10 C_m D^g t^x S^y K_p; \quad (3.17)$$

$$P_o = 10 C_p t^x S^y K_p. \quad (3.18)$$

Значение коэффициентов C_m и C_p и показателей степени g , x , y приведены в таблице 32П.

Коэффициент K_p , учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением $K_p = K_{\mu p}$.

Значение коэффициента $K_{\mu p}$ приведены в таблицах 33-34П.

Мощность резания и величина осевой силы при развертывании незначительны. Поэтому выбранный режим резания при развертывании по мощности на шпинделе станка и прочности механизма подачи обычно не проверяют.

Если выбранный режим резания не соответствует мощности привода шпинделя ($N_p \leq N_{\text{шп}}$), необходимо произвести его корректировку в сторону уменьшения скорости резания или величины подачи, с последующей проверкой.

2.5.2. Проверка по прочности механизма подачи

Если выбранный режим резания не соответствует прочности механизма подачи ($P_o \leq P_{\text{доп}}$), необходимо произвести его корректировку в сторону уменьшения скорости резания или величины подачи, с последующей проверкой.

2.6. Определение основного технологического времени

Расчет основного технологического времени T_o при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании сквозных отверстий ведут по формуле 3.19 согласно схеме (рисунок 3.27):

$$T_o = \frac{l_o + l_{\text{вр}} + l_{\text{п}}}{n_{\phi} S_{\phi}} \text{ мин}, \quad (3.19)$$

где l_o – глубина отверстия, мм; $l_{\text{вр}} = t \text{ctg} \varphi$ – величина врезания, мм (для сверления: при нормальной заточке $l_1 = 0,3D$, при двойной заточке $l_1 = 0,4D$; $l_{\text{п}} = (3 \dots 5)$ – перебеги инструмента, мм.

При обработке глухих отверстий (рисунок 3.27) используется формула:

$$T_o = \frac{l_o + l_{\text{вр}}}{n_{\phi} S_{\phi}}, \text{ мин.} \quad (3.20)$$

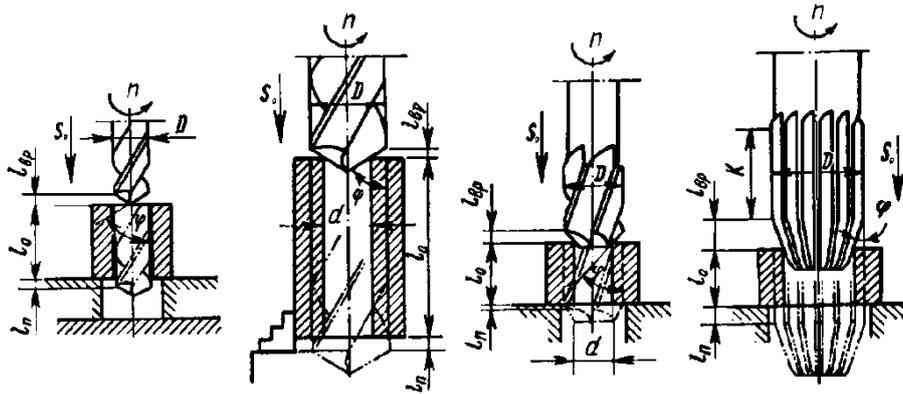


Рисунок 3.27 – Схемы к расчету основного технологического времени

Пример расчета режима резания при сверлении

Исходные данные:

- материал заготовки сталь 15ХФ;
- отверстия диаметром $D = 28 \pm 0,12$ мм;
- глубина сверления $l_0 = 100$ мм;
- пределом прочности $\sigma_B = 750$ МПа, НВ = 187;
- заготовка – прокат горячекатаный (без корки), охлаждение эмульсией;
- станок вертикально-сверлильный 2Н135.

Выбираем сверло из быстрорежущей стали Р6М5 (см. таблица 3П).

Тип сверла – спиральное удлиненное с коническим хвостиком, общего исполнения, диаметр сверла $D=28$ мм, конус Морзе № 3 (см. таблицу 5,7П). Обозначение сверла: Сверло 2301-0468 ГОСТ 2092-77.

Геометрические параметры сверла определяем по таблицам 11,13П и сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Геометрические параметры сверла

Форма заточки	Углы заточки, град				δ , мм	Поперечная кромка, мм		Перемычка, мм		l_1 , мм
	2φ	$2\varphi_0$	ψ	α		α	l	h	k	
ДПЛ	118	70	40...60	11	5,5	3,0	6	3,3	4,5	2,5

Глубина резания при сверлении $t = 0,5D = 0,5 \times 28 = 14$ мм

Подача

$$S = S_0 \times K_{LS} \times K_{OS} \times K_{ЖС} \times K_{ИС} = 0,46 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,41 \text{ мм/об.}$$

Согласно данным таблицы 19П табличное значение подачи

$$S_0 = 0,43 \dots 0,48 \text{ мм/об. Принимаем } S_0 = 0,46 \text{ мм/об.}$$

Поправочный коэффициент $K_{LS} = 0,9$, т. к. глубина отверстия $l_2 - 100$ мм больше $3D = 3 \times 28 = 84$ мм и больше $5D = 5 \times 28 = 140$ мм.

Коэффициенты K_{OS} , $K_{ЖС}$, $K_{ИС}$ равны единице.

Корректируем подачу по паспортным данным станка 2Н135 (см таблицу 1П). Исходя из условия: $S_{\phi} \leq S = 0,41$ мм/об.

Принимаем $S_{\phi} = 0,4$ мм/об.

Определяем расчетную скорость резания

$$V_p = \frac{C_v D^g}{T^m S^y} K_v = \frac{9,8 \times 28^{0,4}}{50^{0,2} \times 0,4^{0,5}} \times 0,72 = 19,8 \text{ м/мин}$$

Значение коэффициентов C_v и показателей степени g , m , y определили по таблице 22П.

Стойкость сверла $T = 50$ мин берем из таблицы 24П.

Общий поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{\mu v} K_{iv} K_{lv} K_{nv} = 0,85 \times 1 \times 0,85 \times 1 = 0,72$$

$$K = K_r \left(\frac{750}{\sigma_{\beta}} \right)^{nv} = 0,85 \left(\frac{750}{750} \right)^{0,9} = 0,85 \text{ (см. таблицы 25, 26П)}$$

$K_{lv} = 0,85$, т. к. $l_2 = 100$ мм $< 4D = 112$ мм (см. таблицу 31П)

$K_{nv} = 1$, т. к. материал заготовки – прокат горячекатанный без корки (см. таблицу 29П).

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D} = \frac{1000 \times 19,3}{3,14 \times 28} = 220$$

Определим расчетную частоту вращения шпинделя

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D} = \frac{1000 \times 19,3}{3,14 \times 28} = 220 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем фактическую частоту вращения шпинделя с учетом паспортных данных станка 2Н135 (см. таблицу 1П) из условия:

$$n_{\phi} \leq n_p = 220 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем $n_{\phi} = 180 \text{ мин}^{-1}$.

Определяем фактическую скорость резания

$$V = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \times 28 \times 180}{1000} = 15,8 \text{ м/мин.}$$

Проверяем выбранный режим резания по мощности привода шпинделя и прочности механизма подачи, для чего определяем кру-

тящий момент $M_{кр}$ и осевую силу P_o сил резания:

$$M_{кр} = 10C_M D^g S^y K_p = 10 \times 0,0345 \times 28^2 \times 0,4^{0,8} \times 1 = 129,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$P_o = 10C_p D^g S^y K_p = 10 \times 68 \times 28^1 \times 0,4^{0,7} \times 1 = 10\,025 \text{ Н.}$$

Значения коэффициента C_M и C_p и показатели степени g и y определяли по таблице 32П.

$$\text{Коэффициент } K_p = K_{кр} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1 \text{ (см. таблицу 33П).}$$

Определяем мощность резания:

$$N_p = \frac{M_{кр} \Pi_\phi}{9750} = \frac{129,8 \times 180}{9750} = 2,4 \text{ кВт.}$$

Мощность, затрачиваемая на резание $N_p = 2,4$ кВт, меньше мощности на шпинделе станка $N_{шп} = N_p \eta = 4,5 \times 0,8 = 3,6$ кВт.

Осевая сила от сил резания $P_o = 10\,025$ Н меньше максимальной осевой силы, допускаемой станком $P_{одоп.} = 15\,000$ Н.

Следовательно, выбранный режим резания может быть осуществлен.

Основное время

$$l_1 = 0,4D = 0,4 \times 28 = 11,2 \text{ мм}; l_3 = (3 \dots 5) S_\phi = 4 \times 0,4 = 1,6 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{n_\phi S_\phi} = \frac{11,2 + 100 + 1,6}{180 \times 0,4} = 1,57 \text{ мин.}$$

Режимы расчета сводим в таблицу 33П.

Таблица 3.3 – Результаты расчета элементов процесса резания при сверлении

Режимы резания			V_p , м/мин	n_{ϕ} мин ⁻¹	N_p , кВт	$N_{шп}$, кВт	P_o , Н	$P_{одоп.}$, Н	T_o , мин
t , мм	S_ϕ мм/об	V , м/мин							
14	0,4	15,8	19,8	180	2,4	3,6	10 025	15 000	1,57

Выводы:

1) Сверло по скорости резания используется на 82 %

$$\frac{V}{V_p} 100 \% = \frac{15,8}{19,3} 100 \% = 82 \%;$$

2) Станок по мощности загружен на 67 %

$$\frac{N_p}{N_{\text{шт}}} 100 \% = \frac{2,4}{3,6} 100 \% = 67 \%;$$

3) Осевое усилие резания меньше допустимого, т. е. повреждение механизма подачи не должно быть.

Пример расчета режима резания при зенкеровании

Исходные данные

Рассчитать режим резания при зенкеровании сквозного отверстия диаметров $D_o = 37$ мм до диаметра $D = 40H10$ на глубину $l_2 = 70$ мм. Материал заготовки – сталь 50 с пределом прочности $\sigma_b = 640$ МПа, НВ = 240, заготовка прокат-горячекатаный без корки. Охлаждение эмульсией. Станок вертикально-сверлильный 2Н135.

Выбираем зенкер, оснащенный пластинами твердого сплава Т15К6 (см. таблицу 4П) с коническим хвостовиком ГОСТ 3231–71, диаметр зенкера $D = 40$ (таблица 9П).

Геометрические параметры зенкера определяем по таблице 14П и сводим в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Геометрические параметры зенкера

γ^0	α^0	φ^0	φ_1^0	ω^0	f , мм
0	8	60	30	15	1,2

Глубина резания при зенкеровании

$$t = 0,5(D - D_o) = 0,5(40 - 37) = 1,5 \text{ мм.}$$

Величина подачи

$$S = S_o \times K_{os} = 1 \times 0,7 = 0,7 \text{ мм/об.}$$

Согласно таблице 20П табличное значение подачи:

$$S_o = 0,9 \dots 1,2 \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S_o = 1$ мм/об.

При определении подачи на зенкерование учитывают только один поправочный коэффициент K_{os} , который в нашем случае равен 0,7 (см. таблицу 20П)

Корректируем подачу по паспортным данным станка 2Н135 (таблица 1П), исходя из условия:

$$S_{\phi} \leq S = 0,7 \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S_{\phi} = 0,56$ мм/об.

Определяем расчетную скорость резания:

$$V_p = \frac{C_v D^g}{T^m t^x S^y} K_v = \frac{18 \times 40^{0,6}}{50^{0,25} \times 15^{0,2} \times 0,56^{0,3}} = 1,17 = 79,6 \text{ м/мин.}$$

Значения коэффициента C_v , g , и показатели степени g , m , x , y – берем из таблицы 23П.

Стойкость зенкера $T = 50$ мин определяем по таблице 24П.

Общий поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{\mu v} K_{nv} K_{lv} K_{nv},$$

$$K_{\mu v} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_\beta} \right)^{nv} = 1 \left(\frac{750}{640} \right)^1 = 1,17 \text{ (таблица 25, 26П).}$$

$$K_{nv} = 0,85 \text{ (таблица 30П); } K_{lv} = 1 \text{ (таблица 31П); } K_{nv} = 1 \text{ (таблица 29П).}$$

$$K_v = K_{\mu v} K_{nv} K_{lv} K_{nv} = 1,17 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,17.$$

Определяем расчетную частоту вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 V_p}{\pi D} = \frac{1000 \times 79,6}{3,14 \times 40} = 633,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем фактическую частоту вращения шпинделя с учетом паспортных данных станка 2Н135 (таблица 1П) из условия:

$$n_\phi \leq n_p = 633,8 \text{ мин}^{-1};$$

Принимаем $n_\phi = 500 \text{ мин}^{-1}$.

Определяем фактическую скорость резания:

$$V = \frac{\pi D n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \times 40 \times 500}{1000} = 62,8 \text{ м/мин.}$$

Проверяем выбранный режим резания по мощности на шпинделе и прочности механизма подачи для чего определяем крутящий момент $M_{кр}$ и осевую силу P_o сил резания:

$$M_{кр} = 10 C_m D^g t^x S^y K_p = 10 \times 0,09 \times 40^1 \times 1,5^{0,9} \times 0,56^{0,8} \times 0,89 = 29 \text{ Н·м};$$

$$P_o = 10 C_p t^x S^y K_p = 10 \times 67 \times 1,5^1 \times 1,5^{1,2} \times 0,56^{0,65} \times 0,89 = 667 \text{ Н.}$$

Значения конфидентов и C_m и C_p и показателей степеней g , x , y – определяем по таблице 32П.

$$\text{Коэффициент } K_p = K_{\mu p} = \left(\frac{\sigma}{750} \right)^n = \left(\frac{640}{750} \right)^{0,75} = 0,89.$$

Определяем мощность резания:

$$N_p = \frac{M_{кр} \Pi_\phi}{9750} = \frac{29 \times 500}{9750} = 1,49 \text{ кВт.}$$

Мощность, затрачиваемая на резание $N_p = 1,49$ кВт, меньше мощности на шпинделе станка $N_{шп} = N_p \eta = 4,5 \times 0,8 = 3,6$ кВт.

Осевая сила от сил резания $P_o = 667$ Н, что намного меньше $P_{o, доп.} = 15\,000$ Н.

Основное время равно:

$$T_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{\Pi_\phi S_\phi} = \frac{1 + 70 + 2,5}{500 \times 0,56} = 0,27 \text{ мин.}$$

$$l_1 = t \text{ctg} \phi = 1,5 \text{ctg} 60^\circ = 1 \text{ мм}; \quad l_3 = (3 \dots 5) S_\phi = 4 \times 0,56 = 2,5 \text{ мм.}$$

Результаты расчета сводим в таблицу 3.5.

Режимы резания			V_p , м/мин	n_ϕ , мин ⁻¹	N_p , кВт	$N_{шп}$, кВт	P_o , Н	$P_{o, доп.}$, Н	T_o , мин
t , мм	S_ϕ , мм/об	V , м/мин							
1,5	0,56	62,8	79,6	500	1,49	3,6	667	15 000	0,27

Выводы:

1) Зенкер по скорости резания используется на 79 %

$$\frac{V}{V_p} 100 \% = \frac{62,8}{79,6} 100 \% = 79 \%;$$

2) станок по мощности загружен на 41 %

$$\frac{N_p}{N_{шп}} 100 \% = \frac{1,49}{3,6} 100 \% = 41 \%;$$

Возможно использование менее мощного станка с проведением соответствующего проверочного расчета.

ГЛАВА 4. ПРОТЯГИВАНИЕ

Протягивание – одна из самых эффективных операций по обработке материалов резанием, которую делают с помощью режущего инструмента – протяжки.

Протяжка – многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих друг над другом зубьев в направлении, перпендикулярном скорости главного движения резания. С помощью протяжек можно обрабатывать внутренние и наружные поверхности различной формы. При протягивании движение подачи отсутствует, а главное движение резания может быть поступательным или вращательным.

Протягивание применяется для обработки внутренних и наружных поверхностей металлических (редко неметаллических) материалов с высочайшей точностью – до 6 качества и шероховатости поверхности до $Ra\ 0,16\ \mu\text{м}$.

Протягиванию предшествуют подготовительные операции, такие как сверление, зенкерование, развертывание, вырубка, т. е. для проведения протягивания требуется достаточно точно обработанная поверхность заготовки.

Протягивание используют в массовом и серийном производстве для обработки поверхностей заготовок, одинаковых по форме и размерам. Протягивают круглые, шлицевые, многогранные и другие отверстия, наружные поверхности (часто плоскости), образуют в отверстиях шпоночные канавки. Обработку протягиванием применяют для деталей с диаметром отверстия 6...100 мм.

Широкомасштабное применение метода протягивания началось в годы первой мировой войны, когда с целью массового производства вооружения потребовались новые высокопроизводительные,

эффективные и точные методы обработки, в частности, для получения нарезов в стволах оружия.

При технологии протягивании цилиндрических или шлицевых диаметров в заготовках небольших габаритов и массы один станочник производит от 400 до 1000 деталей за 8 часовую смену, а при работе с прошивкой на прессе – от 1200 до 3700 шт. На протяжных станках с непрерывным рабочим ходом и автоматизированной загрузкой заготовок эффективность увеличивается до 4800...8000 деталей за смену. Такая же производительность достигается и при протягивании наружных размеров. Даже при протягивании нелегких в исполнении деталей с большими диаметрами, таких как блоки автомобильных или тракторных моторов, продуктивность достигает 350 за смену. При протягивании зубчатых колес с наружными и внутренними зубьями производительность составляет от 320 до 16 000 шт. за смену.

Инструмент при протягивании работает в наиболее тяжелых и суровых условиях огромных нагрузок: растяжение, сжатие, изгиб, абразивное и адгезионное выкрашивание лезвий протяжки.

Протягивание – процесс обработки внутренних и наружных поверхностей деталей многолезвийным инструментом (протяжкой или прошивкой) с поступательным движением резания V (рисунок 4.1).

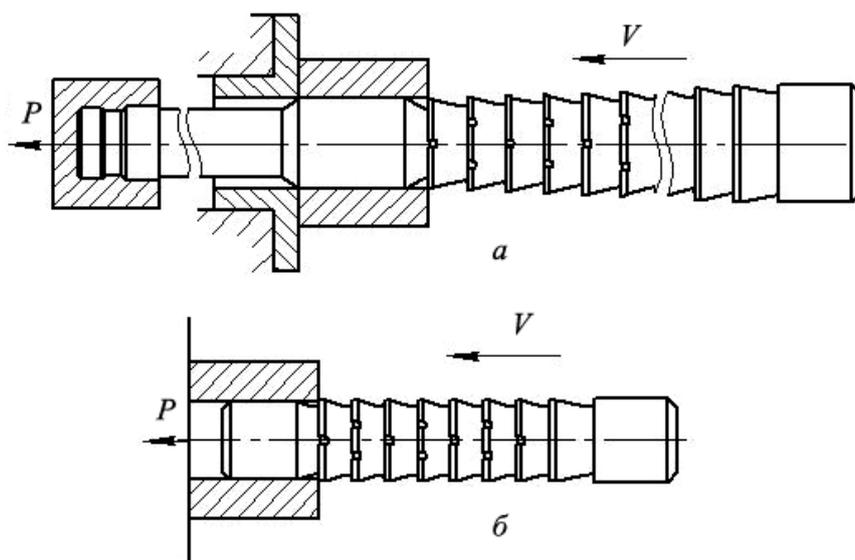


Рисунок 4.1 – Обработка отверстия протяжкой (а) и прошивкой (б)

При протягивании отверстий (рисунок 4.1,а), сила P приложена к передней части протяжки, которая протаскивает ее через отверстие детали, производя обработку режущими зубьями.

При прошивании (рисунок 4.1,б) прошивку проталкивают через отверстие детали. Как правило, прошивки значительно короче протяжек.

По сравнению с другими способами механической обработки протягивание имеет ряд преимуществ:

- одновременное участие в работе нескольких зубьев обеспечивает большую величину минутной подачи в процессе протягивания. При этом, несмотря на низкую скорость рабочего движения $v = 2...12$ м/мин (по чугуноу протяжки имеют $v = 40...50$ м/мин), относительная скорость снятия припуска получается выше, чем у других инструментов, что определяет высокую производительность процесса протягивания – в 3...15 раз выше по сравнению с развертыванием, фрезерованием, долблением, строганием, шлифованием и др.

- точность обработки 6...9 качества;
- высокое качество обрабатываемых поверхностей Ra 0,16...2,5 мкм;
- значительная стойкость протяжек;
- устранение брака;
- возможность использования рабочих низкой квалификации;
- сокращение расходов на эксплуатацию инструмента.

Протягивание применяют для следующих операций:

- нарезание шлицев и шпоночных канавок;
- обработка сложных наружных профилей;
- обработка отверстий нарезного огнестрельного оружия (стволы пистолетов, пулеметов, пушек);
- обработка посадочных поверхностей лопаток турбин авиадвигателей;
- калибрование цилиндрических, многогранных, фигурных отверстий.

Протяжки особенно широко применяются в авиационной, авто-тракторной и станкостроительной промышленности. Например, современный автомобильный завод использует до 100 типов протяжек. Они широко используются при обработке отверстий под поршни, шатунов, шлицевых отверстий с разнообразной формой шлица (прямоугольных, елочных, эвольвентных), а также различных специальных отверстий и пазов, шпоночных канавок, траков гусениц, отверстий шестигранных ключей зубчатых колес и муфт внутреннего со-

членения. Протягивание применяется и в общем машиностроении и при производстве деталей швейных машин, велосипедов, мотоциклов, деталей оборудования пищевого и текстильного назначения, фото- и киноаппаратуры.

Протягивание основано на использовании простейшей принципиальной кинематической схемы резания (рисунок 4.2).

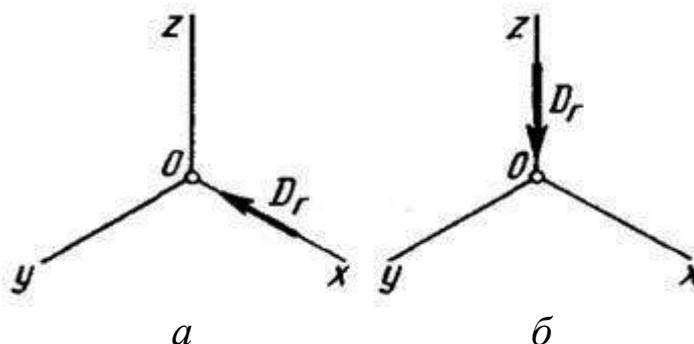


Рисунок 4.2– Кинематические схемы при протягивании

Если протягивание ведут на горизонтально-протяжных станках, то прямолинейное главное движение D_r , сообщаемое протяжным инструментам или обрабатываемым заготовкам, направлено вдоль горизонтальной оси x (рисунок 4.2,а). При работе на вертикально-протяжных станках прямолинейное движение направлено вдоль вертикальной оси z (рисунок 4.2,б).

Прямолинейное движение D_r на принципиальной кинематической схеме резания количественно характеризуется скоростью резания. Кинематическое исполнение протяжных станков в соответствии с принципиальной кинематической схемой резания предусматривает только прямолинейное возвратно-поступательное движение рабочих органов. Прямое поступательное движение всегда является рабочим ходом; возвратное движение – холостым ходом.

По характеру движения режущего инструмента различают:

- протягивание – инструмент вытягивается из отверстия;
- прошивание – инструмент проталкивается в отверстие.

Разновидностью протяжек являются прошивки, которые по конструкции принципиально не отличаются от протяжек, но в отличие от последних работают не на растяжение, а на сжатие.

Все многообразие способов протягивания можно классифицировать по: виду обработки; виду воздействия на материал заготовки; схеме срезания припуска; материалу режущей части; конструктивному исполнению и по числу протяжек в комплекте (рисунок 4.3.)



Рисунок 4.3 – Классификация протяжек

По назначению различают: внутреннее и наружное протягивание.

Внутреннее протягивание используют для обработки гладких и граненых цилиндрических, шлицевых отверстий (чаще всего отверстия диаметром 10...75 мм и длиной, не превышающей 2,5...3 диаметра отверстия), шпоночных пазов.

При протягивании шлицевых отверстий в деталях типа «рычаг» необходимо обеспечить не только размерную точность, но и точность взаимного расположения протянутых отверстий. Такое протягивание называют координатным. К этому виду протягивания можно отнести и протягивание наружных зубчатых венцов цилиндрических колес коробок передач и газораспределительных механизмов автомобилей, когда положение шпоночного паза посадочного отверстия строго ориентировано относительно впадин зубьев колеса.

Наружное протягивание применяют для обработки плоских и фасонных поверхностей; зубчатых венцов (цилиндрических и конических колес агрегатов трансмиссий), а также зубчатых секторов деталей рулевого управления автомобилей и самолетов.

На рисунках 4.4 и 4.5 представлены технологические схемы протягивания.

При обработке круглого отверстия цилиндрической протяжкой 2 (рисунок 4.4,*а*) заготовку 3 устанавливают на сферическую опору 1 (плавающая протяжка) или на плоскую опору. При установке на сферическую опору 1 заготовка самоустанавливается по оси протяжки, но торец может получиться неперпендикулярным оси отверстия. Такую установку применяют, если торец заготовки обрабатывается после протягивания. При установке на плоскую опору торец перпендикулярен оси отверстия, но возможна поломка протяжки из-за разницы припусков в диаметральной плоскости протяжки.

Внутренним протягиванием (рисунок 4.4,*а*) и прошиванием (рисунок 4.4,*г*) обрабатывают круглые цилиндрические, квадратные, многогранные и шлицевые отверстия, а также шпоночные и другие фигурные пазы.

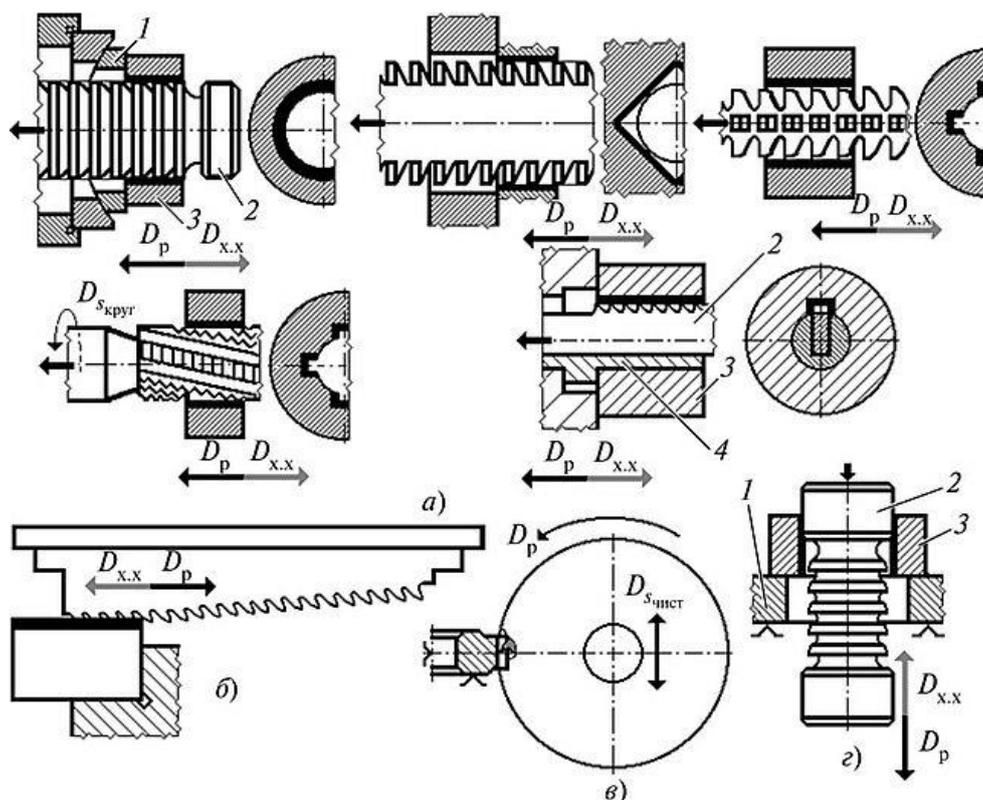


Рисунок 4.4 – Технологические схемы протягивания: *а* – внутренних поверхностей; *б* – наружных поверхностей; *в* – круговое протягивание; *г* – прошивание; D_p – главное движение резания; D_s – движение подачи; D_{xx} – движение обратного (холостого) хода; $D_{skруг}$ – движение круговой подачи; $D_{sчист}$ – движение чистовой подачи

Наружным протягиванием (рисунок 4.4,б,в) обрабатывают наружные плоские и фасонные (с прямолинейной образующей) поверхности.

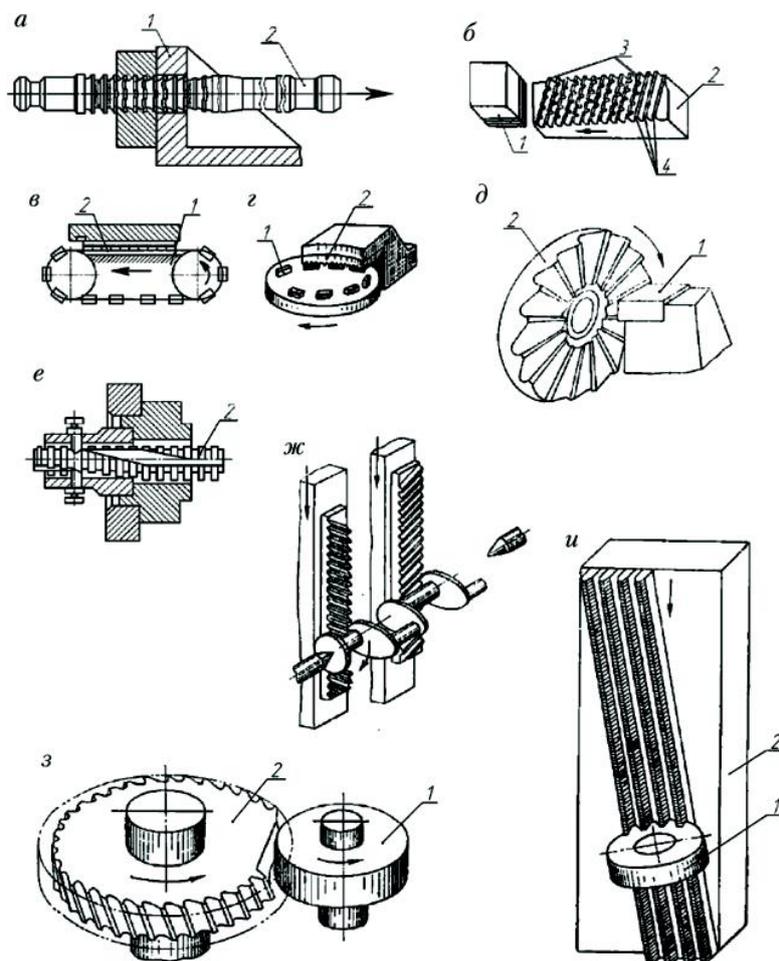


Рисунок 4.5 – Технологические схемы протягивания: *a, б* – возвратно-поступательное движение протяжки; *в* – поступательное движение заготовок; *г* – круговое движение заготовок; *д* – вращательное движение протяжки; *е* – винтовое движение протяжки; *жс* – вращательное движение заготовки и поступательное движение протяжки; *з* – вращательное движение заготовки (движение резания) и вращательное движение протяжки; *и* – возвратно-поступательное движение протяжки и установочное поворотное движение заготовки; *1* – заготовка; *2* – протяжка; *3* – режущие зубья; *4* – калибрующие зубья

При протягивании припуск снимается одновременно режущими лезвиями нескольких зубьев, что определяет высокую производительность процесса. Обработка осуществляется за один рабочий ход инструмента, благодаря чему сокращается вспомогательное время и обеспечивается высокая точность взаимного расположения обработанных поверхностей.

Протяжки применяют для протягивания:

- сквозных отверстий любой формы (рисунок 4.6);
- наружных поверхностей разнообразной формы (рисунок 4.7);
- зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления (рисунок 4.8);
- конических зубчатых колес (рисунок 4.9);
- зубчатых венцов (шлицевые протяжки) (рисунки 4.10, 4.11, 4.12, 4.13);
- прямых и винтовых канавок (рисунки 4.17, 4.18).

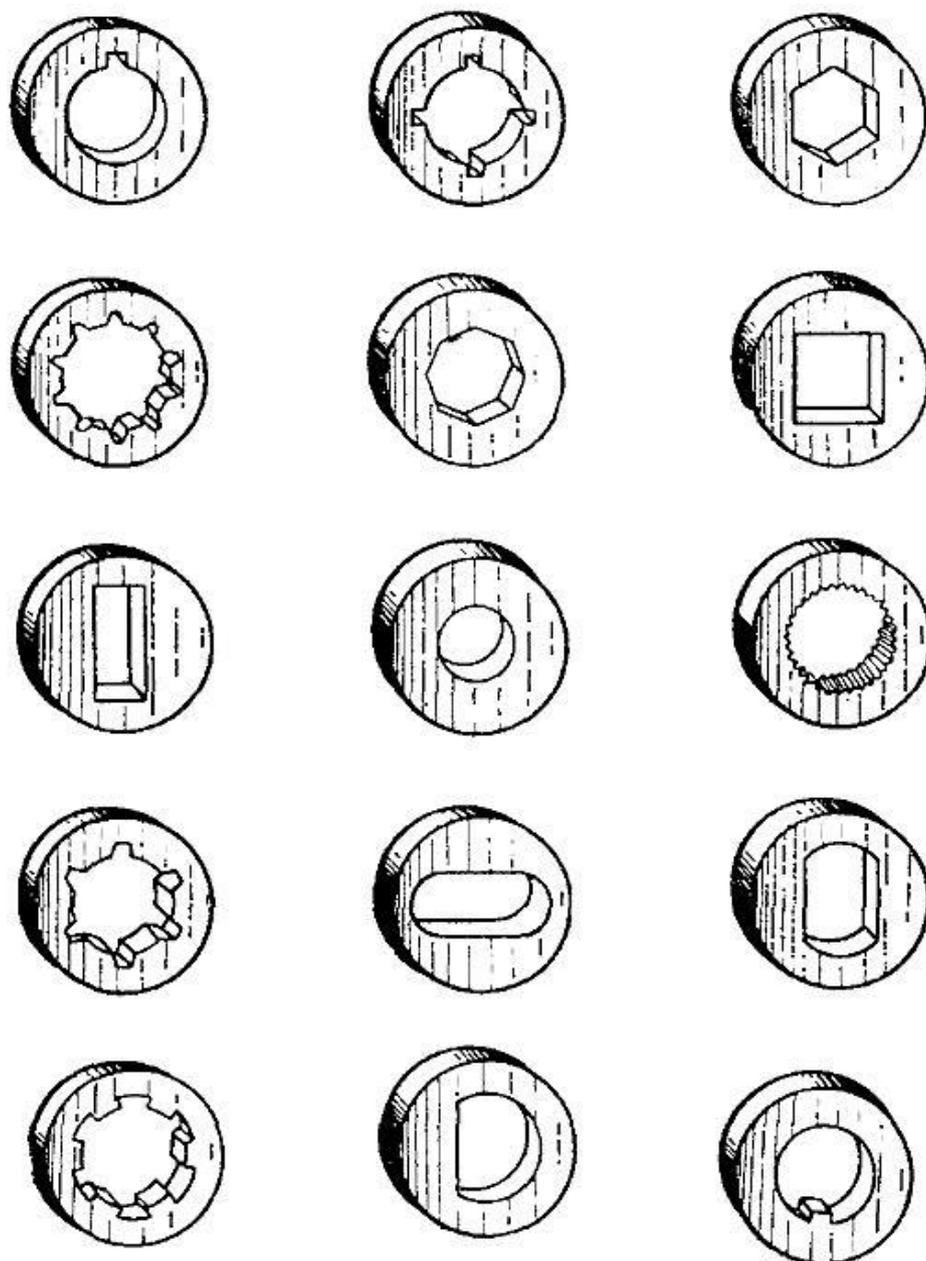


Рисунок 4.6 – Отверстия, полученные при протягивании

Наружное протягивание заменяет такие технологические процессы, как фрезерование, строгание, шлифование. Как правило методом протягивания обрабатываются детали площадью от 100 до 200 см². В совокупности наружное протягивание стоит применять при серийном производстве (блоки и головки автомобильных и тракторных цилиндров двигателей). По большей части с помощью протяжки прорезаются плоскости, фасонные поверхности, всевозможные пазы, рифления, например, зубчатые колеса, хвосты турбинных лопаток, пазы в дисках газовых турбин и др. (рисунок 4.6).

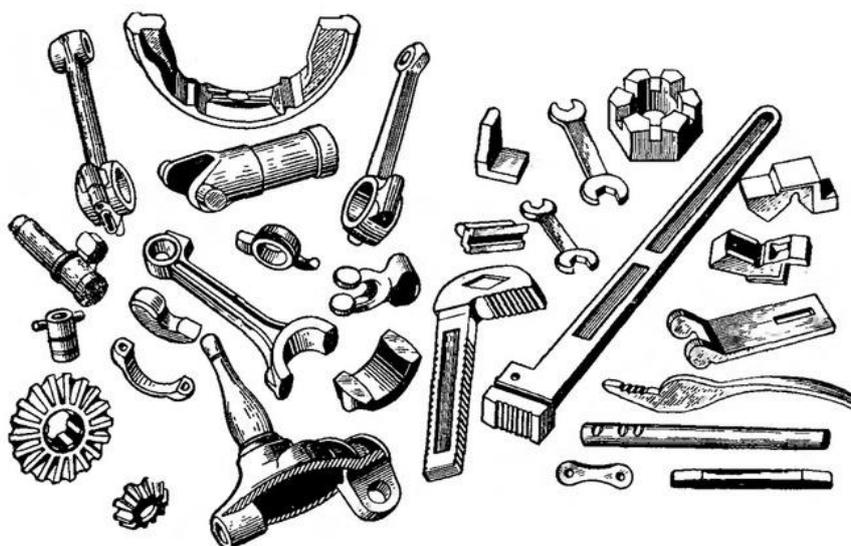


Рисунок 4.7– Детали, полученные наружными протяжками

Протягивание зубьев обкатыванием зубчатой протяжкой

Протягивание наружных и внутренних поверхностей фасонных сложных форм обеспечивает высокую производительность и точность обработки. Поэтому этот способ стали применять для нарезания зубьев. Обработка протягиванием впадин между двумя или несколькими зубьями производится последовательно протяжкой с профилем, соответствующим профилю зубьев нарезаемого зубчатого колеса. После каждого хода протяжки, за который она обрабатывает впадину между двумя или несколькими зубьями (в зависимости от конструкции протяжки), заготовка поворачивается посредством делительного механизма стола.

Таким способом нарезают зубья венцов больших размеров на вертикальных протяжных станках с круглым поворотным столом; при этом формируется достаточно точный профиль зубьев, но достичь высокой точности шага трудно из-за погрешностей в делительном меха-

низме стола. Протягиванием обрабатывают зубчатые секторы на обычных горизонтально-протяжных станках, при этом за один ход протяжки нарезают все зубья сектора и его поворота не требуется.

Нарезание зубьев цилиндрических колес при этом методе протягивания осуществляется при непрерывном зацеплении обрабатываемого зубчатого колеса с зубьями инструмента. Нарезание происходит с помощью цилиндрической зубчатой протяжки при относительном возвратно-поступательном и обкатывающем движениях инструмента и заготовки. Возможные схемы реализации данного метода представлены на рисунке 4.8.

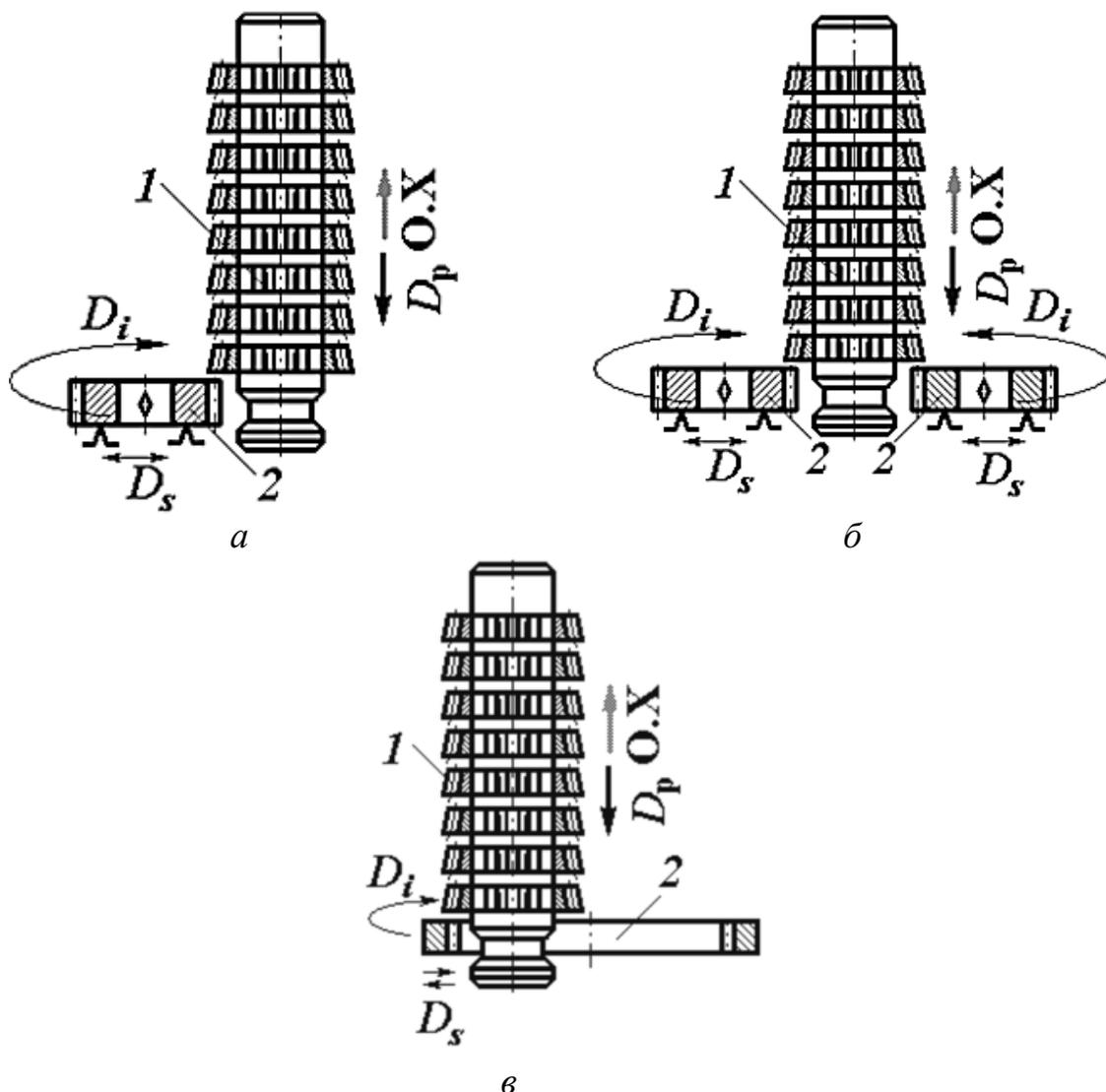


Рисунок 4.8– Схемы охватывающего протягивания: *а* – одного зубчатого колеса; *б* – одновременно двух зубчатых колес; *в* – зубчатого колеса с внутренними зубьями: D_p – главное движение резания; D_i – обкатное движение; D_s – радиальное движение подачи; O.X – обратный ход; *1* – протяжка; *2* – заготовка

Этим методом также можно нарезать сразу несколько зубчатых колес, установленных пакетом одного над другим.

При внешнем обкатывающем протягивании зубьев цилиндрических колес главным движением является возвратно-поступательное, осуществляемое цилиндрической зубчатой протяжкой 1. Заготовка 2 (или заготовки при одновременном протягивании нескольких колес) вращается на одном месте и кинематически связана с вращением протяжки 1 для обеспечения формообразующего обкатывающего движения.

Возможен вариант, когда главное движение резания осуществляет заготовка 2, а цилиндрическая протяжка вращается на месте - она кинематически связана с вращением изделия. Во всех случаях заготовка 2 и протяжка совершают радиальное движение подачи для первоначального врезания.

Цилиндрическая зубчатая протяжка 1 совершает возвратно-поступательное движение, двигаясь при рабочем ходе со скоростью V_p , а при холостом обратном ходе со скоростью $V_{o.x}$ м/мин. Толщина снимаемого слоя металла обеспечивается радиальной подачей врезания D_s в начале рабочего хода и круговой подачей D_i , мм/2х, после врезания протяжки на предусмотренную глубину. Ширина слоя металла, снимаемого главной режущей кромкой, равна ширине самой кромки, т.е. ширине заточки эвольвентного зуба режущего диска. В резании участвуют и боковые режущие кромки зубьев протяжки. Фактически резание осуществляется в два этапа: первый – врезание в сочетании с обкатыванием или только врезание, второй – обкатывание. На обоих этапах протяжка непрерывно совершает возвратно-поступательное движение резания. При врезании заготовка подается к инструменту непрерывно до окончания рабочего хода.

Толщина снимаемого главной и боковыми режущими кромками слоя металла зависит от суммы скоростей резания и радиальной подачи. Фактически траектория движения режущих кромок представляет собой сумму двух движений и расположена под углом π к оси протяжки или заготовки:

Картина резания дополнительно осложняется в связи с круговой подачей, являющейся формообразующим движением обкатывания. Круговая подача создает особую форму стружки переменной толщины. На различных участках главная и боковые режущие кромки зуба протяжки снимают различную по форме и размерам стружку.

В этом отношении схема резания при обкатывающем протягивании зубьев не отличается от нарезания зубьев по методу обкатки и определяется кинематикой протягивания и обкатывания. Поэтому ни одна из известных схем резания при протягивании (профильная, генераторная и групповая) неприемлема.

Протягивание конических зубчатых колес

Круговые протяжки для нарезания конических зубчатых колес широко используются в автотракторной промышленности для нарезания прямозубых конических колес дифференциала автомобилей, тракторов и сельхозмашин. В зависимости от моделей зубопротяжных станков они изготавливаются 3 типов (черновые, чистовые и комбинированные) и трех номинальных диаметров (406,4 мм, 533,4 мм и 635 мм).

Основные параметры круговых протяжек для отечественных зубопротяжных станков моделей 5245, 5С268 и 5С269 представлены в таблице 4.1.

Комбинированная круговая протяжка для окончательной обработки зубьев колес модулем до 5 мм за один установ в заготовке показана на рисунке 4.9. Она имеет 15 резцовых блоков (секций) с несколькими резцами в каждом блоке и два участка без резцов 12 и 16, служащих для установки фасочного резца и для деления заготовки на шаг.

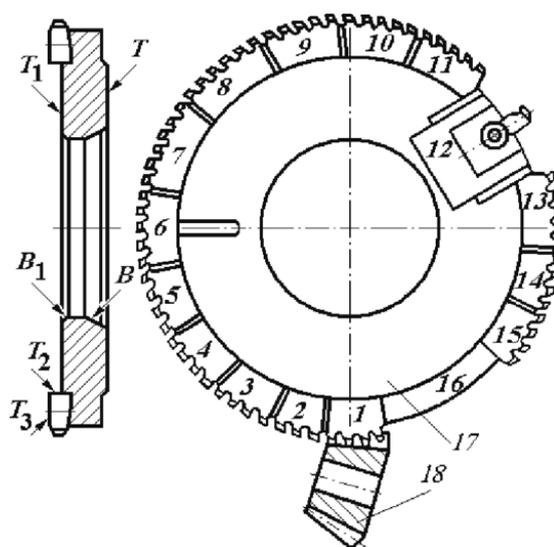


Рисунок 4.9 – Комбинированная круговая протяжка: 1–11 – черновые резцовые блоки; 12 – сектор для установки фасочного резца; 13–15 – чистовые резцовые блоки; 16 – свободный сектор; 17 – корпус протяжки; 18 – заготовка; B, B₁ – конические посадочные поверхности корпуса; T, T₁, T₂ и T₃ – торцевые посадочные поверхности

Таблица 4.1 – Основные параметры круговых протяжек

Тип протяжки	Номинальный диаметр, мм	Число резцов в протяжке	Число резцов в блоке	Число блоков в протяжке		
				Черновых	Получистовых	Чистовых
Комбинированная	533,4	50	5	20	5	15
Черновая	533,4	80	–	–	5	16
Чистовая	533,4	–	32	28	4	15
Комбинированная	635,0	60	6	24	6	15
Черновая	635,0	96	–	–	6	16
Чистовая	635,0	–	40	35	5	15

Первые одиннадцать блоков (1–11) предназначены для чернового прорезания впадины. Блоки 13, 14 и 15 – чистовые и служат для окончательного профилирования зубьев. Чистовые резцы имеют только боковые режущие кромки, спрофилированные по дугам окружностей, выбираемых из условия наибольшего приближения к эвольвентам.

В черновых круговых протяжках используются только черновые резцы (чистовые отсутствуют), а вместо фасочного резца установлен дополнительный блок. Так как черновая протяжка в процессе резания не совершает движения подачи на заготовку, резание осуществляется благодаря подъему черновых резцов в радиальном направлении. Первый черновой резец делается короче и шире остальных, у последующих резцов высота зуба увеличивается, а толщина уменьшается. Первый резец снимает стружку толщиной порядка 0,25 мм, последний резец – толщиной 0,08 мм. У черновых протяжек диаметром 406,4 мм для увеличения промежутка при делении заготовки на зуб на первом резцовом блоке отсутствуют первые три зуба.

Чистовые круговые протяжки имеют получистовые и чистовые резцовые блоки и 2 промежутка для деления и установки фасочного резца.

Получистовые резцы имеют подъем в радиальном направлении. При работе получистовых и чистовых резцов заготовка или инструмент (зависит от модели зубопротяжного станка) совершают линейное перемещение. Для обеспечения бочкообразной формы зубьев нарезаемого колеса у круговых протяжек первые чистовые резцы, начинающие резание с внешнего торца зуба, имеют толщину несколько больше расчетной. Поэтому впадина на внешнем торце получается шире теоретической. Аналогично увеличивают ширину впадины зуба на носке. Таким образом, образуется бочкообразная форма по длине зуба.

У чистовых круговых протяжек диаметром 406,4 мм четыре зуба у первого получистового резцового блока отсутствуют, что позволяет увеличить промежуток для деления. Правильный профиль зубьев колеса при нарезании чистовыми протяжками достигается благодаря согласованному перемещению протяжки (заготовки) и профиля чистовых резцов при вращении.

Заточка круговых протяжек выполняется в сборе по передней поверхности резцов на специальных заточных станках тарельчатым шлифовальным кругом. На заточном станке протяжка устанавливается на коническую поверхность B и торец T (см. рисунок 4.9). Передний угол резцов равный 15° обеспечивается вертикальной наладкой станка.

После сборки и заточки при установке протяжки по конусному отверстию B и торцу T допустимое биение торца корпуса должно быть не более 0,005 мм. Допуск биения по поверхности T от блока к блоку для чистовых резцов не более 0,005 мм, получистовых и черновых резцов – не более 0,013 мм, допуск суммарного биения – соответственно не более 0,008 мм и 0,025 мм.

Допуск радиального биения по поверхности T_3 (см. рисунок 4.9) для всех типов резцов от блока к блоку не более 0,005 мм, допуск суммарного биения не более 0,013 мм. Параметр шероховатости передней поверхности резцов должен быть Ra 0,63...0,32 мкм.

Протяжки для внутреннего протягивания зубчатых венцов

К этому виду протяжек обычно относятся шлицевые протяжки, которые подразделяются [5]:

- по форме шлицев: с параллельными боковыми сторонами (прямоугольные); с эвольвентными боковыми сторонами; с непараллельными боковыми сторонами (трапецеидальные, треугольные);
- по направлению зубьев: прямолинейные; винтовые;
- по схеме резания: с обычной схемой (профильно-генераторной); с групповой схемой (переменной);
- по назначению: для протягивания внутренних шлицевых пазов; для протягивания шлицевых пазов (комбинированные); для спецопераций (калибрующие).

Для уменьшения трения на боковых поверхностях шлицевых выступов у протяжки (рисунок 4.10) делается боковое поднутрение, образующее вспомогательный угол в плане, равный 1...20. Для сохранения размера зуба оставляется ленточка шириной 0,7...1 мм. Поднутрение делается только начиная с зуба, диаметр которого по шлицам отличается от диаметра первого зуба на 2,5 мм [5].

Для увеличения стойкости шлицевые зубья снабжаются переходной кривой с таким же задним углом, как и на главной режущей кромке. Переходная кромка получается срезанием уголка, образуе-

мого пересечением главной и вспомогательной режущих кромок. Форма и размеры переходных кромок на последних режущих и на всех калибрующих зубьях должны соответствовать форме и размерам переходной части на профиле шлицевой канавки заготовки.

При протягивании шлицев комплектом протяжек передняя направляющая часть протяжек, кроме первой протяжки комплекта, должна иметь шлицевые выступы, соответствующие форме и размерам шлицев, обработанных предыдущей протяжкой, со скосами для облегчения попадания в шлицы.

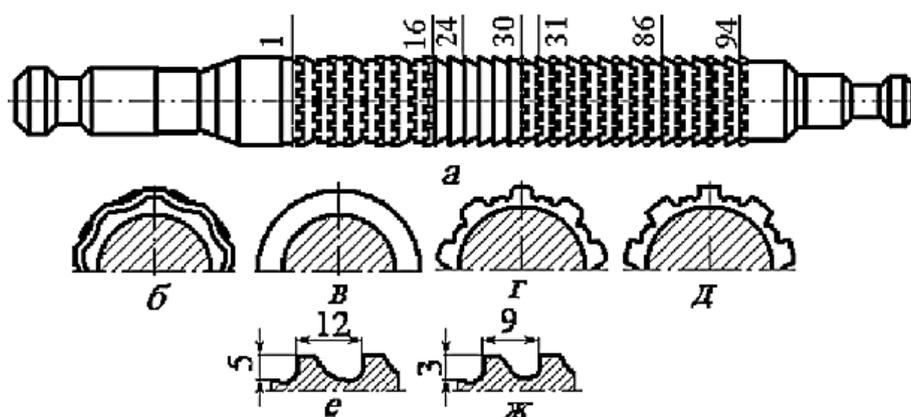


Рисунок 4.10 – Шлицевая протяжка с переменной схемой резания:

- а* – общий вид; *б* – поперечный профиль 1...15 фасонных зубьев;
- в* – поперечный профиль 16...30 круглых зубьев; *г* – поперечный профиль четных (с 32 по 84) шлицевых зубьев с затылованными выкружками;
- д* – поперечный профиль нечетных (с 33 по 83) шлицевых зубьев и зубьев с 85 по 94; *е, ж* – продольные профили зубьев с шагом 12 и 19 мм

Шлицевые калибрующие протяжки с переменной схемой резания служат для выправления заготовки со шлицевыми отверстиями, деформированными при цементации и термообработке. Они отличаются порядком расположения зубьев. Для обеспечения concentricity наружного и внутреннего диаметров, а также для попадания шлицевых зубьев в готовые пазы круглые зубья чередуются со шлицевыми через зуб.

Протяжка (рисунок 4.11) служит для протягивания шлицевых отверстий с эвольвентным профилем зубьев. Она имеет круглые зубья для протягивания отверстия и шлицевые для протягивания эвольвентных шлицев. В обеих группах зубьев применена переменная схема резания, которая образуется в данном случае так же, как и на шлицевых протяжках для протягивания прямоугольных шлицев [5].

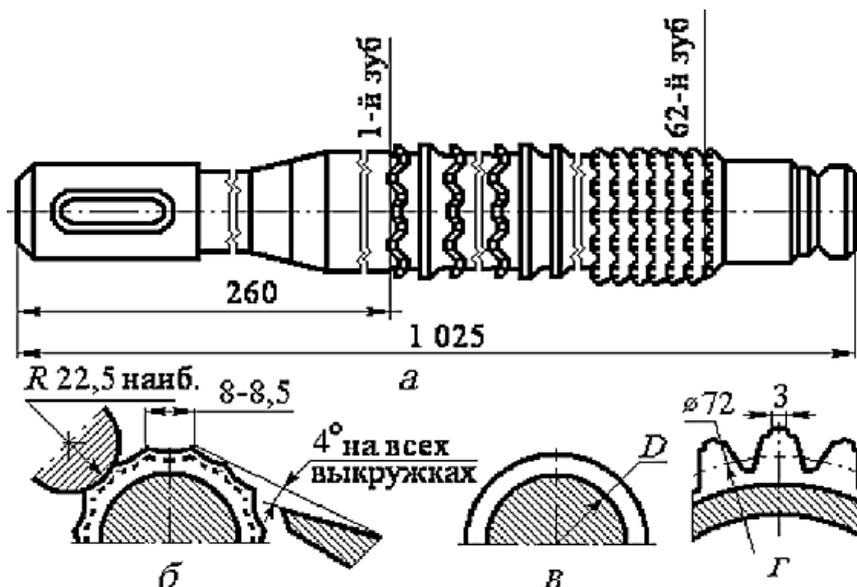


Рисунок 4.11 – Эвольвентная протяжка с переменной схемой резания: *а* – общий вид; *б* – поперечный профиль круглых зубьев (1, 3, 5 и 7), имеющих по 14 круглых выкружек; *в* – поперечный профиль круглых зубьев (2, 4, 6, 8, 10, 12 и 13) без выкружек; *г* – поперечный профиль 14...62 шлицевых зубьев (на четных зубьях выполнено по 18 затылованных выкружек)

Сборная эвольвентная протяжка для протягивания эвольвентных зубьев модулем 3 мм показана на рисунке 4.12 и состоит из корпуса 7, изготовленного заодно с передним и задним хвостовиками, режущих и калибрующих зубьев в виде секций 2...8. При этом секции 2 и 8 зубьев изготовлены вместе с передней и задней направляющими соответственно. Положение секций на корпусе протяжки фиксируется винтами, входящими в паз корпуса 7. Секции стягиваются гайками 9 [5].

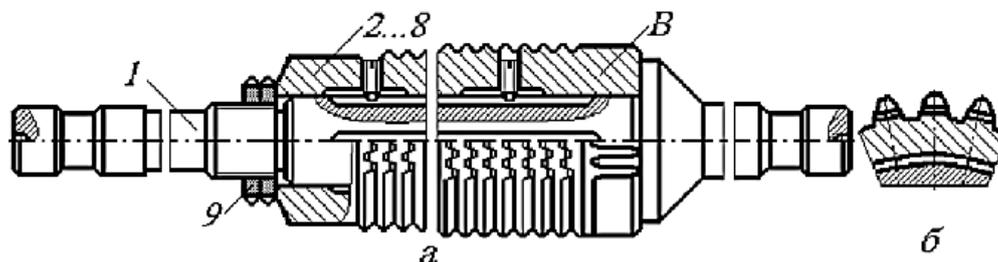


Рисунок 4.12 – Эвольвентная шлицевая сборная протяжка: *а* – общий вид; *б* – сечение по режущему участку протяжки; 1 – корпус; 2...8 – секции режущих зубьев; 9 – гайка

Протяжка (рисунок 4.13) предназначена для протягивания эвольвентных шлицевых отверстий 70×68×2; число зубьев 34. Черновые зубья с 1-го (диаметр 66,00 мм) по 28-й (диаметр 69,94), под-

ем на зуб 0,16 мм на диаметр; чистовые зубья с 29-го (диаметр 69,97 мм) по 32-й (диаметр 70,046, подъем на зуб 0,012 мм). На рисунке 4.12,б показан поперечный профиль черновых режущих зубьев (для предварительной прорезки шлицев). Эти зубья имеют трапецеидальную форму, что создает лучшие условия резания. Чистовые зубья (рисунок 4.13,в) имеют эвольвентный профиль и обеспечивают окончательную обработку профиля в заготовке. Профиль продольного сечения по режущей части протяжки аналогичен профилям других шлицевых протяжек.

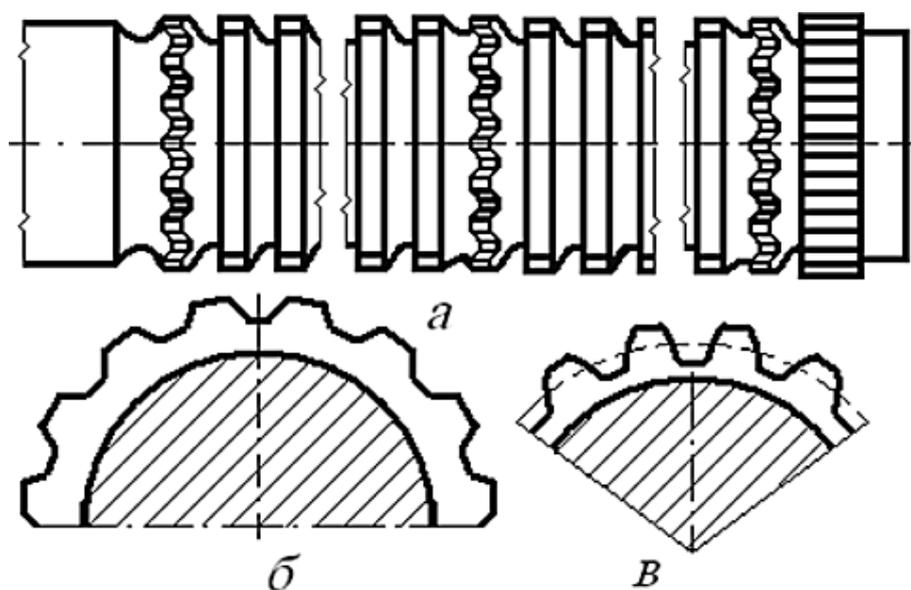


Рисунок 4.13 – Эвольвентная шлицевая цельная протяжка с профильно-генераторной схемой срезания припуска: а – общий вид; б – поперечный профиль черновых режущих зубьев; в – поперечный профиль чистовых режущих зубьев

На рисунках 4.14 и 4.15 представлены чертежи шлицевой и круглой протяжек.

Протягивание шлицев в детали обычно производят также в предварительно обработанном круглом отверстии, причем все шлицы протягивают одновременно. Протягиванием можно изготовить как прямые шлицы, так и спиральные с принудительным вращением в последнем случае протяжки или детали (рисунок 4.16).

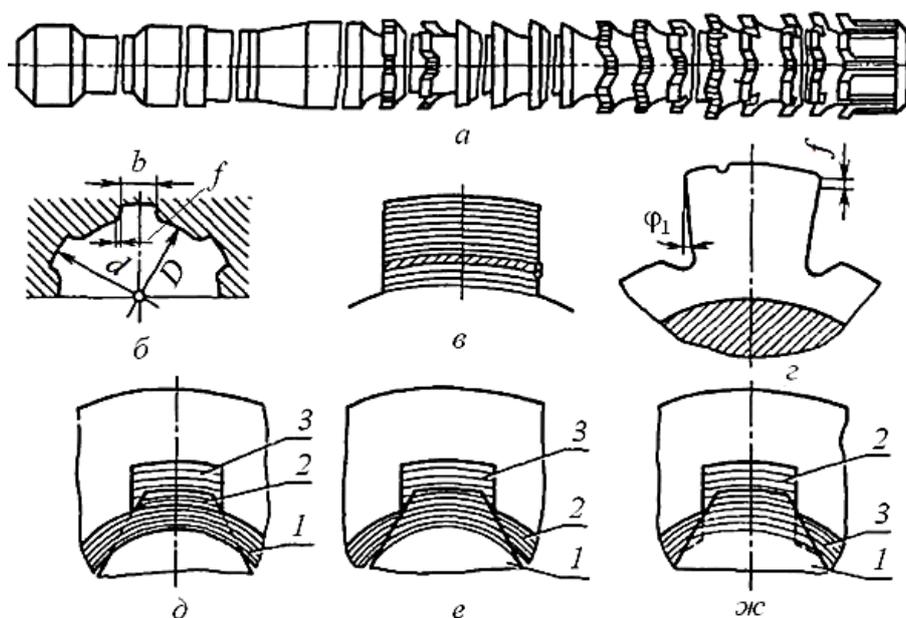


Рисунок 4.16 – Шлицевая протяжка: *а* – чертеж; *б* – обработанное отверстие; *в* – схема образования шлицевых канавок; *г* – схема образования боковых сторон зубьев протяжки; *д, е, ж* – схемы обработки комбинированной протяжкой; 1, 2, 3 – последовательность обработки

Шлицевые и шпоночные протяжки (рисунок 4.17 и 4.18) изготавливают с многогранными пластинами из твердого сплава квадратной формы, расположенными по передней (рисунок 4.17,*б*) или задней (рисунок 4.17,*в*) поверхности зубьев. Пластины припаивают, приклеивают. При расположении пластин по задней поверхности их могут закреплять винтами. Этот же способ может быть применен и у протяжек с групповой схемой резания. На рисунке 4.17,*г* приведено в качестве примера кольцо такой протяжки.

Применяют сборные конструкции протяжек со сменными кольцами или втулками только на калибрующей части. При потере точности (износе) заменяют только кольца калибрующих зубьев, возобновляя точность и работоспособность протяжки. Кольца могут быть изготовлены с припаянными или механически закрепленными пластинами твердого сплава. Иногда для протяжек малых диаметров

кольца изготавливают целиком из твердого сплава. Для восстановления диаметра калибрующих зубьев протяжки втулку делают с продольным наклонным пазом, устанавливая ее на конусный конец хвостовика протяжки (рисунок 4.17,д). Натягом гайки регулируют диаметральный размер втулки. Крепление секций шлицевой протяжки показано на рисунке 4.17,е. Для повышения качества обработанной поверхности на протяжках за зубьями калибрующей части делают уплотняющие калибрующие зубья (рисунок 4.17,ж), которые уменьшают параметры шероховатости полученной поверхности.

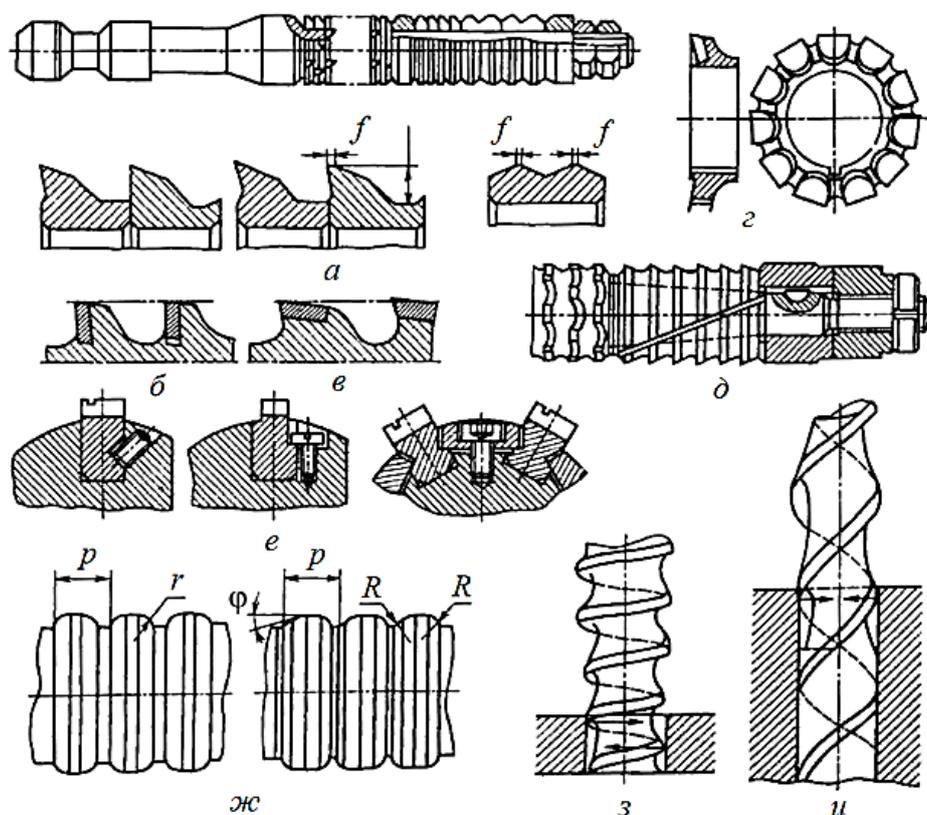


Рисунок 4.17– Сборные конструкции протяжек: *а* – составная протяжка; *б, в* – с пластинами из твердого сплава; *г* – кольцо протяжки; *д* – установка калибрующих зубьев; *е* – крепление секций шлицевой протяжки; *ж* – уплотняющие калибрующие зубья; *з, и* – протяжки с винтовыми зубьями

Для повышения обрабатываемости материала заготовок иногда режущую часть протяжки делают с чередующимися режущими и уплотняющими зубьями. Кроме протяжек с режущими кромками, расположенными в плоскостях, перпендикулярных к оси, делают протяжки с винтовыми зубьями, что улучшает плавность их работы. Круглые протяжки для отверстий малой длины делают с винтовыми

зубьями (рисунок 4.17,з), угол подъема стружечной канавки у них небольшой для возможности увеличения шага зубьев протяжки. У круглых протяжек для обработки длинных отверстий стружечные канавки должны обеспечить отвод стружки по канавке (рисунок 4.17,и).

На рисунке 4.18 приведена конструкция протяжки, собранной из нескольких секций, для обработки гнезд под подшипники блока цилиндров автомобильного двигателя.

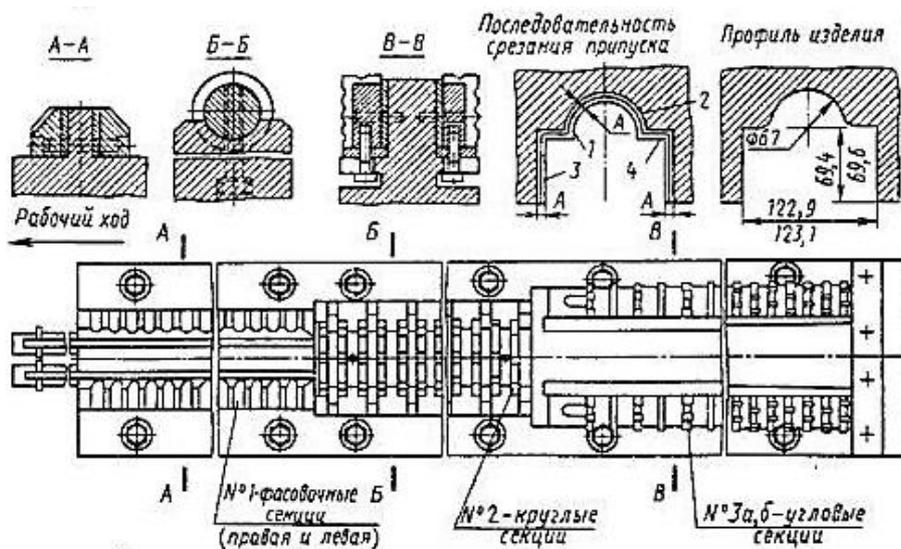


Рисунок 4.18 – Протяжка для обработки блока цилиндров

Протягивание винтовых канавок

Относительное движение протяжки и заготовки может быть винтовым, что используется при протягивании винтовых канавок. Винтовое движение может осуществляться как совокупность поступательного и соответствующего вращательного движения. Вращательное движение может принудительно сообщаться протяжке или заготовке. Может использоваться также самовращение протяжки или заготовки. Принудительное вращение протяжки может быть обеспечено различными способами, например, с помощью пальца (рисунок 4.17), или ролика, скользящего по винтовой канавке на протяжке, копирной линейки, от копирного винта через зубчатую пару, путем настройки соответствующей кинематической цепи станка.

Винтовые протяжки применяются в токарных или винторезных станках. В обоих случаях обработка выполняется в один проход протяжки, что обеспечивает высокую эффективность процесса.

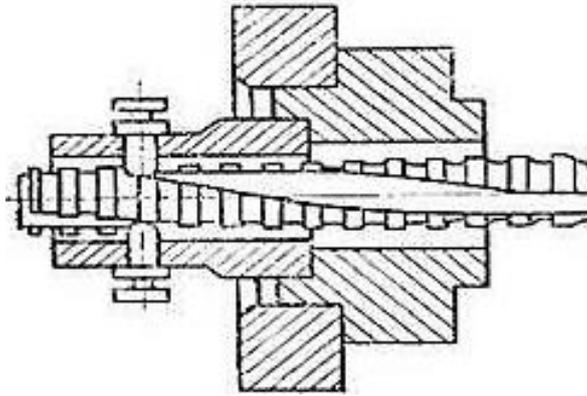


Рисунок 4.19 – Протягивание винтовых отверстий

На рисунок 4.20 представлено фото винтовых протяжек для обработки винтовых профилей в кольцевых шестернях. Например, в автоматической коробке передач.

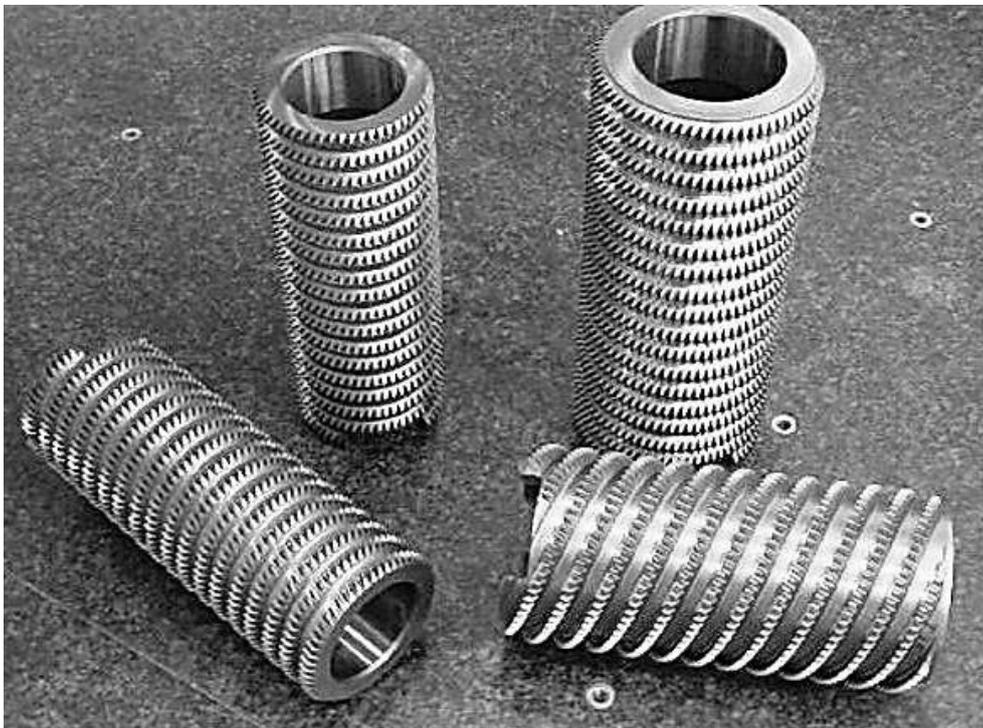


Рисунок 4.20 – Винтовые протяжки для обработки винтовых профилей

Винтовые многошпоночные протяжки используются для обработки винтовых многошпоночных канавок. При работе протяжка получает два строго согласованных движения – продольное (осевое) и вращательное.

На рисунке 4.21 представлено фото изготовления спиральных канавок посредством вращения протяжки на определенную величину во время протягивания.

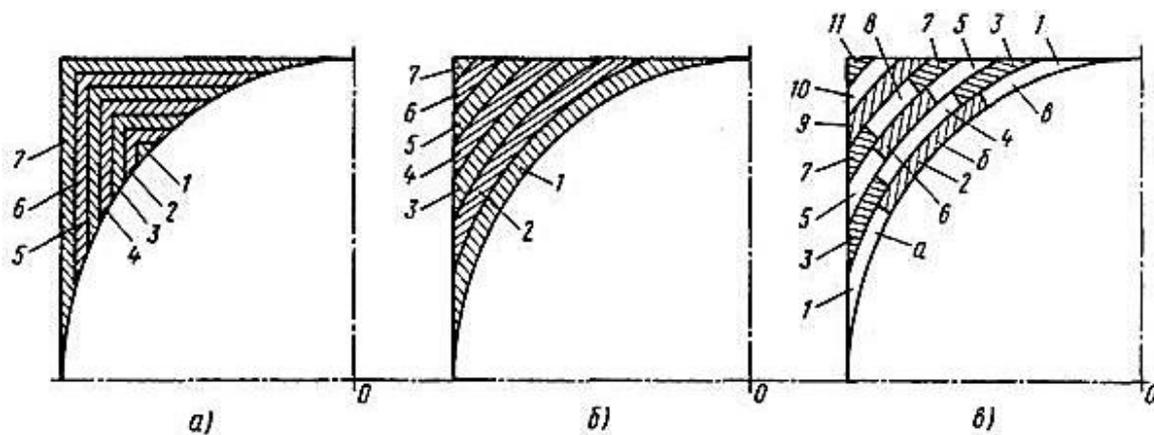


**Рисунок 4.21 – Протягивание спиральных канавок
Выбор схемы резания при протягивании**

Срезание припуска при протягивании производится зубьями протяжки в соответствии с различными схемами резания, определяемыми конструктивным исполнением зубьев. Под схемой резания понимается форма и последовательность срезания отдельных частей общего припуска вступающими друг за другом в работу зубьями протяжки.

Схему резания выбирают в зависимости от формы, размеров и качества обрабатываемой поверхности. Схема резания влияет на конструкцию протяжки, ее длину, работоспособность, качество обработанной поверхности, производительность и экономичность процесса протягивания.

При конструировании протяжек применяют следующие схемы протягивания: профильную, генераторную и прогрессивную (рисунок 4.22).



**Рисунок 4.22 – Схемы резания при протягивании:
а – профильная; б – генераторная; в – прогрессивная**

Профильная схема (одинарного) протягивания характеризуется тем, что, начиная с первого режущего зуба, контур всех зубьев подобен (эквидистантен) окончательному профилю обработанной поверхности, т.е. все зубья протяжки имеют в поперечном сечении одинаковую форму, подобную форме окончательно обработанной поверхности детали (рисунок 4.22,а).

На рисунок 4.23,а показана профильная схема резания для цилиндрического отверстия; на рис. 4.23,б – для наружной фасонной поверхности, а на рисунке 4.23,в – для плоской поверхности.

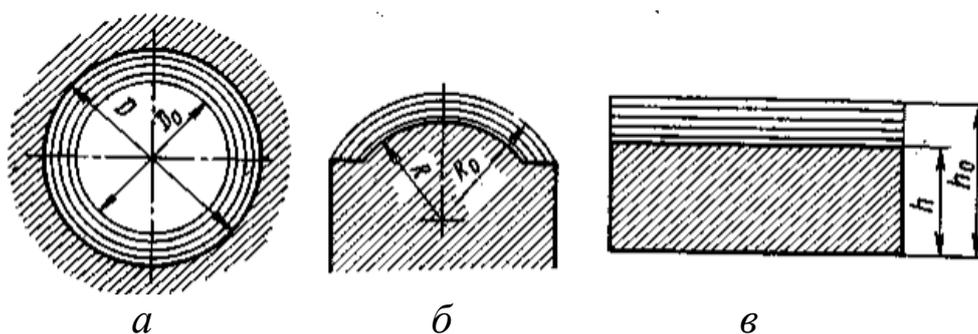


Рисунок 4.23 – Профильные схемы протягивания: а – цилиндрического отверстия; б – выпуклого профиля; в – плоской поверхности

Профильная схема резания имеет ограниченное применение из-за технологических трудностей изготовления профильных протяжек. Поэтому ее применяют для обработки поверхностей сравнительно простых форм. Срезаемые слои тонкие и широкие. Точность и качество обработанной поверхности на детали осуществляется последним режущим и калибрующими зубьями. Длина главной режущей кромки этого зуба максимальна, и для уменьшения силы резания подъем на зуб a_z здесь должен быть минимальным. Достоинство – высокое качество обработки. Основным недостатком профильной схемы резания является технологическая сложность изготовления профиля зубьев режущей части, значительные силы резания и сложность заточки.

Каждый зуб срезает слой толщиной a_z (рисунок 4.24) за счет превышения высоты последующего зуба по отношению к предыдущему.

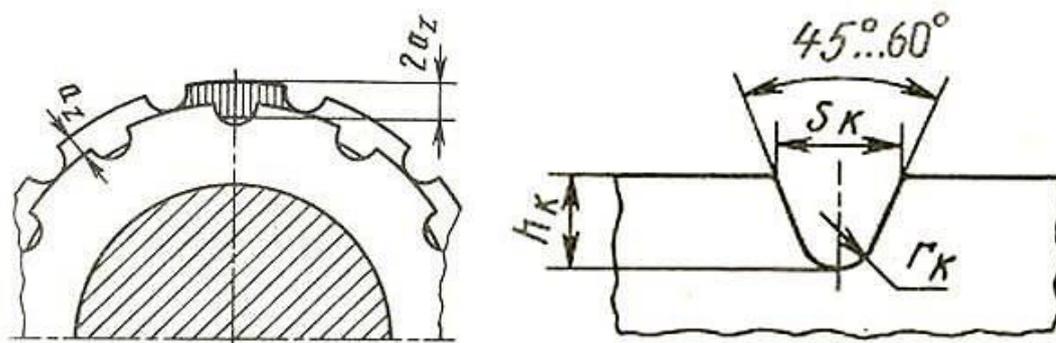


Рисунок 4.24 – Профильная схема (одинарного) протягивания

Особенности профильной схемы протягивания:

- для обеспечения схода стружки по передней поверхности, ее размещения и удаления необходимы стружкоразделительные канавки (рисунок 4.6);
- срезаемая стружка имеет ребра жесткости, затрудняющие ее завивание;
- тяжелые условия резания на уголках, т.к. мал угол профиля, следовательно и задний угол на вспомогательной режущей кромке;
- меньше прочность и теплостойкость уголков;
- большая ширина вынуждает назначать небольшую толщину срезаемого слоя, что приводит к увеличению удельных сил резания, увеличивает длину протяжки;
- хуже заполнение стружечной канавки;
- плохая форма стружкоразделителей снижает стойкость.

Достоинство – технологичность изготовления.

Генераторная (последовательная) схема протягивания характеризуется тем, что все зубья рабочей части протяжки имеют форму, постепенно переходящую от круглой или прямолинейной формы к профильной форме, соответствующей форме поперечного сечения окончательно обработанной поверхности детали (рисунок 4.22,б). Генераторная схема резания – самая распространенная при протягивании фасонных отверстий. Режущие зубья имеют переменный профиль. Формообразование осуществляется вспомогательными режущими кромками нескольких зубьев. Достоинство – технологичность.

Недостатки генераторной схемы – сравнительно низкая геометрическая точность профиля, сложность получения задних углов на вспомогательных поверхностях режущих лезвий.

При генераторной схеме протягивания форма режущих кромок зубьев не соответствует (не подобна) профилю обрабатываемой детали. Например, при обработке квадратного отверстия по генераторной схеме (рисунок 4.25) режущие кромки имеют форму дуг окружностей.

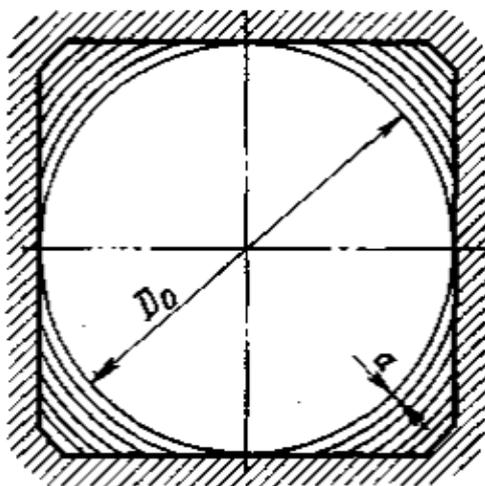


Рисунок 4.25 – Генераторная схема протягивания

Круглые протяжки, работающие по генераторной схеме резания, рекомендуются для обработки отверстий заготовок с повышенной твердостью поверхностного слоя. Вначале на протяжке делают зубья многогранной формы, образующие многогранное отверстие с наружным диаметром, равным требуемому диаметру отверстия в заготовке. На последующих зубьях режущие кромки имеют ту же форму многогранника, но с поворотом его граней относительно оси до снятия всего припуска по окружности отверстия.

Прогрессивная схема протягивания (переменного резания) предусматривает разделение припуска по глубине на несколько частей, каждая из которых удаляется отдельной секцией зубьев протяжки (рисунок 4.22,в). При этом часть припуска, приходящаяся на одну секцию, разделяется между зубьями этой секции по ширине. Благодаря этому уменьшается число режущих зубьев протяжки и сокращается длина протяжки. Эффективно применять прогрессивную схему резания в тех случаях, когда необходимо удалять большие припуски.

При этой схеме все режущие зубья протяжки разделены на группы (секции) от двух до пяти зубьев, имеющих одинаковый диаметр, но разные по ширине (рисунок 4.26). Стружки срезаются толстые и сравнительно узкие.

Особенности прогрессивной (групповой) схемы протягивания:

- увеличение толщины срезаемого слоя снижает удельную силу резания;
- при работе по «черному» можно резать под коркой;
- улучшаются условия резания на уголках, за счет увеличения вспомогательных задних углов;
- стружка не имеет ребра жесткости;
- сокращается длина протяжки и увеличивается стойкость.

Недостаток – сложность изготовления.

При прогрессивной схеме резания режущие кромки на зубьях протяжки расположены не по всему протягиваемому периметру, а на части его; каждый зуб протяжки срезает слой толщиной, в 3...10 раз большей, чем при профильной схеме резания. При этом слой материала в пределах принятой толщины среза или величины подъема на зуб срезается одной секцией, состоящей из двух и более зубьев. На рисунке 4.26,*а* показана прогрессивная схема протягивания цилиндрического отверстия, а на рисунке 4.26,*б* – плоской поверхности. В каждую секцию протяжки входит два зуба.

Протягивание по прогрессивной схеме рекомендуется при обработке заготовок, имеющих на наружной поверхности литейную или ковочную корку.

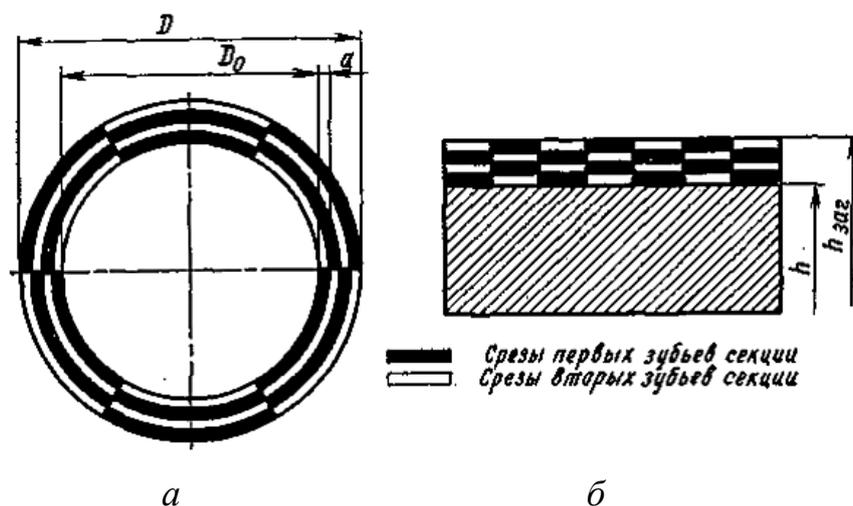


Рисунок 4.26 – Прогрессивные схемы протягивания:

а – цилиндрического отверстия; *б* – плоской поверхности

При прогрессивной схеме резания срезание припуска производится зубьями, имеющими укороченную длину главных режущих кромок. Это позволяет ликвидировать основной недостаток генера-

торной схемы – большую длину режущей кромки первых зубьев и ее кривизну, затрудняющую свертывание образовавшейся стружки в валик.

Режущее лезвие протяжки делят по длине и подъем на зуб a_z выполняют только на участках первого зуба (рисунок 4.27). Подъем на зуб a_z выполняют на втором режущем зубе. Таким образом, вместо одного зуба, как при резании по генераторной схеме, срезание слоя a_z производится 2 зубьями режущей части. Это позволяет распределить нагрузку, приходящуюся на зубья протяжки равномерно вдоль всей длины режущей части, но ведет к увеличению необходимого числа режущих зубьев. Таким образом, припуск будет срезаться не семью зубьями, а одиннадцатью.

Использование схемы переменного резания ведет к увеличению общей длины протяжки, а также усложняет технологию изготовления и заточки режущих зубьев.

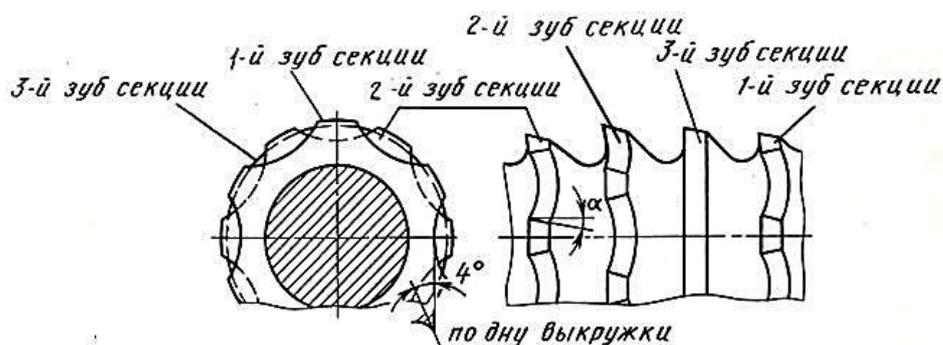


Рисунок 4.27 – Круглая протяжка прогрессивной схемы резания

Операция протягивания	Схема резания		
	Профильная	Генераторная	Групповая (прогрессивная)
Плоскости			
Фасонной поверхности			
Шлицевого отверстия			
Квадратного сечения			

Рисунок 4.28 – Схемы протягивания

Протяжки для круглых отверстий могут быть спроектированы с использованием всех 3 схем резания: профильной (одинарного резания), групповой (переменного резания) и генераторной. При профильной схеме резания режущие кромки всех зубьев имеют одинаковую круглую форму.

У протяжек с групповой схемой резания (схемой переменного резания) рабочая часть состоит из отдельных секций (рисунок 4.29,а). Материал на определенную глубину срезается группой (секцией) зубьев одного размера (диаметра), но с различным расположением по

окружности рабочих участков режущих кромок (рисунок 4.29,б). Каждый зуб срезает материал на полную глубину (толщину) слоя, предназначенного для срезания этой секцией, и ширину, определяемую шириной рабочих участков режущих кромок.

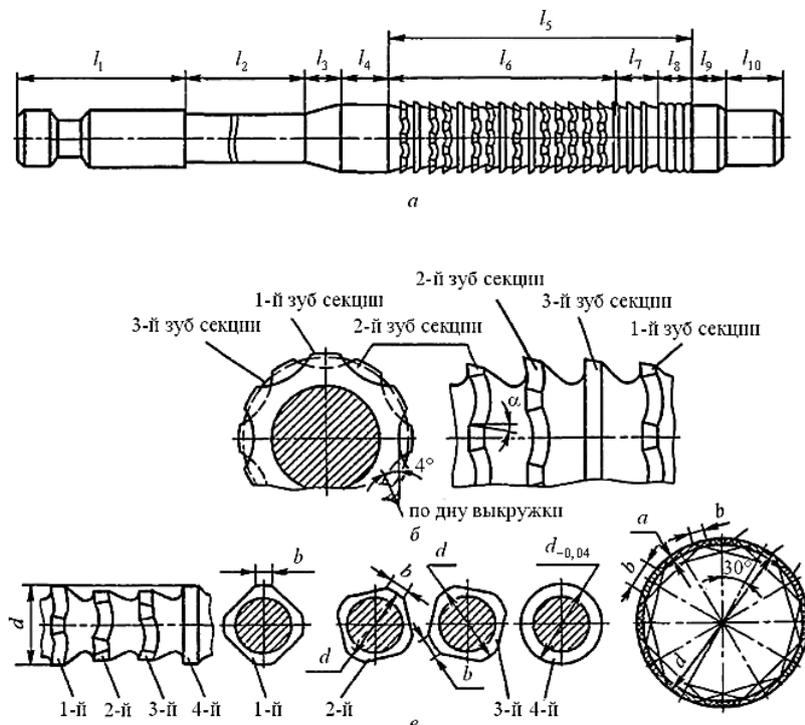


Рисунок 4.29 – Протяжка круглая с групповой (а и б) и генераторной (в) схемами протягивания

Схему резания выбирают в зависимости от формы и размеров обрабатываемой поверхности, удобства размещения режущих элементов и надежности их крепления, а также для обеспечения равномерности протягивания.

К примеру, при обработке нешироких поверхностей до 5 мм с небольшим припуском, а также для круглых поверхностей применяют профильную схему.

Широкие плоские поверхности обрабатываются протяжками с групповой схемой резания, а заготовки, полученные ковкой и штамповкой – по генераторной схеме.

Виды протяжек

В зависимости от вида протягивания (наружного или внутреннего) различают, соответственно, наружные и внутренние протяжки.

В основном протяжки применяют для обработки круглых, шлицевых, многогранных отверстий, шпоночных канавок, наружных поверхностей.

Протяжки для обработки наружных поверхностей по профилю обрабатываемой поверхности подразделяются на плоские, ступенчатые, угловые, пазовые, дуговые, фасонные и др.;

Протяжки принято разделять на шпоночные, круглые, шлицевые, квадратные и т. д. Если же за один рабочий ход протягивается ряд типовых поверхностей, то осуществляющая его протяжка является комбинированной. Существуют и другие виды протяжек. Например, цельные и сборные.

Разновидностью протяжного инструмента являются прошивки, применяемые для обработки отверстий, пазов и других поверхностей. В отличие от протяжки, работающей на растяжение, прошивка работает на сжатие и продольный изгиб.

Шлицевые протяжки

Шлицевая протяжка – разновидность многолезвийного режущего инструмента, используемого при изготовлении отверстий шлицевого типа в заготовках из разных марок металлов. Этот инструмент выполняет канавки прямые и винтовые в отверстиях заготовок с профилем плоского вида (прямобочным), треугольным и эвольвентного типа.

Шлицевая протяжка для изготовления шлицевых отверстий может иметь определенное количество резцов разной конфигурации. Поэтому шлицевые протяжки подразделяют на следующие типы:

- с количеством шлицов 6, 8 и 10;
- острошлицевые;
- эвольвентные.

Режущая часть комбинированных шлицевых протяжек состоит из трех основных частей: шлицевой (для обработки шлицев), круглой (для обработки круглого отверстия) и фасочной (для обработки фасок у основания шлицев).

В соответствии с классификацией НИИАВТОПРОМ различают пять типов шлицевых комбинированных протяжек, в зависимости от вида режущей части протяжки [6]:

- 1 тип – круглая и шлицевая части;
- 2 тип – круглая, шлицевая и фасочная части;
- 3 тип – шлицевая и круглая части;
- 4 тип – фасочная, шлицевая и круглая части;
- 5 тип – фасочная, круглая и шлицевая части.

Протяжки 1 типа, приведенные на рисунке 3, состоят из двух частей: круглой и шлицевой. Каждая из частей имеет черновые, чистовые и калибрующие зубья. Черновые и чистовые зубья каждой из частей имеют подъем на каждый зуб и стружкоделительные канавки, расположенные в шахматном порядке.

Калибрующие зубья не имеют подъема на зуб. Протяжки первого типа не имеют фасочных зубьев. Форма задней направляющей – шлицевая. Протяжки первого типа обеспечивают высокое качество обработки шлицевых отверстий в короткой детали с длиной протягивания (L) не более 30 мм. При больших значениях L увеличивается опасность перекоса детали.

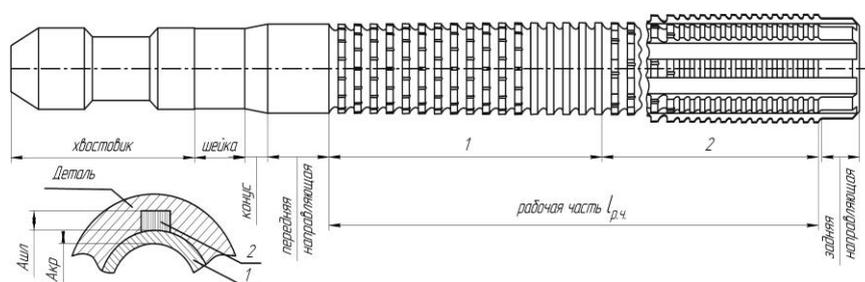


Рисунок 4.30 – Комбинированная шлицевая протяжка 1 типа:
1 – круглые зубья; 2 – шлицевые зубья

Протяжки 2 типа, приведенные на рисунке 4, аналогичны по конструкции протяжкам первого типа, но дополнительно снабжаются фасочными зубьями, которые выполняются только черновыми и без стружкоделительных канавок. Шаг между последним шлицевым зубом и первым фасочным следует принимать равным от 15 до 20 мм, что необходимо для свободного выхода шлифовального круга, обрабатывающего шлицевые зубья. Форма задней направляющей – фасочная. Протяжки второго типа обеспечивают более высокое качество обработки шлицевых отверстий при длине протягиваемого отверстия (L) от 25 до 30 мм.

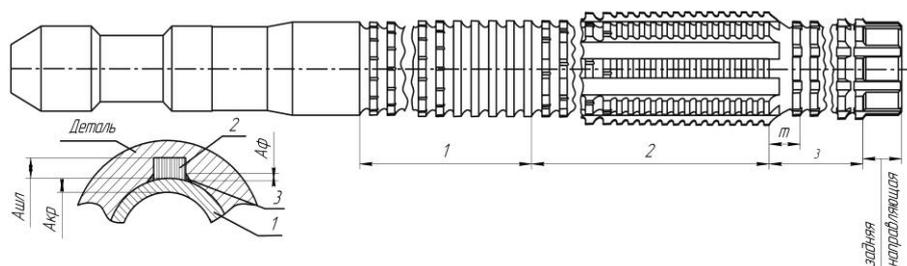


Рисунок 4.31 – Комбинированная шлицевая протяжка 2 типа:
1 – круглые зубья; 2 – шлицевые зубья; 3 – фасочные зубья

Протяжки 3 типа, приведенные на рисунке 5, по конструкции шлицевой части аналогичны конструкции этой же части протяжек первого типа. Черновые и чистовые зубья шлицевой части имеют стружкоделительные канавки. Круглые зубья выполняют без стружкоделительных канавок. Шаг между последним шлицевым зубом и первым круглым следует принимать равным от 15 до 20 мм, что необходимо для свободного выхода шлифовального круга, обрабатывающего шлицевые зубья. Форма задней направляющей – круглая.

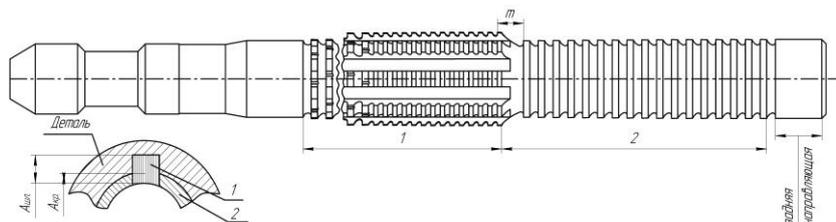


Рисунок 4.33 – Комбинированная шлицевая протяжка 3 типа:

1 – шлицевые зубья; 2 – круглые зубья

Протяжки 3 типа обеспечивают высокое качество поверхности шлицевых отверстий при длине протягиваемого отверстия (L) более 30 мм. Если деталь короткая, возможен ее перекос в момент перехода протяжки с последних шлицевых на первые круглые зубья.

В протяжках 4 типа, приведенных на рисунке 6, в отличие от протяжек третьего типа, предусмотрены фасочные черновые зубья, расположенные в начале протяжки. Этими зубьями образуется фаска у основания шлица в отверстии и срезается значительная часть припуска шлицевых зубьев. Длина шлицевой части протяжки уменьшается, что позволяет значительно повысить точность и снизить трудоемкость изготовления протяжки при длине протягиваемого отверстия (L) более 30 мм. Черновые зубья фасочной части, а также черновые и чистовые зубья шлицевой части имеют стружкоделительные канавки. Круглые зубья выполняют без стружкоделительных канавок. Форма задней направляющей – круглая.

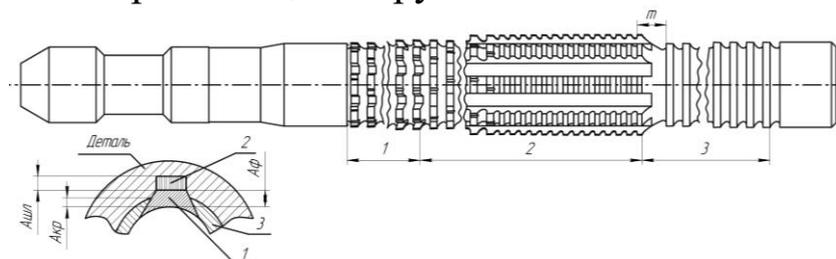


Рисунок 4.34 – Комбинированная шлицевая протяжка 4 типа:

1 – фасочные зубья; 2 – шлицевые зубья; 3 – круглые зубья

Протяжки 5 типа, приведенные на рисунке 7, имеют последовательно расположенные фасочные, круглые и шлицевые зубья. Такое расположение не требует применения увеличенного шага между группами зубьев. Протяжки такой конструкции надежны в работе при условии, что длина протягиваемого отверстия (L) более 45 мм. Конструктивное оформление отдельных групп зубьев соответствует группам зубьев протяжек четвертого типа. Форма задней направляющей – шлицевая.

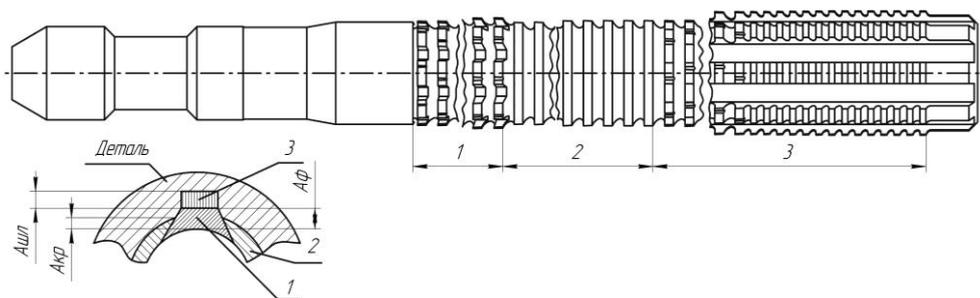


Рисунок 4.35 – Комбинированная шлицевая протяжка 5 типа
 1 – фасочные зубья; 2 – круглые зубья; 3 – шлицевые зубья

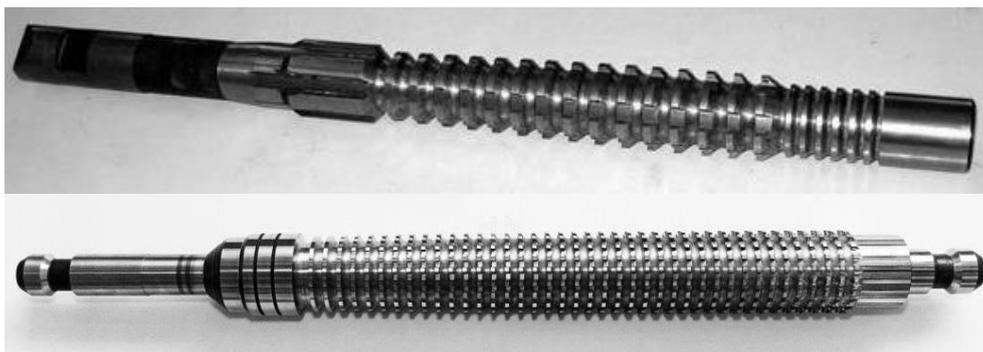


Рисунок 4.36 – Шлицевые протяжки

Шпоночные протяжки применяют для изготовления шпоночных канавок в отверстиях заготовок (рисунок 4.37). По своей конструкции они имеют те же части по длине, что и внутренние протяжки, но приложение силы резания у них одностороннее, что вызывает изгиб протяжки.

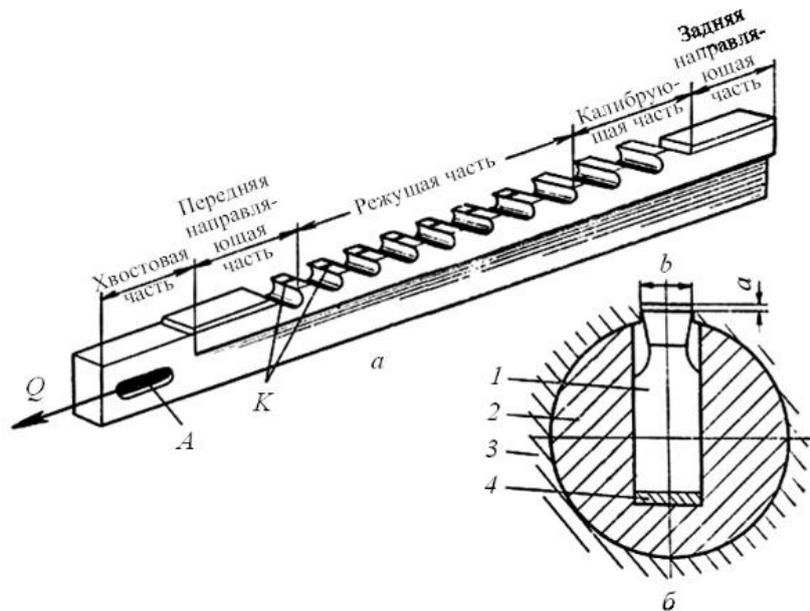


Рисунок 4.37 – Шпоночная протяжка: *a* – протяжка; *б* – схема обработки; 1 – протяжка; 2 – адаптер; 3 – заготовка; 4 – корпус протяжки

При протягивании детали в заготовку устанавливают адаптер 2 (специальную втулку) (рисунки 4.37 и 4.38), имеющую продольный паз для направления протяжки, которая упирается в торцовую планшайбу станка.



Рисунок 4.38 – Шпоночные протяжки и адаптеры

На рисунке 4.39 представлен процесс обработки шпоночной протяжкой.

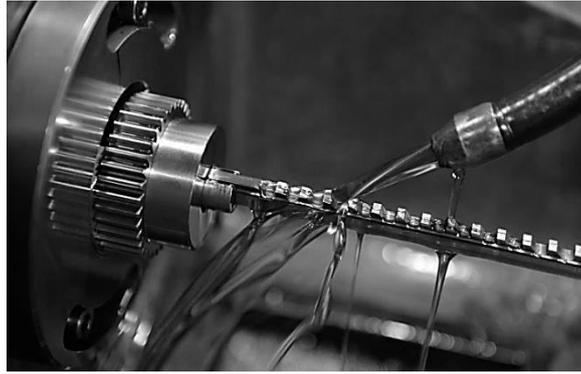


Рисунок 4.39 – Шпоночные протяжки и специальные втулки

Изгиб протяжки учитывают не особым расчетом, а уменьшением допускаемых напряжений на растяжение до $[\sigma_p] = 200$ МПа. С учетом этого определяют высоту и размеры поперечного сечения тела протяжки.

Для шпоночных протяжек принята генераторная схема резания, аналогичная описанной выше для шлицевых протяжек. Тело протяжки имеет плоскую форму, а при малой ширине рабочей части (ширине шпоночной канавки от 2 до 10 мм) – плоскоступенчатую.

Протяжки для обработки наружных поверхностей заготовок (плоских и фасонных) обычно делают сборной конструкции. Обработку осуществляют на специальных станках горизонтального или вертикального типа.

Конструкция такой протяжки представлена на примере протяжки для обработки поверхности (рисунок 4.40). Ее рабочая часть состоит из отдельных секций зубьев: 1 – фасонных, 2 – круглых и 3 – угловых, закрепленных на корпусе (плите) 4. Каждая секция предназначена для обработки определенного участка поверхности заготовки.

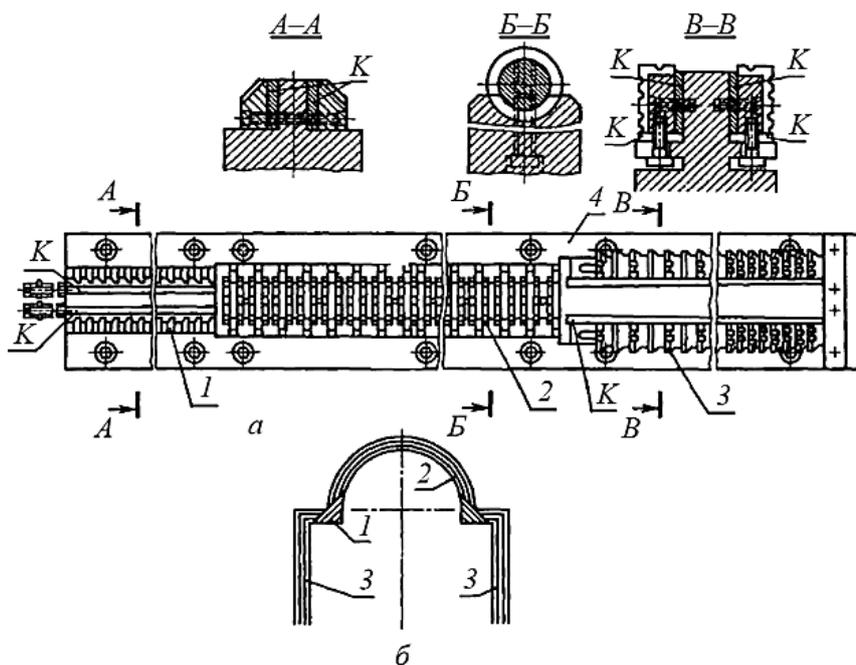


Рисунок 4.40– Сборная протяжка для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей: а – схема протяжки; б – профиль протяжки; 1...3 – режущие зубья

Деление протяжки на секции производят с учетом принятой схемы резания. Схему резания выбирают в зависимости от припуска на обработку и требований, предъявляемых к обработанной поверхности детали, ее формы, обеспечения свободного отвода стружки, минимального (и равномерного) изменения силы резания при рабочем ходе, надежности и удобства крепления секций на плите и регулирования их положения, а также желательной длины протяжки.

Расположение секций на плите может быть последовательным, параллельным и параллельно-последовательным. При последовательном расположении секций получается малая сила резания, что обеспечивает хорошие условия отвода стружки, простоту и удобство крепления и регулирования положения секций, но ведет к увеличению длины протяжки. При параллельном расположении секций уменьшается длина протяжки, но возникает большая сила резания, затруднен отвод стружки, сложнее крепление и регулирование секций.

Поэтому применяют параллельно-последовательную схему расположения секций на плите. В секциях имеются рабочая и калибрующая части, форма и размеры зубьев которых аналогичны внутренним протяжкам.

Для предохранения от возможных перегрузок и поломок зубьев, из-за завышенного припуска или неправильной установки заготовки, первые зубья делают увеличенной толщины.

Плоские наружные протяжки (рисунок 4.41) обычно делают сборной конструкции. Ее рабочая часть состоит из отдельных секций, закрепленных на инструментальной плите. Делят на секции с учетом принимаемой схемы резания.

Секции располагаются в корпусе:

- последовательно, при этом снижаются силы резания, хорошие условия отвода стружки, простота и удобство крепления и регулирования, но возрастает длина протяжки;
- параллельно, при этом снижается длина протяжки, но возникают проблемы с отводом стружки, креплением и регулированием, растут силы резания;
- последовательно-параллельно.

Для регулирования рабочих размеров протяжки и компенсации размерного износа отдельных секций используют подкладки и клинья с углом наклона $10^{\circ} \dots 20^{\circ}$, для перемещения которых применяют специальные винты

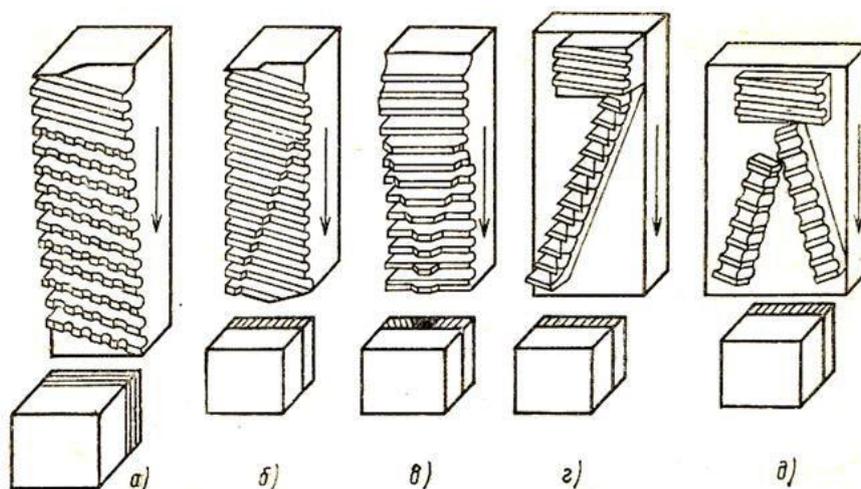


Рисунок 4.41 – Плоские наружные протяжки

Протяжки с твердосплавными пластинами

Для обработки труднообрабатываемых материалов и чугуна применяются протяжки с твердосплавными пластинами, которые припаиваются или крепятся механически к корпусу инструмента, либо к его зубьям (рисунок 4.42).

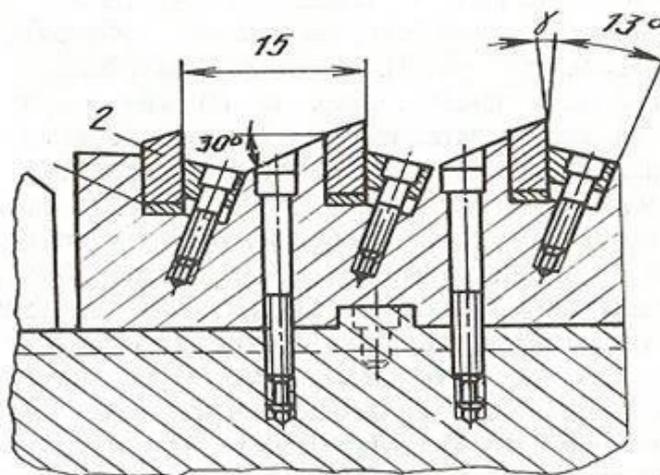


Рисунок 4.42 – Плоская протяжка с механическим креплением твердосплавных пластин

На рисунке 4.43 представлены разные способы механического крепления твердосплавных пластин к корпусу протяжки:

а – винтами сверху через секции, но необходимо увеличение отдельных шагов, тела зубьев и длины секции;

б – винтами снизу; однако, для разборки и регулирования необходимо снимать протяжку со станка;

в, г – боковыми винтами, но при этом необходимо свободное место в корпусе;

д – клиньями с наклонной поверхностью у секций, что потребует дополнительного расхода инструментального материала;

е – клиньями с наклонной поверхностью на плите, что усложнит ее изготовление.

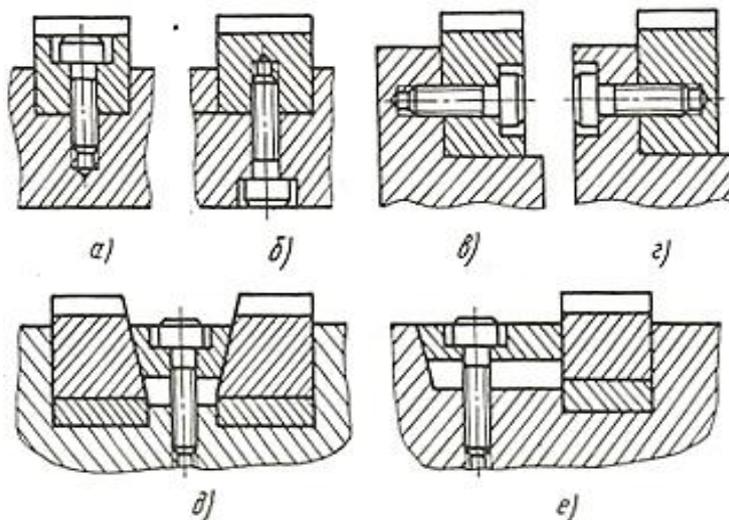


Рисунок 4.43 – Протяжка с механическим креплением твердосплавных пластин

Протяжными блоками называются комплекты протяжек призматической формы, предназначенные для обработки наружных поверхностей заготовок. На протяжных блоках монтируются протяжки, составляющие комплект для полной обработки за один рабочий ход наружных обрабатываемых поверхностей. Например, на корпусе 1 протяжного блока (рисунок 4.44) закреплены три секции протяжек 2, которые на заготовке 3 обрабатывают одновременно 3 поверхности.

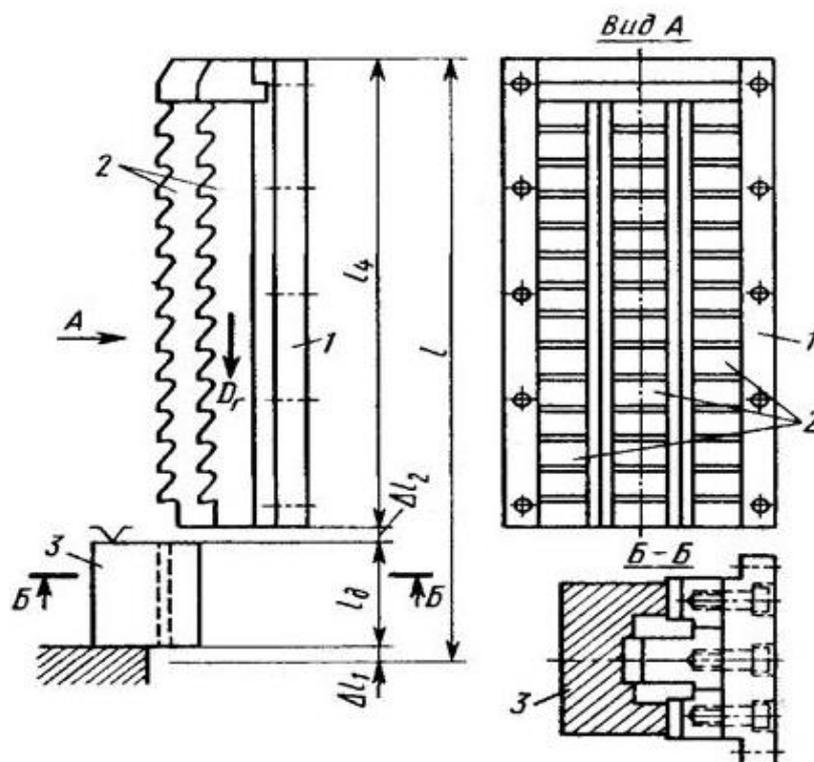


Рисунок 4.44 – Протяжной блок для протягивания наружной поверхности

Протягивание в производстве огнестрельного оружия

Протягивание является одной из наиболее ответственных операций механической обработки в производстве огнестрельного нарезного оружия всех типов и всех калибров. Основное назначение нарезки это создание внутри ствола профиля (рабочих канавок) которые позволяют при движении пули или снаряда, при выстреле приобрести осевое вращение.

Так как скорость движения пуль и снарядов высока (от 200 до 3000 м/с) то соответственно они по оси вращения и по ходу движения приобретают громадную скорость вращения (например, пуля автомата Калашникова вращается со скоростью около $180\,000\text{ мин}^{-1}$ (3000 с^{-1})).

Такое «закручивание» пуль и снарядов в значительной степени увеличивает устойчивость баллистической траектории, и соответственно точность и дальность стрельбы. Без протягивания производство современного огнестрельного оружия было бы крайне затруднено.

Метчик-протяжка

При нарезании резьбы применяют метчик-протяжку, схема протяжки показана на рисунке 4.45. В резцедержатель суппорта *1* зажимают державку, имеющую отверстие, соответствующее хвостовику метчика-протяжки *2*. Деталь *3* отверстием, расточенным по внутреннему диаметру, надевается на хвостовик метчика-протяжки, который затем вставляют в отверстие державки и крепят клином *4*. Далее движением продольного суппорта метчик-протяжку с надетой на него деталью вводят в раскрытые кулачки патрона и закрепляют деталь в кулачках. Станок настраивают на нарезание резьбы с шагом, равным ходу резьбы детали, если резьба многозаходная, или шагу резьбы, если резьба однозаходная. Затем включают обратное вращение шпинделя, если резьба правая, или же прямое, если резьба левая. Метчик-протяжка проходит сквозь деталь и за один проход нарезает резьбу заданного размера и профиля.

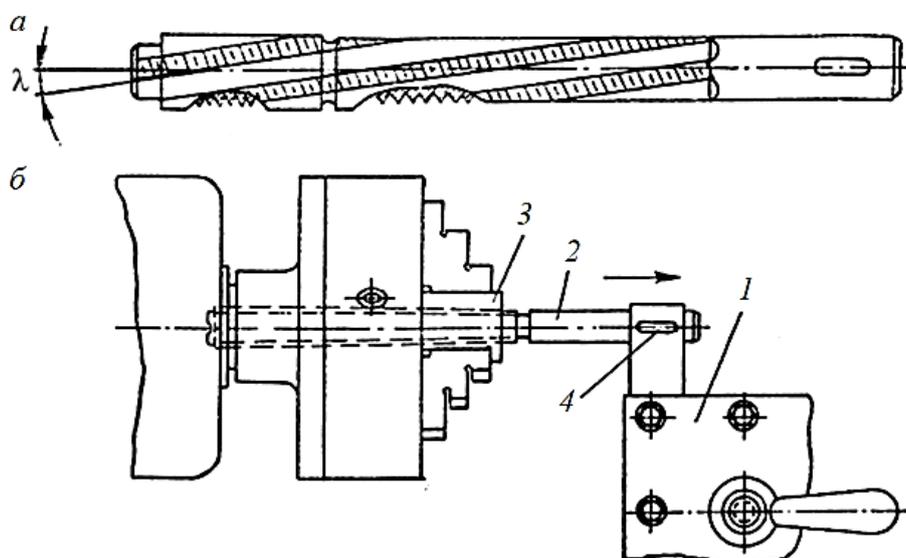


Рисунок 4.45 – Протягивание резьбы: *а* – метчик-протяжка; *б* – схема нарезания внутренней трапецеидальной резьбы; *1* – суппорт; *2* – хвостовик; *3* – деталь; *4* – клин

Метчик-протяжку можно использовать на любом универсальном токарном станке с минимальными оборотами в диапазоне $18 \dots 40 \text{ мин}^{-1}$, скорость резания не должна превышать $2 \dots 3 \text{ м/мин}$. С каждым

оборотом метчик-протяжка снимает в детали средней длины слой металла глубиной до 0,14 мм при обработке стали, до 0,40 мм при обработке чугуна и до 0,48 мм при обработке латуни и бронзы. Зубья метчика-протяжки, имея постепенное нарастание размера среднего диаметра, последовательно, виток за витком, зачищают стороны резьбы, и резьба получается чистой и точной по профилю.

Износ зубьев протяжек

При типичных для протягивания толщинах срезаемого слоя в пределах 0,02...0,15 мм режущие зубья протяжек изнашиваются только по задним поверхностям. Вдоль главных режущих лезвий задние поверхности изнашиваются равномерно и износ h_3 значительно меньше износа h_{3y} в местах сопряжения главных и вспомогательных режущих кромок (рисунок 4.46).

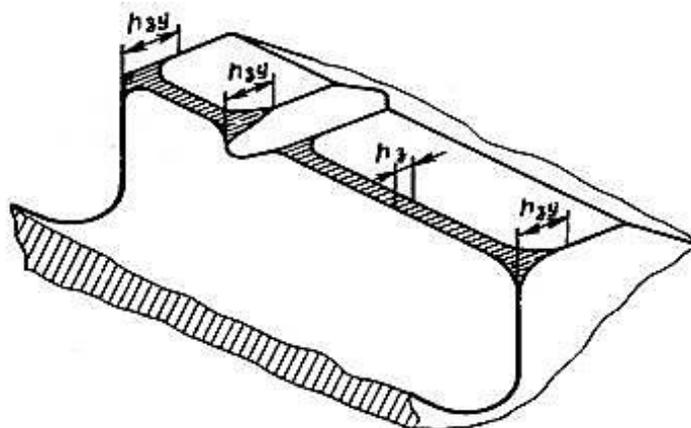


Рисунок 4.46 – Износ лезвий зубьев протяжки

Стойкость протяжек оценивается по максимальному допустимому линейному износу $h_{3max} = 0,4$ мм независимо от того, на каком режущем зубе и в каком месте лезвия износ достиг этого значения. Ограничение предельного допустимого износа зубьев у протяжек определяется допустимыми отклонениями поперечных размеров зубьев протяжек, которые весьма малы, а также необходимостью обеспечить в пределах заданной точности размеров двух-трех повторных переточек для восстановления режущих свойств протяжки.

Протяжки перетачиваются только по передним поверхностям зубьев. За каждую переточку с передней поверхности зуба стачивается слой толщиной около 0,5 мм.

У призматических протяжек, монтируемых на плитах протяжных блоков, допускается максимальный износ по задней поверхности $h_{3max} = 0,6$ мм. Призматические наружные протяжки перетачивают по

задним поверхностям лезвий и затем зачищают по передним поверхностям. Исходные размеры смонтированного протяжного блока из переточенных протяжек обеспечивают, устанавливая под переточенные призматические протяжки промежуточные мерные прокладки.

Протяжки из быстрорежущих сталей перетачиваются корундовыми и эльборовыми кругами; протяжки с твердосплавными пластинками перетачиваются с помощью карборундовых и алмазных кругов.

Для уменьшения износа протяжек используются СОЖ, например водные эмульсии, содержащие масло и олеиновую кислоту. Так, при протягивании чугуновых заготовок применение этих жидкостей для полива зоны резания кроме уменьшения износа улучшает качество обработанных поверхностей и уменьшает загрязнение цехового помещения мелкодисперсными частицами чугуна, которые распространяются в воздушной среде при работе всухую.

На рисунке 4.47 показан износ зубьев шпоночной протяжки без стружкоразделительных канавок. В этом случае наибольший размер площадки износа h_3 наблюдается у уголков, то есть в местах сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок.



Рисунок 4.47 – Схема износа зубьев протяжки

При наличии стружкоразделительных канавок наибольший размер площадки износа h_3 имеется в местах сопряжения стружкоразделительной канавки с задней поверхностью зубьев. На рисунке 4.47,б в изображены схемы износа зубьев соответственно шпоночной протяжки и круглой прошивки со стружкоразделительными канавками.

Максимальный размер площадки износа в местах сопряжения режущих кромок и стружкоразделительных канавок с задней поверхностью зубьев объясняется тем, что на этих участках температура нагрева режущей кромки несколько выше, чем на всей остальной

части зуба, из-за увеличения здесь сил трения ввиду образования радиусов скругления режущих кромок.

Протяжку и прошивку применяют в основном для чистовой обработки. Поэтому критерием износа их зубьев является технологический критерий, то есть ухудшение шероховатости, искажение геометрии или изменение размеров обработанной поверхности.

Применение СОЖ снижает интенсивность износа зубьев прошивки и протяжки. Поскольку протягивание или прошивание происходит при невысоких скоростях резания (0,5...14 м/мин), рационально применять СОЖ, отличающиеся в большей степени смазывающими свойствами, чем охлаждающими. Например, можно использовать различные растительные масла, сульфозфрезол, 20 %-ную эмульсию и др.

Допустимый размер износа по задней поверхности зубьев протяжки или прошивки составляет 0,2...0,3 мм. При повышенных требованиях к шероховатости (в пределах $Ra = 0,63...0,16$ мкм) обработанной поверхности допустимый размер износа h_3 не должен превышать 0,08...0,1 мм.

Стойкость протяжек и прошивок в зависимости от материала режущей части, обрабатываемого материала и точности обработки изменяется в широких пределах.

Поскольку протяжки и прошивки являются трудоемкими в изготовлении и дорогостоящими, необходимо более точно устанавливать экономически обоснованный период стойкости, который зависит от многих факторов.

Рекомендованы следующие периоды стойкости протяжек и прошивок, изготовленных из быстрорежущей стали, для обработки стальных заготовок: шпоночные – 120 мин; шлицевые – 420 мин; цилиндрические – 180 мин. При обработке чугунных заготовок период стойкости протяжек и прошивок примерно в 1,5 раза больше, чем при обработке стальных заготовок.

Стойкость инструмента из легированных сталей (например, ХВГ) в 2...2,5 раза меньше стойкости протяжек и прошивок из быстрорежущей стали, а оснащенных пластинками из твердого сплава – больше в 12...18 раз.

Заточку протяжек и прошивок выполняют в основном только по передней поверхности зуба. Очень редко эти инструменты затачивают по задней поверхности. Заточку производят тарельчатыми кругами, у

которых радиус боковой конусной поверхности меньше радиуса кривизны передней поверхности зуба в сечении, нормальном к ней. Для заточки используют специальные заточные станки (рисунок 4.48).

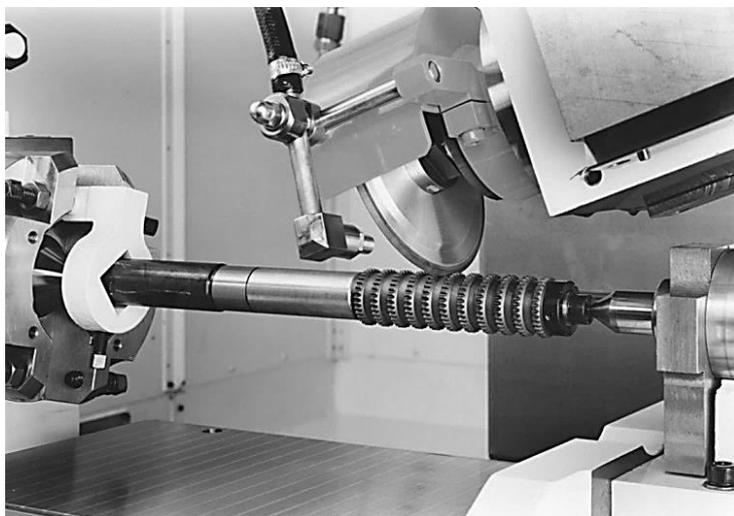


Рисунок 4.48 – Заточка зубьев протяжки

Конструкции протяжек

Протяжка для обработки отверстий состоит из следующих основных частей (рисунок 4.49): передняя замковая часть (хвостовик) l_1 служит для закрепления протяжки на станке; шейка l_2 соединяет переднюю замковую часть l_1 с переходным, направляющим конусом l_3 , который служит для установки заготовки на протяжке; передняя направляющая часть l_4 предназначена для центрирования оси заготовки относительно оси протяжки; рабочая часть l_5 включает участки длиной l_6 с режущими (черновыми) зубьями (которые, начиная со второго зуба, постепенно увеличивают свой размер), участок l_7 с переходными (чистовыми) зубьями и участок l_8 с калибрующими зубьями одного размера; задняя направляющая часть l_9 служит для поддержания протяжки от провисания в конце процесса протягивания; задняя замковая часть l_{10} предназначена для присоединения протяжки к каретке станка при обратном (холостом) ходе протяжки [7].

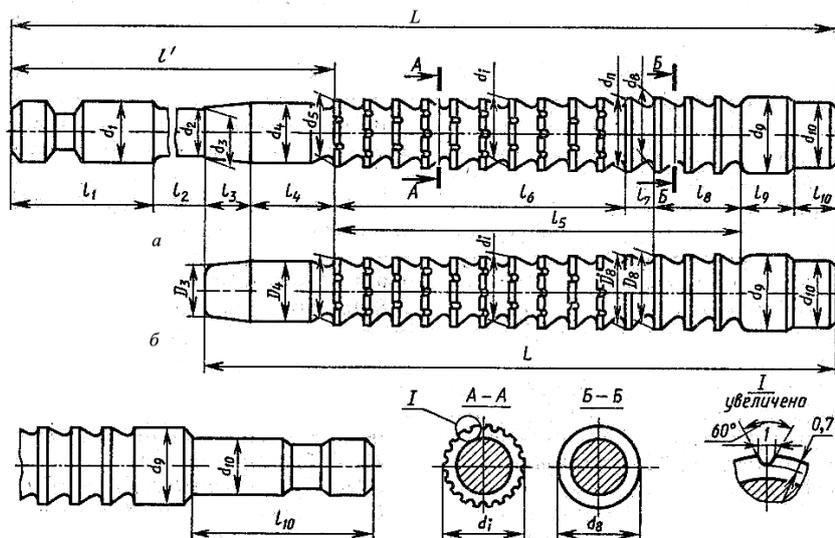


Рисунок 4.49 – Круглая протяжки

Конструктивная форма передней замковой части определяется типом протяжек и конструкцией патронов. Сечение передней части протяжки определяется в зависимости от формы и размеров отверстия в заготовке.

Диаметр d_1 (рисунок 4.49) хвостовика протяжки должен соответствовать диаметру отверстия патрона станка и быть меньше диаметра предварительного отверстия заготовки.

Хвостовик l_1 (рисунок 4.49) соединен с переходным направляющим конусом l_3 цилиндрической шейкой длиной l_2 с диаметром d_2 на 0,5...1 мм меньше диаметра хвостовика d_1 .

Наличие переходного направляющего конуса l_3 с углом 15...30° облегчает установку заготовки на протяжке и обеспечивает правильное вхождение цилиндрической направляющей части протяжки в отверстие заготовки. Длину l_3 принимают равной 40...70 мм или выбирают из конструктивных соображений.

Длину передней цилиндрической направляющей части l_4 определяют по формуле:

$$l_4 = l_{\text{заг}} + 25,$$

где $l_{\text{заг}}$ – длина протягиваемого отверстия, мм.

Расстояние l' от переднего торца протяжки до первого зуба должно обеспечивать возможность установки протяжки на станке:

$$l' = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = l_1 + l_{\text{ст}} + l_{\text{заг}},$$

где $l_{\text{ст}}$ – расстояние от опорного торца фланца, установленного на планшайбе станка, до переднего торца патрона станка, мм (см. рисунок 4.49).

Задняя направляющая часть l_9 обеспечивает правильный выход из протягиваемого отверстия зубьев протяжки. Диаметр задней направляющей протяжки должен быть равен диаметру протянутого отверстия с предельным отклонением по $f7$.

Задняя замковая часть l_{10} (рисунок 4.49) выполняется только у протяжек, работающих на станках с автоматическим возвратом в рабочее положение (обычно это станки вертикального типа). У протяжек, предназначенных для работы с ручным перемещением в исходное положение, задняя замковая часть l_{10} отсутствует.

Режущая часть ($l_6 + l_7$) протяжек служит для срезания припуска на обработку и состоит из режущих зубьев Z_p . Количество режущих зубьев Z_p определяют по формуле:

$$Z_p = \frac{A}{2 \times s_z} + Z_3,$$

где A – припуск на обработку на диаметр, мм; см. таблицу 1П; s_z – подача на зуб, мм; Z_3 – количество зачищающих зубьев (рекомендуется $Z_3 = 2 \dots 4$ шт.).

Длина режущей части ($l_6 + l_7$) определяется

$$(l_6 + l_7) = t_p \cdot Z_p,$$

где t_p – шаг режущих зубьев, мм.

На успешную работу протяжки оказывают влияние форма и размеры зубьев протяжки. Основные формы зубьев протяжек показаны на рисунок 4.50.

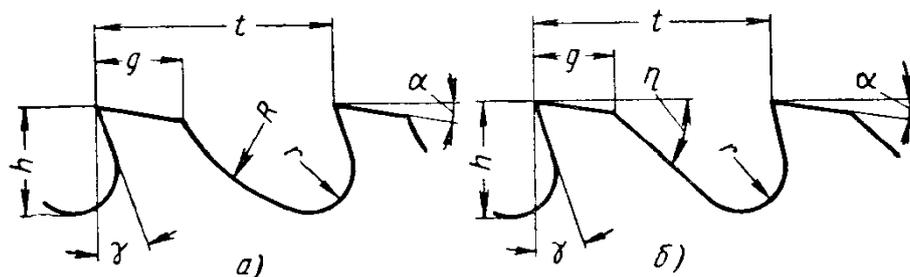


Рисунок 4.50 – Форма профиля зубьев протяжек:

a – с криволинейной спинкой зуба; *б* – с прямолинейной спинкой зуба

Зубья протяжек имеют следующие основные элементы: 1 – передняя поверхность; 2 – задняя поверхность; 3 – режущая кромка; 4 – спинка зуба. На рисунок 4.50,б показана форма зуба с прямолинейной спинкой. Эта форма зуба имеет наибольшее распространение.

Однако при обработке вязких материалов иногда происходит защемление стружечного валика и выкрашивание зуба протяжки.

Форма зубьев протяжек на рисунке 4.50,*a* имеет криволинейное очертание спинки зуба по дуге окружности с радиусом R .

Зубья протяжки определяются следующими размерами (рисунок 4.50): t – шаг зубьев; h – высота зубьев; r – радиус впадины; R – радиус спинки зуба; b – ширина спинки (задней поверхности) зуба,

$$b = (0,3...0,4)h;$$

$$r = (0,5...0,6)h.$$

Рекомендуемые значения t , h , b , R , r даны в справочнике. Угол наклона прямолинейной спинки принимают в пределах $45...50^\circ$.

Радиус дуги окружности R криволинейной спинки зубьев принимают равным $R = (0,5...0,7) \cdot t$. Зубья протяжек характеризуются следующими углами: γ – передней угол; α – задний угол (рисунок 4.50).

Для режущих зубьев при толщине среза вязких материалов до 0,03 мм угол $\gamma = 0...5^\circ$. При толщине среза больше 0,03 мм передний угол γ рекомендуется брать из таблицы 4. Величина заднего угла α оказывает большое влияние на стойкость протяжек. Так, с увеличением угла α уменьшается размерная стойкость протяжек. В зависимости от конструкции протяжек и вида зубьев в таблице 3 приведены числовые значения задних углов α . Рекомендуемые значения толщины среза при обработке различных материалов приведены в таблице 2.

Высоту зуба протяжки h (мм) определяют из выражения:

$$h = 1,13 \sqrt{K s_z l_{\text{заг}}},$$

где K – коэффициент заполнения впадины зуба стружкой; s_z – толщина среза (подъем на зуб), мм; $l_{\text{заг}}$ – длина протягиваемой поверхности, мм.

Центрирование и направление протяжки в процессе резания относительно заготовки осуществляется режущими зубьями, одновременно находящимися в контакте с обрабатываемой заготовкой. Количество зубьев Z_{max} , находящихся в контакте с обрабатываемой заготовкой, определяют из выражения:

$$Z_{\text{max}} = \frac{l_{\text{заг}}}{t_p} + 1,$$

где $l_{\text{заг}}$ – длина протягиваемой поверхности, мм; t_p – шаг режущих зубьев, мм.

С целью обеспечения хорошего подвода СОЖ в зону протягивания рекомендуется, чтобы количество режущих зубьев, одновременно находящихся в контакте с заготовкой, было 6...8 шт. Предварительно шаг режущих зубьев протяжки t_p (мм) можно определять в зависимости от длины $l_{\text{заг}}$ протягиваемой поверхности, т. е.

$$t_p = Q\sqrt{l_{\text{заг}}}.$$

При одинарной (профильной) схеме резания $Q = 1,25...1,5$; при групповой (прогрессивной) схеме $Q = 1,45...1,9$.

Величину шага корректируют при дальнейшем расчете по коэффициенту заполнения стружечной канавки K , определяемого по формуле:

$$K = \frac{F_k}{F_c},$$

где F_k – площадь сечения канавки, мм^2 ; F_c – площадь сечения среза металла, снимаемого одним зубом, мм^2 .

Площадь сечения срезаемого слоя F_c (мм^2) определяют по формуле:

$$F_c = l_{\text{заг}}s_z.$$

Значение коэффициента K зависит от материала заготовки, толщины срезаемого слоя и других факторов. При проектировании протяжек необходимо, чтобы площадь сечения стружечной канавки отвечала условию

$$K = \frac{F_k}{F_c} = 2...4,5.$$

Исходя из вышеизложенного, выбор основных параметров режущей части протяжки необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Выбор величины коэффициента заполнения стружечной канавки.
2. Определение площади сечения срезаемого слоя F_c (мм^2) по формуле:

$$F_c = l_{\text{заг}}s_z.$$

3. Определение площади сечения канавки F_k (мм²) по формуле:

$$F_k = KF_c.$$

4. Выбор формы стружечной канавки (криволинейная или прямолинейная).

5. Определение для ближайшего большего значения площади сечения канавки зуба F_k стандартных значений размеров режущих зубьев протяжки.

На режущих зубьях делают стружкоразделительные канавки, которые предназначены для деления широкой стружки на отдельные части, что облегчает работу протяжки и создает лучшие условия размещения стружки во впадине зуба. Число и размеры стружкоразделительных канавок на режущих зубьях протяжек определяют по справочным данным.

Калибрующая часть протяжек служит резервом режущих зубьев при изменении их размеров от переточек, обеспечивает правильное направление и центрирование протяжки при выходе последних режущих зубьев из контакта, а также сглаживает неровности на поверхности заготовки, созданные режущими зубьями.

Шаг калибрующих зубьев t_k круглых протяжек принимают равным $t_k = (0,6...0,8)t_p$, а для остальных типов протяжек — $t_k = t_p$.

В обычных конструкциях протяжек количество зубьев на калибрующей части принимается в пределах 2...8 шт.

Величину переднего угла калибрующих зубьев γ_k принимают такой же, как и для режущих зубьев. Величину заднего угла α_k выбирают в зависимости от типа протяжек по таблице 3.

В целях сохранения размеров протяжки при переточках на задней поверхности калибрующих зубьев делают ленточки (фаски) шириной 0,2...1 мм с задним углом, равным нулю.

Расчет на прочность внутренних протяжек производят для опасного сечения. Опасным сечением является сечение по впадине первого зуба протяжки или же минимальное сечение замковой части.

Условие прочности внутренней протяжки в опасном сечении имеет вид:

$$\frac{P_z}{F} \leq [\sigma_p],$$

где $[\sigma_p]$ — допустимое напряжение на растяжение (таблица 10), МПа; P_z —

главная составляющая силы резания при протягивании, Н; F – площадь опасного сечения тела протяжки, м².

Хвостовик протяжки проверяют также на смятие. Условие прочности имеет следующий вид:

$$\frac{P_z}{F_1} \leq [\sigma_{см}],$$

где F_1 – опорная площадь замка, м²; $[\sigma_{см}]$ – допустимое напряжение на смятие материала хвостовика, МПа.

Протяжки изготавливают из быстрорежущих сталей Р6М5, Р18 и др., легированной стали ХВГ, а также с режущей частью, оснащенной твердым сплавом. Твердость зубьев и задней направляющей части протяжек из быстрорежущей стали 63...66 HRC, зубьев из стали ХВГ – 62...65 HRC, замковой части переднего хвостовика сварных протяжек 43,5...51,5 HRC.

Стружечная канавка (рисунок 4.51) образует переднюю поверхность зуба протяжки и служит для размещения срезаемой стружки. Форма и размеры канавки должны обеспечить хорошее формирование стружки и ее размещение. Канавка не должна чрезмерно ослаблять поперечное сечение протяжки.

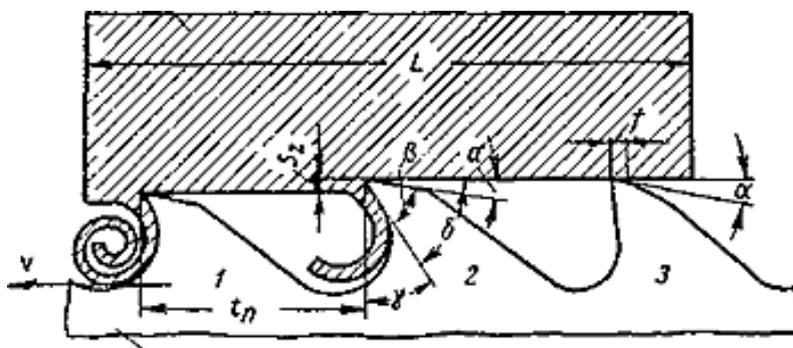


Рисунок 4.51 – Форма зубьев и стружечных канавок протяжки

Измерение передних углов γ (рисунок 4.51) на режущих зубьях протяжек производится между плоскостью, перпендикулярной геометрической оси протяжки, и передней поверхностью зуба. При этом измерение производится в плоскости, проходящей через вектор скорости резания в рассматриваемой точке режущей кромки и геометрическую ось протяжки. Значение переднего угла на протяжках берется в пределах $\gamma = 0...20^\circ$ в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемых металлов: при обработке стали $\gamma = 15^\circ$; при

обработке чугуна $\gamma = 5^\circ$. Значения передних углов оказывают влияние на силу резания.

Протяжки работают в зоне активного наростообразования. Наличие на передней поверхности нароста ведет к тому, что фактический передний угол, определяющий характер деформационных процессов в зоне образования стружки, обычно больше заточенных на зубьях передних углов.

Задние углы α (рисунок 4.51) на зубьях протяжек, как и передние, измеряются в плоскости, проходящей через вектор скорости резания в рассматриваемой точке и геометрическую ось протяжки. Задний угол заключен между прямой, на которой лежит вектор скорости и задней поверхностью зуба.

На протяжках для внутреннего протягивания задний угол $\alpha = 1...2^\circ$. Столь малые значения задних углов у внутренних протяжек объясняются тем, что после переточек зубьев по передним поверхностям поперечные размеры по профилю должны изменяться как можно меньше, обеспечивая выполнение установленных допусков на точность изготовления деталей.

У призматических протяжек для наружного протягивания задние углы берутся в пределах $\alpha = 10...12^\circ$. Уменьшение поперечных размеров после переточек компенсируется в этом случае установкой мерных прокладок между опорной поверхностью протяжки и корпусом протяжного блока.

На призматических протяжках для наружного протягивания, монтируемых на протяжных блоках, режущие кромки зубьев могут иметь угол $\lambda = 0$ (рисунок 4.52,а) или $\lambda > 0$ (рисунок 4.52,б).

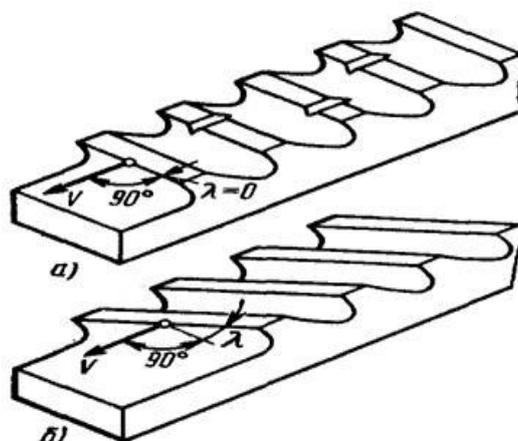


Рисунок 4.52 – Угол наклона главных лезвий на призматических протяжках: а – $\lambda = 0$; б – $\lambda \neq 0$

Передний γ и задний α углы измеряют угломером 2УРИ (рисунок 4.53).

На рисунке 4.53,а показано измерение переднего угла γ шпоночной протяжки угломером 2УРИ. Величина переднего угла γ равна 20° (указателем в данном случае является штрих напротив отметки $z = \infty$). На рисунке 4.53,б показано измерение заднего угла α . Величина заднего угла α равна 2° (указателем также является штрих напротив отметки $z = \infty$).

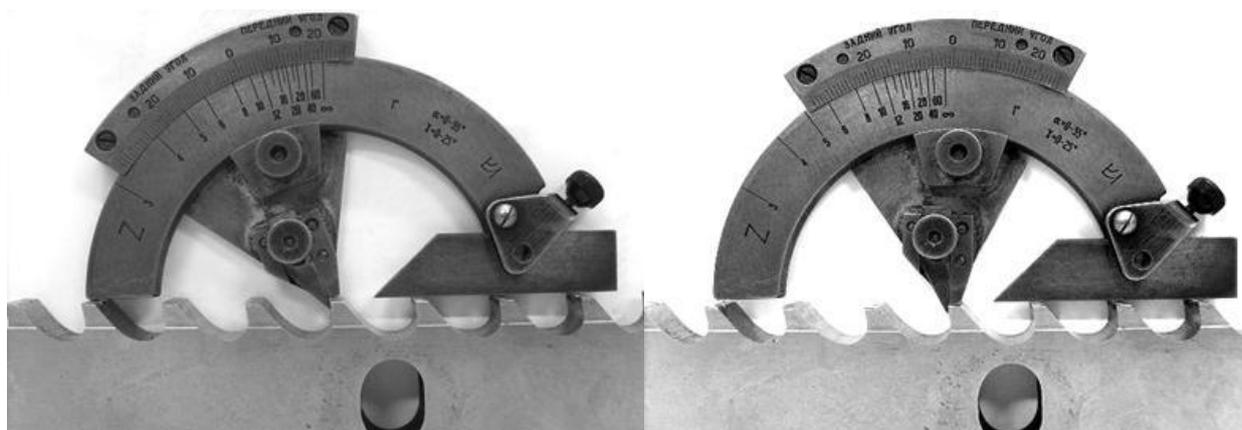


Рисунок 4.53 – Измерение переднего угла γ (а) и заднего угла α (б)

Протяжные станки



- Горизонтальные
- Вертикальные

- Вертикальные

Протяжные станки делят по следующим признакам:

- по назначению – для внутреннего и наружного протягивания;
- по степени универсальности – на станки общего назначения и специальные;
- по направлению и характеру рабочего движения – на горизонтальные, вертикальные, непрерывного действия с прямолинейным

конвейерным движением, с круговым движением протяжки или заготовки, с комбинацией различных одновременных движений заготовки и протяжки;

- по числу кареток или позиций – с одной, двумя или несколькими каретками; однопозиционные (обычные) и многопозиционные (с поворотными столами).

Протягивание и прошивание – процессы прерывистые. Необходимо возвратно-поступательное движение исполнительного механизма главного движения. Прямой ход – рабочее движение, обратный ход – холостой. Инерция масс исполнительного механизма главного движения не позволяет работать на высоких скоростях резания, обычно скорость резания принимают 8...15 м/мин.

Протяжные станки отличаются простотой конструкции и эксплуатации. Это обусловлено тем, что форма поверхности при обработке на протяжном станке зависит от формы режущих лезвий зубьев инструмента. Основными характеристиками протяжного станка являются тяговое усилие и длина хода протяжки. Протяжные станки имеют гидравлический привод и часто работают по полуавтоматическому циклу.

Горизонтально-протяжной станок. Этот станок для внутреннего протягивания (рисунок 4.54) состоит из станины 1, насосной станции 2, гидроцилиндра 3, каретки 4, опорного кронштейна 5 и корыта 6. Протяжку хвостовой частью вставляют в предварительно обработанное отверстие заготовки и закрепляют в патроне каретки 4. Каретка 4 с протяжкой получает поступательное движение от штока поршня гидроцилиндра – главное движение.

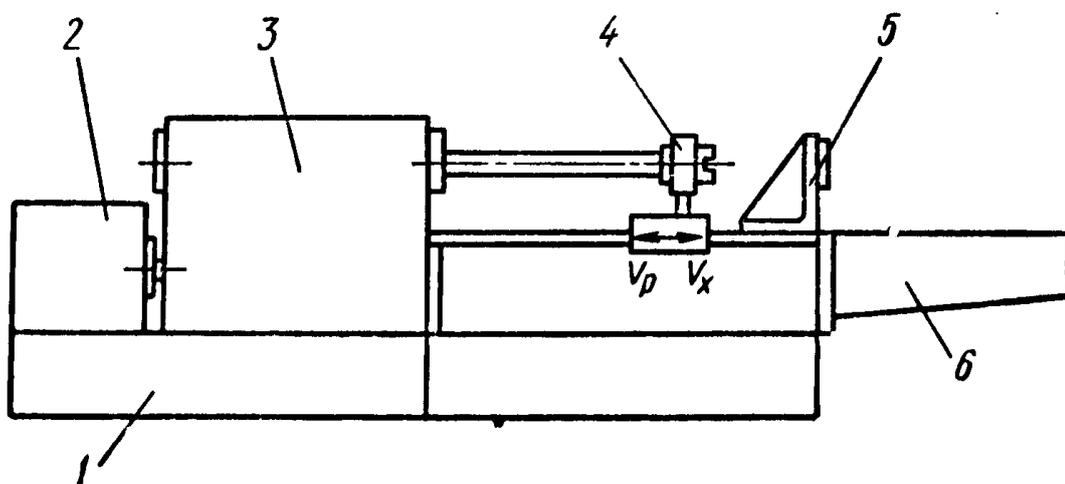


Рисунок 4.54 – Общий вид горизонтально-протяжного станка

Заготовка при протягивании опирается торцом на опорную поверхность кронштейна 5. Поступательное движение протяжке сообщают до тех пор, пока она не выйдет из отверстия заготовки. После окончания протягивания заготовка падает в корыто б, протяжка извлекается из каретки 4, последняя возвращается в исходное положение (холостой ход V_x) и цикл обработки повторяется.

Вертикально-протяжной станок. Этот станок для наружного протягивания (рисунок 4.55) состоит из основания 7, станины 5, насосной станции 4, каретки 5, стола 2. Заготовку устанавливают в приспособлении на столе станка. Протяжку закрепляют в каретке и от гидропривода сообщают ей вертикальное поступательное перемещение – главное движение. Протяжка, опускаясь (рабочий ход V_p), обрабатывает заготовку. Обработанную заготовку снимают, и подвижная каретка быстро возвращается в исходное положение (холостой ход V_x).

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5...250 мм.

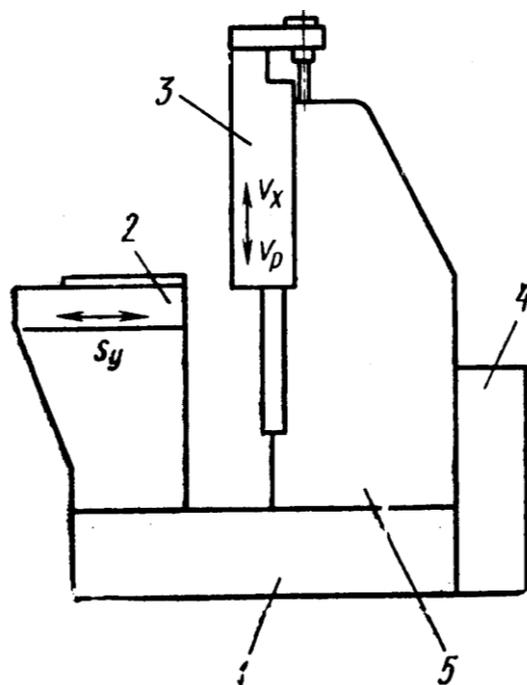


Рисунок 4.55 – Общий вид горизонтально-протяжного станка

Протяжные станки непрерывной обработки (рисунок 4.56). Эти станки являются станками высокой производительности. На них обрабатывают заготовки непрерывно. Заготовки 2 устанавливают в

приспособлениях замкнутой цепи 1 и сообщают им главное поступательное движение со скоростью v относительно неподвижной протяжки 3. Жесткие направляющие 4 обеспечивают параллельное перемещение цепи в зоне прохождения заготовок под протяжкой.

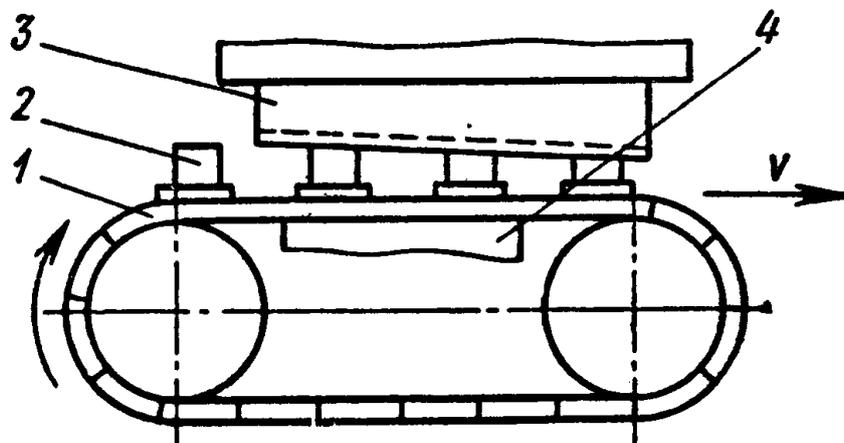


Рисунок 4.56 – Схема обработки заготовок на протяжном станке непрерывной обработки

При протягивании больших плоскостей применяют протяжные станки туннельного типа, принцип действия которых заключается в следующем: после закрепления обрабатываемой заготовки на столе станка ее поднимают на установленную высоту; на заготовку надвигается протяжка и обрабатывает ее; после обработки заготовку опускают, освобождают от зажима и удаляют через загрузочное отверстие, а протяжка возвращается в исходное положение.

Элементы режима резания при протягивании

Для многих способов обработки металлов резанием к элементам режима резания относятся глубина резания, подача и скорость резания. При протягивании вместо глубины резания рассматривают периметр или ширину среза, равные суммарной длине главной режущей кромки.

Ширина среза ΣB – наибольшая суммарная длина лезвий всех одновременно режущих зубьев. Ширина среза зависит от формы и размеров обрабатываемой поверхности и схемы резания.

$$\Sigma B = \frac{BZ_1}{Z_c},$$

где B – периметр резания, равный длине обрабатываемого контура заготовки, мм; Z_1 – число одновременно режущих зубьев.

$$Z_1 = \frac{l}{t_p} + 1,$$

где l – длина обрабатываемой поверхности, мм; t_p – шаг режущих зубьев, мм; Z_c – число зубьев в секции протяжки при прогрессивной схеме резания, при профильной и генераторной схеме $Z_c = 1$.

Подача на зуб

Характерной конструктивной особенностью исполнения режущих зубьев протяжек является последовательное возрастание их высоты или диаметрального размера. Подъем каждого очередного режущего зуба над впереди расположенным равен подаче на зуб, т. е. $a_z = S_z$. Увеличение высоты последующего зуба s_z называется подъемом на зуб.

При обработке стали и чугуна подача на зуб рекомендуется в пределах 0,02...0,3 мм. Величину подачи выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, разновидности и материала протяжки. Рекомендуемые подачи приведены в таблице 2П.

Скорость резания

Скорость относительного прямолинейного рабочего движения, с которой протяжка перемещается вдоль обрабатываемой поверхности заготовок, является скоростью резания. Скорость резания при протягивании мала ($v < 20$ м/мин), что определяется, с одной стороны, необходимостью преодоления инерционных сил больших масс при реверсе и, с другой стороны, необходимостью уменьшения ударной нагрузки при входе первого зуба режущей части в обрабатываемый материал. Наиболее применяемый диапазон значений скорости резания при протягивании $v = 5...12$ м/мин. При работе протяжками из инструментальной легированной и быстрорежущей стали скорость резания берется в пределах 12...30 м/мин.

На скорость резания оказывают влияние физико-механические свойства материала заготовки и протяжки, профиль обрабатываемой поверхности, выбранный период стойкости протяжек и др.

Скорость резания v (м/мин), допускаемую режущими свойствами протяжек, определяют по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m S_z^y},$$

где C_v – коэффициент, характеризующий условия обработки; T – период стойкости протяжки, мин; s_z – подача на зуб, мм; m, y – показатели степени.

Значение коэффициента C_v и показателей степени m и y для протяжек из быстрорежущих сталей приведены в таблице 14.

В зависимости от материала режущей части протяжки, физико-механических свойств обрабатываемого материала, подачи на зуб и требований к обрабатываемым деталям стойкость протяжек колеблется от 100 до 600 мин.

В практических расчетах удобно назначать скорость резания в зависимости от группы скорости резания обрабатываемого материала. Группы скоростей резания при протягивании различных материалов приведены в таблице 11.

Скорость резания при протягивании назначают по таблице 12 приложения в зависимости от группы скорости резания, шероховатости и точности (качества) обрабатываемых поверхностей.

По назначенной скорости можно определить стойкость протяжки T (мин) по формуле:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v}{V S_z^y}}$$

Часто вместо последней проверки определяют скорость главного движения резания, допускаемую мощностью электродвигателя станка $v_{\text{доп}}$ (м/мин):

$$v_{\text{доп}} = \frac{60 \times 1020 N_d \eta}{P_z}$$

Назначенная скорость резания должна быть меньше или равна допускаемой, т. е. должно выполняться условие $v \leq v_{\text{доп}}$.

Проверка выбранного режима

- по тяговой силе станка;

Выборный режим резания при протягивании проверяют на возможность выполнения на данном станке, т. е. производят сравнение тяговой силы станка с силой резания (тяговая сила должна быть равна или больше силы резания P_z).

$$P_z \leq P_T,$$

где P_T – тяговая сила станка, Н.

- по мощности на ползуне;

Мощность резания N_p должна быть меньше или равна допустимой мощности на ползуне станка $N_{\text{п}}$:

$$N_p \leq N_{\Pi} = N_3 \eta,$$

где N_{Π} – допустимая мощность на ползуне, кВт; N_3 – мощность электродвигателя главного привода, кВт; η – КПД станка.

Мощность резания N_p (кВт) при протягивании определяют по формуле:

$$N_p = \frac{P_z v}{1000 \times 60},$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; v – скорость резания, м/мин.

В процессе резания протяжки находятся под действием растягивающих сил P_z , направленных вдоль оси, и сил P_y , направленных перпендикулярно оси протяжки. Суммарная сила P_z при протягивании складывается из сил, приложенным ко всем одновременно участвующим в резании зубьям. Силу P_z называют силой резания при протягивании; она зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, ширины и толщины срезаемого слоя, геометрических параметров зуба протяжки, СОЖ и др.

Главную составляющую сила резания P_z (Н) определяют по эмпирическим формулам:

- при работе круглыми протяжками

$$P_z = 10C_p \times s_z^y D z_{\text{одн}} K,$$

- при работе шпоночными протяжками

$$P_z = 10C_p s_z^y b z_{\text{одн}} K,$$

- при работе шлицевыми протяжками

$$P_z = 10C_p s_z^y b z_{\text{одн}} n K,$$

где C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; s_z – подача на зуб, мм/зуб; y – показатель степени; D – диаметр отверстия заготовки, мм; $z_{\text{одн}}$ – число одновременно работающих зубьев протяжки; b – ширина шпонки или шлица, мм; n – число шлицевых; K – поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих разные факторы резания, а именно, влияние износа зуба протяжки (Kh), СОЖ ($Kж$), величин заднего и переднего углов.

$$K = Kh, Kж, K\alpha, K\gamma,$$

Коэффициенты и показатели степеней в формулах для определения сил резания P_z приведены в таблицах 5–9 приложения.

Основное и штучное время

Основное (машинное) время при протягивании T_o (мин) рассчитывают по формуле:

$$T_o = \frac{L_{\text{рх}}}{1000vq} K'i,$$

где $L_{\text{рх}}$ – длина рабочего хода, мм; K' – коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки; v – скорость рабочего хода, м/мин; q – количество одновременно обрабатываемых деталей; i – число рабочих ходов.

Длину рабочего хода протяжки $L_{\text{рх}}$ (мм) определяют по формуле:

$$L_{\text{рх}} = l_{\text{заг}} + l_{\text{п}} + l_{\text{доп}},$$

где $l_{\text{заг}}$ – длина протягиваемого отверстия (поверхности), мм; $l_{\text{п}}$ – длина рабочей части протяжки, мм, она равна

$$l_{\text{п}} = L - l',$$

где L – общая длина протяжки, мм; l' – длина протяжки от торца хвостовика до первого зуба, мм; $l_{\text{доп}}$ – перебег, мм ($l_{\text{доп}} = 30 \dots 50$ мм).

Коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки, определяют по формуле:

$$K' = 1 + \frac{v}{v_{\text{ох}}},$$

где v – скорость резания (скорость рабочего хода), м/мин; $v_{\text{ох}}$ – скорость обратного хода протяжки, м/мин (см. таблицы 15 и 16).

Штучное время при протягивании $T_{\text{шт}}$ (мин) состоит из следующих элементов:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\text{всп}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}} = (T_o + T_{\text{всп}}) \left(1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right),$$

где T_o – основное технологическое время, мин; $T_{\text{всп}}$ – вспомогательное время, мин; $T_{\text{обс}}$ – время обслуживания рабочего места, мм; $T_{\text{отд}}$ – время на отдых и естественные надобности, мин; K_1 и K_2 – коэффициенты, учитывающие время обслуживания рабочего места и время на отдых и естественные надобности.

Неперекрываемое вспомогательное время при протягивании включает следующие элементы:

1 – на установку и снятие детали без приспособлений (таблица 17) или с использованием приспособлений (таблицы 18 и 19);

2 – на отдельные приемы при протягивании, например, включение и выключение рабочего и холостого хода ползуна или стола станка и др. (таблица 20);

3 – на проверку размеров протягиваемых поверхностей (таблица 21).

Время на обслуживание рабочего места, отдых, личные надобности обычно принимают в процентах от оперативного времени ($T_o + T_{всп}$), это учитывается коэффициентами K_1 и K_2 .

В зависимости от характера и масштаба производства время обслуживания рабочего места составляет $K_1 = 3,5...4,5 \%$, а время на отдых и личные надобности $K_2 = 4...9 \%$ от оперативного времени.

При обработке партий деталей вводят понятие штучно-калькуляционного времени T_k (мин), которое кроме штучного времени содержит еще подготовительно-заключительное время, приходящееся на одну деталь

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на получение наряда, ознакомление с работой, получение инструментов и приспособлений, переналадку станка и др. (таблица 22).

В штучно-калькуляционном времени $T_{пз}$ берут в расчете на одну деталь, т. е. $T_{пз}$ делят на число деталей в партии n .

В условиях массового производства подготовительно-заключительное время $T_{пз}$ принимают равным нулю ($T_{пз} = 0$).

Пример расчета режима резания при протягивании

Исходные данные:

1. Заготовка зубчатого колеса – штамповка, сталь 40.
2. Предел прочности стали 40, $\sigma = 700$ Мпа, НВ 187...197.
3. Диаметр заготовки после сверления $D = 39H12 (+0,25)$.
4. Диаметр после протягивания $D = 40H7(+0,025)$.
5. Длина обрабатываемой поверхности отверстия 50 мм.
6. Требуемая шероховатость $Ra 0,32$ мкм.
7. Станок горизонтально-протяжной 7Б56.
8. Патрон быстросменный автоматический.
9. На станке устанавливается 1 заготовка.
10. Программа выпуска деталей в смену – 300 деталей.

1. Выбор протяжки

1.1. Выбор типа протяжки

Выбираем тип протяжки – круглая.

1.2. Выбор материала протяжки

Выбираем протяжку из быстрорежущей стали Р18 ГОСТ 19265–73, а для хвостовика – сталь 40Х ГОСТ 4543–71.

1.3. Назначение геометрических параметров протяжки

Значение задних углов зубьев рабочей части протяжки α_p выбираем по таблице 3П. Принимаем $\alpha = 2^{\circ+30'}$.

Значение задних углов зубьев калибрующей части протяжки α_k выбираем по таблице 3П. Принимаем $\alpha_k = 1^{\circ \pm 15'}$.

Значение задних и передних углов калибрующих зубьев выбираем по таблице 4П. Принимаем $\gamma_p = \gamma_k = 15^{+1^{\circ}}$.

2. Определение припуска

Припуски под протягивание отверстий и значения допусков предварительного диаметра отверстия могут быть определены по таблице 1П.

$$h = D - D_0 = 40 - 39 = 1 \text{ мм.}$$

3. Назначение подачи

Подачу (подъем) на зуб на сторону s_z выбираем по таблице 2П.

Принимаем $s_z = 0,03 \text{ мм.}$

Между режущими и калибрующими зубьями делаем несколько (два-четыре) зачищающих зубьев с постоянно убывающим подъемом на зуб. Для нашего примера принимаем $Z_3 = 3$ и распределяем подъем на зуб последовательно для зачищающих зубьев следующим образом:

$$s_{z_1} = \frac{1}{2} s_z = 0,015 \text{ мм; } s_{z_2} = \frac{1}{3} s_z = 0,01 \text{ мм;}$$

$$s_{z_3} = \frac{1}{6} s_z = 0,005 \text{ мм.}$$

4. Определение скорости резания

По таблице 11 предварительно определяем группу скорости резания для материала. По таблице 12 окончательно определяем скорость резания.

В нашем примере для стали 40 (НВ 187...197) определяем II группу скорости резания. По таблице 12 скорость резания – $v = 3$ м/мин.

Эта скорость может быть установлена на станке 7Б56, где осуществляется бесступенчатое регулирование скорости в пределах 1,5...11,5 м/мин.

Зная скорость резания, определяем стойкость протяжки T по формуле:

$$T = m \sqrt[m]{\frac{C_v}{v s_z^y}},$$

где C_v – коэффициент, характеризующий условия обработки; m, y – показатели степени.

Значения C_v, m и y определяем по таблице 14: $C_v = 16,8; m = y = 0,62$.

Тогда

$$T = m \sqrt[m]{\frac{C_v}{v s_z^y}} = 0,62 \sqrt[0,62]{\frac{16,8}{3 \times 0,03^{0,62}}} = 536 \text{ мин.}$$

Определяем скорость главного движения резания, допускаемую мощностью электродвигателя станка

$$v_{\text{доп}} = \frac{60 \times 1020 \times N_d \eta}{P_z}.$$

По паспортным данным станка 7Б56 (таблица 15) мощность его электродвигателя $N_d = 30$ кВт, КПД $\eta = 0,85$.

Тогда

$$v_{\text{доп}} = \frac{60 \times 1020 \times N_d \eta}{P_z} = \frac{60 \times 1020 \times 30 \times 0,85}{114\,000}.$$

Таким образом, выполняется условие $v \leq v_{\text{доп}}$ ($3 \leq 13,7$). Следовательно, окончательно принимаем скорость главного движения $v = 3$ м/мин.

5. Проверка выбранного режима резания

5.1. Проверка по тяговой силе станка

Выбранный режим резания при протягивании проверяют на

возможность выполнения на данном станке, т.е. производят сравнение допустимой тяговой силы станка с силой резания:

$$P_z \leq P_T,$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; P_T – допустимая тяговая сила станка, кН; по таблице 15 для станка 7Б56 $P_T = 200$ кН.

Главную составляющую силу резания P_z при работе круглой протяжкой определяют по формуле:

$$P_z = 10C_p s_z^y D z_{\text{одн}} K,$$

где C_p – коэффициент, характеризующий условия обработки; по таблице 5 для круглых протяжек $C_p = 700$; s_z – подача на зуб, мм/зуб; $s_z = 0,03$ мм/зуб; y – показатель степени; по таблице 5 $y = 0,85$; D – диаметр отверстия заготовки, мм; $D = 40$ мм; $z_{\text{одн}}$ – число одновременно работающих зубьев протяжки; условно принимаем $z_{\text{одн}} = 8$; K – поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих разные факторы резания, а именно, влияние износа зуба протяжки (Kh), СОЖ ($Kж$), величин заднего и переднего углов,

$K = Kh, Kж, K\alpha, K\gamma$; определяем по таблицам 6–9.

$$P_z = 10 \times 700 \times 0,03^{0,85} \cdot 40 \times 8 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 113\,710 \text{ Н} \approx 114 \text{ кН}.$$

Так как $114 < 200$, то тяговая сила станка обеспечена.

5.2. Проверка по мощности на ползуне

Мощность резания N_p должна быть меньше или равна допустимой мощности на ползуне станка $N_{\text{п}}$:

$$N_p \leq N_{\text{п}} = N_9 \eta,$$

где $N_{\text{п}}$ – допустимая мощность на ползуне, кВт; N_9 – мощность электродвигателя главного привода, кВт; по таблице 15 $N_9 = 30$ кВт; η – КПД станка; $\eta = 0,85$.

$$N_{\text{п}} = N_9 \eta = 30 \times 0,85 = 25,5 \text{ кВт}.$$

Мощность резания N_p (кВт) при протягивании определяют по формуле:

$$N_p = \frac{P_z v}{1000 \times 60},$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; $P_z = 113710$ Н; v – скорость резания, м/мин; $v = 3$ м/мин.

$$N_p = \frac{P_z v}{1000 \times 60} = \frac{113\,710 \times 3}{1000 \times 60} = 5,68 \text{ кВт}.$$

6. Расчет времени выполнения операции

6.1. Расчет основного времени

Основное время T_o определяем по формуле:

$$T_o = \frac{L_{\text{рх}}}{1000vq} K'i,$$

где $L_{\text{рх}}$ – длина рабочего хода, мм; K' – коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки; v – скорость рабочего хода, м/мин; q – количество одновременно обрабатываемых деталей; i – число рабочих ходов.

Длина рабочего хода протяжки

$$L_{\text{рх}} = l_{\text{заг}} + l_{\text{п}} + l_{\text{доп}},$$

где $l_{\text{заг}}$ – длина протягиваемого отверстия, мм; $l_{\text{заг}} = 50$ мм; $l_{\text{п}}$ – длина рабочей части протяжки $l_{\text{п}} = L - l'$, L – общая длина протяжки, мм; принимаем $L = 490$ мм; l' – длина протяжки от торца хвостовика до первого зуба, мм; принимаем $l' = 280$ мм.

$$l_{\text{п}} = 490 - 280 = 210 \text{ мм.}$$

Перебег $l_{\text{доп}} = 30 \dots 50$ мм, принимаем $l_{\text{доп}} = 40$ мм.

Тогда $L_{\text{рх}} = l_{\text{заг}} + l_{\text{п}} + l_{\text{доп}} = 50 + 210 + 40 = 300$ мм.

Коэффициент

$$K' = 1 + \frac{v}{v_{\text{ох}}}.$$

На станке 7Б56 скорость обратного хода (см. таблицу 15) $v_{\text{ох}} = 20$ м/мин.

Тогда

$$K' = 1 + \frac{v}{v_{\text{ох}}} = 1 + \frac{3}{20} = 1,15.$$

По условию, на станке обрабатывается одна заготовка, т. е. $q = 1$, число рабочих ходов $i = 1$.

Тогда

$$T_o = \frac{L_{px}}{1000vq} K'i = \frac{300}{1000 \times 3 \times 1} 1,15 \times 1 = 0,115 \text{ мин}$$

6.2. Расчет штучного времени.

Вспомогательное время на установку и снятие детали (без приспособления) и протяжки по таблице 17 составляет 0,10 мин при массе детали до 1 кг.

Вспомогательное время на включение и выключение станка по таблице 20 ножной педалью или кнопкой составляет 0,018 мин.

Вспомогательное время на проверку размеров заготовки пробкой цилиндрической по таблице 21 – 0,13 мин.

Таким образом, вспомогательное время при протягивании

$$T_{всп} = 0,10 + 0,018 + 0,13 = 0,248 \text{ мин.}$$

Сумму коэффициентов K_1 и K_2 , учитывающих время обслуживания рабочего места и время на отдых и личные надобности, принимаем равной 8 %.

Штучное время $T_{шт}$ (мин) определяем по формуле:

$$T_{шт} = (T_o + T_{всп}) \left(1 + \frac{K_1 + K_2}{100} \right) = (0,115 + 0,248) \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 0,392 \approx 0,4 \text{ мин.}$$

Штучно-калькуляционное время для партии деталей равно:

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n},$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на получение наряда, ознакомление с работой, получение инструментов и приспособлений, переналадку станка и др.; по таблице 22 $T_{пз} = 9$ мин; n – число деталей в партии, $n = 300$.

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{300} = 0,4 + \frac{9}{300} = 0,43 \text{ мин.}$$

Приложение 1. Точение

Таблица 1П – Отличительные признаки резцов

Отличительный признак	Наименование резцов
По виду обработки	Проходные (прямой, отогнутый, упорный), подрезные, расточные, отрезные, фасонные, резьбовые
По инструментальному материалу	Из быстрорежущей стали, с пластинками из твердого сплава, из режущей керамики, сверхтвердых материалов
По направлению движения подачи	Правые, левые
По характеру обработки	Черновые, чистовые, для тонкого точения
По конструкции	Стержневые, призматические, круглые
По сечению крепежной части	С прямоугольным, квадратным, круглым сечением
По форме рабочей части	Прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые
По способу изготовления	Цельные, составные, сборные
По установке относительно заготовки	Радиальные, тангенциальные

Таблица 2П – Выбор типовых марок твердого сплава

Характер обработки	Марка сплава при обработке			
	стали		чугуна	
	углеродистой и легированной	закаленной	НВ 240	НВ 400-700
Черновое точение по корке и окалине при неравномерном сечении среза и прерывистом резании с ударами	T5K10 T5K12B BK8 BK83		BK8 BK8B BK4	BK8 BK8B
Черновое точение по корке при неравномерном сечении среза и непрерывном резании	T14K8 T5K10		BK4 BK8 BK6	BK6M BK4
Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании	T15K6 T14B8 T5K10 BCK-60, BCK-63, B3	T5K10 BK4 BK8 TНМ-20, B3	BK4 BK6 BK8	BK6M
Точное точение при прерывистом резании	T30K4 T15K6	T14K8 T5K10 BK4	BK3 BK3 BK4	BK6M BK3
Точное точение при непрерывном резании	T30K4	T30K4 T15K6 BK6M, BK3M	BK3 BK3M	BK6M BK3M BK3
Отрезка и прорезка канавок	T15K6, T14K8 T5K10	BK6M BK4	BK3 BK3M	BK6M BK3M

Таблица 3П – Размеры проходных отогнутых резцов с пластинкой из твердого сплава

Обозначение	Сечение резца $H \times B$, мм	Длина резца, мм	t , мм	Форма пластинки ГОСТ 2209–69
2102-0071	16×10	100	6	01Б
2102-0073	16×12	100	7	01Б
2102-0075	20×12	120	7	01Б
2102-0077	20×16	120	10	02Б
2102-0055	25×16	140	10	02Б
2102-0079	25×20	140	13	02Б
2102-0059	32×20	170	13	02Б
2102-0081	32×25	170	16	02Б
2102-0063	40×25	200	16	02Б

Примечание. В таблице приведены выдержки из ГОСТ 18877–73 для токарных проходных отогнутых резцов общего назначения с углом врезки пластинки 0° и углами в плане $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$.

Таблица 4П – Формы передней поверхности

Обозначение, наименование	Эскиз передней поверхности	Область применения	
		а – для резцов из б/р стали	б – для резцов с пластинками твердых сплавов
I. Плоская		Обработка чугуна, обработка стали при $s < 2$ мм/об, для фасонных резцов сложного контура	Обработка стали с $\sigma_B > 800$ МПа при достаточной жесткости и виброустойчивости заготовки. Необходим стружколоматель
II. Плоская с фаской		Обработка стали при $s > 2$ мм/об	Обработка серого и ковкого чугуна, стали $\sigma_B > 800$ МПа при достаточной жесткости и виброустойчивости заготовки. Необходим стружколоматель
III. Радиусная с фаской		Обработка стали с обеспечением стружколомания	Обработка стали $\sigma_B \leq 800$ МПа при $t = 1 \dots 5$ мм, $s \geq 0,3$ мм/об. Стружколомание обеспечивается лункой: $B = 2 \dots 2,5$ мм, $r = 4 \dots 6$ мм, глубина лунки $0,1 \dots 0,15$ мм

Таблица 5П – Углы режущей части резцов

Обрабатываемый материал	Материал режущей части, форма передней поверхности	Геометрические параметры режущей части, град.			
		γ_{ϕ}	γ	α	λ
Точение, растачивание, строгание					
Сталь углеродистая, легированная, инструментальная, стальное литье HB<340, σ_B <1200 МПа	БС, Па, Ша	0	25–30	8–12	0
Чугун серый и ковкий HB<220	БС, Ia, Па, Ша	–	12–18	8–12	–4...+4
Сталь конструкционная, углеродистая, легированная, стальное литье σ_B < 1000 МПа σ_B >1000 МПа	ТС, Шб Iб, Пб	–3...–5 –10	15 5...10	6–12	0
Точение и растачивание					
Чугун серый HB<220 HB>220	ТС, Пб, Шб	–3...–5	12 8	6–10	–
Чугун ковкий HB = 140...150	ТС, Пб, Шб ТС, Iб, Пб	–2	15 –	8–12	–
Непрерывное точение					
Сталь σ_B < 700 МПа σ_B >700 МПа	МК, Пб, Шб	–5...–10	10...15 10	8–10	0–5
Чугун HB<220 HB>220	МК, Пб	–5	10 0...5		

Таблица 6П – Значения углов ϕ и ϕ_1

Условия обработки	ϕ	Условия обработки	ϕ_1
Обтачивание ступенчатых заготовок недостаточной жесткости; обтачивание, растачивание ступенчатых поверхностей в упор; подрезание, прорезание и отрезание	90	Для проходных резцов при работе без врезания: из быстрорежущей стали с пластинками из твердого сплава	5–10 15
Для отрезных резцов при отрезании заготовок без бобышек	80	Для проходных резцов при работе с врезанием: до 3 мм св. 3 мм	15 20–30
Точение на проход заготовок малой жесткости, растачивание чугуна	60–75	Для подрезных и расточных резцов: из быстрорежущей стали с пластинками из твердого сплава	10–15 20
Точение жестких заготовок проходными резцами	30–60	Для прорезных и отрезных резцов	1–2
Чистовое точение с малой глубиной резания	10–30	Для резцов с отогнутым сечением: до 20×30 мм св. 20×30 мм	45 30

**Таблица 7П – Геометрические параметры режущей части резца
с неперетачиваемыми пластинками**

Тип пластинки	φ	φ_1	γ	α
Трехгранные	90	10	12	7,5
Четырехгранные	45	45	10	10
Четырехгранные	60	30	12	7
Четырехгранные	75	15	12	7
Пятигранные	60	12	10	8
Шестигранные	45	14	10	10

**Таблица 8П – Припуски на обработку наружных цилиндрических
поверхностей**

Номинальный диаметр, мм	Точение	Припуск на диаметр при расчетной длине l , мм				
		до 100	100–200	250–400	400–630	630–1000
до 6	черновое	2,5	3	3,5	–	–
	чистовое	1	1,1	1,1	–	–
6–18	черновое	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0
	чистовое	1,2	1,5	1,5	1,5	2,0
18–30	черновое	3,5	3,5	3,5	4,0	5,0
	чистовое	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0
30–50	черновое	4	4,5	4,5	5	5,5
	чистовое	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
50–80	черновое	4,0	4,5	4,5	5,5	5,5
	чистовое	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
80–120	черновое	5,5	6,0	7	7,5	8,5
	чистовое	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
120–200	черновое	6,0	7,0	7,5	8,0	9,0
	чистовое	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0

Примечания: 1. При обработке детали с уступами припуск выбирают по отношению к общей длине детали. 2. Припуски на чистовое обтачивание даны при условии, что заготовка подвергается черновому обтачиванию.

Таблица 9П – Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинками из твердого сплава и из быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Сталь					Чугун				
		Подача, 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	–	–	–	0,4-0,5	–	–	–	–
Св. 40 до 60	от 16×25 до 25×40	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	–	–	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7	–	–
Св. 60 до 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	–
Св. 100 до 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	0,9-1,4	0,8-1,1	0,6-0,9	–
Св. 400 до 500	от 20×30 до 40×60	1,1-1,4	1,0-1,4	0,7-1,2	0,6-1,2	0,4-1,1	1,3-1,6	1,2-1,5	1,0-1,3	0,8-1,0	0,7-0,9
Св. 500 до 600	от 20×30	1,2-1,5	1,0-1,4	0,8-1,3	0,6-1,3	0,4-1,2	1,5-1,8	1,2-1,6	1,0-1,4	0,9-1,2	0,8-1,0

Примечания: 1. Нижние значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца и более прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – большим размерам и 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 на работах с ударами табличные значения подач следует умножить 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 10П – Подачи при чистовом точении

Параметр шероховатости $Ra (Rz)$, мкм	Обрабатываемый материал	Радиус при вершине резца r , мм		
		0,5	1	2
10,0 (40)	Сталь углеродистая и легированная	0,30...0,50	0,45...0,60	0,55...0,70
	Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	0,24...0,40	0,40...0,50	0,50...0,60
5,0 (20)	Сталь углеродистая и легированная	0,18...0,25	0,25...0,30	0,30...0,40
	Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	0,15...0,25	0,25...0,40	0,40...0,60
2,5 (10)	Сталь углеродистая и легированная	0,10...0,11	0,11...0,16	0,15...0,25
	Чугун, бронза и алюминиевые сплавы	0,10...0,15	0,15...0,20	0,20...0,30

Примечания: 1. При обработке стали со скоростью $v > 50$ м/мин подачу увеличивать, вводя поправочный коэффициент 1,25. 2. При обработке жаропрочной стали и сплавов и титановых сплавов со скоростью $v > 50$ м/мин подачу уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,7–0,8. 3. Радиус при вершине резца ориентировочно равен 0,5 мм для резцов сечением до 12×20 мм; 1 мм для резцов сечением до 30×30 мм; 2 мм – для резцов сечением 30×45 мм и более.

**Таблица 11П – Значения коэффициента и показателей степени
в формулах скорости резания**

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
Обработка стали конструкционной углеродистой $\sigma_B = 750$ МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6 ^x	$s \leq 0,30$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,30 \leq s \leq 0,70$	350		0,35	
		$s > 0,70$	340		0,43	
Отрезание	Т5К10 ^x	–	47	–	0,80	0,20
Обработка серого чугуна НВ 190						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6 ^x	$s < 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	243		0,40	
Отрезание	ВК6 ^x	–	68,5	–	0,40	0,20
Обработка ковкого чугуна НВ 150						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК8 ^x	$s < 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	215		0,45	
		s св. 0,25	75		0,50	
Отрезание	ВК6 ^x	–	86	–	0,40	0,20

^{x)} Без охлаждения; ^{xx)} с охлаждением.

Примечания: 1. При внутренней обработке (расточивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимается соответствующая скорость резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9. 2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стального литья всеми видами резцов из быстрорежущей стали вводить на скорость резания поправочный коэффициент 0,8. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами Т5К10 конструкционных сталей и стального литья вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4; 3. При обработке термообработанных сталей резцами из быстрорежущей стали скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент: 0,95 – при нормализации; 0,9 – при отжиге; 0,8 – при улучшении.

Таблица 12П – Поправочный коэффициент K_{MV} , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
	Расчетная формула	
Сталь	$K_{MV} = 750/\sigma_B$	$K_{MV} = K_r (750/\sigma_B)^{nv}$
Серый чугун	$K_{MV} = (190/HB)^{1,25}$	$K_{MV} = (190/HB)^{nv}$
Ковкий чугун	$K_{MV} = (150/HB)^{1,25}$	$K_{MV} = (150/HB)^{nv}$

Примечания: 1. σ_B и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. 2. Значения коэффициента K_r и показателя степени n_v приведены в таблице 13П.

Таблица 13П – Значения коэффициента K_r и показатели степени n_v в формуле для расчета коэффициента K_{mv} при обработке резцами из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r	Показатель степени n_v
Сталь:		
углеродистая ($C \leq 0,6 \%$)	1,0	1,75 ^{x)}
автоматная	1,2	1,75
никелевая	1,0	1,75
хромистая	0,8	1,75
хромоникелевая	0,9	1,50
углеродистая ($C > 0,6 \%$)	0,8	1,75
быстрорежущая	0,6	1,25
Серый и ковкий чугун	–	1,70

^{x)} при $\sigma_b < 450$ МПа показатель степени $n_v = -1,0$.

Таблица 14П – Поправочный коэффициент K_{nv} , учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Без корки	С коркой			
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки	
			Нормальные	Сильно загрязненные
1,0	0,9	0,8	0,8...0,85	0,5...0,6

Таблица 15П – Поправочный коэффициент K_{nv} , учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{nv} в зависимости от марки инструментального материала						
	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6T	T30K4	BK8
Сталь конструкционная и стальное литье	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Сталь закаленная	<i>HRC 35–50</i>				<i>HRC 51–62</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		
Медные и алюминиевые сплавы	P18; P9		BK4	BK6	9XC; XBG		Y12A
	1,0		2,5	2,7	0,6		0,5

Таблица 16П – Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние параметров резца на скорость резания

Главный угол в плане φ , град.	Коэффициент $K_{\varphi v}$	Вспомогательный угол в плане $\varphi_1^{x)}$, град.	Коэффициент $K_{\varphi 1v}$	Радиус при вершине резца $r^{x)}$, мм	Коэффициент K_{rv}	Сечение державки $q^{x)}$, мм	Коэффициент K_{qv}
20	1,4	10	1,0	1	0,94	12×20 16×16	0,93
30	1,2	15	0,97	2	1,00	16×25 20×20	0,97
45	1,0	20	0,94	3	1,03	20×30 25×25	1,0
60	0,9	30	0,91	–	–	25×40 30×30	1,04
75	0,8	45	0,87	5	1,13	30×45 40×40	1,08
90	0,7	–	–	–	–	40×60	1,12

^{x)} учитывается только для резцов из быстрорежущей стали

Таблица 17П – Поправочный коэффициент K_{ov} , учитывающий влияние вида обработки на скорость резания

Вид обработки	Отношение диаметров $d : D$	Коэффициент K_{ov}
Наружное точение продольное	–	1,00
Поперечное	0...0,4	1,24
	0,5...0,7	1,18
	0,8...1,0	1,04
Отрезание	0,5...0,70	0,96
	0,8...0,95	0,84
Прорезание	0,5...0,70	0,96
	0,8...0,95	0,84
Растачивание	–	0,5

Таблица 19П – Поправочный коэффициент K_{mp} для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n_p (в числителе – для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали)
Конструкционная сталь σ_B , МПа ≤ 600 > 600	$K_{mp} = (\sigma_B/750)^{np}$	0,75/0,35 0,75/0,75
Серый чугун	$K_{mp} = (HB/190)^{np}$	0,4/0,55
Ковкий чугун	$K_{mp} = (HB/150)^{np}$	

Таблица 18П – Значения коэффициента и показателей степени в формулах составляющих силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части	Вид обработки	Коэффициенты и показатели степени в формулах для составляющей											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Сталь конструкционная и стальное литье $\sigma_B = 750$ 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
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,80	0	173	0,73	0,67	0	-	-	-	-
	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
		Фасонное точение	212	1,0	0,75	0								
Чугун серый НВ 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
	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Чугун ковкий НВ 150	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	81	1,0	0,75	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
			100	1,0	0,75	0	86				40	1,2	0,65	0
	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	139	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 20П – Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметр		Материал режущей части резца	Обозначение	Поправочный коэффициент		
Наименование	Значение параметра			для составляющей		
				тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный ϕ , град угол в плане	30	Твердый сплав	$K_{\phi p}$	1,08	1,30	0,78
	45			1,00	1,00	1,00
	80			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,50	1,17
	30	Быстрорежущая сталь		1,08	1,63	0,70
	45			1,00	1,00	1,00
	60			0,08	0,71	1,27
	90			1,08	0,44	1,82
Передний угол γ , град.	-15	Твердый сплав	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,10	1,4	1,4
	10			1,00	1,0	1,0
	12–15	Быстрорежущая сталь		1,15	1,6	1,7
	20–25			1,00	1,0	1,0
Угол наклона главного лезвия λ , град.	-5	Твердый сплав	$K_{\lambda p}$		0,75	1,07
	0			1,00	1,00	
	5			1,25	0,85	
	15			1,70	0,65	
Радиус при вершине r , мм	0,5	Быстрорежущая сталь	K_r	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,00	1,00	
	3,0			1,04	1,14	
	5,0			1,10	1,35	

**Таблица 21П – Значения силы резания P_z ,
допускаемые прочностью пластинок твердого сплава**

Толщина пластинки, мм, до	Глубина резания, мм							
	1	2	3	4	6	8	12	15
	Допускаемые значения P_z , Н							
4	500	1800	2700	3600	5400	7200	10 800	13 500
6	1900	3850	5800	7700	11 500	15 400	23 000	28 800
8	3300	6600	9900	13 200	19 700	26 300	39 500	49 400
10	5000	9950	15000	20 000	29 800	40 000	59 600	74 500

**Таблица 22П – Вспомогательное время на установку,
выверку и снятие детали**

Способ установки детали	Характер выверки	Масса детали, кг, до				
		1	3	5	10	30
		Время, мин				
В самоцентрирующем патроне	Без выверки	0,38	0,55	0,68	0,94	1,70
	По мелку	0,80	0,95	1,15	1,42	2,10
	По индикатору	1,65	1,90	2,30	2,90	4,40
В самоцентрирующем патроне с поджатием задним центром	Без выверки	0,49	0,66	0,80	1,06	1,75
	По мелку	0,83	1,20	1,40	1,75	2,70
В четырехкулачковом патроне	Без выверки	–	0,95	1,05	1,32	1,92
	По рейсмусу	–	1,48	1,70	2,10	3,10
	По индикатору	–	2,10	2,50	3,10	4,50
В центрах с хомутиком	Без выверки	0,33	0,55	0,62	0,76	1,60
В центрах с люнетом	Без выверки	0,58	0,68	0,74	0,96	1,32
На планшайбе с центрирующим приспособлением	Без выверки	1,10	1,30	2,30	2,55	3,20

Таблица 23П – Вспомогательное время на рабочий ход

Переход	Высота центров, мм		
	100	200	300
	Время, мин		
Наружное точение или растачивание по 9, 10 качеству	0,70	0,80	1,00
Наружное точение или растачивание по 11...13 качествам	0,40	0,50	0,70
Наружное точение или растачивание на последующие рабочие ходы	0,10	0,20	0,30
Подрезка или отрезание	0,10	0,20	0,30
Снятие фасок, радиусов, галтелей	0,06	0,07	0,07
Нарезание резьбы резцом	0,03	0,04	0,06
Нарезание резьбы метчиком или плашкой	0,20	0,20	0,26
Сверление и центровка	0,50	0,60	0,90

Таблица 24П – Вспомогательное время на измерения

Измерительный инструмент	Точность измерения, мм; квалитет	Измеряемый размер, мм		
		100	500	1000
		Время, мин		
Линейка	–	0,06	0,09	0,11
Угольник	–	0,10	0,24	–
Штанга раздвижная	–	–	0,17	0,21
Штангенциркуль	0,1 мм	0,13	0,20	0,44
	0,02 мм	0,25	0,35	0,66
Микрометр	0,1 мм	0,22	0,30	–
Скоба двухсторонняя	11...13	0,07	–	–
	6...10	0,16	–	–
Скоба односторонняя	11...13	0,06	0,13	–
	6...10	0,06	0,20	–
Нутромер (микрометрический штихмасс)	0,01 мм	0,15	0,18	0,34
Пробка двухсторонняя предельная	9...10	0,13	–	–
	6...8	0,18	–	–
Индикатор	6...10	0,08	–	–

Таблица 25П – Подготовительно-заключительное время

Способ установки детали	Степень сложности подготовки к работе	Количество инструментов при наладке	Высота центров, мм			
			200	300	200	300
			без замены приспособления		с заменой приспособления	
			Время, мин			
В патроне, центрах, на оправке	простая	1–2	7	9	10	12
		3–4	9	11	12	14
	средняя	3–4	10	12	15	17
		5–6	12	15	17	20
	сложная	7–9	15	17	20	22
		4–5	18	20	22	26
В специальном приспособлении	простая	1–2	9	11	14	17
		3–4	11	13	16	19
	средняя	3–4	12	14	19	22
		5–6	14	17	22	25
	сложная	7–9	17	19	25	27
		4–5	20	22	27	30
	6–8	22	26	30	35	

**Таблица 26П – Паспортные данные токарных станков
Частота вращения шпинделя, мин⁻¹ (в числителе) и наибольший
допустимый момент на шпинделе, Н·м (в знаменателе)**

Номер ступени	1А62, 1А62Б, 1А62Г, 1А616	1В62Г	1К62	16К20
1	11,5/1200	10/1100	12,5/1300	12,5/1300
2	14,5/1200	12,5/1100	16/1300	16/1300
3	19/1200	16/1100	20/1300	20/1300
4	24/1200	20/1100	25/1300	25/1300
5	30/1200	25/1100	31,5/1300	31,5/1300
6	37,5/1200	31,5/1100	40/1300	40/1300
7	46/1200	40/1100	50/1300	50/1300
8	58/980	50/1100	63/1240	63/1090
9	76/750	63/994	80/975	80/855
10	96/590	80/787	100/780	100/670
11	120/475	100/625	125/620	125/530
12	150/380	125/501	160/490	160/405
13	184/310	160/385	200/390	200/380
14	230/245	200/312	250/310	250/300
15	305/188	250/250	315/260	315/240
16	380/148	315/195	400/202	400/180
17	480/120	400/152	500/154	500/146
18	600/89	500/125	630/119	630/114
19	370/170	400/145	630/125	800/90
20	460/134	500/123	800/93	1000/70
21	610/94	630/95	1000/70	1250/555
22	770/70	800/78	1250/545	1600/418
23	960/53	1000/55	1600/42	
24	1200/40	1250/47	2000/30	

Модели станков

1А62, 1А62Б, 1А62Г, 1А616

Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 7$ кВт;

КПД станка $\eta = 0,75$.

Продольные подачи: 0,082; 0,088; 0,10; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,18; 0,20; 0,23; 0,24; 0,25; 0,28; 0,30; 0,33; 0,35; 0,40; 0,45; 0,48; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,71; 0,80; 0,91; 0,96; 1,00; 1,11; 1,21; 1,28; 1,46; 1,59.

Поперечные подачи станка: 0,027; 0,029; 0,033; 0,038; 0,040; 0,042; 0,046; 0,050; 0,054; 0,058; 0,067; 0,075; 0,079; 0,084; 0,092; 0,10; 0,11; 0,12; 0,13; 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,20; 0,22; 0,23; 0,27; 0,30; 0,32; 0,33; 0,37; 0,40; 0,41; 0,48; 0,52.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи – 3600 Н, поперечной подачи 5500 Н.

1В62Г

Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 7,5$ кВт;

КПД станка $\eta = 0,786$.

Продольные подачи станка; 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8.

Поперечные подачи станка: $\frac{1}{2}$ от $s_{пр}$, т. е. 0,025–1,4.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи – 7500 Н, поперечной подачи – 2600 Н.

1К62

Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 10$ кВт;

КПД станка $\eta = 0,8$.

Продольные подачи станка: 0,070; 0,074; 0,084; 0,097; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,17; 0,195; 0,21; 0,23; 0,26; 0,28; 0,30; 0,34; 0,39; 0,43; 0,47; 0,52; 0,57; 0,61; 0,70; 0,78; 0,87; 0,95; 1,04; 1,14; 1,21; 1,4; 1,56; 1,74; 1,9; 2,08; 2,28; 2,42; 2,8; 3,12; 3,48; 3,8; 4,16.

Поперечные подачи станка; 0,035; 0,037; 0,042; 0,048; 0,055; 0,06; 0,065; 0,07; 0,074; 0,084; 0,097; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,17; 0,195; 0,21; 0,23; 0,26; 0,28; 0,30; 0,34; 0,39; 0,43; 0,47; 0,52; 0,57; 0,6; 0,7; 0,78; 0,87; 0,95; 1,04; 1,14; 1,21; 1,4; 1,56; 1,74; 1,9; 2,08; 1,14; 1,21; 1,4; 1,56; 1,74; 1,9; 2,08.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи – 3600 Н, поперечной подачи 5500 Н.

16К20

Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 10$ кВт,

КПД станка $\eta = 0,75$.

Продольные подачи станка: 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8.

Поперечные подачи станка, мм/об: $\frac{1}{2}$ от $s_{прод}$, т. е. 0,025–1,4. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи – 6000 Н.

Приложение 2. Фрезерование

Таблица 1П – Стандартные торцовые фрезы

ГОСТ	Типы фрез	Диаметр фрезы, мм / число ножей фрезы, шт.
26595–85	Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин. Типы и основные размеры.	50/5, 63/6, 80/8, (80/10), 100/8, 100/10, 125/8, 125/12, 160/10, 160/14, (160/16), 200/12, 200/16, (200/20), 250/14, 250/24, 315/18, 315/30, 400/20, 400/40, 500/26, 500/50
24359–80	Фрезы торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры.	100/8, 125/8, 160/10, 200/12, 250/14, 315/18, 400/20, 500/26, 630/30
22087–76	Фрезы торцовые концевые с механическим креплением пятигранных твердосплавных пластин. Конструкция и размеры.	63/5, 80/6
22088–76	Фрезы торцовые концевые с механическим креплением круглых твердосплавных пластин. Конструкция и размеры.	50/5, 63/6, 80/8
9473–80	Фрезы торцовые насадные мелкозубые со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава. Конструкция и размеры.	100/10, 125/12, 160/16, 200/20, 250/24, 315/30, 400/36, 500/44, 630/52
9304–69	Фрезы торцовые насадные. Типы и основные размеры.	40/10, 50/12, 63/14, 80/16, 100/18, 63/8, 80/10, 100/12,
16222–81	Фрезы торцовые насадные для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры.	50, 63, 80 при $z = 4$
16223–81	Фрезы торцовые насадные со вставными ножами с твердосплавными пластинами для обработки легких сплавов. Конструкция и размеры.	100/4, 125/6, 160/6, 200/8, 250/10, 315/12

Примечание. В скобках указаны фрезы других исполнений.

Таблица 2П – Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин (ГОСТ 26595–85)

Исполнение	Диаметр, мм	Число зубьев z	Обозначение фрез с пластинами формы:				
			3-гранной $\varphi = 90^\circ$	4-гранной $\varphi = 75^\circ$	5-гранной $\varphi = 67^\circ$	круглой	
А	50	5	2214-0351	2214-0353	2214-0355	2214-0357	
	63	6	2214-0359	2214-0362	2214-0364	2214-0366	
	80	8	2214-0368	2214-0371	2214-0373	2214-0375	
В		10	2214-0377	2214-0379	2214-0382	2214-0384	
А	100	8	2214-0386	2214-0388	2214-0391	2214-0393	
		10	2214-0395	2214-0397	2214-0399	2214-0402	
В		8	2214-0404	2214-0406	2214-0271	2214-0537	
		10	2214-0409	2214-0412	2214-0533	2214-0291	
		125	8	2214-0415	2214-0417	2214-0273	2214-0538
			12	2214-0421	2214-0423	2214-0535	2214-0292
160	14	2214-0539	2214-0542	2214-0544	2214-0293		
	10	2214-0547	2214-0549	2214-0275	2214-0552		
В	200	12	2214-0554	2214-0556	2214-0277	2214-0558	
		16	2214-0561	2214-0563	2214-0565	2214-0294	
	С	160	10	2214-0426	2214-0428	2214-0431	2214-0433
			16	2214-0435	2214-0437	2214-0439	2214-0442
С	200	12	2214-0444	2214-0446	2214-0448	2214-0451	
		20	2214-0453	2214-0455	2214-0457	2214-0459	
	250	14	2214-0462	2214-0464	2214-0466	2214-0468	
		28	2214-0471	2214-0473	2214-0475	2214-0477	
315	18	2214-0479	2214-0482	2214-0484	2214-0486		
	30	2214-0488	2214-0491	2214-0493	2214-0495		
400	20	2214-0497	2214-0499	2214-0502	2214-0504		
	40	2214-0506	2214-0508	2214-0511	2214-0513		
500	26	2214-0515	2214-0517	2214-0519	2214-0522		
	50	2214-0524	2214-0526	2214-0528	2214-0531		

Предназначены для черновой и получистовой обработки конструкционных и легированных сталей и чугуна. Исполнение А и В – закрепляются на оправках, исполнение С – закрепляются на конце шпинделя. Исполнение А – периферийно-торцовые, исполнение В – торцовые, исполнение С – периферийно-торцовые фрезы.

Пример условного обозначения торцовой фрезы диаметром 100 мм, праворежущей, с механическим креплением трехгранных пластин из твердого сплава с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$, с числом зубьев 8 исполнения А:

Фреза 2214 – 0386 ГОСТ 26595–85;

Фреза 2214 – 0386 М ГОСТ 26595–85 (для минералокерамики);

Фреза 2214 – 0386 Б ГОСТ 26595–85 (для безвольфрамовых твердых сплавов).

Таблица 3П – Фрезы торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава (ГОСТ 24359–80)

Обозначение	D, мм	z	Обозначение	D, мм	z
2214–0001	100	8	2214–0011	250	14
2214–0003	125	8	2214–0013	315	18
2214–0005	160	10	2214–0015	400	20
2214–0007	200	12	2214–0017	500	26
			2214–0019	630	30

Примечания:

1. Фрезы выпускаются с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$.

2. Фрезы диаметром от 250 до 630 мм выпускаются в исполнении 1 и 2, отличающиеся величиной утопания элемента крепления зуба. Фрезы исполнения 2 имеют большую величину утопания, поэтому предпочтительнее. Фрезы исполнения 1 имеют обозначения 2214-0301, 2214-0303, 2214-0305, 2214-0307, 2214-0309 соответственно.

Пример условного обозначения праворежущей торцовой фрезы с ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава марки Т5К10 диаметром 200 мм и углом $\varphi = 60^\circ$: Фреза 2214-0007 Т5К10 60° ГОСТ 24359–80.

Таблица 4П – Область применения цилиндрических фрез

Наименование фрез	Применение фрез
С мелким зубом	1. Получистовое фрезерование с глубиной резания $t = 1...2$ мм; 2. Получистовое фрезерование с глубиной резания $t = 3...4$ мм без предварительного чернового прохода; 3. Черновое фрезерование с глубиной резания $t = 3...5$ мм и неустойчивых деталей
С крупным зубом	1. Черновое фрезерование с глубиной резания $t = 3...8$ мм; 2. Получистовое фрезерование с глубиной резания $t = 1...2$ мм (применяется после чернового прохода без перестановки фрезы); 3. Получистовое фрезерование с глубиной резания $t = 3...4$ мм без предварительного чернового прохода
Сборные составные	Черновое фрезерование с глубиной резания $t = 5...12$ мм при обработке широких плоскостей (до 150...200 мм) за один проход на мощных специализированных станках

**Таблица 5П – Фрезы цилиндрические с мелким и крупным зубом
из быстрорежущей стали (ОСТ 27-72-287–79)**

<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>z</i>
40* ¹	16* ¹	40* ¹ ; 50* ¹ ; 63* ¹	10* ¹
50; 50* ²	22	50; 63; 80	10; 6* ²
63	27	50; 63; 80; 100	14; 8* ²
80	32	63; 80; 100; 125	16; 10* ²
100; 100* ²	40	80; 100; 125; 160	18; 12* ²

Примечания:

*¹ – только для фрез с мелким зубом;

*² – только для фрез с крупным зубом.

Таблица 6П – Марки твердого сплава для фрез

Вид фрезерования	Марки твердого сплава для торцовых фрез при обработке			
	углеродистой и легированной незакаленной стали	труднообрабатываемой стали	чугуна	
			НВ 240	НВ 400...700
Черновое	T5K10, T5K12Б ТТ7К12Б, ТТ10К8Б	ВК8 ВК10-ОМ ВК15-ОМ	ВК8 ВК10 ВК15	–
Получистовое	T15K6, T14K8	ВК8 ВК6-ОМ ВК10-ОМ	ВК6 ВК6М	ВК6М
Чистовое	T15K6, Т30К4	ВК8 ВК6М	ВК2, ВК3, ВК3М, ВК4	ВК3М

Примечание. В обозначении сплавов типа ВК в конце буква М означает мелкозернистую структуру, буквы ОМ – особо мелкозернистую структуру.

Таблица 7П – Геометрические элементы режущей части торцовых фрез с пластинами из твердого сплава

Обрабатываемый материал	Передний угол, γ	Задний угол для работы с подачей в мм/зуб,		Угол в плане			Угол наклона режущей кромки, λ
		$\alpha_n = \alpha_1$		главный, φ	переходной кромки, φ_0	вспомогательный, φ_1	
		$< 0,25$	$> 0,25$				
Стали конструкционные углеродистые: $\sigma_B \leq 800$ МПа; $\sigma_B > 800$ МПа	-5° -10°	12...16°	6...8°	15...60°	$\varphi/2$	5°	12...15°
Чугун серый НВ 200	+5°	12...15°	6...8°	15...60°	$\varphi/2$	5°	12...15°
Чугун ковкий	+7°	6...8°	6°	60°	$\varphi/2$	2°	12...15°

Таблица 8П – Геометрические элементы режущей части торцовых фрез из быстрорежущей стали Р18

1. Передние углы γ

Фрезы	Сталь, σ_B МПа			Чугун, НВ		
	< 600	600...1000	> 1000	< 150	150...220	> 220
Торцовые	20°	15°	10°	15°	10°	5°

2. Задние углы α

Фрезы торцовые	Главный α_n	Торцовый α_1
с мелкими зубьями;	16°	8°
со вставными ножами и крупными зубьями	12°	8°

3. Углы в плане φ , φ_1 и переходной кромки φ_n

Фрезы торцовые для обработки стали	Главный φ	Вспомогательный φ_1	Переходной кромки φ_n	Длина переходной кромки, f , мм
со вставными ножами	45...60°	1...2°	–	–
цельные	90°	1...2°	45°	1...2

Таблица 9П – Подачи при черновом фрезеровании торцовыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	Схема фрезерования	Сталь		Чугун	
		Подача на зуб фрезы s_z , мм/зуб			
		T15K6	T5K10	BK6	BK8
5...10	симметричное неполное (рисунок 3а)	0,09...0,14	0,12...0,14	0,14...0,18	0,20...0,24
	несимметричное встречное (рисунок 3б)	0,18...0,22	0,24...0,28	0,28...0,36	0,38...0,45
свыше 10	симметричное неполное (рисунок 3а)	0,12...0,15	0,16...0,20	0,18...0,24	0,25...0,32
	несимметричное встречное (рисунок 3б)	0,24...0,30	0,32...0,40	0,38...0,48	0,50...0,64

Таблица 10П – Подачи при черновом фрезеровании торцовыми и цилиндрическими фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	Сталь		Чугун и медные сплавы	
	Подача на зуб фрезы s_z , мм/зуб			
	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 подач следует уменьшить на 30 %;
2. При фрезеровании с приведенными в таблице подачами достигается параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,8...1,6$ мкм.

Таблица 11П – Подачи при черновом фрезеровании торцовыми и цилиндрическими фрезами из быстрорежущей стали

Мощность станка или фрезерной головки, кВт	Жесткость системы заготовка–приспособление	Фрезы			
		торцовые		цилиндрические	
		Подача на зуб s_z 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...0,20	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...0,20
	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...0,20	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

Примечания. Большие значения подач брать для меньшей глубины и ширины фрезерования, меньшие – для больших значений глубины и ширины.

Таблица 12П – Подачи на оборот фрезы s_0 , мм/об, при чистовом фрезеровании: А – торцовыми фрезами из быстрорежущей стали

Параметр шероховатости Ra , мкм	Сталь 45, 40X (прокат)	Сталь 35	Сталь 45 улучшенная	Сталь 10, 20, 20X
5,0...2,5	1,2...0,50	1,4...0,50	2,6...1,00	1,8...0,70
2,5...1,25	0,5...0,23	0,5...0,30	1,0...0,40	0,7...0,30

Примечание. Подачи даны для фрез из быстрорежущей стали с углом $\varphi_1 = 2^\circ$.
Для фрез с $\varphi_1 = 0^\circ$ подачи можно увеличить на 50...80 %.

Б – торцовыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Обрабатываемый материал – сталь	Угол φ_1	Параметр шероховатости Ra , мкм (класс)			
		5,0...2,5 (5 класс)	2,5...1,25 (6 класс)	1,25...0,63 (7 класс)	0,63...0,32 (8 класс)
$\sigma_B < 700$ МПа	5°	0,80...0,50	0,55...0,40	0,25...0,20	0,15
	2°	1,6...1,0	1,1...0,80	0,50...0,40	0,30
$\sigma_B \geq 700$ МПа	5°	1,0...0,7	0,60...0,45	0,30...0,20	0,20...0,16
	2°	2,0...1,4	1,2...0,90	0,60...0,40	0,40...0,30

Таблица 13 – Подачи при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Торцовые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы, мм, в зависимости от обрабатываемого материала					
	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40...85	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...0,03	–	–	–	–	–	–	–
0,4	0,15	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 14П – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания

Фрезы	Материал режущей части	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* ¹	–	–	–	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5* ²	–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	64,7 441	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Цилиндрические	T15K6* ¹	≤ 35	≤ 2 > 2	–	390 443	0,17	0,19 0,38	0,28	0,05	0,1	0,33
		> 35	≤ 2 > 2		616 700						
	P6M5* ²	–	–	$\leq 0,1$ > 0	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
	Обработка серого чугуна, HB 190										
Торцовые	BK6* ¹	–	–	–	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	P6M5* ¹	–	–	–	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндрические	BK6* ¹	–	$< 2,5$	$\leq 0,2$ $> 0,2$	923 588	0,37	0,13	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42
			$\geq 2,5$	$\leq 0,2$ $> 0,2$	1180 750			0,37			
	P6M5* ¹	–	–	$\leq 0,15$ $> 0,15$	57,6 27	0,7	0,5	0,2 0,6	0,3	0,3	0,25
	Обработка ковкого чугуна, HB 150										
Торцовые	BK6* ¹	–	–	$\leq 0,18$ $> 0,18$	994 695	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
	P6M5* ²	–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	90,5 57,4	0,25	0,1	0,2 0,4	0,158	0,1	0,2
Цилиндрические	P6M5* ²	–	–	$\leq 0,1$ $> 0,1$	77 49,5	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33

Примечание: *¹ без охлаждения; *² с охлаждением.

Таблица 15П – Средние значения периода стойкости фрез

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 со вставными ножами и цельные с крупным зубом	–			180				240	–			
Цилиндрические цельные с мелким зубом	–	120	180	–								

Таблица 16 П – Поправочный $K_{\mu v}$, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{\mu v} = K_r(750/\sigma_B)^{n_v}$
Серый чугун	$K_{\mu v} = (190/HB)^{n_v}$
Ковкий чугун	$K_{\mu v} = (150/HB)^{n_v}$

Примечания:

1. σ_B и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания.
2. Коэффициент K_r , характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_v приведены в таблице 18.

Таблица 17П – Значения коэффициента K_r и показатели степени n_v в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости $K_{\mu v}$

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r для материала инструмента		Показатели степени n_v при обработке фрезами	
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь:				
• углеродистая ($C \leq 0,6 \%$):				
$\sigma_B < 450$ МПа	1,0	1,0	-0,9	1,0
$\sigma_B = 450.550$ МПа	1,0	1,0	-0,9	1,0
$\sigma_B > 550$ МПа	1,0	1,0	-0,9	1,0
• повышенной и высокой обрабатываемости резанием	1,2	1,1	–	1,0
• углеродистая ($C > 0,6 \%$)	0,8	0,9	1,35	1,0
• быстрорежущая	0,6	0,7	1,0	1,0
Чугун:				
серый	–	–	0,95	1,25
ковкий	–	–	0,85	1,25

Таблица 18П – Средние значения периода стойкости торцовых фрез

Диаметр фрезы, мм	40...50	65...125	160...200	250...315	400...650
Стойкость, мин	120	180	240	300	800

Таблица 19П – 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 20П – Поправочный коэффициент K_{uv} , учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{uv} в зависимости от марки инструментального материала						
	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T30K4	BK8	P18
Сталь конструкционная	0,35	0,65	0,8	1,0	1,4	0,4	0,3
Сталь закаленная	HRC 35...50				HRC 51...62		
	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			
	0,83	1,0	1,1	1,15			

Таблица 21П – Значения коэффициента K_{ϕ} в зависимости от величины угла ϕ

ϕ	15°	30°	45°	60°	75°	90°
K_{ϕ}	1,6	1,25	1,1	1,0	0,93	0,87

Таблица 22П – Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле главной составляющей силы резания P_z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_B = 750$ МПа							
Торцовые	Твердый сплав	82,5	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обработка серого чугуна, HB 190							
Торцовые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	Быстрорежущая сталь	50,0	0,9	0,72	1,14	1,14	0
Цилиндрические	Твердый сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обработка ковкого чугуна, HB 150							
Торцовые	Твердый сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические	Быстрорежущая сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Примечание. 1. Окружную силу P_z при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать как для стали, с введением коэффициента 0,25. 2. Окружная сила P_z , рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_B < 600$ МПа) в 1,75...1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,3...1,4 раза.

Таблица 23П – Поправочный коэффициент $K_{\mu p}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n_p при определении окружной силы резания
Конструкционная углеродистая и легированная сталь: $\sigma_B \leq 600$ МПа $\sigma_B > 600$ МПа	$K_{\mu p} = (\sigma_B/750)^{np}$	0,3 / 0,3 0,3 / 0,3
Серый чугун	$K_{\mu p} = (HB/190)^{np}$	1,0 / 0,55
Ковкий чугун	$K_{\mu p} = (HB/150)^{np}$	1,0 / 0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени n_p для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.

Таблица 24П – Поправочный коэффициент $K_{v p}$ на окружную силу резания в зависимости от скорости резания

При скорости v , м/мин	100	200	300	400	500	600	700
$K_{v p}$ при положительных значениях передних углов	1,0	0,92	0,86	0,83	0,80	0,78	0,77
$K_{v p}$ при отрицательных значениях передних углов	1,0	0,87	0,80	0,77	0,73	0,71	0,70

Таблица 25П – Поправочные коэффициенты $K_{\gamma p}$ и $K_{\phi p}$ на окружную силу резания в зависимости от углов зубьев фрезы

Передний угол, γ°	-20°	-15°	-10°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°
$K_{\gamma p}$	1,39	1,32	1,26	1,12	1,07	1,00	0,94	0,87

Угол в плане, ϕ°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$K_{\phi p}$	1,24	1,15	1,06	1,00	1,04	1,08

Таблица 26П – Относительные значения составляющих силы резания

Фрезерование	$P_T : P_z$	$P_v : P_z$	$P_y : P_z$	$P_x : P_z$
Фрезы цилиндрические				
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		
Фрезы торцевые				
Симметричное	0,3...0,4	0,85...0,95	0,3...0,4	0,5...0,55
Несимметричное встречное	0,6...0,8	0,6...0,7		
Несимметричное попутное	0,2...0,3	0,9...1,0		

Таблица 27П – Паспортные данные вертикально-фрезерных станков

Станок	Паспортные данные
6P13	<p>Рабочая поверхность стола – 400 × 1600 мм. Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 11$ кВт; <i>кпд</i> станка $\eta = 0,8$. Частота вращения шпинделя, мин^{-1}: 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Поддачи стола продольные и поперечные (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1050. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{\text{доп}} = 15\ 000$ Н</p>
6P12	<p>Рабочая поверхность стола – 520 × 1250 мм. Мощность электродвигателя – $N_3 = 7,5$ кВт; <i>кпд</i> станка – 0,7. Частота вращения шпинделя, мин^{-1}: 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Продольные поддачи стола (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{\text{доп}} = 15\ 000$ Н</p>
6P11	<p>Рабочая поверхность стола – 250 × 1000 мм. Мощность электродвигателя $N_3 = 5,5$ кВт; <i>кпд</i> станка – 0,8. Частота вращения шпинделя, мин^{-1}: 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Продольные поддачи стола (мм/мин): 35; 45; 55; 65; 85; 115; 135; 170; 210; 270; 330; 400; 530; 690; 835; 1020. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{\text{доп}} = 10\ 000$ Н</p>
6H13	<p>Рабочая поверхность стола – 400 × 1600 мм. Мощность электродвигателя $N_3 = 10$ кВт; <i>кпд</i> станка – 0,75. Частота вращения шпинделя, мин^{-1}: 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180; 1500. Поддачи стола (мм/мин): 23; 30; 37; 47; 60; 75; 95; 110; 150; 190; 240; 300; 370; 470; 600; 750; 1200. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{\text{доп}} = 20\ 000$ Н</p>
6H12	<p>Рабочая поверхность стола – 320 × 1250 мм. Мощность электродвигателя $N_3 = 7$ кВт; <i>кпд</i> станка – 0,75. Частота вращения шпинделя, мин^{-1}: 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180; 1500. Поддачи стола (мм/мин): 19; 23,5; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 900. Наибольшее усилие – $P_{\text{доп}} = 15\ 000$ Н.</p>

Таблица 28П – Паспортные данные горизонтально-фрезерных станков

Станок	Паспортные данные
6П80	Рабочая поверхность стола – 200 × 800 мм; Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 3$ кВт; КПД станка $\eta = 0,7$; Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹ : 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600; 2240; Поддачи стола продольные и поперечные (мм/мин): 31,5; 22,4; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{доп} = 8000$ Н
6Н81	Рабочая поверхность стола – 250 × 1000 мм; Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 5,8$ кВт; КПД станка $\eta = 0,7$; Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹ : 65; 80; 100; 125; 160; 210; 255; 300; 380; 490; 725; 945; 1225; 1500; 1800; Поддачи стола продольные и поперечные (мм/мин): 35; 40; 50; 65; 85; 105; 125; 165; 205; 250; 300; 390; 510; 620; 755; 980; Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{доп} = 15\ 000$ Н.
СФ676	Рабочая поверхность стола – 630 × 250 мм; Мощность электродвигателя главного движения $N_3 = 3$ кВт; КПД станка $\eta = 0,8$; Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹ : 63; 80; 100; 120; 160; 205; 255; 315; 410; 515; 640; 790; 1060; 1330; 1655; 2040; Поддачи стола продольные и поперечные (мм/мин): 13; 17; 21; 26; 33; 42; 52; 64; 82; 104; 130; 160; 200; 225; 320; 395; Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, $P_{доп} = 8000$ Н

Таблица 29П – Вспомогательное время на установку и снятие детали

Способ установки	Масса детали, кг, до					
	1	3	5	10	20	30
	Время, мин					
В центрах	0,2	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4
В трехкулачковом патроне	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	–
В тисках с простой выверкой	0,3	0,6	0,7	0,8	1,0	–
В тисках с выверкой средней сложности	0,4	0,9	1,2	1,5	2,0	–
На призмах	0,6	1,0	1,3	1,5	2,1	2,4
На столе с простой выверкой	0,7	0,9	1,2	1,6	1,8	2,2
На столе с выверкой средней сложности	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	3,0

Таблица 30П – Вспомогательное время на рабочий ход

Операции	Время, мин
Обработка плоскостей (первый ход с двумя пробными стружками)	1,0
Обработка плоскостей (первый ход с одной пробной стружкой)	0,7
Обработка плоскостей (последующие ходы)	0,1
Обработка пазов (последующие ходы с одной пробной стружкой)	0,8
Обработка пазов (последующие ходы)	0,2

Таблица 31П – Подготовительно-заключительное время

Способ установки	Время, мин
На столе с креплением болтами и планками	24
В тисках	22
В центрах	28
В трехкулачковом патроне	16
В спецприспособлении	27

Таблица 32П – Вспомогательное время на измерения

Измерительный инструмент	Точность измерения, мм; квалитет	Измеряемый размер, мм		
		100	500	1000
		Время, мин		
Линейка	–	0,06	0,09	0,11
Угольник	–	0,10	0,24	–
Штанга раздвижная	–	–	0,17	0,21
Штангенциркуль	0,1 мм	0,13	0,20	0,44
	0,02 мм	0,25	0,35	0,66
Микрометр	0,1 мм	0,22	0,30	–
Скоба двухсторонняя	11...13	0,07	–	–
	6...10	0,16	–	–
Скоба односторонняя	11...13	0,06	0,13	–
	6...10	0,06	0,20	–
Нутромер	0,01 мм	0,15	0,18	0,34
Пробка двухсторонняя предельная	9...10	0,13	–	–
	6...8	0,18	–	–
Индикатор	6...10	0,08	–	–

Таблица 33П – Значения параметров шероховатости

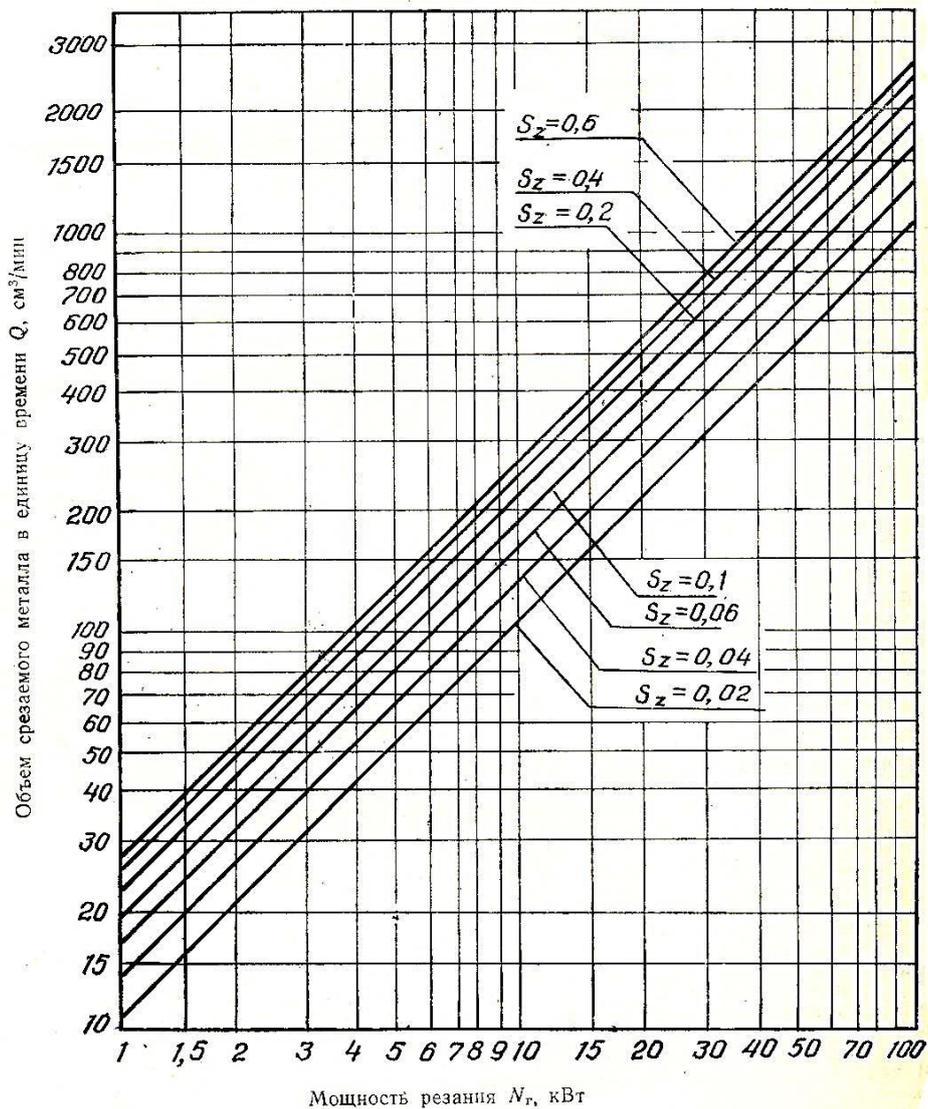
Класс шероховатости (справочно)	Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина <i>l</i> , мкм
	<i>Ra</i>	<i>Rz</i>	
–	–	1600;1250;1000;800	25
–	<u>100</u>	630; 500; <u>400</u>	25
1	80; 63; <u>50</u> ; 40	320; 250; <u>200</u> ; 160	8
2	40; 32; <u>25</u> ; 20	160; 125; <u>100</u> ; 80	8
3	20; 16; <u>12,5</u> ; 10	80; 63; <u>50</u> ; 40	8
4	10; 8,0; <u>6,3</u> ; 5,0	40; 32; <u>25</u> ; 20	2,5
5	5,0; 4,0; <u>3,2</u> ; 2,5	20; 16; <u>12,5</u> ; 10,0	2,5
6	2,5; 2,0; <u>1,6</u> ; 1,25	10; 8; 6,3	0,8
7	1,25; 1,00; <u>0,80</u> ; 0,63	6,3; 5,0; 4,0; <u>3,2</u>	0,8
8	0,63; 0,50; <u>0,40</u> ; 0,32	3,2; 2,5; 2,0; <u>1,60</u>	0,8
9	0,32; 0,35; <u>0,20</u> ; 0,16	1,6; 1,25; <u>1,0</u> ; 0,80	0,025
10	0,16; 0,125; <u>0,10</u> ; 0,08	0,80; 0,63; 0,50; <u>0,40</u>	0,025
11	0,08; 0,063; <u>0,05</u> ; 0,04	0,40; <u>0,32</u> ; 0,20	0,025
12	0,04; 0,032; <u>0,025</u> ; 0,020	0,20; 0,16; 0,125; <u>0,100</u>	0,025
13	0,02; 0,016; <u>0,012</u> ; 0,010	0,10; 0,08; 0,063; <u>0,050</u>	0,08
14	0,01; 0,008	0,05; 0,04; 0,032; <u>0,025</u>	0,08

Примечание. 1. Параметр *Ra* является предпочтительным. 2. Предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

Таблица 34П – Коэффициент, зависящий от материала и его твердости

Обрабатываемый материал	Значение K	Обрабатываемый материал	Значение K
Конструкционная сталь твердостью НВ:		Серый, ковкий и высокопрочный чугуны твердостью НВ:	
До 200	0,95	До 160	0,56
230	1,00	190	0,65
270	1,05	220	0,75
300	1,12	270	0,85
		300	0,90

Примечание. Для алюминиевых сплавов $K = 0,3$.



Номограмма для торцовых фрез

Приложение 3. Сверление

Таблица 1П – Основные технические данные сверлильных станков

Тип станка	Вертикально-сверлильный				Радикально-сверлильный
	Модели станков				
Параметры	2Н118	2Н125	2Н135	2Н150	2В56
1. Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия в заготовке из стали, мм	18	25	35	50	50
2. Размер конуса шпинделя (Морзе №)	2	3	4	5	5
3. Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	180; 250; 350; 500; 700; 1000; 1400; 2000; 2800	45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000	31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400	22; 32; 45; 63; 89; 123; 176; 248; 350; 493; 645; 980	125; 200; 260; 320; 410; 500; 650; 800; 1050; 1650
4. Подача, мм/об	0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56	0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6	0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6	0,05; 0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6; 2; 2,24	0,15; 0,19; 0,24; 0,33; 0,42; 0,53; 0,75; 0,95; 1,18
5. Максимальная осевая сила резания, Н	5600	9000	15000	23500	18000
6. Максимальный крутящий момент, Н·м	88	250	400	800	550
7. Мощность электродвигателя главного движения, кВт	1,5	2,8	4,5	7,5	5,5
8. КПД привода станка	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Таблица 2П – Основные технические данные токарных станков

1. Частота вращения шпинделя в числителе и наибольший допустимый момент на шпинделе в знаменателе, мин⁻¹/Н·м

Номер ступени	1A62, 1A62Б, 1A62Г	1B62Г	1K62	16K20
1	11,5 1200	10 1100	12,5 1300	12,5 1300
2	14,5 1200	12,5 1100	16 1300	16 1300
3	19 1200	16 1100	20 1300	20 1300
4	24 1200	20 1100	25 1300	25 1300
5	30 1200	25 1100	31,5 1300	31,5 1300
6	37,5 1200	31,5 1100	40 1300	40 1300
7	46 1200	40 1100	50 1300	50 1300
8	58 980	50 1100	63 1240	63 1050
9	76 750	63 934	80 975	80 885
10	96 590	80 787	100 780	100 670
11	120 475	100 625	125 620	125 530
12	150 380	125 501	160 490	160 405
13	184 310	160 325	200 390	200 380
14	230 245	200 312	250 310	250 300
15	305 188	250 250	315 260	315 240
16	380 148	315 195	400 202	400 180
17	480 120	400 152	500 154	500 146
18	600 89	500 125	630 119	630 114
19	370 170	400 145	630 125	800 90
20	460 134	500 123	800 93	1000 70
21	610 94	630 95	1000 70	1250 555
22	770 70	800 78	1250 54,5	1600 41,8
23	960 53	1000 55	1600 42	
24	1200 40	1250 47	2000 30	

2. Мощность электродвигателя главного движения, КПД станка, значение продольных подач, а также значения допустимых усилий подач токарных станков

Станков 1А62, 1А62Б, 1А62Г

Мощность электродвигателя главного движения $N_s = 7$ кВт, КПД станка $\eta = 0,75$.

Продольные подачи станка: 0,082; 0,088; 0,10; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16; 0,18; 0,25; 0,23; 0,24; 0,25; 0,28; 0,30; 0,33; 0,35; 0,40; 0,45; 0,48; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,71; 0,80; 0,91; 0,96; 1,00; 1,11; 1,21; 1,28; 1,46; 1,59.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи 3600 Н.

Станок 1В62Г

Мощность электродвигателя главного движения $N_s = 7,5$ кВт, КПД станка $\eta = 0,786$.

Продольные подачи станка: 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи 7500 Н.

Станок 1К62

Мощность электродвигателя главного движения $N_s = 10$ кВт, КПД станка $\eta = 0,8$.

Продольные подачи станка: 0,070; 0,074; 0,084; 0,097; 0,11; 0,12; 0,13; 0,14; 0,15; 0,17; 0,195; 0,21; 0,23; 0,26; 0,28; 0,30; 0,34; 0,39 ; 0,43; 0,47; 0,52; 0,57; 0,61; 0,70; 0,78; 0,87; 0,95; 1,04; 1,14; 1,21; 1,4; 1,56; 1,74; 1,9; 2,08; 2,28; 2,42; 2,8; 3,12; 3,48; 3,8; 4,16.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи 3600 Н.

Станок 16К20

Мощность электродвигателя главного движения $N_s = 10$ кВт, КПД станка $\eta = 0,75$.

Продольные подачи станка: 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8.

Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи 6000 Н.

Таблица 3П – Выбор марок быстрорежущей стали для режущих инструментов

Марка стали	Прочность, износостойкость	Шлифуемость	Изготавливаемый инструмент
P18	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при малых и средних скоростях резания	Удовлетворительная	Режущий инструмент всех видов, в том числе для обработки обычных конструкционных материалов в условиях динамических нагрузок
P9	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при средних и повышенных скоростях резания	Пониженная по сравнению со сталью P18	Простой формы с малым объемом шлифовальных поверхностей (резцы, сверла, зенкеры и др.)
P6M5	Повышенная прочность, более узкий, чем у стали P18, интервал оптимальных закалочных температур, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена	Удовлетворительная	Тот же, что и для стали P18
P10K5Ф5	Повышенная вторичная твердость, высокая износостойкость	Низкая, рекомендуется применение эльборовых шлифовальных кругов	Простой формы с малым объемом шлифовальных поверхностей (резцы, сверла, зенкеры и др.), для обработки высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей
P9K5	Повышенная вторичная твердость		Для обработки сталей и сплавов повышенной твердости и вязкости: пригодна для работы с ударом
P9K10	Повышенная вторичная твердость, пониженная ударная вязкость	Пониженная близкая к стали P9	С малым объемом шлифовальных поверхностей, для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных, а также повышенной твердости и вязкости сталей и сплавов

Таблица 4П – Выбор марок твердого сплава для сверл, зенкеров, разверток

Виды и характер обработки	Марка твердого сплава при обработке								
	углеродистой и легированной	трудно-обрабатываемых материалов	коррозионно-стойкой стали	закаленной стали	титана и сплавов на его основе	чугуна		цветных металлов и их сплавов	неметаллических материалов
						HB240	HB 400–700		
Сверление не глубоких (нормальных) отверстий	T5K10 T5K12B BK8 BK8B	T5K12B	T5K12B BK8B		BK8 BK8B				
Сверление глубоких отверстий	T15K8 T14K8 T5K10 T5K12B BK8	T17K12 BK8B BK8	BK8			BK4 BK6 BK8	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8	BK3 BK4
Расверливание неглубоких (нормальных) предварительно просверленных отверстий	T14K8 T5K10 T15K6	BK4 BK8	BK8	T14K8 T5K10 BK8	T14K8 T5K10 BK8	BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK6M BK3 BK4 BK3M	BK3 BK3M
Расверливание неглубоких (нормальных) отверстий в литых, кованных или штампованных деталях	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 T17K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8B BK8			BK4 BK6 BK8		BK4 BK6 BK8	
Расверливание глубоких предварительно просверленных отверстий	T15K6 T14K8	BK4 BK8		T14K8 T5K10 BK8		BK3 BK3M BK4	BK6M BK4	BK3 BK3M BK4	BK3 BK3M BK4

Продолжение таблицы 4П

Рассверливание глубоких отверстий и литых, кованных и штампованных деталях	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 T17K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8 BK4			BK8M BK8		BK4 BK8	
Черновое зенкерование	T15K6 T14K8 T5K10 BK8	T5K10 BK4 BK8	BK6M BK4		BK4 BK8	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK4 BK6 BK8	BK4 BK6
Получистовое и чистовое зенкерование	T30K4 T14K6 T14K8	T15K6 T14K8 T5K10 BK6M	BK6M		BK4 BK8	BK3 BK3M BK4	BK4	BK3 BK3M BK4	
Предварительное и окончательное развертывание	T30K4 T15K6	T30K4 T15K6 BK6M BK3M	BK6M BK4	T30K4 BK8M BK6M	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M BK6M	BK6M BK3M		

Таблица 5П – Основные типы и размеры сверл

Наименование	ГОСТ	Диаметр сверла, Д, мм	Длина сверла, L, мм	Длина рабочей части, l, мм
Сверла спиральные с быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком: ✓ короткая серия ✓ средняя серия ✓ длинная серия	4010–77	0,5–20	20–131	3–60
	10902–77	0,3–20	19–205	3–140
	886–77	1,0–20	56–254	33–166
Сверла, спиральные с быстрорежущей стали с коническим хвостовиком ✓ удлиненные ✓ длинные	2092–77	6–30	225–395	145–275
	12121–77	6–30	160–350	80–230
Сверла спиральные из быстрорежущей стали для трудно обрабатываемых материалов: ✓ средняя серия ✓ короткая серия	20697–75	6–20	140–240	60–140
	20696–75	6–20	105–180	30–180
С цилиндрическим хвостовиком, средняя серия	20695–75	3–10	60–135	32–90
Сверла твердосплавные и оснащенные пластинами из твердого сплава: спиральные с цилиндрическим хвостовиком: ✓ укороченная серия ✓ нормальная серия	22735–77	5–16	70–188	36–80
		5–16	85–178	62–120
Спиральные с коническим хвостовиком: ✓ укороченная серия ✓ нормальная серия	22736–77	10–30	140–275	60–125
		10–30	168–324	87–175

Таблица 6П – Размеры и обозначение спиральных сверл с цилиндрическим хвостовиком: длинная серия (общего назначения) (ГОСТ 886–77)

Обозначение сверл	Диаметр, Д, мм	Общая длина, L, мм	Длина рабочей части, l, мм	Обозначение сверл	Д	L	l
2300-2151	1,95	85	56	2300-6974	6,2	148	97
2300-0001	2,00	85	56	2300-6976	6,4	148	97
2300-0005	2,20	90	59	2300-6977	6,5	148	97
2300-0008	2,50	95	62	2300-6979	6,7	148	97
2300-0012	2,70	100	66	2300-6981	6,8	156	102
2300-0015	3,00	100	66	2300-6983	7,0	156	102
2300-0018	3,20	105	69	2300-6985	7,2	156	102
2300-0022	3,50	112	73	2300-6988	7,5	156	102
2300-0024	3,70	112	73	2300-6991	7,7	165	109
2300-0026	3,90	119	78	2300-6992	7,8	165	109
2300-0027	4,0	119	78	2300-6994	8,0	165	109
2300-0029	4,2	119	78	2300-6997	8,3	165	109
2300-0031	4,5	126	82	2300-6998	8,4	165	109

Продолжение таблицы 6П

2300-2160	4,7	126	82	2300-6999	8,5	165	109
2300-0033	4,8	132	87	2300-7001	8,6	175	115
2300-0061	4,9	132	87	2300-7002	8,7	175	115
2300-0034	5,0	132	87	2300-7003	8,8	175	115
2300-6963	5,2	132	87	2300-7005	9,0	175	115
2300-6966	5,5	139	91	2300-7007	9,2	175	115
2300-6968	5,7	139	91	2300-7009	9,4	175	115
2300-6969	5,8	139	91	2300-7011	9,5	175	115
2300-6971	5,9	139	91	2300-7013	9,7	184	121
2300-6972	6,0	139	91	2300-7014	9,8	184	121
				2300-7016	10,0	184	121

Примечание. Пример условного обозначения сверла общего назначения диаметром $D = 9,0$ мм. Сверло 2300-7005 ГОСТ 886-77.

Таблица 7П – Размеры и обозначение спиральных удлиненных сверл с коническим хвостовиком общего назначения (ГОСТ 2092-77)

Обозначение сверл	Диаметр, D , мм	Общая длина, L , мм	Длина рабочей части, l , мм	Конус Морзе	Обозначение сверл	D	L	l	Конус Морзе
2301-0371	6,0	225	145	1	2301-0410	12,5	260	180	1
2301-0373	6,2	230	150	1	2301-0502	12,5	260	180	1
2301-0477	6,4	230	150	1	2301-0412	13,0	260	180	1
2301-0375	6,5	230	150	1	2301-0414	13,5	265	185	1
2301-0376	6,7	230	150	1	2301-0505	13,8	265	185	1
2301-0479	6,8	235	155	1	2301-0416	14,0	265	185	1
2301-0377	7,0	235	155	1	2301-0418	14,5	290	190	2
2301-0379	7,2	235	155	1	2301-0506	14,74	290	190	2
2301-0381	7,5	235	155	1	2301-0420	15,0	290	190	2
2301-0384	7,8	240	160	1	2301-0423	15,5	295	195	2
2301-0385	8,0	240	160	1	2301-0424	16,0	295	195	2
2301-0388	8,3	240	160	1	2301-0426	16,5	300	200	2
2301-0390	8,5	240	160	1	2301-0427	17,0	300	200	2
2301-0391	8,7	245	165	1	2301-0431	18,0	305	205	2
2301-0483	8,8	245	165	1	2301-0433	18,5	310	210	2
2301-0393	9,0	245	165	1	2301-0435	19,0	310	210	2
2301-0484	9,2	245	165	1	2301-0438	19,5	320	220	2
2301-0395	9,5	245	165	1	2301-0439	20,0	320	220	2
2301-0487	9,8	250	170	1	2301-0443	21,0	330	230	2
2301-0398	10,0	250	170	1	2301-0446	22,0	335	235	2
2301-0400	10,2	250	170	1	2301-0449	23,0	340	240	2
2301-0402	10,5	250	170	1	2301-0453	24,0	365	245	3
2301-0491	10,8	255	175	1	2301-0457	25,0	365	245	3
2301-0404	11,0	255	175	1	2301-0459	26,0	375	255	3
2301-0406	11,5	255	175	1	2301-0464	27,0	385	265	3

Продолжение таблицы 7П

2301-0496	11,8	255	175	1	2301-0458	28,0	385	265	3
2301-0409	12,0	260	180	1	2301-0470	29,0	395	275	3
					2301-0476	30,0	395	275	3

Примечание. Пример условного обозначения сверла общего назначения диаметром $D = 15$ мм. Сверло 2301-0426 ГОСТ 2092-77.

Таблица 8П – Размеры и обозначение спиральных сверл с коническим хвостовиком, оснащенных пластинами из твердого сплава (ГОСТ 22736–77)

Обозначение сверл общего назначения нормальной длины	Диаметр, D , мм	Конус Морзе	Общая длина, L , мм	Длина рабочей части, l , мм
2301-1378	10,00	1	168	87
2301-1382	10,5	1	168	87
2301-1384	11,0	1	175	94
2301-1386	11,5	1	175	94
2301-1389	12,0	2	199	101
2301-1390	12,5	2	199	101
2301-1392	13,0	2	199	101
2301-1394	13,5	2	206	108
2301-1396	14,0	2	206	108
2301-1398	14,5	2	212	114
2301-1400	15,0	2	212	114
2301-1403	15,5	2	218	120
2301-1404	16,0	2	218	120
2301-1406	16,5	2	223	125
2301-1407	17,0	2	223	125
2301-1410	17,5	2	228	130
2301-1411	18,0	2	228	130
2301-1413	18,5	3	256	135
2301-1415	19,0	3	261	140
2301-1418	19,5	3	261	140
2301-1419	20,0	3	261	140
2301-1423	21,0	3	266	145
2301-1426	22,0	3	271	150
2301-1429	23,0	3	276	155
2301-1433	24,0	3	281	160
2301-1437	25,0	3	281	160
2301-1439	26,0	3	286	165
2301-1444	27,0	3	291	170
2301-1448	28,0	4	319	170
2301-1450	29,0	4	324	175
2301-1456	30,0	4	324	175

Примечание. Пример условного обозначения сверла общего назначения нормальной длины диаметром $D = 15$ мм. Сверло 2301-1400 ГОСТ 22736–77.

Таблица 9П – Основные типы и размеры зенкеров

Наименование	ГОСТ	Диаметр зенкера, D , мм	Длина зенкера, L , мм	Длина рабочей части, l , мм	Диаметр посадочного отверстия d , мм
Зенкеры цельные: с коническим хвостовиком насадные	12489–71	10–40 32–80	160–350 30–52	80–200 10–18	13–32
Зенкеры, оснащенные пластинами из твердого сплава: с коническим хвостовиком	3231–71	14–50 32–80	180–355 40–65	85–210	–
Зенкеры насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали	2255–71	50–100	60–76	–	22–40
Зенкеры со вставными ножами, оснащенные пластинами из твердого сплава: с коническим хвостовиком насадные	12510–71	30–50 50–100	262–308 58–74	–	22–40
Зенкеры, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов: с коническим хвостовиком насадные	21540–76	12–50 32–80	182–369 50–90	101–220 14–22	16–40
Зенкеры насадные, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из легки сплавов	21585–76	36–80	50–80	–	16–32

Таблица 10П – Основные типы и размеры разверток

Наименование	ГОСТ	Диаметр разверток, D , мм	Длина развертки, L , мм	Длина рабочей части, l , мм	Диаметр посадочного отверстия d , мм
Машинные цельные: ✓ с цилиндрическим хвостовиком; ✓ с коническим хвостовиком; ✓ насадные	1672–80	2–16 55–50 25–50	49–170 38–344 45–63	11–52 26–50 32–42	– – 13–22
Машинные со вставными ножами: ✓ из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком; ✓ насадные	883–80	32–50 40–100	292–344 63–90	38–45 40–56	– 16–40
Машинные, оснащенные пластинами из твердого сплава ✓ с коническим хвостовиком; ✓ насадные	11175–80	10–32 32–50	140–240 40–55	16–18 32	16–22
Машинные регулируемые оснащенные твердым сплавом, с коническим хвостовиком	–	10–40	181,5–322	114–195	–
Машинные цельные с коническим хвостовиком из твердого сплава	16087–70	6,5–12,0	120–150	18–22	–
Машинные цилиндрические хвостовые для обработки деталей из легких сплавов: ✓ с цилиндрическим хвостовиком; ✓ с коническим хвостовиком; ✓ твердосплавные с цилиндрическим хвостовиком; ✓ твердосплавные с коническим хвостовиком	19267–73 19268–73 19269–73 19270–73	6–9,5 10–32 6–9,5 10–32	90–100 140–240 90–100 140–240	25–30 16–25 18–20 16–22	– – – –
Машинные, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов: ✓ с коническим хвостовиком; ✓ насадные	21525–76 21526–76	10–32 32–50	140–296 50–63	16–22 32	– –

**Таблица 11П – Рекомендуемые формы заточки сверл
для различных материалов**

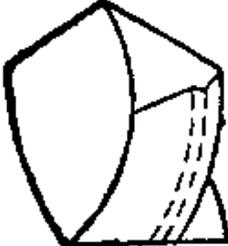
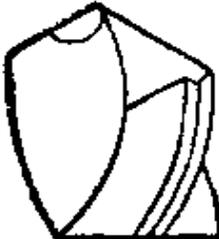
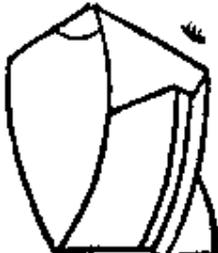
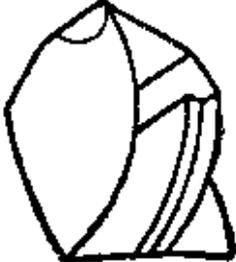
№	Форма заточки сверл	Обрабатываемый материал
1	Нормальная без подточек Н 	Сталь, стальные отливки, чугун
2	Нормальная с подточкой поперечной кромки НП 	Сталь, стальные отливки с $\sigma_b \leq 500$ МПа с неснятой коркой
3	Нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки НПЛ 	Сталь, стальные отливки с $\sigma_b \leq 500$ МПа со снятой коркой
4	Двойная с подточкой поперечной кромки ДП 	Стальные отливки с $\sigma_b > 500$ МПа с неснятой коркой и чугун с неснятой коркой
5	Двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки ДПЛ 	Сталь и стальные отливки с $\sigma_b > 500$ МПа со снятой коркой

Таблица 12П – Параметры лезвий сверл

Д, мм	Заточка			Поперечная кромка		Ленточка		
	Задний угол α°		Угол наклона поперечной кромки	α , мм	l , мм	l_1 , мм	f_l , мм	α_1^0
	при одноплоскостной заточке	при двух плоскостной и винтовой заточке						
Св. 0,24 до 0,60		20	Не регламентируется					
0,60 до 0,95	30	18						
0,95 до 1,70								
1,70 до 3,00								
3,00 до 7,50		16						
7,50 до 9,50				1,0	2,0			
9,50 до 11,80		12		1,2	2,5			
11,80 до 16,00				1,5	2,5	1,5		
16,00 до 20,00			40-80	2,0	3,5			
20,00 до 25,00				2,5	4,5	2,0		
25,00 до 31,50				3,0	5,5			
31,50 до 40,00				3,5	6,0	3,0		
40,00 до 50,00		11		5,0	8,0		0,2-0,4	6-8
50,00 до 63,00				6,0	10,0	4,0		
63,00 до 71,00				7,0	12,0			
71,00 до 80,00				8,0	14,0			

245

Таблица 13П – Параметры лезвий сверл при двойной заточке

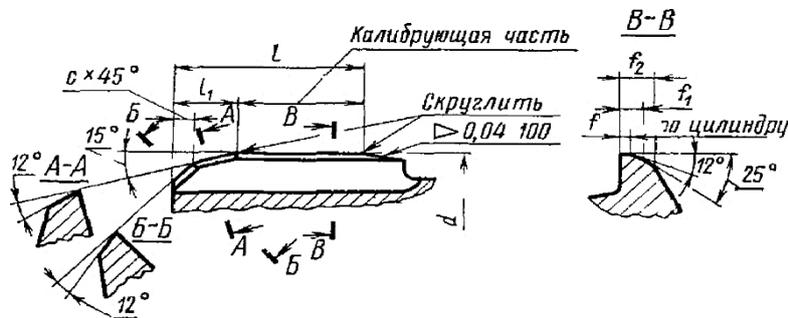
D, мм	Заточка		Поперечная кромка		Перемычка		l ₁ , мм
	Задний угол α°	β, мм	a, мм	l, мм	h, мм	k, мм	
Св. 12,0 до 16,0	12	2,5	1,5	3	1,5	2,3	1,5
16,0 до 20,0		3,5	2,0	4	2,0	2,9	
20,0 до 25,0		4,5	2,5	5	2,5	3,6	
25,0 до 31,5		5,5	3,0	6	3,3	4,5	
31,5 до 40,0	11	7,0	3,5	7	4,0	5,3	3,0
40,0 до 50,0		9,0	5,0	9			
50,0 до 63,0		11,0	6,0	11			
63,0 до 71,0		13,0	7,0	13			
71,0 до 80,0		15,0	8,0	15			

Таблица 14П – Геометрические параметры зенкеров

Обрабатываемый материал	γ° при режущей части из		α°	φ°	φ ₁ ⁰	φ ₁	f, мм
	быстрорежущей стали	твердого сплава					
Сталь и стальные отливки: HB ≤ 180 HB 180–225 HB 225–270 HB > 270	15–20 12–15 5–10 –	– 0 0–(–5) –10	8–10	60	30	25–30 10–20	0,8–2
Сталь: коррозионно-стойкая жаропрочная, жаростойкая закаленная с Н С 51	0–3 –	– –15	6–15 10	30–45 60	15–20 15	15–20 10–20	0,5–1 0,8–2
Жаропрочные сплавы	10	–	8–10	30	–		0,5–1
Титановые сплавы	4–6	–	9–11	45	–	20	0,3–0,5
Чугун: HB ≤ 150 HB 150–200 HB > 200	10–12 6–8 –	8 5 0	8–10	30–60	30	10	0,8–2
Алюминиевые и медные сплавы	25–30	10–20	10	60	–	10–20	
Магниевые сплавы		–		45–60		20–25	0,5–1

**Таблица 15П – Элементы лезвий цилиндрических разверток
из быстрорежущей стали**

Д _{НОМ} , мм	С		f ₁ , мм	f, мм	α ₃ ⁰	α _к ⁰	
	1	2					
3...4	—	1,0	0,25...0,45	0,10	10	15	
Св. 4 до 6			0,4...0,6	1,15			
Св. 6 до 9			0,5...0,9	0,20			
9 до 17	1,0	1,0	0,8...1,2	0,30	8	10	
17 до 24			1,0...1,4	0,35			
24 до 28	1,5	1,5	1,2...1,6				
Св. 28 до 34			1,3...1,8				
34 до 40	2,0	2,0	1,5...2,0				
41 до 45			1,6...2,1				
45 до 50			1,8...2,4				



**Таблица 16П – Форма заточки машинных цельных разверток,
оснащенных пластинами из твердого сплава**

Форма заточки	Эскиз	Область применения
1		Развертывание сквозных и глухих отверстий 8...9 квалитетов и грубее в вязких и хрупких материалах
2		Развертывание сквозных отверстий повышенного качества поверхности и точности 7...9 квалитетов в вязких материалах
3		Развертывание сквозных отверстий повышенного качества поверхности и точности 7...9 квалитетов в хрупких материалах

Таблица 17П – Геометрические параметры разверток

Показатель	$D_{\text{НОМ}}$, мм	l для материалов	α°	C	Тип пластины по ГОСТ 25425-82
10–10,5					
11–15			15		26 090
16–19	2,5	4,5		1	26 090
20–22					
24–25				10	26 100
26–30					
32–50	3,5	6,5		2	26 110

Таблица 18П – Углы элементов лезвия разверток

Обрабатываемый материал	Материал режущего участка				Угол наклона зуба, α_1^0
	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	
	Передний угол γ°		Задний угол α°		
Сталь: незакаленная закаленная, HRC 50 коррозионно-стойкая жаропрочная и жаро- стойкая	0	0...–5	6–12	6–8	10–20
	–	–10...–15	– 5–8	6	10–15
Жаропрочные сплавы			6–10		
Титановые сплавы	0	0	8–10	10	
Чугун		0...–5	6–8	10–17	
Алюминиевые и медные сплавы		–	10–12	–	15–20
Магниевые сплавы					

Таблица 19П – Поддачи при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов на быстрорежущей стали, мм/об

Диаметр сверла D, мм	Сталь				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	HB< 180	HB 180-240	HB 240-300	HB>300	HB≤170	HB>170
2–4	0,09–0,13	0,68–0,10	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
20–26	0,49–0,58	0,38–0,43	0,27–0,32	0,23–0,26	0,76–0,88	0,47–0,54
25–30	0,58–0,62	0,43–0,48	0,32–0,35	0,26–0,29	0,88–0,96	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	0,71–0,81

Примечание. Приведенные поддачи применяют при сверлении отверстий глубиной $l \leq 3D$ с точностью не выше 12 квалитета в условиях жесткой технологической системы. В противном случае вводят поправочные коэффициенты. 1) на глубину отверстия $K_{ls} = 0,9$ при $l \leq 5D$; $K_{ls} = 0,8$ при $l \leq 7D$, $K_{ls} = 0,75$ при $l \leq 10D$. 2) на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезания резьбы $K_{os} = 0,5$. 3) на недостающую жесткость системы СПИД: при средней жесткости $K_{жс} = 0,75$, при малой жесткости $K_{жс} = 0,5$. 4) на инструментальный материал $K_{ис} = 0,6$ для сверла с режущей частью из твердого сплава.

Таблица 20П – Поддачи, 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		1,2–1,5
Чугун HB ≤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	1,6–2,1		2,0–2,4
Чугун HB >200	0,5–0,8	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,1	1,0–1,3	1,2–1,4		1,4–1,5

Примечание: 1. Приведенные значения поддачи применять для обработки отверстий с допуском не выше 12 квалитета. Для достижения более высокой точности (9–11 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 поддачи не должны превышать 0,3–0,6 мм/об.

Таблица 21П – Подачи, мм/об, при предварительном (черновом) развертывании отверстий 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 ≤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

Примечание. 1. Подачу следует уменьшать: а) при чистовом развертывании в один проход с точностью по 9–11 квалитетам и параметром шероховатости поверхности $R_a = 2,3–6,3$ мкм или при развертывании под полирование и хонингование, умножая на коэффициент $K_{ос} = 0,8$; б) при чистовом развертывании после чернового с точностью по 7 квалитету и параметрам шероховатости поверхности $R_a = 0,4–0,8$ мкм, умножая на коэффициент $K_{ос} = 0,7$; в) при твердосплавной рабочей части, умножая на коэффициент $K_{нс} = 0,7$. 2. При развертывании глухих отверстий подача не должна превышать 0,2–0,5 мм/об.

Таблица 22П – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача S, мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	g	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_b = 750$ МПа		≤0,2	7,0	0,40	0,70	0,20	Есть
		>0,2	9,8		0,50		
Сталь жаропрочная 12X18H9T, HB 141	P6M5	–	3,5	0,50	0,12	0,12	Нет
Чугун серый, HB 190	BK8	≤0,3	14,7	0,25	0,125	0,125	
		>0,3	17,1				
		–					
Чугун ковкий, HB 150	P6M5	≤0,3	21,8	0,25	0,55	0,20	Есть
	BK8	>0,3	25,3		0,40		
		–	40,4		0,45	0,3	Нет
Медные гетерогенные сплавы средней твердости (HB 100–140)		≤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 ≤65 дюралюминий HB ≤100	P6M5	≤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 $K_{zv} = 0,7$.

Таблица 23П – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	g	x	y	m	
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_B = 750$ 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 углеродистая сталь $\sigma_B = 1600-1800$ МПа, HRC 49-54	Зенкерование	T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	
Серый чугун, 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	
Ковкий чугун, 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

Таблица 24П – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкерованием и развертывании

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость T, мин, при диаметре D инструмента, мм							
			до 5	6–10	10–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–80
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь. Коррозионно-стойкая сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	–
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	–	–
		Быстрорежущая сталь	6	8	15	25	–	–	–	–
Сверло (сверление и рассверливание)	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	–	–
Зенкеры (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	–	–	30	40	50	60	80	100
Развертки (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	105	165	210

Таблица 25П – Поправочный коэффициент $K_{\mu v}$, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{\mu p} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv}$
Серый чугун	$K_{\mu p} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{nv}$
Ковкий чугун	$K_{\mu p} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{nv}$

Примечание. 1. σ_B и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. 2. Коэффициент K_r , характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени nv .

Таблица 26П – Значения коэффициента K_r и показателей степени nv в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости сталей $K_{\mu v}$

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r для материала инструмента		Показатели степени nv при обработке сверлами, зенкерами, развертками	
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь:				
углеродистая ($c \leq 0,6\%$) σ_B , Мпа	1,0	1,0	-0,9	
< 450	1,0	1,0	-0,9	
450...550	1,0	1,0	0,9	
> 550	1,2	1,1	1,05	
повышенной и высокой обрабатываемости резанием, хромистая углеродистая ($c > 0,6\%$)	0,85	0,95		
хромоникелевая, хромомолибдевованадиевая хромамарганцовистая, хромо- кремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хро-	0,8	0,9		
молибденоалюминиевая	0,7	0,8		
хромованадиевая	0,85	0,9		1,0
марганцовистая	0,75	0,85		
хромоникельвольфрамовая	0,8			
хромолибденовая	0,75	0,8		
хромоалюминиевая	0,75	0,85		
хромоникельванадиевая	0,6	0,7	0,9	
быстрорежущая				
Чугун:				
серый	–	–	1,3	1,3
ковкий	–	–	1,3	1,3

Таблица 27П – Поправочный коэффициент $K_{\mu\nu}$, учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей на скорость резания

Марка стали или сплава	σ_B , МПа	Усредненное значение коэффициента $K_{\mu\nu}$	Марка стали или сплава	σ_B , МПа	Усредненное значение коэффициента $K_{\mu\nu}$
12X18H91	550	1,0	ХН60ВГ	750	0,48
13X11H2B2MФ	1100–1460	0,8–0,3	ХН77		0,40
14X17H2	800–1300	1,0–0,75		850–1000	0,26
13X14H3B2ФР	700–1200	0,5–0,4	ХН35ВТ	950	0,50
37X12H8Г8МФБ	–	0,95–0,72	ХН70ВМТЮ	1000–1250	0,25
45X14H14B2М	700	1,06	ХН55ВМТЮ	1000–1250	0,25
10X11H20Т3Р	720–800	0,85	ХН65ВМТЮ	900–1000	0,20
12X21H5Т	820–10000	0,65	ХН35ВТЮ	900–950	0,22
20X23H18	600–620	0,80	ВТ3–1	950–1200	0,40
31X12H9МВБТ		0,40	ВТ–5	750–950	0,70
15X18H12С4Т10	730	0,50	ВТ–6	900–1200	0,35
ХН78Т	780	0,75	ВТ–14	900–1400	0,53–0,43
ХН75МБТЮ	–	0,53	12X13	600–1100	1,5–1,2
			30X13	850–1100	1,3–0,9

254

Таблица 28П – Поправочный коэффициент $K_{\mu\nu}$, учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

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

Таблица 29П – Поправочный коэффициент $K_{\mu\nu}$, 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 30П – Поправочный коэффициент K_{iv} , учитывающий влияние инструментального материалы на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{iv} в зависимости от марки инструментального инструмента						
	Сталь конструкционная	T5K12B 0,35	T5K10 0,65	T14K8 0,8	T15K6 1,00	T15K6 1,15	T30K4 1,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	BK8 1,0	T5K10 1,4	T15K6 1,9	P18 0,3			
Сталь закаленная	HRC 35-50			HRC 51-60			
	T15K6 1,0	T30K4 1,25	BK6 0,85	BK8 0,83	BK4 1,0	BK6 0,92	BK8 0,74
Серый и ковкий чугун	BK8 0,83	BK6 1,0	BK4 1,1	BK3 1,15	BK3 1,25		
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	P6M5 1,0	BK4 2,5	BK6 2,7	9XC 0,6	XBG 0,6	Y12A 0,5	

Таблица 31П – Поправочный коэффициент K_{iv} , на скорость резания при сверлении, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия

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

**Таблица 32П – Значения коэффициентов и показателей степени
в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкерование**

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			Крутящего момента				Осевой силы			
			C_m	g	x	y	C_p	g	x	y
Конструкционная углеродистая сталь $\sigma_B = 750$ МПа	Сверление	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	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, HB141	Сверление		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
Серый чугун, 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		0,085	–	0,75	0,8	23,5	–	1,2	0,4
Ковкий чугун, HB 190	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
		Твердый сплав	0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75
	Рассверливание и зенкерование	Твердый сплав	0,17	0,85	0,8	0,7	38	–	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,012	2,0	–	0,8	31,5	1,0	–	0,8
Гетерогенные медные сплавы средней твердости, HB 120	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	–	0,7

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

Таблица 33П – Поправочный коэффициент $K_{\mu p}$, для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости при сверлении, рассверливании и зенкерованиях

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	n
Конструкционная углеродистая и легированная сталь σ_B , МПа: ≤ 600 > 600	$K_{\mu p} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$	0,75 0,75
Серый чугун	$K_{\mu p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n$	0,6
Ковкий чугун	$K_{\mu p} = \left(\frac{150}{HB} \right)^n$	0,6

Таблица 34П – Поправочный коэффициент $K_{\mu p}$, учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	$K_{\mu p}$	Алюминиевые сплавы	$K_{\mu p}$
Гетерогенные: HB120 HB > 120	1,0 0,75	Алюминий и силумин Дюралюминий, σ_B МПа: 250 350 > 350	1,0 1,5 2,0 2,75
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре и свинцовистые с содержанием свинца 10 % при основной гомогенной структуре	0,65–0,70		
Гомогенные	1,8–2,2		
Медь	1,7–2,1		
Сплавы с содержанием свинца > 15 %	0,25–0,45		

Таблица 35П – Вспомогательное время на установку и снятие детали при сверлении

Способ установки	Масса детали, кг				
	3	5	8	12	20
	Время, мин				
В тисках с винтовым зажимом	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
В тисках с пневматическим зажимом	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
На столе без крепления	0,12	0,14	0,15	0,17	0,2
На столе с креплением болтами и планками	0,95	1,00	1,20	1,40	1,60
Сбоку стола с креплением болтами и планка	1,10	1,30	1,50	1,80	2,10
В самоцентрирующемся патроне	0,18	0,2	0,24	0,28	0,35
В кондукторе	0,80	0,90	1,00	1,10	1,30

Таблица 36П – Вспомогательное время на рабочий ход при сверлении

Операции	Наибольший диаметр сверления, мм					
	12	25	50	12	25	50
	Время, мин, при сверлении					
	первого отверстия			каждого последующего отверстия того же диаметра		
Сверление по разметке	0,12	0,14	0,16	0,05	0,06	0,07
Сверление по кондуктору	0,10	0,12	0,13	0,04	0,05	0,06
Рассверливание, зенкерование	0,08	0,10	0,12	0,03	0,04	0,05
Развертывание	0,10	0,12	0,15	0,04	0,05	0,07

Таблица 37П – Подготовительно-заключительное время на сверлильные работы

Способ установки детали	Наибольший диаметр отверстия, мм		
	12...20	20...50	50...75
	Время, мин		
На столе без крепления	3	4	5
На столе с креплением болтами и планками	4	5	6
В тисках	5	6	7
В самоцентрирующемся патроне	–	8	9
В кондукторе	–	9	10
Сбоку стола с креплением болтами и планками	–	13	20

Приложение 4. Протягивание

Таблица 1П – Припуск под протягивание цилиндрических отверстий, мм

Длина протягиваемого отверстия	Припуск после сверления отверстия					Припуск после растачивания или зенкерования отверстия				
	Диаметр протягиваемых отверстий									
	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120
6...10	0,4	0,5	–	–	–	0,2	0,3	–	–	–
10...18	0,5	0,5	0,6	–	–	0,3	0,3	0,4	–	–
18...30	0,6	0,6	0,8	1,0	–	0,4	0,4	0,5	0,6	–
30...50	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
50...80	–	0,8	1,0	1,2	1,2	–	0,5	0,6	0,7	0,7
80...120	–	1,0	1,0	1,2	1,4	–	0,6	0,6	0,7	0,8
120...180	–	–	1,2	1,4	1,4	–	–	0,7	0,8	0,8
Св. 180	–	–	1,2	1,4	1,6	–	–	0,7	0,8	1,0

Примечание. Допуск на предварительный диаметр отверстия следует принимать: а) после сверления – с полем *H11* для отверстий, длина которых не превышает одного диаметра, с полем *H12* для отверстий большей длины; б) после зенкерования или растачивания – соответственно с полями *H8* или *H11*.

Таблица 2П – Подъем (подача) на зуб протяжки s_z на сторону, мм

Протяжки	s_z при обработке								
	углеродистой и низколегированной стали			высоколегированной стали		чугуна	алюминия	бронзы и латуни	
	σ_B , МПа								
	до 500	500...750	св. 750	до 800	св. 800				
Круглые	0,015...0,02	0,025...0,03	0,015...0,025	0,025...0,03	0,01...0,025	0,03...0,1	0,002...0,05	0,05...0,12	
Шлицевые	0,04...0,06	0,05...0,08	0,03...0,06	0,04...0,06	0,025...0,05	0,04...0,1	0,02...0,1	0,05...0,12	
Шпоночные	0,05...0,015	0,05...0,02	0,05...0,12	0,05...0,12	0,05...0,1	0,06...0,1	0,05...0,08	0,08...0,2	
Прямоугольные и квадратные	0,03...0,12	0,05...0,015	0,03...0,12	0,03...0,12	0,03...0,1	0,05...0,2	0,05...0,08	0,06...0,2	
Многогранные	0,15...0,08	0,02...0,015	0,015...0,12	0,015...0,1	0,015...0,8	0,03...0,15	0,02...0,1	0,06...0,2	
Острошлицевые и эвольвентные	0,03...0,05	0,04...0,06	0,03...0,05	0,03...0,05	0,02...0,04	0,04...0,08	–	–	
Фасонные	0,02...0,05	0,03...0,06	0,02...0,05	0,02...0,05	0,02...0,04	0,03...0,1	0,02...0,5	0,05...0,12	
Для переменного резания (обдирочные секции)	0,03...0,3	0,03...0,2	0,03...0,12	0,03...0,2	0,03...0,1	0,03...0,3	0,03...0,3	0,03...0,5	

Примечание. В условиях массового производства для обеспечения хорошей размерной стойкости протяжки рекомендуется выбирать среднее значение s_z . Для протяжек из стали ХВГ следует выбирать меньшие значения, а для протяжек из сталей Р9 и Р18 – большие значения s_z .

Таблица 3П – Значения задних углов α зубьев протяжки

Протяжки	Вид зубьев				
	Черновые	Чистовые	Калибрующие	Черновые	Чистовые и калибрующие
	Задний угол α ,			Допуск заднего угла	
Круглые и шлицевые	3	2	1	+ 30	± 15
Шпоночные	3	2	2	+ 30	+ 30
Наружные регулируемые	3...4	3...4	3...4	+ 30	+ 30
Наружные нерегулируемые	3...4	2	1...2	+ 30	5

Таблица 4П – Значение переднего угла γ зубьев рабочей части протяжек

Обрабатываемый материал	Передний угол γ , ... °
Сталь с твердостью НВ: до 197 198...229 более 229	10...20
	8...15
	6...10
Чугун серый с твердостью НВ: до 180 более 180	8...10
	5...8
Чугун ковкий	10
Алюминий, его сплавы, медь, баббит	20
Титановые сплавы	10
Латунь, бронза	5...8

Таблица 5П – Значения коэффициентов C_p' и C_p'' и показателя степени u

Материал заготовки	Твердость, НВ	C_p' для протяжек		C_p'' для круглых протяжек	u
		шпоночных	шлицевых		
Сталь углеродистая конструкционная (с охлаждением сульфифрезолом)	до 200	177	212	700	0,85
	200...230	202	230	762	0,85
	Св. 230	250	284	842	0,85
Чугун серый (без охлаждения)	До 200	115	152	300	0,73
	Св. 200	137	215	354	0,73

Таблица 6П – Значения коэффициента K_h

Износ зуба по задней поверхности, мм	0	0,3	1,0
K_h	1,0	1,115	1,75

Таблица 7П – Значения коэффициента $K_{ж}$

Вид охлаждающей жидкости	Сульфифрезол	Эмульсол	Без охлаждения
$K_{ж}$	1,0	1,13	1,34

Таблица 8П – Значения коэффициента K_{α}

Значения заднего угла протяжки	$\alpha \leq 1^\circ$		$\alpha = 2...3^\circ$	
	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун
K_{α}	1,2	1,12	1,0	1,0

Таблица 9П – Значения коэффициента K_{γ}

Передний угол зуба протяжки	10...15°	6...8°	До 2°
K_{γ}	1,0	1,13	1,35

**Таблица 10П – Допустимое напряжение для материала протяжек $[\sigma_p]$
и на смятие $[\sigma_{см}]$ для прошивок**

Инструмент	$[\sigma_p]$, МПа для материала режущей части	
	Быстрорежущие стали	Легированные стали
Круглые, шлицевые, эвольвентные, елочные протяжки	350	300
Шпоночные, плоские и другие протяжки с несимметричным приложением нагрузки	200	150
Прошивки, $[\sigma_{см}]$	600	600

Примечание. Для конструкционных (углеродистых) и легированных сталей, из которых изготовлен хвостовик, если элемент сварной, $[\sigma_p] = 250$ МПа.

**Таблица 11П – Группы скорости резания при протягивании
различных материалов**

Наименование материала	Твердость НВ	Группа скорости резания
Углеродистая и автоматная сталь	До 156	IV
	156...187	III
	187...197	II
	197...229	I
	229...269	I
	269...321	II
Хромистая сталь	До 187	II
	187...229	I
	229...269	II
	269...321	III
Серый чугун	≤ 180	I
	> 180	II
Ковкий чугун	–	I

Таблица 12П – Скорости резания при протягивании, м/мин

Группа скорости резания	Цилиндрические отверстия		Шлицевые отверстия		Наружные поверхности и шпоночные пазы		Все виды протягивания $Ra = 1,25...0,4$
	$Ra = 2,5...1,6$	$Ra = 10...3,2$	$Ra = 2,5...1,6$	$Ra = 10...3,2$	$Ra = 2,5...1,6$	$Ra = 10...3,2$	
	Квалитет 6...8	Квалитет 9...10	Квалитет 6...8	Квалитет 9...10	Квалитет 6...8	Квалитет 9...10	
I	6...4	8...5	5...4	8...5	7...4	10...5	4...2,5
II	5...3,5	7...5	4,5...3,5	7...5	6...4	8...6	3...2
III	4...3	6...4	3,5...3	6...4	5...3,5	7...5	2,5...2
IV	3...2,5	4...3	2,5...2	4	3,5...3	4	2

Примечание. Меньшие значения скоростей резания выбирают при протягивании протяжками из стали ХВГ и 9ХВГ, а большие – при протягивании протяжками из стали Р9 и Р18.

Таблица 13П – Припуски под протягивание прямоугольных и квадратных отверстий и допуски предварительного диаметра, мм

Наибольшее сечение протягиваемого отверстия	Припуск по ширине и высоте профиля	Допуск предварительного диаметра отверстия
10...18	0,8	+0,24
18...30	1,0	+0,28
30...50	1,2	+0,34
50...80	1,5	+0,40
80...120	1,8	+0,46

Таблица 14П – Значения коэффициента C_v и показателей степени m и y в формуле скорости резания при протягивании

Материал заготовки	Твердость НВ	Цилиндрические протяжки			Шлицевые протяжки		
		C_v	m	y	C_v	m	y
Сталь углеродистая (с охлаждением)	До 200	16,8	0,62	0,62	15,5	0,6	0,75
	200...230	15,5	0,62	0,62	14,0	0,6	0,75
	Св. 300	11,2	0,62	0,62	10,2	0,6	0,75
Чугун серый (без охлаждения)	До 200	14	0,5	0,6	17,5	0,5	0,6
	Св. 200	11,5	0,5	0,6	14,7	0,5	0,6

Материал заготовки	Твердость, НВ	Шпоночные протяжки					
		При $s_z \leq 0,07$ мм/зуб			При $s_z > 0,07$ мм/зуб		
		C_v	m	y	C_v	m	y
Сталь углеродистая (с охлаждением)	До 200	9,8	0,87	1,14	7,7	0,87	1,4
	200...230	8,8	0,87	1,14	7,0	0,87	1,4
	Св. 300	6,3	0,87	1,14	5,0	0,87	1,4
Чугун серый (с охлаждением)	До 200	6,2	0,6	0,95	6,2	0,6	0,95
	Св. 200	5,1	0,6	0,95	5,1	0,6	0,95

Таблица 15П – Горизонтальные протяжные полуавтоматы для внутреннего протягивания (размеры в мм)

Параметры	7Б55	7Б55У	7Б56	7Б56У	7Б56САУ	7Б57	7Б58
Номинальная тяговая сила, кН	100	100	200	200	200	400	800
Наибольшая длина хода салазок	1250	1250	1600	1600	1600	2000	2000
Размеры рабочей поверхности опорной плиты	450×450	450×450	450×450	450×450	450×450	560×560	560×560
Диаметр отверстия: в опорной плите							
под планшайбу	160	160	200	200	200	250	250
в планшайбе	125	100	160	160	130	200	250
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5...11,5	1,5...11,5	1,5...11,5	1,5...13	1,5...11,5	1,0...6,15	0,5...3,6

Продолжение таблицы 15П

Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20...25	20...25	20...25	20...25	20...25	20...25	10
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	18,5	17	30	30	30	37	55
Габаритные размеры:							
длина	6340	4070	7200	5200	7200	9400	10 100
ширина	2090	1600	2135	2000	2020	2500	2600
высота	1910	1500	1910	1700	1700	1910	1700
Масса, кг	5200	4700	7450	7000	8500	13 500	22 000

Примечание. Полуавтоматы 7Б55У и 7Б56У являются модификациями полуавтоматов соответственно 7Б55 и 7Б56 и отличаются отсутствием приставной станины с механизмом автоматического подвода и отвода протяжки.

**Таблица 16П – Вертикальные протяжные полуавтоматы
для внутреннего и наружного протягивания, мм**

Параметры	7Б64	7Б65	7Б66	7Б67	7Б68	7Б74	7Б75	7Б76	7Б77	7Б75Д	7Б76Д1
Номинальная тяговая сила, кН	50	100	200	400	800	50	100	200	400	100	200
Рабочая ширина: стола салазок	320 –	450 –	450 –	710 –	710 –	320 320	450 400	450 500	710 630	450 400	450 500
Расстояние от салазок до оси отверстия в столе	150	180	210	250	300	–	–	–	–		
Расстояние от поверхности салазок до торца стола	–	–	–	–	–	125	160	200	200	160	200
Наибольшая длина хода салазок	1000	1250	1250	1600	1600	1000	1250	1250	1600	1250	1600
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	11,5... ...11,5	1,5... ...11,5	1,5... ...13	1,5... ...7,9	1,0... ...8	1,5... ...11,5	1,5... ...11,4	1,5... ...13	1,0... ...7,9	1,5... ...11	1,5... ...13
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20	20	20	14	10	20	20	20	16	13,7	13,7
Мощность электродвигателя, кВт	11	22	30	57	80	11	22	30	57	22	30
Габаритные размеры (без рабочей площадки):											
✓ длина	2875	3292	3866	4000	4550	3152	3600	4310	4650	3140	3550
✓ ширина	1350	1333	1392	2060	2760	1290	1262	1392	2070	2525	2570
✓ высота	3640	4540	4555	5500	5870	2620	3370	3370	4350	3360	4070
Масса, кг	5050	8080	11 440	18 500	222 000	4750	8000	10 785	21 000	14 500	18 600

Примечания. 1. Полуавтоматы 7Б64, 7Б65, 7Б66, 7Б67 для внутреннего протягивания, остальные – для наружного. Полуавтоматы 7Б75Д и 7Б76Д1 сдвоенные с двумя салазками и двумя приводными столами, работающими поочередно.

Таблица 17П – Вспомогательное время (мин) на установку и снятие детали (без приспособления) и протяжки (для круглых, шлицевых, прямоугольных и других отверстий)

Диаметр протяжки в мм до	Масса детали в кг до								
	0,5	1	3	5	8	15	25	40	Св. 40
40	0,09	0,10	0,12	0,15	0,18	–	–	–	–
60	0,10	0,11	0,13	0,16	0,19	0,24	–	–	–
80	0,11	0,12	0,14	0,17	0,20	0,27	0,32	–	–
Св. 80	–	–	0,15	0,18	0,21	0,30	0,35	0,38	0,40

Таблица 18П – Вспомогательное время (мин) на установку и снятие детали и протяжки при протягивании шпоночных пазов

Способ установки детали в приспособлении	Масса детали в кг до									
	0,5	1	3	5	8	15	25	40	Св. 40	
На палец	0,06	0,075	0,090	0,10	0,11	0,135	0,20	0,25	0,32	
На два пальца	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,17	0,25	0,30	0,38	
На палец и призму	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,225	0,27	0,35	

Таблица 19П – Вспомогательное время на установку и снятие детали и протяжки при наружном и внутреннем протягивании деталей в приспособлении

Способ установки деталей в приспособлении	Метод крепления*	Масса детали в кг до								
		0,5	1,0	3,0	5,0	8,0	15	25	40	Св. 40
На плоскость	1	0,060	0,070	0,080	0,095	0,105	0,120	0,140	0,160	0,190
	2	0,065	0,075	0,085	0,100	0,110	0,125	0,145	0,165	0,195
	3	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100	0,115	0,130	0,150	0,180
	4	0,065	0,075	0,085	0,095	0,105	0,120	0,135	0,155	0,185
На призму или в гнездо	1	0,060	0,070	0,085	0,100	0,110	0,125	0,150	0,190	0,220
	2	0,065	0,075	0,090	0,115	0,115	0,130	0,155	0,195	0,225
	3	0,060	0,070	0,085	0,095	0,105	0,120	0,140	0,180	0,210
	4	0,065	0,075	0,090	0,100	0,110	0,125	0,145	0,185	0,215
На плоскость и палец	1	0,070	0,080	0,095	0,100	0,125	0,145	0,190	0,220	0,250
	2	0,075	0,085	0,100	0,115	0,130	0,150	0,195	0,225	0,255
	3	0,070	0,080	0,085	0,105	0,120	0,140	0,180	0,210	0,210
	4	0,075	0,085	0,100	0,110	0,125	0,145	0,185	0,215	0,215
На плоскость и призму	1	0,065	0,075	0,090	0,110	0,120	0,135	0,180	0,220	0,240
	2	0,070	0,080	0,096	0,115	0,125	0,140	0,185	0,225	0,245
	3	0,065	0,075	0,090	0,105	0,115	0,130	0,170	0,210	0,230
	4	0,070	0,080	0,095	0,110	0,120	0,135	0,175	0,215	0,235

*) Методы крепления детали в приспособлении: 1 – рукояткой эксцентрикового зажима; 2 – откидной планкой с эксцентриком; 3 – рукояткой пневматического зажима; 4 – рукояткой гидравлического зажима.

**Таблица 20П – Вспомогательное время на отдельные приемы
при протягивании**

Наименование приемов	Способ управления	Время, мин
1. Включить и выключить рабочий и холостой ход	Рычагом	0,020
	Рукояткой	0,015
	Ножной педалью или кнопкой	0,018
2. Включить и выключить ход стола	Кнопкой	0,015
	Рукояткой	0,020
3. Установить и снять плоскую прокладку под протяжку	Рукой	0,040
4. Установить и снять прижим	Рукояткой	0,030

**Таблица 21П – Вспомогательное время (мин) на проверку размеров
протягиваемых поверхностей**

Способ измерений	Измеряемый размер в мм до					
	10	25	50	100	150	Св. 150
Пробкой цилиндрической	0,09	0,11	0,13	0,165	0,20	0,22
Шлицевой пробкой	0,18	0,20	0,25	0,31	0,38	0,45
Калибром плоским	0,125	0,15	0,18	0,24	0,27	0,30
Шаблоном	0,06	0,06	0,062	0,065	0,075	–
Шлицевым вкладышем	–	0,05	0,06	0,08	–	–

**Таблица 22П – Подготовительно-заключительное время
на комплекс работ при протягивании**

Масса детали, кг, до	3	10	25	80	Св. 80
Время, мин	9,0	11,0	14,0	19,0	24,0

Выбор вариантов контрольной работы

Выбор работы

Вариант работы определяют по двум последним цифрам шифра студента по таблице. На пересечении строки, соответствующей предпоследней цифре, и столбца, соответствующего последней цифре шифра, указано число, которое является номером для всех трех задач при выполнении работы. Работа включает в себя решение трех задач по расчету режимов резания – при точении, торцовом фрезеровании и круглом наружном шлифовании с продольной подачей.

Предпоследняя цифра шифра	Номера контрольных вопросов									
	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	23
1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
4	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
5	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
6	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
7	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
8	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
9	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Варианты заданий на расчет режима резания при точении

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Марка стали	15ХМ	20ХМ	30ХМ	35ХМ	38ХМ	15ХФ	40ХФА	15Н2М	20Н2М	20ХН	40ХН	45ХН	50ХН
Предел прочности σ_b , МПа	450	800	950	950	1000	750	900	850	900	800	1000	1050	1100
Твердость НВ, не более (отожженные)	179	179	229	241	241	187	241	197	197	197	207	207	207
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	12,5	10,8	9,5	8,8	6,5	8,8	14	12,5	10	9,5	8	9	10
Диаметр после чистовой обработки, мм	95	105	100	90	75	95	85	100	98	85	90	100	80
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	180	200	280	200	300	400	350	300	250	280	250	200	300
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	1,6	3,2	1,6	1,6
Станок	1А616		1А62			16К20			1К62		1В62Г		1А62Б

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Марка стали	20ХНР	12ХН2	30ХГС	38ХГН	35СГ	40ХГ	33ХС	38ХС	40ХС	15ХФ	20ХФ	15НМ	60С2
Предел прочности σ_b , МПа	1200	800	1100	800	900	1000	900	950	1250	750	800	850	1600
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	207	229	229	229	229	241	255	255	187	197	197	302
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	9,2	9,5	7,8	8,5	15	13	12	7,5	8,5	9,2	11	12	9,5
Диаметр после чистовой обработки, мм	85	95	105	70	80	97	180	140	150	160	110	70	95
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	150	140	200	350	380	280	250	450	350	250	250	320	200
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	3,2	1,6	6,3	0,8	1,6	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6
Станок	1В62Г		1К62			1А616			1А62		1К62		1В62Г

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыв), МПа (кГ/мм^2); заготовка–прокат

Вариант	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Марка стали	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	20Г	25Г
Предел прочности σ_b , МПа	540	580	610	640	660	690	710	730	1100	1100	1150	460	500
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	187	197	207	217	229	229	229	241	241	255	175	180
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	10,5	8,6	10,2	11,2	10	11	12,5	10,2	8,8	9,7	7,6	10,8	8,4
Диаметр послечистовой обработки, мм	100	120	80	85	70	90	80	90	95	105	110	90	105
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	120	160	180	300	400	350	300	400	450	180	200	400	400
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3	1,6
Станок	1А62		16К20		1К62			1А616		1В62Г		1К62	

Вариант	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Марка стали	30Г	35Г	40Г	45Г	50Г	60Г	65Г	70Г	15Х	20Х	30Х	35Х	40Х
Предел прочности σ_b , МПа	550	570	600	630	660	710	750	800	700	800	900	930	1000
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	197	207	217	217	229	285	285	179	179	187	197	217
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	9,2	9,4	7,6	9,2	8,5	10	11,8	7,7	10	9,8	12,2	13	12
Диаметр после чистовой обработки, мм	92	85	90	100	70	80	175	180	155	125	100	97	75
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	120	160	180	300	400	380	300	400	450	180	200	190	250
Шероховатость Ra , мкм	3,2	0,8	3,2	0,8	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	1,6	6,3	1,6	1,6
Станок	16К20		1А616		1В62Г			1А62Г		1А616		1К62	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа ($\text{кг}/\text{мм}^2$) заготовка–прокат.

Вариант	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Марка стали	45X	50X	15Г	10Г2	30Г2	35Г2	40Г2	45Г2	50Г2	15XA	15XP	30XPA	30XPA
Предел прочности σ_b , МПа	1050	1100	420	430	600	630	670	700	750	600	750	1600	950
Твердость НВ, не более (отожженные)	229	229	169	197	207	207	217	229	229	179	187	197	217
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	9,4	9,6	7	9,2	8	10	12	7	8	9,6	9,2	10	8
Диаметр после чистовой обработки, мм	85	95	85	95	80	80	95	110	85	90	100	110	95
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	150	260	380	400	200	280	400	200	350	380	300	350	200
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	3,2	1,6	3,2	1,6	3,2	1,6	1,6
Станок	1K62		1A616		1B62Г			1A62		16K20		1A62Г	

Вариант	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
Марка стали	38XA	40XP	18XГ	35XГ2	18XГТ	20XГР	25XГТ	30XГТ	35XГФ	25XГМ	30XC	38XC	40XC
Предел прочности σ_b , МПа	950	1000	900	500	1000	1000	1300	1500	930	430	900	950	1250
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	229	187	217	217	197	217	229	207	229	241	255	255
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	7	8	10	11	8	7	7,5	10	8	9	7	10	8
Диаметр после чистовой обработки, мм	120	90	115	110	80	70	190	100	90	180	95	85	120
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	180	120	250	250	330	480	350	350	250	200	180	300	400
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	3,2	0,8	1,6
Станок	1A616		16K20		1K62			1B62Г		1K62		1A616	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2) заготовка–прокат

Вариант	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Марка стали	A11	A20	A30	A40Г	AC14	65Г	50C2	50XГ	55CГ	30XMA	15XФ	12XH2
Предел прочности σ_b , МПа	420	460	520	600	420	1000	1200	1100	1300	950	750	800
Твердость НВ, не более (отожженные)	160	168	185	229	170	285	285	302	285	229	187	207
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	7,4	8,4	9,5	12,5	8,5	7,2	10,5	14,2	7,5	8,5	8,8	6,5
Диаметр после чистовой обработки, мм	90	85	90	100	76	80	150	140	150	160	85	96
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	140	360	480	250	150	300	200	350	180	250	400	300
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	0,8
Станок	1B62Г		1K62		1A616			16K20		1A62		

Вариант	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Марка стали	45X	50X	15Г	10Г2	30Г2	35Г2	40Г2	45Г2	50Г2	15XA
Предел прочности σ_b , МПа	1050	1100	420	430	600	630	670	700	750	600
Твердость НВ, не более (отожженные)	229	229	169	197	207	207	217	229	229	179
Припуск на обработку на \varnothing , h мм	8,5	15,8	6,5	9,2	7,5	9,3	11,2	9,4	8,7	8,8
Диаметр после чистовой обработки, мм	100	120	80	90	86	90	110	90	95	80
Длина обрабатываемой поверхности l , мм	220	160	220	230	350	210	300	220	190	195
Шероховатость Ra , мкм	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3
Станок	16K20		1K62		16K20			1A616		

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2); заготовка–прокат

Варианты заданий на расчет режима резания при торцовом фрезеровании

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Марка стали	45X	50X	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	20Г
Предел прочности σ_b , МПа	1050	1100	540	580	610	640	660	690	710	730	1100	1100	1150	460
Твердость НВ, не более (отожженные)	229	229	187	187	197	207	217	229	229	229	241	241	255	175
Род заготовки	прокат		поковка		отливка		прокат		поковка		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	12,4	13,8	9,5	14,3	9,5	8,1	7,5	8,8	12,5	8,5	11,6	10,5	8,2	13,1
Размеры заготовки:														
ширина B , мм	170	180	90	170	280	275	290	130	120	130	140	108	90	100
длина L , мм	500	550	600	800	650	700	650	700	800	900	800	745	625	650
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6	0,8
Станок	6P13		6H12		6H13		6P12		6H12		6P12		6P11	

Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Марка стали	30Г	35Г	40Г	45Г	50Г	60Г	65Г	70Г	20X	30X	35X	40X	30XP	20Г
Предел прочности σ_b , МПа	550	570	600	630	660	710	750	800	800	900	930	1000	950	460
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	197	207	217	217	229	285	285	179	187	197	217	217	175
Род заготовки	прокат		поковка		отливка		прокат		поковка		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	16,2	14,2	11,2	8,4	9,6	8,8	7,8	6,5	10,8	6,5	13,6	9,4	9,8	15,6
Размеры заготовки:														
ширина B , мм	120	280	190	210	190	120	240	130	150	180	180	300	200	220
длина L , мм	725	700	850	900	550	600	755	900	865	700	800	900	550	725
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	0,8	0,8	1,6	3,2
Станок	6P12		6H12		6P11		6P13		6H12		6P12		6P13	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

Вариант	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Марка стали	15ХМ	20ХМ	30ХМ	35ХМ	38ХМ	15ХФ	40ХФА	15Н2М	20Н2М	20ХН	40ХН	45ХН
Предел прочности σ_b , МПа	450	800	950	950	1000	750	900	850	900	800	1000	1050
Твердость НВ, не более (отожженные)	179	179	229	241	241	187	241	197	197	197	207	207
Род заготовки	прокат		отливка		поковка		прокат		отливка		поковка	
Припуск на обработку, h мм	10	9,4	6,6	11	8,5	5,8	9,5	10,4	12,6	11	9,1	8,3
Размеры заготовки: ширина B , мм	60	95	100	80	90	80	100	80	90	110	120	110
длина L , мм	700	850	500	400	550	600	450	400	700	600	300	400
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P12		6H13		6P11		6H12		6P13		6P11	

Вариант	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Марка стали	20ХНР	12ХН2	30ХГС	38ХГН	35СГ	40ХГ	33ХС	38ХС	40ХС	15ХФ	20ХФ	60С2
Предел прочности σ_b , МПа	1200	800	1100	800	900	1000	900	950	1250	750	800	1600
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	207	229	229	229	229	241	255	255	187	197	302
Род заготовки	отливка		поковка		прокат		поковка		прокат		прокат	
Припуск на обработку, h мм	8,8	11,3	12	11,6	9,8	10,8	10,9	9,8	12,5	8,5	8,2	7,5
Размеры заготовки: ширина B , мм	102	80	104	80	108	80	95	90	110	96	120	115
длина L , мм	500	450	500	320	650	600	450	400	500	690	800	360
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P13		6H13		6P11		6P12		6P13		6P11	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

Вариант	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Марка стали	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	25Г
Предел прочности σ_B , МПа	540	580	610	640	660	690	710	730	1100	1100	1150	500
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	187	197	207	217	229	229	229	241	241	255	180
Род заготовки	прокат		отливка		поковка		прокат		отливка		поковка	
Припуск на обработку, h мм	10	9,4	6,6	11	8,5	5,8	9,5	10,4	12,6	11	9,1	8,3
Размеры заготовки:												
ширина B , мм	60	95	100	80	90	80	100	80	90	110	120	110
длина L , мм	700	850	500	400	550	600	450	400	700	600	300	400
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P12		6H13		6P11		6H12		6P13		6P11	

Вариант	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Марка стали	30Г	35Г	40Г	45Г	50Г	60Г	65Г	70Г	15X	20X	30X	40X
Предел прочности σ_B , МПа	550	570	600	630	660	710	750	800	700	800	900	1000
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	197	207	217	217	229	285	285	179	179	187	217
Род заготовки	отливка		поковка		прокат		поковка		прокат		прокат	
Припуск на обработку, h мм	8,8	11,3	12	11,6	9,8	10,8	10,9	9,8	12,5	8,5	8,2	7,5
Размеры заготовки:												
ширина B , мм	102	80	104	80	108	80	95	90	110	96	120	115
длина L , мм	500	450	500	320	650	600	450	400	500	690	800	360
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P13		6H13		6P11		6P12		6P13		6P11	

σ_B – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

Вариант	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Марка стали	38ХА	40ХР	18ХГ	35ХГ2	18ХГТ	20ХГР	25ХГТ	30ХГТ	35ХГФ	25ХГМ	30ХС	38ХС	45Х	40ХС
Предел прочности σ_b , МПа	950	1050	900	500	1000	1040	1300	1500	930	430	900	950	1050	1250
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	229	187	217	217	197	217	229	207	229	241	255	229	255
Род заготовки	поковка		прокат		прокат		отливка		прокат		отливка		поковка	
Припуск на обработку, h мм	12,6	8,6	10,5	9,5	6,5	7,8	8,5	9,8	11,2	9,6	14,2	6,9	9,8	10,8
Размеры заготовки: ширина B , мм	80	90	110	100	85	100	120	105	80	100	110	120	120	70
длина L , мм	800	650	780	665	980	500	350	300	545	515	400	800	800	350
Шероховатость Ra , мкм	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2
Станок	6P11		6H12		6H13		6P12		6H12		6P12		6P13	

Вариант	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Марка стали	20ХНР	12ХН2	30ХГС	38ХГН	35СГ	40ХГ	33ХС	38ХС	40ХС	15ХФ
Предел прочности σ_b , МПа	1200	800	1100	800	900	1000	900	950	1250	750
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	207	229	229	229	229	241	255	255	187
Род заготовки	поковка		прокат		прокат		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	11,4	10,4	6,8	9,8	11,9	10,8	11,5	9,5	7,2	10,5
Размеры заготовки: ширина B , мм	90	95	110	90	105	110	100	85	110	98
длина L , мм	400	420	455	300	350	300	415	590	400	460
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6
Станок	6P11		6H12		6H13		6P13		6H12	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

Варианты заданий на расчет режима резания при цилиндрическом фрезеровании

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Марка стали	45X	50X	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	20Г
Предел прочности σ_b , МПа	1050	1100	540	580	610	640	660	690	710	730	1100	1100	1150	460
Твердость НВ, не более (отожженные)	229	229	187	187	197	207	217	229	229	229	241	241	255	175
Род заготовки	прокат		поковка		отливка		прокат		поковка		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	12,4	13,8	9,5	14,3	9,5	8,1	7,5	8,8	12,5	8,5	11,6	10,5	8,2	13,1
Размеры заготовки: ширина B , мм	100	110	90	170	180	175	190	130	120	130	140	108	90	100
длина L , мм	500	550	200	200	650	200	650	700	800	200	800	245	225	250
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	0,8	1,6	0,8
Станок	6P13		6H12		6H13		6P12		6H12		6P12		6P11	

Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Марка стали	30Г	35Г	40Г	45Г	50Г	60Г	65Г	70Г	20X	30X	35X	40X	30XP	20Г
Предел прочности σ_b , МПа	550	570	600	630	660	710	750	800	800	900	930	1000	950	460
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	197	207	217	217	229	285	285	179	187	197	217	217	175
Род заготовки	прокат		поковка		отливка		прокат		поковка		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	16,2	14,2	11,2	8,4	9,6	8,8	7,8	6,5	10,8	6,5	13,6	9,4	9,8	15,6
Размеры заготовки: ширина B , мм	120	280	190	210	190	120	240	130	150	180	180	100	200	120
длина L , мм	225	200	250	300	550	200	755	300	365	700	200	300	550	725
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	0,8	0,8	1,6	3,2
Станок	6P12		6H12		6P11		6P13		6H12		6P12		6P13	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2).

Вариант	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Марка стали	15ХМ	20ХМ	30ХМ	35ХМ	38ХМ	15ХФ	40ХФА	15Н2М	20Н2М	20ХН	40ХН	45ХН
Предел прочности σ_b , МПа	450	800	950	950	1000	750	900	850	900	800	1000	1050
Твердость НВ, не более (отожженные)	179	179	229	241	241	187	241	197	197	197	207	207
Род заготовки	прокат		отливка		поковка		прокат		отливка		поковка	
припуск на обработку, h мм	10	9,4	6,6	11	8,5	5,8	9,5	10,4	12,6	11	9,1	8,3
Размеры заготовки:												
ширина B , мм	60	95	100	80	90	80	100	80	90	110	120	110
длина L , мм	200	250	120	180	150	200	450	400	200	200	300	400
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P12		6H13		6P11		6H12		6P13		6P11	

Вариант	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Марка стали	20ХНР	12ХН2	30ХГС	38ХГН	35СГ	40ХГ	33ХС	38ХС	40ХС	15ХФ	20ХФ	60С2
Предел прочности σ_b , МПа	1200	800	1100	800	900	1000	900	950	1250	750	800	1600
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	207	229	229	229	229	241	255	255	187	197	302
Род заготовки	отливка		поковка		прокат		поковка		прокат		прокат	
Припуск на обработку, h мм	8,8	11,3	12	11,6	9,8	10,8	10,9	9,8	12,5	8,5	8,2	7,5
Размеры заготовки:												
ширина B , мм	102	80	104	80	108	80	95	90	110	96	120	115
длина L , мм	500	450	500	320	250	200	450	400	500	690	300	360
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P13		6H13		6P11		6P12		6P13		6P11	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

Вариант	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Марка стали	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	25Г
Предел прочности σ_b , МПа	540	580	610	640	660	690	710	730	1100	1100	1150	500
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	187	197	207	217	229	229	229	241	241	255	180
Род заготовки	прокат		отливка		поковка		прокат		отливка		поковка	
Припуск на обработку, h мм	10	9,4	6,6	11	8,5	5,8	9,5	10,4	12,6	11	9,1	8,3
Размеры заготовки: ширина B , мм	60	95	100	80	90	80	100	80	90	110	120	110
длина L , мм	200	350	500	400	250	300	450	400	300	300	300	400
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P12		6H13		6P11		6H12		6P13		6P11	

Вариант	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Марка стали	30Г	35Г	40Г	45Г	50Г	60Г	65Г	70Г	15X	20X	30X	40X
Предел прочности σ_b , МПа	550	570	600	630	660	710	750	800	700	800	900	1000
Твердость НВ, не более (отожженные)	187	197	207	217	217	229	285	285	179	179	187	217
Род заготовки	отливка		поковка		прокат		поковка		прокат		прокат	
Припуск на обработку, h мм	8,8	11,3	12	11,6	9,8	10,8	10,9	9,8	12,5	8,5	8,2	7,5
Размеры заготовки: ширина B , мм	102	80	104	80	108	80	95	90	110	96	120	115
длина L , мм	300	450	200	320	350	200	450	400	500	290	200	260
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3
Станок	6P13		6H13		6P11		6P12		6P13		6P11	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа ($\text{кг}/\text{мм}^2$)

Вариант	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Марка стали	38ХА	40ХР	18ХГ	35ХГ2	18ХГТ	20ХГР	25ХГТ	30ХГТ	35ХГФ	25ХГМ	30ХС	38ХС	45Х	40ХС
Предел прочности σ_b , МПа	950	1050	900	500	1000	1040	1300	1500	930	430	900	950	1050	1250
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	229	187	217	217	197	217	229	207	229	241	255	229	255
Род заготовки	поковка		прокат		прокат		отливка		прокат		отливка		поковка	
Припуск на обработку, h мм	12,6	8,6	10,5	9,5	6,5	7,8	8,5	9,8	11,2	9,6	14,2	6,9	9,8	10,8
Размеры заготовки:														
ширина B , мм	80	90	110	100	85	100	120	105	80	100	110	120	120	70
длина L , мм	800	650	780	665	980	500	350	300	545	515	400	800	800	350
Шероховатость Ra , мкм	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2
Станок	6P11		6H12		6H13		6P12		6H12		6P12		6P13	

Вариант	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Марка стали	20ХНР	12ХН2	30ХГС	38ХГН	35СГ	40ХГ	33ХС	38ХС	40ХС	15ХФ
Предел прочности σ_b , МПа	1200	800	1100	800	900	1000	900	950	1250	750
Твердость НВ, не более (отожженные)	207	207	229	229	229	229	241	255	255	187
Род заготовки	поковка		прокат		прокат		отливка		прокат	
Припуск на обработку, h мм	11,4	10,4	6,8	9,8	11,9	10,8	11,5	9,5	7,2	10,5
Размеры заготовки:										
ширина B , мм	90	95	110	90	105	110	100	85	110	98
длина L , мм	400	420	455	300	350	300	415	590	400	460
Шероховатость Ra , мкм	0,8	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	6,3	1,6	3,2	1,6
Станок	6P11		6H12		6H13		6P13		6H12	

σ_b – предел прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву), МПа (кГ/мм^2)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В. А. Оськин, В. Н. Байкалова, В. М. Соколова и др.; Под ред. В. А. Оськина, В. Н. Байкаловой. 2-е изд., дополненное. М. : БИБКМ, ТРАНСЛОГ, 2015. 400 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учеб. заведений).

2. Технология конструкционных материалов : учебное пособие / В. П. Глухов, В. Л. Тимофеев, В. Б. Федоров, А. А. Светлов; под общ. ред. проф. В. Л. Тимофеева - 3-е изд., испр. и доп. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2019. 272 с.: – (Высшее образование: Бакалавриат).

3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 756 с.: ил.

4. Курсовое и дипломное проектирование по технологии сельскохозяйственного машиностроения / В. Н. Хромов, А. М. Колокатов, Т. С. Прокошина и др.; под ред. В. Н. Хромова и А. М. Колоката. М. : КолосС, 2010. 271 с.

5. Bstudy – статьи для высших учебных заведений [Электронный ресурс]. URL: https://bstudy.net/714140/tehnika/protyazhki_vnutrennego_protyagivaniya_zubchatyh_ventsov.

6. Studfiles файловый архив студентов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/7126467/page:3/>.

7. Studfiles файловый архив студентов [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/2657399/>.

8. ГОСТ 25761–83. Виды обработки резанием. Термины и определения общих понятий. Введ. 1984–07–01. М. : Издательство стандартов, 1985.

9. ГОСТ 25762–83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. Введ. 1984–07–01. М. : Издательство стандартов, 1985.

10. ГОСТ 25751–83. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий. Введ. 1984–07–01. М. : Издательство стандартов, 1990.

11. ГОСТ 2.309–73. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. Введ. 1984–07–01. М. : Издательство стандартов, 1985.

12. ГОСТ 2.309–73. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. Введ. 1984–07–01. М. : Издательство стандартов, 1985.

Учебное издание

Гайдар Сергей Михайлович
Колокатов Александр Михайлович
Пикина Анна Михайловна

**ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Оригинал-макет *Светлана Минченко*

Дизайн обложки *Полина Шапошникова*

Подписано в печать 22.12.2021. Формат 60х90/16
Усл.-печ. л. 17,62. Тираж 500 экз. Заказ № 25

ООО «Мегаполис»
www.m-megapolis.ru
Тел. 8 (495) 643-28-71
E-mail: zakaz@m-megapolis.ru
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23 А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»
Тел.: +7 (499) 322-38-31
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5