



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДЕПАРТАМЕНТ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ И
ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ**

учебное пособие

КОСТРОМА 2004

УДК 631.1

СОСТАВИТЕЛИ: Курбатов А.Е. доцент кафедры "РМиТМ";

Березовский Г.С. доцент кафедры "РМиТМ";

Жукова С.В. ст. преподаватель кафедры "РМиТМ";

Косарев А.В. ассистент кафедры "РМиТМ";

Печатается по решению методической комиссии факультета механизации с.х. ФГОУ

ВПО "Костромская ГСХА" от 19 апреля 2004 протокол № 8

Рецензент: зав.кафедрой "СХМ", доцент, к.т.н. Иванов С.В.

В учебном пособии даны рекомендации по составлению технологического процесса механической обработки детали: определению типа и организационной формы производства; выбор метода получения заготовки; выбор технологических баз; составление технологического маршрута обработки; выбор оборудования; разработка технологических операций; расчет припусков; выбор режимов резания ; для специальностей 311300, 31900, 150200 очной и заочной формы обучения. Данная работа может быть использована в качестве учебного пособия для самостоятельной работы.

Учебное издание

Курбатов А.Е., Березовский Г.С., Жукова С.В., Косарев А.В.

Проектирование

технологического процесса механической обработки детали

Главный редактор Борзова М.В.

Корректор Мазина М.М.

Компьютерная верстка Мазина М.М.

Учебно-методическое издание

Березовский С.Г.

Проектирование технологического процесса механической обработки детали. -

Кострома: изд. Костромской ГСХА, 2004. - 49с.

Кафедра Ремонт машин (фак. Механизации)

© Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия"

156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, КГСХА

Лицензия на издательскую деятельность ЛР №021292. Выдана 18.06.98

Компьютерный набор. Подписано в печать 26 Апрель 2004,
Заказ №188, Формат 84х60/16, Тираж 200 экз., Усл. печ. л.
3,12, Бумага офсетная. Отпечатано 06 Июнь 2004. Цена 8,90
руб.

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической
типографии на цифровом дубликаторе.

Качество соответствует предоставленным оригиналам.

© **Издательство ФГОУ ВПО Костромской ГСХА, 2004г.**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Цель работы.....	5
2 Основные термины и определения.....	5
3 Тип производства.....	6
4 Задачи проектирования.....	7
5 Исходная информация для разработки технологического процесса.....	7
6 Основные этапы проектирования.....	8
7 Анализ исходных данных.....	8
8 Группирование деталей по конструктивным и технологическим признакам.....	8
9 Выбор заготовки.....	8
9.1 Отливки.....	9
9.2 Поковки и штамповки.....	9
9.3 Заготовки из проката.....	10
10 Выбор баз и способов базирования.....	12
11 Выбор оборудования и оснастки.....	14
12 Составление технологического маршрута обработки и припуски на обработку..	16
13 Выбор режущих инструментов.....	18
14 Выбор режимов резания.....	20
14.1 Обработка на токарных станках.....	20
14.2 Строгание и долбление.....	30
14.3 Сверление, зенкерование, развертывание.....	31
14.4 Фрезерование.....	38
14.5 Шлифование.....	43
Список использованных источников.....	49

ВВЕДЕНИЕ

Более 90% деталей, применяемых в машиностроении, изготавливаются различными способами резания. При этом используется широкая номенклатура металлорежущего оборудования, режущего и измерительного инструмента. Качество и себестоимость выпускаемой продукции зависит не только от технологических возможностей производителя, но и от принятой технологии обработки. Правильный выбор технологии обработки изделия в значительной степени зависит и от рационального назначения режимов обработки.

Целью данного курса является получение студентами знаний по:

1. основам проектирования технологических процессов;
2. технологии изготовления деталей механической обработкой.

Основная задача дисциплины – дать студентам необходимые теоретические знания и привить практические навыки в решении инженерных задач по проектированию технологических процессов изготовления деталей. Изучается общая методика и особенности расчета режимов резания механической обработки деталей.

Изучение курса базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин: инженерная графика; теоретическая механика; сопротивление материалов; материаловедение; технология конструкционных материалов; теория механизмов и машин; детали машин.

Курс обобщает знания, полученные при изучении многих общеобразовательных и специальных дисциплин, знакомит с основными положениями и методикой проектирования технологических процессов механической обработки деталей, выбором инструмента и оборудования, назначением режимов обработки, способами получения различных поверхностей методом резания.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Изучить задачи и методику проектирования механической обработки детали.
- 2 Закрепить полученные знания и научиться их практически применять при решении технологических задач.
- 3 Приобрести практические навыки в проектировании технологического процесса механической обработки деталей машин.

2 ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Производственный процесс- это совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий. Он охватывает все стадии производства: от получения материалов (сырье, полуфабрикаты, комплектующие изделия) до получения готовой выпускаемой продукции и ее упаковки.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. При этом применительно к механической обработке предусматриваются в основном действия по изменению формы и размера заготовки и частично качества обработанных поверхностей или в связи с сопутствующими резанию явлениями, или путем применения специальных методов механической обработки.

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Она может выполняться одним или несколькими рабочими по одновременной обработке одной или нескольких деталей и является основной единицей производственного планирования и учета. На основе ее определяются трудоемкость обработки, необходимое оборудование, приспособления и инструмент. Технологические операции принято именовать по используемому оборудованию (токарная, сверлильная, шлифовальная и т.д.).

Технологический переход – это законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента, и поверхностей, образуемых обработкой. Режим обработки при этом остается неизменным. Изменение хотя бы одного из этих условий приводит к новому переходу. При одном переходе обработка резанием может сопровождаться снятием одного или нескольких слоев материала.

Рабочий ход (в технической литературе часто встречается понятие “проход”) – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шерохо-

ватости поверхности. В данном случае имеется в виду перемещение в направлении вспомогательного движения. Переход может быть выполнен в один или несколько рабочих ходов, одним или одновременно участвующими в работе несколькими инструментами.

Установ – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок. При выполнении переходов заготовка вместе с приспособлением может занимать одно или несколько последовательных положений в пространстве, каждое из которых называют позицией.

Позиция – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции, например, при обработке с использованием многоместных поворотных приспособлений или на многошпиндельных станках.

3 ТИП ПРОИЗВОДСТВА

Это классификационная характеристика производства, выделяемая по признакам широты, номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий. Нельзя смешивать с термином “вид производства” (литейное, сварочное и т.д.), т.е. выделяемого по признаку применяемого метода изготовления. Различают единичное, серийное и массовое типы производств. Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций (**К**). § Это отношение числа всех технологических операций, выполняемых или подлежащих выполнению в течение месяца к числу рабочих мест.

Рабочее место – это часть производственной площади цеха, на которой размещены один или несколько исполнителей работы и обслуживаемая ими единица технологического оборудования, а также оснастка и (на ограниченное время) предметы производства.

Единичное производство (согласно ГОСТ14.004-71 не допускается понятие “индивидуальное”) характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска (**К>40**). Это слабо организованное производство с высокой себестоимостью изготовления изделий и сравнительно низкой производительностью, т.к. отсутствует заранее обусловленная повторяемость изделий, требуется универсальное оборудование, приспособления и универсальность рабочих.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии и коэффициента закрепления операций различают: *мелкосерийное* – **К>20** (до 40 включительно), *среднесерийное* – **К>10** (до 20 включительно), *крупносерийное* – **К>1** (до 10 включительно). Особенно-

сти его - периодическая смена операций на рабочих местах, сравнительно широкая универсальность оборудования и отсутствие поточности в его расположении.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпускаемых изделий в течение продолжительного времени ($K=1$). Особенности его – установившийся объем и характер работ на рабочих местах, широкое применение специального оборудования, расположение рабочих мест в порядке последовательности операций. Это производство с наиболее совершенной формой организации.

Выбор заготовки, технологического оборудования и оснастки при проектировании технологического процесса во многом зависит от типа производства. В ремонтном деле наиболее распространены единичные и серийные типы производств. Применительно к этому и дается дальнейшее изложение материала.

4 ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование технологического процесса является важным, ответственным и трудоемким элементом технической подготовки производства. Он должен обеспечить выполнение всех требований рабочей конструкторской документации на изделие при наименьших затратах труда и средств, в количествах и в сроки, установленные программой, а также соответствовать требованиям техники безопасности и производственной санитарии.

5 ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1. Функциональное назначение, рабочий чертеж детали и технические условия на ее изготовление.
2. Программа обработки изделия, т.е. количество деталей, изготавливаемых по неизменным чертежам и в установленные сроки.
3. Сведения о заготовках, оборудовании и оснастке, которыми можно располагать для данного предприятия при проектировании, т.е. условия в которых будет осуществляться технологический процесс.
4. Справочные материалы по описанию прогрессивных методов обработки, выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм времени и др.), а также каталоги, справочники.
5. Стандарты на технологические процессы, оборудование и оснастку.

6 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1. Анализ исходных данных.
2. Группирование деталей по конструктивным и технологическим признакам, если предусматривается изготовление нескольких различных их видов.
3. Выбор заготовки.
4. Выбор технологических баз.
5. Составление технологического маршрута обработки.
6. Разработка технологических операций.
7. Нормирование технологического процесса.
8. Оформление технологического процесса.

7 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Предусматривает изучение рабочего чертежа детали, ее функционального назначения, требований к изготовлению и последующей эксплуатации детали, программы обработки. На этом этапе проектирования намечают форму организации технологического процесса и тип производства, выясняют возможность использования наиболее производительных видов обработки.

8 ГРУППИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПО КОНСТРУКТИВНЫМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

Группирование деталей производится при серийном типе производства. В этом случае детали, подлежащие обработке, классифицируются по конфигурации и размерам на группы с целью применения группового метода обработки.

В этом случае разработку технологического процесса производят не на каждую деталь, а на их группы. Обработка каждой группы производится на однотипном оборудовании с использованием однотипной оснастки. Это сокращает номенклатуру и количество оснастки, позволяет использовать более прогрессивные методы обработки, повысить производительность механической обработки и снизить себестоимость.

9 ВЫБОР ЗАГОТОВКИ

В сельскохозяйственном машиностроении, а также в ремонтном производстве для изготовления деталей машин в качестве заготовок применяется прокат из различных сортов сталей и др. металлов, поковки, отливки и различные заготовки из неметаллических материалов. В ремонтном производстве при восстановлении деталей машин возникает также необходимость в механической обработке нанесенных различными способами покрытий на изношенные поверхности.

При выборе заготовки необходимо учитывать материал, форму, размеры детали, ее эксплуатационное назначение, программу изготавливаемых деталей и вид производства, технологические возможности и стоимость получения заготовок. При этом следует стремиться, чтобы форма и размеры заготовки были максимально приближены к форме и размерам детали, т.е. чтобы наименьшее количество материала переводилось в стружку при обработке, а суммарная себестоимость механической обработки и заготовки была минимальной.

9.1 Отливки

Отливки могут быть получены следующими видами литья: в разовые земляные формы, в кокили, под давлением, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям и центробежным способом.

Наиболее точными являются заготовки, полученные литьем под давлением, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в кокили и центробежным литьем, для которых припуск на механическую обработку составляет от 0,1 до 3 мм на сторону. Некоторые поверхности вообще не требуют последующей механической обработки. Их целесообразно применять при больших программах выпуска заготовок (2000 в год и более), т.к. требуется сложная оснастка, а для некоторых – и специальные формовочные смеси.

Литье в земляные формы более универсально, не требует сложного оборудования, особенно при ручной формовке по деревянным моделям. При массе отливки до 50 кг и меньше этот способ целесообразно применять при программе производства 200 и более отливок в год. Для отливок массой не более 100 кг припуск на механическую обработку составляет при ручной формовке – 3...7мм, при машинной – 2,5...4мм на сторону.

9.2 Поковки и штамповки

Являются основным видом заготовок для многих различных по форме и массе деталей из сталей и некоторых цветных металлов. Из большого разнообразия способов получения заготовок этими методами в единичном и мелкосерийном производстве применяется ковка с использованием универсального инструмента или бойков, а при программе 50 заготовок и более – ковка в подкладных штампах. В первом случае припуск на механическую обработку составляет 5мм и более, во втором – 3мм и более.

9.3 Заготовки из проката

Из этого вида заготовок механической обработке подвергается сортовой прокат: сталь круглая, квадратная, шестигранная горячекатаная. По точности прокатки сталь имеет марки А, Б, В, что соответствует высокой, повышенной и обычной точности.

Номинальные размеры и предельные отклонения выполняются для круглой горячекатаной стали по ГОСТ2590-71, квадратной – по ГОСТ2591-71, шестигранной – по ГОСТ2879-69. Размеры и предельные отклонения приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 - Размеры и предельные отклонения горячекатаной стали

Круглая Диаметр, мм	Квад- ратная Сторона квадра- та, мм	Шести- гранная Диаметр впи- санного кру- га, мм	Предельные отклонения , мм при точности прокатки				
			Круглая и квадратная			Шестигранная	
			А	Б	В	Обыч- ной	Повышен- ной (П)
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7; 8; 9	5 - 9 (через1)	8; 9	+0,1 -0,2	+0,2 -0,5		+0,3 -0,5	+0,1 -0,3
От 10 до 19 через 1		10 -19 (через1)	+0,1 -0,3	+0,1 -0,5			+0,2 -0,3
От 20 до 25 через 1		20; 21; 22; 24; 25	+0,2 -0,3	+0,2 -0,5		+0,4 -0,5	+0,2 -0,4
26 - 48 (через 1)	26 - 42 (через 1) 45,46,48	От 26 - 42 (через 2) 45, 48	+0,2 -0,5	+0,2 -0,7		+0,4 -0,7	+0,2 -0,6
50; 52; 53; 54;55; 56;58	50; 52; 55; 58	50; 52; 55	+0,2 -0,8	+0,2 -1,0		+0,4 -1,0	+0,2 -0,9
60; 62; 63; 65; 70;72 ;75; 78	60;63;65 ; 70;75	60; 63; 65; 70; 75	+0,3 -0,9	+0,3 -1,1		+0,5 -1,1	+0,3 -1,0
80; 82; 85; 90; 95	80; 85; 90; 93;95	80; 85; 90; 95	+0,3 -1,1	+0,3 -1,3		+0,5 -1,3	+0,4 -1,2
От 100 до 115 (через 5)		100		+0,4 -1,7		+0,6 -1,7	+0,5 -1,5

Примеры условного обозначения горячекатаной стали:

круглая, марки Ст3 диаметром 50мм, обычной точности прокатки:

$$\text{Круг} \frac{B50 \text{ГОСТ} 2590 - 71}{Ст3 \text{ГОСТ} 380 - 71};$$

квадратная, марки сталь45, со стороной квадрата 60мм, повышенной точности про-
катки:

$$\text{Квадрат} \frac{B60 \text{ГОСТ} 2591 - 71}{45 \text{ГОСТ} 1050 - 74};$$

шестигранная, нормальной точности прокатки, марки 40X, с диаметром вписанной окружности круга 22мм:

$$\text{Шестигранник} \frac{22\text{ГОСТ}2879 - 69}{40\text{XГОСТ}4543 - 71}.$$

Для обработки на станках с цанговыми зажимами, а также для изготовления деталей, часть поверхностей которых не требуют механической обработки, но являются посадочными (многие валы сельскохозяйственных машин и др.) или требуют повышенной точности (гайки, болты, штуцеры и т.д.) следует использовать калиброванную сталь круглую (ГОСТ7417-75, классы 3,3а,4,5), квадратную (ГОСТ8559-75) и шестигранную (ГОСТ8560-67, классы 3а,4,5). Предельные отклонения их размеров значительно меньше, чем для горячекатаной стали и в зависимости от размера, профиля и точности колеблются от **-0,02 до +0,46 мм.**

Размер и точность проката выбираются в соответствии с требованиями чертежа детали. Если обрабатываются все поверхности детали, следует использовать прокат 5 класса как менее дорогой.

Примеры условного обозначения калиброванной стали:

круглая, марки 45X, диаметром 30мм, класса точности 3а

$$\text{Круг калибр.} \frac{30(3а)\text{ГОСТ}7417 - 75}{45\text{XГОСТ}4543 - 71};$$

квадратная, марки 20, со стороной квадрата 12мм, класса точности 4

$$\text{Квадрат калибр.} \frac{12(4)\text{ГОСТ}8559 - 75}{20\text{ГОСТ}1051 - 73};$$

шестигранная, марки 45, с диаметром вписанного круга 22 мм, класс точности 5:

$$\text{Шестигранник} \frac{22(5)\text{ГОСТ}8560 - 67}{45\text{ГОСТ}1051 - 73}.$$

Для деталей типа колец, цилиндров и т.п. при отсутствии соответствующих заготовок используют бесшовные горячекатаные или холодноотянутые и холоднокатаные трубы.

В зависимости от контролируемых параметров и марки стали бесшовные горячекатаные трубы согласно ГОСТ8731-74 выпускаются пяти групп (А,Б,В,Г,Д).

Группы А поставляются по механическим свойствам, группы Б – по химическому составу без контроля механических свойств, группы В – по химическому составу с контролем механических свойств на термообработанных образцах, группы Д – без нормирования химического состава и механических свойств, но с гарантией испытания гидравлическим давлением.

Размеры и предельные отклонения бесшовных горячекатаных труб приведены в таблице 9.2.

Пример условного обозначения бесшовной горячекатаной трубы с поставкой по группе А из стали марки 10 с наружным диаметром 50мм и толщиной стенки 4,5мм:

$$\text{Труба } \frac{50 * 4.5 \text{ГОСТ8732} - 70}{А10 \text{ГОСТ8731} - 74}$$

Таблица 9.2 - Размеры и предельные отклонения размеров бесшовных горячекатаных труб (по ГОСТ8732-70)

Наружный диаметр, мм	Пределы толщины стенки, мм	Предельные отклонения размеров наружного диаметра, %	Толщина стенки	
			Номинальное значение, мм	Предельное отклонение, %
25; 28; 32; 38; 42 45; 50	2,5 - 4 2,5 – 5 2,5-5,5	± 0,5	2,5-14	+12,5 -15
54 57; 60; 63,5	3-11 3-12 3-14	± 0,5	2,5-14	+12,5 -15
68; 70 73; 76 83 89; 95; 102 108; 114; 121	3-16 3-18 3.5-18 3.5-22 4-28	± 1	16-28	± 12,5

Примечание. Трубы выпускаются со следующей градацией толщины стенок в мм: 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 17; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40; 45; 50.

10 ВЫБОР БАЗ И СПОСОБОВ БАЗИРОВАНИЯ

Чтобы получить требуемую точность размеров и взаимного положения поверхностей при механической обработке, заготовку следует закрепить с необходимой точностью на станке.

Придание заготовке требуемого положения относительно выбранной системы координат называется базированием.

Поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащие заготовке и используемые для базирования, называются **базой**.

По назначению различают базы конструкторские основные и вспомогательные, технологические, измерительные.

База, принадлежащая данной детали и используемая для определения ее положения в изделии, называется **конструкторской основной базой**. (*Например:* поверхности отверстия и торца шестерни, поверхности шеек вала под подшипник, на которых он устанавливается в корпусной детали, опорная поверхность и отверстие под установочные штифты корпусной детали.

Конструкторская база, которая используется для определения положения присоединяемого к ней изделия, называется **вспомогательной**.

Например, поверхности шейки вала, шпонки и его упорного уступа для установки на нем шестерни, поверхность отверстия и торца корпусной детали под крышку или кольцо подшипника.

База, используемая для определения положения заготовки в процессе изготовления или ремонта детали, называется **технологической**.

Например, центровые отверстия и поверхности под хомутик или рифленый центр.

ГОСТ21495-76 не допускает смешивания понятий технологической и установочной баз. Последняя лишает заготовку трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

База, используемая для определения относительного положения заготовки и средств измерения, называется **измерительной**.

Это поверхность заготовки, от которой производится отсчет и контроль размеров детали при обработке.

При выборе способов базирования и баз необходимо учитывать, что они должны обеспечить надежное закрепление заготовки, простоту ее установки и снятия, удобство проведения замеров, простоту приспособлений, отсутствие деформаций под действием сил зажима и резания.

Если в начале обработки возникает необходимость использовать в качестве баз необработанные поверхности заготовки, то необходимо, чтобы они имели достаточные размеры, были наиболее ровными и чистыми и при первой же переустановке заготовки могли быть заменены на обработанные.

В начале обработки за базы следует принимать поверхности, не требующие последующей обработки, что обеспечивает их наименьшее смещение относительно обработанных.

Наибольшая точность взаимного положения поверхностей детали достигается при обработке с использованием на всех ее стадиях одних и тех же баз, или наименьшего их числа, а также при совмещении технологических баз с конструкторскими (погрешность базирования в этом случае равна НУЛЮ).

При обработке на токарных станках заготовки симметричной формы (цилиндр, шестигранник, квадрат и д.р.) в зависимости от отношения длины заготовки L к ее диаметру (стороне квадрата, шестигранника) закрепляют одним из следующих способов:

- 1) в патроне (при $\frac{L}{D} \leq 4$);
- 2) в патроне с поддержкой центром задней бабки (при $4 < \frac{L}{D} \leq 10$);
- 3) в патроне с поддержкой центром задней бабки и подвижным или неподвижным люнетом (при $\frac{L}{D} > 10$);
- 4) заготовки типа валов с повышенными требованиями к концентричности поверхностей, подлежащие обработке на нескольких станках, или требующие нескольких перестановок в процессе обработки, закрепляют в ЦЕНТРАХ;
- 5) заготовки с обработанными отверстиями (втулки, зубчатые колеса и др.) при обработке наружных поверхностей закрепляют на ОПРАВКАХ различных типов (базирование по внутренней поверхности);
- 6) заготовки сложной формы, которые не могут быть закреплены в кулачковых патронах, закрепляют на планшайбе с помощью различных приспособлений (болтов, прихватов, угольников и т.д.). Например: лоботокарные и карусельные станки токарной группы.

Примеры нанесения знаков базирования и схем установок изделий приведены в ГОСТ 3.1107-73.

11 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

Выбор метода обработки и оборудования зависит от вида принятой заготовки, размеров детали, требований точности и качества обработанных поверхностей. Предварительный выбор метода можно произвести, пользуясь таблицей 11.1. Общие правила выбора технологического оборудования приведены в ГОСТ14.404-73, выбора технологической оснастки – в ГОСТ14.305-73.

При выборе типа и модели оборудования необходимо учитывать, что станок должен обеспечить выполнение всех требований чертежа и технических условий в отношении точности размеров, формы и качества обработанных поверхностей. Он должен наиболее полно использоваться по размерам, мощности, технологическим возможностям и обеспечивать наименьшие затраты времени и стоимость обработки.

По возможности необходимо использовать оборудование, имеющееся на предприятии или серийно выпускаемое заводами страны. В серийном производстве обычно применяется универсально – наладочная оснастка.

Определение оптимального варианта выбора оборудования и оснастки производят на основе технико–экономического анализа.

Таблица 11.1 – Экономическая точность способов механической обработки и шероховатость обработанных резанием поверхностей

Способ обработки	Значение параметров шероховатости, мкм		Квалитеты (степень точности)
	Rz	Ra	
Обтачивание и растачивание:			
черновое	80-320	25-100	15-17
получистовое	20-40	6,3-12,5	12-14
чистовое	6,3-10	1,6-3,2	7-9
фасонными резцами	6,3-10	1,6-12,5	8-14
Отрезка	80-320	25-100	14-17
Подрезка торцев	10-40	3,2-12,5	11-13
Нарезание резьбы:			
резцом	10-20	3,2-6,3	6-8
метчиком и плашкой	10-40	3,2-12,2	6-8
Сверление отверстий с диаметром:			
до 15мм	20-40	6,3-12,5	12-14
более 15мм	40-80	12,5-25	12-14
Рассверливание	40-80	12,5-25	12-14
Зенкерование	10-80	3,2-25	10-15
Развертывание:			
чистовое	6,3-10	1,6-3,2	7; 8
тонкое	3,2	0,8	7
Протягивание:			
чистовое	3,2-10	0,8-3,2	7; 8
тонкое	0,8-1,6	0,2-0,4	7

Продолжение таблицы 11.1

Способ обработки	Значение параметров шероховатости, мкм		Квалитеты (степень точности)
	Rz	Ra	
Фрезерование:			
черновое	40-160	2,5-50	12-14
чистовое	10-20	3,2-6,3	11
тонкое	6,3	1,6	8,9
Строгание и долбление:			
черновое	40-160	12,5-50	12-14
чистовое	10-40	3,2-12,5	11-13
Шлифование круглое и плоское:			
получистовое	10-20	3,2-6,3	8-11
чистовое	3,2-6,3	0,8-1,6	6-11
Обработка зубчатых колес:			
строганием, долблением	10-20	3,2-6,3	7-10
фрезерованием, шевингованием	3,2-6,3	0,8-1,6	5;6
Хонингование	0,2-1,6	0,05-0,4	7;8
Суперфиниширование	0,4-1,6	0,1-0,4	5 и точнее

12 СОСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ОБРАБОТКИ И ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

Первыми обрабатываются те поверхности, которые принимаются за базы для последующей обработки. Затем обрабатываются поверхности с наибольшими припусками на обработку или те, где по опыту работы известно о возможном наличии дефектов в заготовке.

Наиболее точные поверхности обрабатываются последними.

Последовательность основной обработки следует устанавливать в зависимости от требуемой точности и шероховатости поверхностей.

Припуск – слой материала, который необходимо удалить в процессе обработки. Различают общие припуски, удаляемые в процессе всех стадий обработки, и промежуточные, удаляемые на каждом переходе.

Величина припуска должна обеспечивать получение детали заданной формы, соответствующих размеров и качества поверхностей при наименьшем расходе материала и минимальной трудоемкости механической обработки.

При составлении технологии обработки детали необходимо учитывать тот факт, что погрешность формы, полученная на какой-либо операции, будет переходить и на последующие, но с некоторым ее уменьшением (*наследственная погрешность*).

В таблицах 12.1 и 12.2 приведены ориентировочные значения промежуточных припусков применительно к мелкосерийному производству без учета конструктивных форм и материала детали, вида и способа получения заготовки, толщины дефектного слоя, погрешности установки и др. факторов.

Таблица 12.1 - Промежуточные припуски на механическую обработку валов и плоскостей

Вид и характер обработки	Диаметр (ширина) обрабатываемой поверхности, мм	Длина обрабатываемой детали, мм				
		До 100	101-250	251-500	501-800	801-1200
		Припуск на обработку на одну сторону, мм				
Получистовое и чистовое обтачивание после черного обтачивания	До 10	0,40	0,45	0,50		
	11...50	0,45	0,50	0,55	0,65	0,75
	51...120	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80
	121...260	0,60	0,65	0,70	0,80	0,90
	261...500	0,65	0,70	0,75	0,85	1,0
Шлифование центровое и бесцентровое (<i>незакаленных</i> <i>закаленных</i>)	До 10	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	<u>0,10</u>	<u>0,15</u>	<u>0,30</u>
	11...50	<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	<u>0,20</u>	<u>0,30</u>	<u>0,35</u>
		<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	<u>0,20</u>	<u>0,30</u>
	51...120	<u>0,20</u>	<u>0,20</u>	<u>0,25</u>	<u>0,40</u>	<u>0,45</u>
		<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	<u>0,20</u>	<u>0,30</u>	<u>0,35</u>
Обработка торцев <i>чистов. подрезание</i> <i>шлифование</i>	До 30	<u>0,5</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>	
		<u>0,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	
	31...50	<u>0,6</u>	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>	
		<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	
	51...120	<u>0,7</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>	<u>0,15</u>	
		<u>0,3</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	<u>0,20</u>	
	121...260	<u>0,8</u>	<u>1,0</u>	<u>1,2</u>	<u>1,4</u>	
		<u>0,4</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>	<u>0,7</u>	
	Чистовое фрезерование или строгание плоскостей	До 100	1,0		1,5	2
		101...300	1,5		2,0	2,5
Шлифование плоскостей после чистовой обработки	До 100	0,2		0,3	0,5	
101...300	0,3		0,4			

Таблица 12.2 - Промежуточные припуски на механическую обработку отверстий

Вид и характер обработки	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм								
	До	11-	17-	26-	41-	51-	81-	121-	181-
	10	16	25	40	50	80	120	180	260
Припуск на обработку на диаметр, мм									
Зенкерование		1,0	1,5	2,0	2,5				
Развертывание:									
черновое	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25	0,27			
чистовое	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08			
Протягивание	0,6	0,7	0,8	1,0	1,4	1,5			
Растачивание			1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
Шлифование:									
незакаленных	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6
закаленных сталей	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
Хонингование:									
чугун					0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
сталь					0,02	0,02	0,03	0,03	0,04

13 ВЫБОР РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Выбор типа режущего инструмента, его размеров, геометрии и материала режущей части производится в зависимости от вида и характера обработки, механической характеристики станка, свойств обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента. Рекомендации по выбору марок твердых сплавов приведены в таблице 13.1.

В зависимости от характера обработки, свойств обрабатываемого материала и материала инструмента целесообразно применять следующие формы заточки резцов по передней поверхности лезвия:

плоская с положительным передним углом – для быстрорежущих и твердосплавных резцов при обработке бронзы, серого чугуна с $HV < 220$ и стали с $\sigma_{II} < 800$ Мпа;

плоская с отрицательной фаской – при обработке ковкого чугуна, стали и стального литья с $\sigma_{II} > 800$ Мпа;

плоская с отрицательным передним углом – при обработке твердых материалов, стали и стального литья с $\sigma_{II} > 800$ Мпа, поверхностей, загрязненных неметаллическими включениями, при работе с ударами в условиях жесткой системы СПИД.

Таблица 13.1 – Применение твердых сплавов

Вид и характер обработки	Обрабатываемый материал									
	Сталь углеродистая и легированная		Нержавеющие, вы-сокопрочные, жаро-сплавы	Чугун		Цветные металлы и сплавы	Неметаллические материалы			
	незака-ленная	зака-ленная		серый, НВ 240	твердый легиро-ванный		малоабра-зивные	высо-коабра-зив-ные		
Тяжелое черно-вое точение	ТТ7К12		ВК8	ВК8	ВК8	ВК8	ВК8	ВК8		
Черновое точе-ние	Т14К8		ВК8 ВК8-ОМ	ВК4 ВК6	ВК4 ВК6	ВК4 ВК8	ВК8			
Получистовое точение:	Т14К8 Т15К6		ВК4 ВК8	ВК8	ТТ8К6	ВК4 ВК6	ВК4 ВК6	ВК4 ВК6	ВК6-М	
Чистовое точе-ние	Т30К4 Т30К4	ВК3-М Т30К4	ВК6-ОМ	ВК3	ВК3-М	ВК3	ВК3	ВК3	ВК6-М	
Отрезка	Т5К10		ВК4	ВК4	ВК3	ВК4	ВК3-М			
Строгание	Т5К10		ВК8	ВК8		ВК8	ВК8	ВК8		
Фрезерование	Т15К6 Т5К10		ВК8 ВК10-М	ВК4 ВК6	ТТ8К6	ВК6 ВК8	ВК6 ВК8	ВК6 ВК8		
Сверление	Т5К12		ВК10-М	ВК8	ТТ8К6	ВК8	ВК8	ВК8		

При выборе геометрии инструментов следует учитывать, что чем тверже обрабатываемый материал, чем выше его абразивная способность и ниже теплопроводность, чем больше неравномерность нагрузки на режущие кромки и чем выше хрупкость материала инструмента, тем массивнее должны быть его режущие кромки и вершина.

Это достигается соответствующим уменьшением переднего, заднего углов, углов в плане и увеличением угла наклона главной режущей кромки.

Допустимый износ токарных резцов по задней поверхности рекомендуется принимать в следующих пределах: при работе без охлаждения для резцов из быстрорежущих сталей – 0,3-0,5 мм; с охлаждением – 1,5-2,0 мм; для твердосплавных – 0,5-1,0 мм.

14 ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

14.1 Обработка на токарных станках

Точность и шероховатость поверхностей обработанных точением, можно определить по таблице 11.1, а материал режущей части резцов из твердых сплавов – по таблице 13.1.

14.1.1 Выбор глубины резания

Глубина резания (t) определяется по зависимости

$$\frac{L}{D} > 10); \quad (14.1)$$

где D и d диаметры соответственно обрабатываемой и обработанной поверхностей, мм.

При черновой обработке весь припуск на обработку следует срезать за один рабочий ход и только при завышенных припусках и обработке на мало-мощных станках – за наименьшее число рабочих ходов.

Величины припусков на обработку приведены в таблицах 12.1 и 12.2.

14.1.2 Выбор подачи

При черновой обработке подачу s назначают с учетом глубины резания, размеров обрабатываемой поверхности, жесткости системы СПИД, прочности режущей части и жесткости хвостовика резца, допустимого усилия механизма подачи станка.

При чистовом точении, ограничивающим фактором при выборе подачи является шероховатость и точность обработанных поверхностей.

В таблицах 14.1-14.4 приведены рекомендуемые величины подач для чернового и чистового точения резцами из быстрорежущих сталей и твердых сплавов.

При обработке прерывистых поверхностей и обработке с ударами табличные значения подач следует уменьшить до $(0,75-0,85)S$, а при обработке закаленных сталей – до $(0,5-0,8)S$.

При нарезании резьбы подача берется равной ходу нарезаемой резьбы, умноженному на число заходов.

Выбранную подачу корректируют по паспорту станка, на котором предусматривается производить обработку детали.

14.1.3 Выбор скорости резания

Скорость резания V (м/мин) определяют исходя из глубины резания t и подачи S расчетным путем по зависимостям (14.2) и (14.3) или выбирают из таблиц, приводимых в справочной литературе по назначению режима резания (7,8,9 и др.).

Для точения и растачивания

$$V = \frac{C_v}{T^m} \frac{1}{t^{X_v}} \frac{1}{S^{Y_v}} \cdot K_v \quad (14.2)$$

Для нарезания крепежной резьбы резцами с пластинками из твердого сплава

$$V = \frac{C_v}{T^m} \frac{i^{X_v}}{S^{Y_v}} \cdot K \quad (14.3)$$

где C_v - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и материала резца;

T – период стойкости резца в минутах (при одноинструментальной обработке принимает $T=40$ мин);

i – число рабочих ходов, необходимых для образования профиля резьбы (определяется по таблице 14.5).

Числовые значения C_v и показателей степеней m ; Y_v , X_v приведены в таблице 14.6.

Поправочный коэффициент, учитывающий конкретные для данного случая условия резания, является произведением ряда отдельных коэффициентов, каждый из которых отражает влияние определенного фактора на скорость резания:

$$K_V = K_{BV} * K_{MV} * K_{TV} * K_{CV} * K_{UV} * K_{\varphi} * K_{\varphi_{1V}} * K_{rV} * K_{xV} * K_{\phi V} * K_{hV} * K_{oV}$$

где K_{BV} - коэффициент, учитывающий вид обработки (смотри таблицу 14.7); K_{MV} - механические свойства обрабатываемых материалов (смотри таблицу14.8); K_{TV} - состояние обрабатываемого материала (смотри таблицу14.9); K_{CV} - состояние обрабатываемой поверхности заготовки (смотри таблицу 14.10); K_{UV} - материал режущей части инструмента (смотри таблицу 14.11); $K_{\varphi V}$ $K_{\varphi_{LV}}$, K_{rV} , K_{xV} - параметры реза (смотри таблицу 14.13); $K_{\phi V}$ - формы передней поверхности реза (смотри таблицу 14.14); K_{hV} - допустимый износ по задней поверхности реза (смотри таблицу 14.15); K_{oV} - применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при обработке сталей (смотри таблицу 14.12).

Таблица 14.1- Подачи при черновом обтачивании проходными резцами

Диаметр обрабатываемой детали, мм	Стали углеродистые, легированные и жаропрочные			Чугун и медные сплавы		
	Глубина резания не более, мм					
	3	5	8	3	5	8
	Подача, мм/об					
20	0,3-0,4	-	-	0,3-0,6	-	-
40	0,4-0,5	0,3-0,4	0,2-0,3	0,4-0,5	0,5-0,6	-
60	0,5-0,7	0,4-0,6	0,3-0,5	0,6-0,8	0,6-0,8	0,4-0,6
100	0,6-0,9	0,5-0,7	0,5-0,6	0,8-1,2	0,7-1,0	0,6-0,8

Таблица 14.2 - Подачи при обтачивании в зависимости от заданной шероховатости обработанных поверхностей

Высота микронеровностей не более, мкм		Обрабатываемый материал		
		Сталь углеродистая и легированная		Чугун, медные и алюминиевые сплавы
		Скорость резания, м/мин		
R_A	R_Z	50	50	Весь диапазон
		Подача, м/об		
12,5	40	0,3-0,5	0,4-0,55	0,35-0,4
6,3	20	0,18-0,25	0,25-0,3	0,15-0,25
3,2	10	0,08-0,1	0,11-0,2	0,1-0,15

Таблица 14.3 – Поддачи при растачивании

Размер резца, мм	Вылет резца не более, мм	Обрабатываемый материал					
		Сталь			Чугун и медные сплавы		
		Глубина резания не более, мм					
		2	3	5	2	3	5
		Поддачи, мм/об					
10	50	0,08			0,12-0,16		
16	80	0,10-0,20	0,10-0,15	0,10	0,20-0,30	0,15-0,25	0,10-0,18
20	100	0,15-0,30	0,15-0,25	0,10-0,12	0,30-0,40	0,25-0,35	0,12-0,25
30	150	0,40-0,50	0,20-0,50	0,12-0,30	0,40-0,80	0,40-0,60	0,25-0,45

Примечание: большие значения подач следует применять при меньшей глубине резания и при обработке менее прочных материалов.

Таблица 14.4 - Поддачи при отрезании и прорезании канавок.

Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Ширина режущей кромки резца, мм	Обрабатываемый материал		
		Сталь σ_B , МПа		Чугун
		<800	>800	
		Поддачи, мм/об		
20	3	0,08-0,10	0,06-0,08	0,11-0,14
30	3	0,10-0,12	0,08-0,10	0,13-0,16
40	3-4	0,12-0,14	0,10-0,12	0,16-0,19
60	4-5	0,15-0,18	0,12-0,16	0,20-0,22
80	5-6	0,18-0,20	0,16-0,18	0,22-0,25
100	6-7	0,20-0,25	0,18-0,20	0,25-0,30
125	7-8	0,25-0,30	0,20-0,22	0,30-0,35
150	8-10	0,30-0,35	0,22-0,25	0,35-0,40

Таблица 14.5 - Число рабочих ходов при нарезании крепежной резьбы резцами

Материал резца	Шаг резьбы Р, мм	Вид обрабатываемого материала					
		Сталь углеродистая	Сталь легированная	Чугун, бронза, латунь	Сталь углеродистая	Сталь легированная	Чугун, бронза, латунь
		Вид резьбы					
		Наружная			Внутренняя		
Твердый сплав	1,5	4	5		5	6	5
	2	4	5	4	5	6	5
	2,5	5	7	5	6	8	6
	3	5	7	5	6	8	6
	4	6	8	6	7	9	7
Быстро-режущая сталь	1,5	6	8	6	8	10	8
	2	9	11	8	11	11	9
	2,5	9	11	9	11	14	10
	3	9	11	9	11	14	10
Быстро-режущая сталь	4	11	13	10	13	17	11
	5	12	15	11	15	19	12
	6	13	17	11	17	20	13

Таблица 14.6 - Числовые значения величин, входящих в формулы скорости резания

при точении

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	C_V	X_V	Y_V	m
Обработка стали конструкционной σ_B 736 МПа						
Точение наружных поверхностей	Т15К6	$S \leq 0,3$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,3 < S < 0,7$	350		0,35	
0,7		340	0,45			
	P18	$S \leq 0,25$	70	0,25	0,33	0,125
		$S > 0,25$	44,8		0,66	
Отрезание	T5K10		47		0,80	0,20
	P18		18,9		0,66	0,25
Нарезание крепежной резьбы	T15К6		224	0,23		0,20
	P18	Черновые проходы			0,30	
		$S \leq 0,2$	11,8	0,70		0,11
		$S > 0,2$	29	0,60		0,08
		Чистовые проходы	33,5	0,45	0,30	0,13
Обработка серого чугуна HB190						
Точение наружных поверхностей	BK6	$S \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,40$	243		0,40	
Отрезание	BK6		68,5	-	0,40	0,20
	P18		22,5			0,15
Нарезание крепежной резьбы	BK6		83	0,45	0	0,36
Обработка ковкого чугуна HB150						
Точение наружных поверхностей	BK8	$S \leq 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$S > 0,40$	215		0,45	
	P18	$S \leq 0,25$	106	0,20	0,25	0,125
		$S > 0,25$	75		0,50	
Отрезание	BK6		86	-	0,40	0,20
	P18		47		0,50	0,25

Таблица 14.7 - Значения коэффициента K_{Bv} , учитывающего влияние вида обработки на скорость резания

Вид обработки	Точение	Растачивание	Строгание	Долбление
K_{Bv}	1,0	0,9	0,8	0,6

Таблица 14.8 - Значения коэффициента K_{Mv} , учитывающего влияние механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента			
	Твердый сплав		Быстрорежущая сталь	
	Расчетная зависимость			
Сталь конструкционная и легированная	$K_{Mv} = \frac{750}{\sigma_B}$		$X \quad P$	
Чугун серый	$K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,25}$		$K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{Nv}$	
Чугун ковкий	$K_{Mv} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{1,25}$		$K_{Mv} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{Nv}$	
Сталь: углеродистая ($X \quad P$) углеродистая ($C \geq 0,6\%$)	Коэффициент См	Показатель степени Nv		
		Точение	Сверление	Фрезерование
	1,0	1,75	0,9	0,9

Таблица 14.9 - Значения коэффициента K_{Tv} , учитывающего влияние состояния обрабатываемого материала на скорость резания

	Горячекатаный	Нормализация	Отжиг	Улучшение
K_{Tv}	1,0	0,95	0,9	0,8

Таблица 14.10 - Значения коэффициента K_{Cv} , учитывающего влияние состояния обрабатываемой поверхности заготовки на скорость резания

	Без корки	С коркой		
		Прокат	Поковка	Отливка с загрязненной коркой
K_{Cv}	1,0	0,9	0,8	0,6 – 0,5

Таблица 14.11 - Значения коэффициента K_{UV} , учитывающего влияние материала режущей части инструмента на скорость резания

Обрабатываемый материал	Марка инструментального материала						
	K_{UV}						
Сталь конструкционная	T30K4	T15K6	T14K8	T5K10	T5K12B	BK6	BK8
	1,4	1,0	0,8	0,65	0,35	0,48	0,4
Сталь и сплавы жаропрочные	T15K6	T5K10	BK6	BK8	P18		
	1,9	1,4	1,2	1,0	0,3		
Сталь закаленная	HRC 35 – 50			HRC 51 - 62			
	T30K4	T15K6	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,5	1,0	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Обрабатываемый материал	Марка инструментального материала						
	K_{UV}						
Чугун серый и ковкий	BK3	BK4	BK6	BK8			
	1,15	1,1	1,0	0,83			
Медный и алюминиевые сплавы	BK4	BK6	BK8	P18;P9	9XC;XBГ	У12А	
	2,7	2,5	2,3	1,0	0,6	0,5	

Таблица 14.12 - Значения коэффициента K_{OV} , учитывающего влияние СОЖ на скорость резания.

	Без охлаждения	С охлаждением	
		Резцы из быстрорежущих сталей	Отрезка твердосплавными резцами
K_{OV}	1,0	1,1	1,2

Таблица 14.13 - Значения коэффициентов $K_{\varphi V}$, $K_{\varphi IV}$, K_{RV} , K_{XV} , учитывающих влияние геометрии резцов на скорость резания

Главный угол в плане, φ^0	20	30	45	60	75	90
$K_{\varphi 20 V}$	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
Радиус закругления вершины резца, r мм	1	2	3	4	5	
φ	0,94	1,0	1,03	1,07	1,13	
Сечение хвостовика резца В*Н, мм	12*20 16*16	16*25 20*20	20*30 25*25	25*40 30*30	30*40 40*40	40*60
K_{XV}	0,93	0,97	1,0	1,04	1,08	1,12

Таблица 14.14 - Значения коэффициента $K_{\phi V}$, учитывающего влияние формы передней поверхности резцов на скорость резания

Форма передней поверхности резца	$K_{\phi V}$
Плоская с положительным передним углом	0,87
Плоская с отрицательным передним углом по фаске	1,0
Плоская с отрицательным передним углом	1,05

Таблица 14.15 - Значения коэффициента K_{hV} , учитывающего влияние допустимого износа по задней поверхности резца на скорость резания

Величина износа резца по задней поверхности, h мм	0,8 – 1,0	1,5	2
K_{hV}	1,0	1,1	1,2

Рекомендуемые скорости резания при нарезании крепежной резьбы резцами из быстрорежущей стали с охлаждением приведены в таблице 14.16.

Работа без применения СОЖ при нарезании резьбы на заготовках из сталей не рекомендуется.

14.1.4 Определение частоты вращения

Частота вращения (n , мин^{-1}) определяется по зависимости:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (14.4)$$

где V – скорость резания, м/мин;

d – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки при точении; диаметр обработанной поверхности при растачивании, диаметр сверла, зенкера, развертки, фрезы, соответственно при сверлении, зенкерении, развертывании, фрезеровании; мм .

Рассчитанную по зависимости (14.4) частоту вращения необходимо скорректировать по паспорту станка. Принимается ближайшая к расчетной меньшая из имеющихся на станке частот вращения или большая, не превышающая расчетную, более, чем на 5 %.

Это объясняется тем, что даже незначительное превышение скорости резания против расчетной приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Таблица 14.16 - Скорость резания (V м/мин) при нарезании крепежной резьбы резцами из быстрорежущей стали с охлаждением

Шаг резьбы P , мм	Вид резьбы			
	Наружная		Внутренняя	
	Вид обрабатываемого материала			
	Сталь	Чугун	Сталь	Чугун
1,5	8,4	6,8	6,8	5,5
2	8,4	6,8	6,8	5,5
2,5	8,4	6,8	6,3	5,5
3	7,2	5,7	5,7	4,6

Выбрав скорректированную частоту вращения, определяем фактическую скорость резания (м/мин):

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{cm}}{1000} \quad (14.5)$$

14.1.5 Проверка выбранного режима резания по мощности привода станка

Проверка производится при черновой обработке с большими глубинами резания и подачами. При получистовой и чистовой обработках она, как правило, не требуется.

Должно быть выполнено условие:

$$N_{дв} \geq \frac{N}{\eta} \quad (14.6)$$

где Φ - мощность двигателя привода станка, определяемая по его паспорту, кВт;

N – мощность резания, кВт;

η - к. п. д. привода станка (для универсальных станков, имеющих коробку скоростей, обычно $\eta=0,7 \dots 0,8$).

Если составляющая силы резания C_p задана в Н и V в м/мин, то получим N в кВт:

$$N = 6 \cdot 10^{-4} \cdot P_z \cdot V \quad (14.7)$$

Составляющие силы резания в Н (P_z тангенциальную, P_y радиальную, P_x осевую) рассчитывают при точении и растачивании по зависимости

$$P_z(P_y; P_x) = C_p t^{X_p} S^{Y_p} V^{Z_p} K_p \quad (14.8)$$

При нарезании резьбы резцами из твердых сплавов

$$P_z = \frac{9.8 C_p S^{Y_p}}{i^{U_p}} \quad (14.9)$$

где $\sigma_{\sigma_j}^{1000}$ - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и материала резца. Числовые значения σ_B и показателей степени x_p ; y_p приведены в таблице 14.18.

Влияние скорости резания на силу резания следует учитывать только при обработке сталей твердосплавными резцами со скоростями резания $V > 50$ м/мин. В этом случае – $z_p = -0,15$ для K_ϕ ; $z_p = -0,3$ для P_Y ; $z_p = -0,4$ для $\frac{0,15}{0,20}$. Для всех остальных случаев обработки, приведенных в таблице 14.17, $z_p = 0$.

В расчетной зависимости 14.9 для определения P_Z при нарезании резьбы резцами из твердых сплавов $u_p = 0,71$ при обработке сталей и $u_p = 0,82$ при обработке чугунов.

Если при расчете окажется $N_{ос} < \frac{N}{\eta}$, то следует снизить режимы резания: уменьшить глубину резания или подачу (можно обе величины уменьшить одновременно)

Таблица 14.17 - Значение коэффициента и показателей степени в расчетных зависимостях силы резания при точении

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	Составляющие силы резания								
			$\frac{0,6}{0,3}$			K_ϕ			P_X		
			Ср	x_p	y_p	Ср	x_p	y_p	Ср	x_p	y_p
Точение и растачивание	Сталь конструкционная	Твердый сплав	3000			24 5		0,6	339	1,0	0,5
		Быстрорежущая сталь	2000			12 5			62	1,2	0,65
	Чугун серый	Быстрорежущая сталь	1150			11 9	0,9		51		
		Твердый сплав	920	1,0		54		0,75	46		
Отрезка и прорезка	Сталь конструкционная	Твердый сплав	4080	0,72	0,8	17 3	0,7	0,67			
		Быстрорежущая сталь	2470								
	Чугун серый ковкий	Быстрорежущая сталь	1580								
		Твердый сплав	1390	1,0	1,0						
Нарезание резьбы	Сталь	Твердый сплав	1480		1,7						
	Чугун	Твердый сплав	1030		1,8						

Таблица 14.18 - Суммарный перебег резца в зависимости от длины строгаемой поверхности

Длина l строгаемой поверхности не более, мм	100	200	300	500	1500
Суммарный $(l_1 + l_2)$ перебег резца, мм	35	50	60	75	85

14.2 Стругание и долбление

Материал режущей части инструментов можно выбрать по таблице 13.1 для резцов с пластинками из твердых сплавов.

14.2.1 Выбор глубины резания

Глубиной резания t при строгании и долблении, как и при других способах обработки, называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренной перпендикулярно последней, или толщина слоя снимаемого материала за один рабочий ход.

Выбор глубины резания при строгании и долблении производится исходя из тех же соображений, что и при точении (см. 14.1.1), а припуск на чистовую обработку – по таблице 12.1.

14.2.2 Выбор подачи

Подачу S при строгании и долблении принято выражать в мм на двойной ход резца (мм/дв.х.). При обработке на поперечно-строгальных и долбежных станках резцами без дополнительной зачистной режущей кромки подачу можно выбирать по таблицам 14.1, 14.2, 14.4 для точения. По возможности следует принимать верхние значения подачи.

Выборанную подачу следует откорректировать по паспорту станка, на котором предусматривается произвести обработку детали .

14.2.3 Выбор скорости резания

Скорость резания выбирается по соответствующим таблицам или рассчитывается по зависимости (14.2) с использованием входящих в нее величин в таблицах 14.6...14.15.

14.2.4 Определение числа двойных ходов

Число двойных ходов в минуту для строгания

$$n = 570 \frac{V}{L} \quad (14.10)$$

для долбления

$$n = 500 \frac{V}{L}, \quad (14.11)$$

где L - длина хода резца (длина строгания), мм

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где l - длина строгаемой поверхности, мм;

l_1, l_2 - соответственно перебеги при входе и выходе резца, мм.

Значение $l_1 + l_2$ для обработки на поперечно-строгальных и долбежных станках приведены в таблице 14.18.

Рассчитанное по зависимостям (14.10) или (14.11) значение n , как и при точении, должно быть откорректировано по паспорту станка.

14.2.5 Проверка выбранного режима резания по мощности привода станка

Производится по методике, приведенной в разделе 14.1.5 для точения с использованием расчетных зависимостей (14.6...14.8).

14.3 Сверление, зенкерование, развертывание

Способ обработки отверстий можно выбрать по таблице 11.1, а материал (твердый сплав) режущей части инструмента – по таблице 13.1.

14.3.1 Выбор глубины резания

Глубина резания t (мм) для сверления определяется по зависимости (14.12), а для рас-
сверливания, зенкерования, развертывания – (14.13):

$$t = 0,5D \quad (14.12)$$

$$t = 0,5(D - d), \quad (14.13)$$

где D – диаметр соответственно сверла, зенкера или развертки, мм;

d – диаметр обрабатываемого отверстия, мм.

Обычно глубина резания назначается, исходя из рекомендуемых припусков на обработку (смотри таблицу 12.2).

14.3.2 Выбор подачи

Подачу S (мм/об) можно определить по нормативам режимов резания (смотри таблицу 14.21) или расчетным путем по зависимости

$$S = C_S D^{0.6} K_S^1, \quad (14.14)$$

где C_s - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала (смотри таблицу 14.20); D – диаметр сверла, мм; K_s^1 - коэффициент, учитывающий глубину сверления (смотри таблицу 14.20).

Расчетные значения подач, как и в таблице 14.21, рекомендуются для сверления и зенкерования в заготовках средней жесткости без допуска на размер или с допуском до 14-го качества под последующую обработку.

При сверлении отверстий в заготовках малой жесткости, обработке с неустойчивой опорной поверхностью, сверлении отверстий под нарезание резьбы метчиками, сверлении центровочными сверлами, сверление точных отверстий под развертывание; зенкерования отверстий по точности 8-11-го качества, с повышенными требованиями к шероховатости обрабатываемой поверхности, зенкерования под последующую обработку одной разверткой или под нарезание резьбы: чистовом развертывании за один рабочий ход по точности 7-8 качества и шероховатостью обрабатываемой поверхности R_a 1,6...3,2 или чистовом развертывании после чернового рекомендуемые подачи следует уменьшить до $(0,6 - 0,85)S$.

Таблица 14.19 - Значения коэффициента C_s для расчета подачи при сверлении

Обрабатываемый материал	Твердость, НВ	C_s
Сталь	До 160	0,085
	160...240	0,063
	Больше 240	0,038
Чугун	До 170	0,13
	Больше 170	0,078

Таблица 14.20 - Значения коэффициента K_s^1 , учитывающего влияние глубины сверления на подачу

Отношение глубины сверления к диаметру сверла (l/D)	3	3...5	5...7	7...10
K_s^1	1	0,9	0,8	0,75

При зенкерования и развертывании глухих отверстий рекомендуются подачи соответственно 0,3...0,6 и 0,2...0,5 мм/об. Для сверл и разверток, изготовленных из твердых сплавов, рекомендуемые подачи следует уменьшить до $0,6S$, а для зенкеров – что и для стали P18 (смотри таблицу 14.21), без изменений.

На практике иногда ориентировочно определяют подачу из соотношения $S=(0,02...0,03)D$, при рассверливании – в 1,5...2 раза больше, а при работе центровочными сверлами $S=(0,02...0,07)D$.

Выбранную подачу следует откорректировать по паспорту станка.

14.3.3 Выбор скорости резания

Скорость резания (м/мин) выбирается по расчетным таблицам в справочной литературе или рассчитывается для сверления, рассверливания, зенкерования и развертывания по зависимости

$$V = \frac{C_V D^{Z_V}}{T^m t^{X_V} S^{Y_V}} K_V \quad (14.15)$$

где D – диаметр инструмента, мм.

Остальные составляющие расшифровываются как и при точении (формула 14.2).

Числовые значения C_V , x_V , y_V , z_V , m приведены в таблице 14.22 при сверлении и рассверливании.

Значения периода стойкости инструментов T приведены в таблице 14.23. Меньшие значения следует принимать при обработке сталей, большие – при обработке чугунов, медных и алюминиевых сплавов.

$$K_V = K_{MV} K_{UV} K_{IV} K_{OV}.$$

Значения поправочных коэффициентов приведены в следующих таблицах: K_{MV} - смотри таблицу 14.8; K_{UV} - смотри таблицу 14.11; K_{IV} - учитывает влияние глубины просверливаемого отверстия (смотри таблицу 14.24). Для рассверливания, зенкерования, развертывания можно принять $K_{IV}=1,0$.

При обработке сталей без применения охлаждения можно принять ориентировочно $K_{OV}=0,8$.

14.3.4 Определение частоты вращения

Частоту вращения определяют по зависимостям (14.4). После ее корректировки по паспорту станка расчет фактической скорости резания производят по зависимости (14.5).

14.3.5 Проверка выбранного режима обработки по приводу станка

При сверлении, рассверливании и зенкерании крутящий момент сопротивления резанию M (Н · м) и осевую (подачи) силу P_o (Н) можно рассчитать соответственно по формулам (14.16) и (14.17).

Таблица 14.21 - Подачи при сверлении, зенкерования и развертывании инструментов из стали Р18, мм/об

Диаметр инструмента мм (до)	Сталь углеродистая и легированная			Чугун серый и ковкий, медные и алюминиевые сплавы								
	<816 МПа	>816 МПа	Зенкерование	Развертывание.	HV < 200			HV > 200				
					Сверление	Зенкерование	Развертывание	Сверление	Зенкерование	Развертывание		
2	0,04-0,05	0,03-0,04			0,06-0,08			0,04-0,05				
	0,06-0,13	0,05-0,09			0,13-0,24			0,08-0,17				
10	0,13-0,20	0,09-0,15		0,8	0,27-0,43		2,2	0,16-0,25				1,7
15	0,19-0,23	0,14-0,17		0,9	0,39-0,56		2,4	0,23-0,33				1,9
20	0,22-0,32	0,18-0,22		1,0	0,52-0,64		2,6	0,32-0,40				2,0
25	0,29-0,35	0,20-0,24		1,1	0,58-0,72		2,7	0,35-0,43				2,2
30	0,33-0,41	0,22-0,28		1,2	0,67-0,83		3,1	0,40-0,50				2,4
40	0,40-0,44	0,24-0,30		1,4	0,75-0,83		3,3	0,45-0,55				2,6
50	0,44-0,48	0,26-0,31		1,5	0,8-0,87		3,8	0,50-0,57				3,1
60	0,48-0,55	0,28-0,35		1,7	0,84-0,9		4,3	0,55-0,60				3,4

Таблица 14.22 - Значения коэффициента C_V и показателей степени xv , yv , zv , m в формуле (14.15)

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал инструмента	Подача, мм/об	C_V	xv	yv	zv	m	
Сталь конструкционная и легированная	Сверление	P18	>0,2	6,0	0	0,7	0,4	0,2	
			<0,5	8,3		0,5			
		BK8	<0,12	14,0		0,3	0,6	0,25	
			>0,12	8,5		0,5			
	Расверливание	P18			13,8	0,2	0,5	0,4	0,2
				BK8	19,2		0,3		
		Зенкерование		P18	16,3		0,5	0,3	0,3
				T15K6	18,0		0,3	0,6	0,25
		Развертывание		P18	10,5		0,65	0,3	0,4
				T15K6	100,6				0,7
Чугун: (C_V ковкий серый)	Сверление	P18	>0,3	12,6	0	0,55	0,25	0,125	
				18,5*					
			<0,3	14,5					0,4
			21,5*						
		BK8*		29,1		0,3	0,45	0,2	
				34,3					
	Расверливание	P18			19,9	0,1	0,4	0,25	0,125
					29,5*				
		BK8*			48,4	0,15	0,45	0,5	0,4
					65,8				
Чугун: (C_V ковкий серый)	Зенкерование	P18		18,8	0,1	0,4	0,2	0,125	
									27,9*
		BK8*			105,0	0,15	0,45	0,4	0,4
					443,0				
	Развертывание	P18			15,6	0,1	0,5	0,2	0,3
					23,2*				
		BK8*			109,0	0		0,45	
					148,0				

Таблица 14.23 - Период стойкости сверл, зенкоров, разверток, мин

Вид инструмента	Диаметр инструмента, мм (до)							
	5	10	20	30	40	50	60	80
Сверло	7-20	12-35	18-60	25-75	50-110	60-140	90-170	
Зенкер			30	40	50	60	80	100
Развертка		20	30-60	50-120	70-120	90-180	110-180	140-210

Таблица 14.24 - Значения коэффициента K_{IV} , учитывающего влияние глубины сверления на скорость резания

Глубина просверливаемого отверстия в диаметрах D	3D	4D	5D	6D	8D	10D
K_{IV}	1.0	0.85	0.75	0.7	0.6	0.5

$$M = C_M \cdot D^{Z_M} \cdot t^{X_m} \cdot S^{Y_m} \cdot (K_S^1)^{U_m} \cdot K_m \cdot K_O \quad (14.16)$$

$$P_O = C_P \cdot D^{Z_p} \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot \left(\frac{\sigma_B}{9,81}\right)^{U_p} \cdot K_O \cdot K_P \quad (14.17)$$

где D – диаметр инструмента, мм;

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об.

В этих формулах при обработке чугунов вместо $\left(\frac{\sigma_B}{9,81}\right)^{U_p}$, где σ_B (МПа), следует

подставить $(HB)^{U_p}$

Числовые значения коэффициентов C_M, C_P и показателей степени, расшифровки которых как и в формуле (14.8), приведены в таблице 14.25.

Коэффициенты, учитывающие свойства обрабатываемого материала, принять $K_M = K_P = K_{MP} = 1$.

Значение K_O , учитывающего влияние СОЖ (при ее применении), можно принять следующими: при обработке сталей и алюминиевых сплавов $K_O = 0,7 \dots 0,85$; при обработке чугунов $K_O = 0,85 \dots 0,9$.

При развертывании, если отсутствуют расчетные зависимости, можно рассматривать каждый зуб развертки как расточной резец, расположенный на диаметр D (мм) инструмента. Приблизительно крутящий момент сопротивления резанию (Нм) в этом случае

$$M = \frac{C_P \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p} \cdot z \cdot D}{204} \cdot K_{MP} \cdot K_O \quad (14.18)$$

где $S_z = \frac{S}{z}$ - подача на один зуб, мм/зуб;

z – расчетное число зубьев развертки, которое можно определить по зависимости (14.19) и округлить до целого числа.

$$Z = 1,5 \sqrt{D} + G \quad (14.19)$$

Для разверток нормальной точности из инструментальных сталей $G=2$, для повышенной точности $G=4$, для разверток с пластинками из твердых сплавов $G=0$.

Числовые значения C_p , показателей степени, приведены 14.17.

Мощность (кВт), затрачиваемая на процесс резания

$$N = \frac{P_z \cdot D}{2000}, \quad (14.20)$$

где M измеряется в (Нм), n – в мин^{-1} .

Допустимая по характеристике станка сила подачи $P_{\text{стан}}$ и крутящий момент $M_{\text{стан}}$ должны быть больше соответственно $P_{\text{расч}}$ и $M_{\text{расч}}$, т.е.

$$P_{\text{стан}} \geq \frac{1,2}{0,6} P_{\text{расч}} \quad (14.21)$$

$$M_{\text{стан}} \geq M_{\text{расч}} \quad (14.22)$$

Таблица 14.25 - Значения коэффициентов C_M, C_P и показателей степеней в формулах (14.16) и (14.17)

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал инструмента	C_M	X_M	Y_M	Z_M	U_M	C_P	X_P	Y_P	Z_P	X_P
Сталь конструкционная и легированная	Сверление	БС	0,383	0	0,8	2,0	0	970	0	0,7	1,0	0
		ТС*	0,033		1,0	2,0	0,7	19,6		0,8	1,4	0,75
	Рассверливание	БС	0,922	0,9	0,8	1,0	0	451	1,3	0,7	0	0
		ТС*	0,33	0,8	0,95	0,75	0,75					
	Зенкерование	БС	1,03	1,0	0,75	0,74	0	34,4	0,5	0,7	0,95	0
		ТС*	0,363	0,8	0,95	0,75	0,75					
Чугун серый и ковкий	Сверление	БС	0,236	0	0,8	2,0	0	610	0	0,8	1,0	0
		ТС	0,118					2,2				
	Рассверливание	БС	0,865	0,75	1,0	282	1,2	0,4	0			
		ТС	0,069	0,8	0,7	0,85	0,6					

14.4 Фрезерование

Это весьма универсальный и более производительный по сравнению со строганием способ обработки поверхностей. В зависимости от требований точности и шероховатости характер обработки можно выбрать по таблице 11.1, а материал режущей части фрезы, если она из твердого сплава, а не из быстрорежущих сталей или других инструментальных материалов – по таблице 13.1.

14.4.1 Выбор глубины резания

Глубина резания t определяется как и для строгания (раздел 14.2.1.). Методика выбора t изложена в разделе 14.1.1. Промежуточные припуски на обработку даны в таблице 12.1.

При черновом фрезеровании целесообразно, если это допускают мощность привода и жесткость системы СПИД, весь припуск снимать за один рабочий ход ($t=3...8$ мм). При фрезеровании поверхностей, имеющих твердую корку или окалину (отливки, поковки, наплавка) целесообразно применять встречное фрезерование с глубиной резания 2 мм и более.

При глубине резания более 3 мм рекомендуется применять фрезы с крупными зубьями.

14.4.2 Выбор подачи

При фрезеровании различают следующие подачи: на один оборот фрезы $S_{об}$, **мм/об**; на один зуб фрезы $S_{зуб}$, которую часто называют технологической, **мм/зуб** и скорость движения подачи $V_{мин}$, **мм/ мин**. Взаимосвязь между ними выражается формулой:

$$V_s = S_{об} \cdot n = S_{зуб} \cdot Z \cdot n , \quad (14.23)$$

где Z – число зубьев фрезы;

n – частота вращения фрезы, $мин^{-1}$.

Процесс фрезерования более полно характеризуется подачей $S_{зуб}$, рекомендуемые числовые значения которой, для фрезерования плоскостей и уступов цилиндрическими, дисковыми и торцовыми фрезами из быстрорежущих сталей приведены в таблице 14.26, фрезами с режущей частью зубьев из твердых сплавов – в таблице 14.27, для фрезерования концевыми, прорезными, угловыми и отрезными фрезами из быстрорежущих сталей, стальных заготовок – в таблице 14.28.

Меньшие значения подач следует принимать при повышенных требованиях к шероховатости обработанных поверхностей, а также при больших значениях t и V .

14.4.3 Назначение скорости резания

Скоростью резания V (м/мин) при фрезеровании называют окружную скорость зубьев фрезы, расположенных на наибольшем диаметре. Скорость резания выбирают из таблиц по назначению режимов резания, или определяют по зависимости 14.24.

Таблица 14.26 - Подачи S_z при фрезеровании плоскостей и уступов цилиндрическими, дисковыми и торцовыми фрезами из быстрорежущих сталей, мм/зуб

Мощность двигателя станка кВ	Конструкция фрезы	Тип фрезы			
		Торцовые и дисковые		Цилиндрические	
		Обрабатываемый материал			
		Сталь	Чугун, медные сплавы	Сталь	Чугун и медные сплавы
До 5	Цилиндрические с крупным зубом или со вставными ножами	0,04-0,06	0,15-0,30	0,10-0,15	0,12-0,20
5...10		0,08-0,15	0,20-0,40	0,12-0,20	0,20-0,30
Св. 10		0,15-0,25	0,30-0,50	0,30-0,40	0,40-0,60
До 5	Цельные с мелким зубом	0,04-0,06	0,12-0,20	0,05-0,08	0,06-0,12
5...10		0,06-0,10	0,15-0,30	0,06-0,10	0,10-0,15

Таблица 14.27 - Подачи $S_{зуб}$ при фрезеровании плоскостей, уступов и пазов цилиндрическими, дисковыми и торцовыми фрезами из твердых сплавов, мм/зуб

Мощность двигателя станка, кВт	Тип фрезы	Обрабатываемый материал			
		Сталь		Чугун и медные сплавы	
		Материал фрезы			
		T15K6	T5K10	BK6	BK8
5...10	Цилиндрические ($B < 30$ мм), торцовые и дисковые	0,09-0,18	0,12-0,18	0,14-0,24	0,20-0,29
Св. 10		0,12-0,18	0,16-0,21	0,18-0,28	0,25-0,38
5...10	Цилиндрические при $B > 30$ мм	0,06-0,13	0,08-0,13	0,10-0,17	0,14-0,20
Св. 10		0,08-0,13	0,11-0,17	0,13-0,20	0,18-0,27
5...10	Дисковые, фрезерование пазов	0,05-0,09	0,06-0,09	0,07-0,12	0,10-0,14
Св. 10		0,06-0,09	0,08-0,12	0,09-0,14	0,12-0,19

Таблица 14.29 - Поддачи Sзуб при фрезеровании сталей концевыми, прорезными, угловыми и отрезными фрезами из быстрорежущих сталей, мм/зуб

Диаметр фрезы	Тип фрезы	Глубина фрезерования, мм			
		3	5	9	и более
16	Концевые	0,05-0,08	0,05-0,06		
20		0,06-0,10	0,04-0,07		
25		0,07-0,12	0,05-0,09	0,04-0,08	
35		0,10-0,16	0,07-0,12	0,05-0,10	
40	Концевые	0,12-0,20	0,08-0,14	0,07-0,12	
	Прорезные	0,005-0,009	0,003-0,007	0,007-0,01	
50	Концевые	0,15-0,25	0,10-0,15	0,08-0,13	0,07-0,10
	Прорезные	0,006-0,01	0,004-0,008	0,008-0,012	0,008-0,012
60	Прорезные	0,008-0,013	0,005-0,01	0,01-0,015	0,01-0,022
	Отрезные			0,015-0,025	
75	Прорезные		0,01-0,025		0,001-0,025
90	Отрезные				0,002-0,028
110-200					0,001-0,03

$$V = \frac{C_V \cdot D^{q_V}}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot S_Z^{Y_V} \cdot B^{U_V} \cdot Z^{P_V}} \cdot K_V \quad (14.24)$$

где В – ширина фрезерования (ширина взаимного контакта зубьев фрезы с обрабатываемой заготовкой, измеренная перпендикулярно ее оси при работе торцовыми зубьями параллельно оси в других случаях), мм;

D – диаметр фрезы, мм.

Другие составляющие зависимости (14.24) расшифрованы выше.

Для фрез торцовых, цилиндрических, дисковых, фасонных, угловых, стойкость T равна 60...180 мин, для концевых – 60...120 мин, для прорезных и отрезных – 60...180 мин. Меньшие значения стойкости принимаются для фрез меньших диаметров.

Числовые значения коэффициента C_V и показателей степеней в формуле (14.24) приведены в таблице 14.30.

Поправочный коэффициент K_V состоит из многих сомножителей, как и при точении (см. пункт 14.1.3), числовые значения которых приведены в таблицах 14.8...14.12 и 14.16, а K_ϕ для торцовых фрез – в таблице 14.31.

Определение частоты вращения фрезы производится по зависимости (14.4). Затем n и $V_s = S_Z \cdot z \cdot n$ мм/мин корректируется по паспорту станка, на котором предусматривается производить обработку. После этого определяется фактическая скорость резания по зависимости (14.5).

14.4.4 Проверка выбранного режима по мощности привода станка

Чтобы обеспечить выполнение процесса резания, должно быть выполнено условие (14.6) и (14.22). Мощность резания определяется по зависимости (14.7), а момент резания M (Нм) – по формуле

$$M = \frac{P_Z \cdot D}{2000} \quad (14.26)$$

Величину тангенциальной составляющей силы резания P_Z при фрезеровании рассчитывают по зависимости

$$P_Z = \frac{C_P \cdot t^{X_p} \cdot S_Z^{Y_p} \cdot B^{U_p} \cdot z}{D^{q_p}} \cdot K_P \quad (14.27)$$

Числовые значения коэффициента C_P и показателей степени приведены в таблице.

14.31. Поправочный коэффициент $K_P = K_{MP} = 1$.

Соотношения составляющих силы резания при фрезеровании в среднем берется в следующих пределах: $P_X = (0,8 \dots 0,9)P_Z$ - при попутном фрезеровании; $\frac{1}{0}, \frac{2}{6}$ - при встречном фрезеровании; $P_Y = (0,5 \dots 0,6)P_Z$; $P_V = 0,2P_Z$ (эта составляющая при попутном фрезеровании стремится прижать заготовку к столу, при встречном - наоборот).

Таблица 14.29 - Значение коэффициента K_φ для торцовых фрез в формуле (14.24)

Главный угол в плане $K_{\text{ув}}$	30	40	60	90
K_φ	1,25	1,1	1,0	0,87

При работе фрезами со спиральными зубьями возникает осевая составляющая $\frac{0}{0}, \frac{20}{30}$, где ϖ - угол наклона режущей кромки.

Таблица 14.30 - Значения коэффициента C_V и показателей степеней в формуле 14.24 скорости резания при фрезеровании

Обрабатываемый материал	Тип фрез	Вид фрезеруемой поверхности	Материал фрезы	Элементы режима резания			C_V	X_V	Y_V	q_V	U_V	P_V	m	
				B, мм	t, мм	S_z , мм/зу б								
Сталь конструкционная	Торцовые	Плоскости	Т15К6 P18*				356	0,1	0,4	0,2	0,2	0	0,2	
						$\leq 0,1$	67,4		0,2	0,25	0,15	0,1		
						$> 0,1$	41		0,4					
						$\leq 0,1$	55	0,3	0,2	0,45	0,1			
						$> 0,1$	35,4		0,4					
						$\geq 0,15$	390	0,19	0,28	0,17	0,05			
	Цилиндрические			Т15К6	> 35	≤ 2		443	0,38					
					≤ 35	> 2		616	0,19		0,08			
						≤ 2		700	0,38					
								68,5	0,3	0,2	0,25	0,1	0,1	0,2
								46,7	0,5	0,5	0,45	0,1		0,33
								53	0,3	0,2	0,25	0,2		0,2
Дисковые цельные	Концевые	Плоскости и па- зулы и па- зулы	P18				12		0,25	0,3	0		0,26	
							923	0,13	0,19	0,37	0,23	0,14	0,42	
						$\leq 0,2$	588		0,17					
						$> 0,2$	1180	0,40	0,19					
						$\leq 2,5$	750		0,47					
						$> 0,2$	57,6	0,5	0,2	0,7	0,3	0,3	0,25	
Прорезные и отрезные Шпоночные двухперые Цилиндрические	Шпоночные пазы		BK6				27		0,6					
							923	0,13	0,19	0,37	0,23	0,14	0,42	
						$\leq 0,2$	588		0,17					
						$> 0,2$	1180	0,40	0,19					
						$\leq 2,5$	750		0,47					
						$> 0,2$	57,6	0,5	0,2	0,7	0,3	0,3	0,25	

14.5 Шлифование

Режущим инструментом при шлифовании является абразивный круг. Выбор формы, размеров и характеристики зависят от вида шлифования, свойств обрабатываемого материала, требований к точности и качеству обработанных поверхностей, характеристики станка и других условий обработки характеристика абразивных инструментов и правила выбора изложены в специальной литературе (14,15 и др.).

Таблица 14.31 - Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле (14.27)

Обрабатываемый материал	Типы фрезы	Материал режущей части фрез	C_p	X_p	\geq	U_p	q_p
Сталь конструкционная углеродистая $\sigma_b = 750$ МПа	Торцовые	ТС	1197	1,0	0,75	1,1	1,3
		БС	810	0,95	0,8		1,1
	Цилиндрические	ТС	990	0,88	0,75	1,0	0,87
		БС	670	0,86	0,72		0,86
	Концевые	ТС	330	0,85	0,75	1,0	0,73
		БС	670	0,86	0,72		0,86
	Дисковые про-резные и отрезные	ТС	1380	0,9	0,8	1,1	1,1
		БС	670	0,86	0,72	1,0	0,86
Чугун серый НВ 190	Торцовые	ТС	535	0,9	0,74	1,0	1,0
	Цилиндрические		570		0,8		0,9
	Цилиндрические, концевые, дисковые	БС	295	0,83	0,65		0,83
Чугун ковкий НВ 150	Торцовые	ТС	435	1,0	0,75	1,1	1,3

Примечания

1. ТС – твердый сплав; БС – быстрорежущая сталь.
2. При фрезеровании алюминиевых сплавов числовые значения табличных величин брать как и для стали, но C_p умножить на 0,25.

Вид шлифования в зависимости от требований к точности и шероховатости обработанных поверхностей можно выбрать по таблице 11.1, а промежуточные припуски на обработку – по таблице 12.1.

14.5.1 Выбор глубины резания

Глубина резания t при шлифовании – слой металла, снимаемый периферией или торцом круга за каждый или двойной ход стола, или на каждый оборот заготовки при врезном шлифовании.

Числовые значения t для обработки конструкционных материалов и инструментальных сталей, приведенные в таблице 14.32, при круглом шлифовании с подачей на двойной

ход стола следует увеличить в 1,5...2 раза, а при предварительном плоском шлифовании периферией круга на станках с круглым столом — уменьшить в 3 раза. Большие значения t следует принимать при жесткой системе СПИД.

14.5.2 Выбор подачи

Продольная подача S – взаимное продольное перемещение заготовки и шлифовального круга в направлении его оси в миллиметрах на один оборот детали при круглом шлифовании или на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга. Подача S берется обычно в зависимости от ширины шлифовального круга B :

$$S = K_s \cdot B \quad (14.28)$$

Значения коэффициента продольной подачи K_s приведены в таблице 14.33.

14.5.3 Назначение скоростей резания и вращения заготовки

Скорость резания V при шлифовании равна сумме окружных скоростей шлифовального круга V_k и заготовки V_3 .

$$V = V_k \pm V_3, \quad (14.29)$$

где плюс ставится при одноименном направлении их вращения, минус – при разноименном.

Так как V_3 примерно в 100 раз меньше V_k , то при назначении режима резания значением V_3 пренебрегают и считают $V = V_k$ (м/с) и определяют по формуле

$$V = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \pi \cdot D_k \cdot n_k \quad (14.30)$$

если n_k задана в мин^{-1}

и по формуле

$$V = 10^{-3} \pi D_k n_k, \quad (14.31)$$

если n_k задана в с^{-1} .

В большинстве случаев при шлифовании $V = 30 \dots 35$ м/с.

Таблица 14.32 - Глубины резания при шлифовании $t(S_t)$, мм

Характеристика процесса шлифования	Вид шлифования				
	Круглое			Плоское на станках со столом	
	внешнее	внутреннее	бесцентровое	прямоугольным	круглым
С поперечной подачей на каждый ход:					
предварительное	0,01-0,0025	0,005-0,02	0,02-0,2	0,015-0,04	0,005-0,015
окончательное	0,005-0,0015	0,0025-0,01	0,025-0,01	0,005-0,015	0,005-0,01
Врезанием:					
предварительное	0,0025-0,075				
окончательное	0,001-0,005		0,001-0,005		

Определение скорости вращения заготовки можно произвести по формуле (14.32):

$$V_3 = \frac{C_v D_3^{Z_v}}{T^m t^{X_v} K_S^{Y_v}}, \quad (14.32)$$

где D_3 - диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;

T – стойкость шлифовального круга, мм.

Рекомендуемые значения стойкости приведены в таблицах 14.34 и 14.35. Рекомендуемые значения коэффициента C_v , показателей степени при шлифовании сталей кругами из электрокорундов приведены в таблице 14.34.

Скорости перемещения заготовки V_3 при плоском шлифовании приведены в таблице 14.35.

При шлифовании чугунов кругами из карбидов кремния приведенные в таблице 14.34 значения C_v можно увеличить а 2...5 раз, а при плоском шлифовании – брать большие значения V_3 (смотри таблицу 14.35).

После нахождения V_3 и частоты вращения заготовки n_3 по формуле (14.32) их нужно скорректировать по паспорту станка.

Таблица 14.33 - Коэффициент продольной подачи K_s

Обрабатываемый материал	K_s при глубине резания, мм							
	<0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,06
Сталь незакаленная	0,55	0,50	0,45	0,42	0,37	0,35	0,32	0,28
Сталь закаленная	0,50	0,45	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,25
Чугун и бронза	0,65	0,58	0,53	0,48	0,45	0,42	0,38	0,35

14.5.4 Проверка выбранного режима по мощности привода станка

Эффективную мощность (кВт) на вращение шлифовального круга можно определить по формуле

$$N = C_N t^X S^Y V_3^Z B^N D_3^q \quad (14.33)$$

где t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об;

V_3 - скорость перемещения заготовки, м/мин;

B – ширина шлифования, равная длине или ширине шлифуемой поверхности соответственно при круглом врезном шлифовании и плоском шлифовании торцом круга, мм;

Значения коэффициента C_N и показателя степени в формуле (14.33) приведены в таблице 14.36.

Тангенциальную составляющую P_Z силы резания (кН) при шлифовании можно определить по формуле:

$$P_Z = \frac{N}{V_K}, \text{ кН.} \quad (14.34)$$

Таблица 14.34 - Значение коэффициента C_v , стойкости T и показателей степени в формуле (14.32) при шлифовании

Вид шлифования	Характер шлифования	T мин	Характеристика круга	C_v	X_v	Y_v	Z_v	m
Центровое:	с поперечной подачей на двойной ход	20-40	50 СМ1	0,27	0,3	0,5	1,0	1,0
				0,24				
внешнее	с поперечной подачей на каждый ход		50 СМ2	0,55			1,2	
				0,05				
	врезанием	2-20	50 С1	0,95	0	0,7	0,35	
внутреннее		6-10	50 СМ1	0,054	0,9	0,9	0,5	0,6
				0,05				
Бесцентровое	на проход	60	40С1	31	1,0	1,0	0,3	0,5
				27				
	врезанием	30		0,90	0,65	0		
				0,84				

Примечание - для C_v в числителе даны значения для незакаленной стали, в знаменателе – для закаленной.

D_3 - диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм.

Таблица 14.35 - Значения скорости перемещения заготовки V_3 и периода стойкости T при плоском шлифовании

Тип станка	Вид шлифования	T , мин.	Характер шлифования	V_3 , м/мин.
С прямоугольным столом	Периферией круга	25	Предварительное	8-30
			окончательное	15-20
С прямоугольным столом	Торцом круга	55	Предварительное	4-12
			Окончательное	2-3
С круглым столом	Периферией круга	25	Предварительное	20-60
			Окончательное	40-60
	Торцом круга	55		10-40

При нормальных условиях шлифования соотношение между радиальной составляющей P_y силы резания и P_z таково: $P_y = (2 \dots 2,5) P_z$. При малых глубинах резания и затупленных (закругленных) абразивных зернах $P_y = (5 \dots 10) P_z$.

Эффективную мощность N_3 на вращение заготовки (кВт) (или перемещение при плоском шлифовании) можно определить по формуле (14.35), где P_Z в ньютонах и V_3 в метрах в минуту :

$$N_3 = 6 \cdot 10^{-4} P_Z V_3 \quad (14.35)$$

или из соотношения

$$N_3 = \frac{N \cdot V_3}{60 \cdot V_N} \quad (14.36)$$

Полученные величины N и $\frac{0,8}{0,4}$ должны быть меньше мощности двигателей станка соответственно привода шлифовального круга и заготовки с учетом коэффициента полезного действия передач. В случае невыполнения этого условия, как и при других видах обработки, необходимо снизить параметры режима резания (t или V_3)

Таблица 14.36 - Значения коэффициента C_N и показателей степени в формуле (14.33) при шлифовании

Вид шлифования	Метод шлифования	Обрабатываемый материал	Характеристика круга	C_N	x	y	z	q	u	
Круглое	С поперечной подачей на двойной ход	СЗН	40-50СМ1-СМ2	1,3	0,85	0,7	0,75			
			40СМ1-СТ	2,65	0,5	0,56	0,5			
внутреннее	Врезное		50С1	0,14	0,8	0	0,8	0,2	1,0	
		СН	40С1	0,27	0,4	0,4	0,5	0,3	0	
		СЗ	40-50СМ1-С1	0,36			0,35			
		Ч	40СМ1	0,81	1,0	0,7	0,55	0,3	0	
бесцентровое	На проход	СН	25-40С1-СТ1	0,1	0,6	0,7	0,85	0,5	0	
			СЗ	40СМ1-С1		0,28	0,5			0,6
			25СМ1-С1	0,34						
	Врезное	СЗН	40СМ1-С1	0,07	0,65	0	0,65		1,0	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 3.1109-73. Процессы технологические. Основные термины и определения. – М., 1974.
2. ГОСТ 14.311-75. Правила разработки рабочих технологических процессов – М.: Издательство стандартов, 1975.
3. Справочник металлиста. Под редакцией А.Н. Малого. Т.2 и 3. – М., Машиностроение, 1977.
4. В.Д. Мягков. Краткий справочник конструктора. – Л., Машиностроение, 1975.
5. ГОСТ 21495 – 76. Базирование и базы в машиностроении. – М., Издательство стандартов, 1976.
6. ГОСТ 3882-74. Сплавы твердые спеченные. Марки. – М., Издательство стандартов, 1976.
7. Краткий справочник металлиста. Под редакцией А.Н. Малова. – М., Машиностроение, 1972.
8. Справочник технолога машиностроителя (редактор А.Н. Малов) т. 2 – М., Машиностроение, 1972.
9. Б.А. Белькевич, В.Д. Тимашков. Справочное пособие технолога машиностроительного завода. – Минск, Беларусь, 1972.
10. Допуски и посадки. Справочник 4.1. Под редакцией В.Д. Мягкова. – Л., Машиностроение, 1978.
11. Сортамент черных металлов. Прокат и калиброванная сталь. – М., Издательство стандартов, 1978.
12. Общетехнический справочник. Под редакцией Е.А. Скороходова. – М., Машиностроение, 1982.
13. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Под редакцией Г.А. Манахова. – М., Машиностроение, 1974.
14. Л.М. Кожуро, А.А. Панов и др. Справочник шлифовальщика. – М., Высшая школа, 1981.
15. В.Е. Ползовский. Абразивные материалы и инструменты. – Горки, 1977.
16. В.Ф. Бобров. Основы теории резания металлов. – М., Машиностроение, 1975.
17. Г.В. Филипов. Режущий инструмент. – Л., Машиностроение, 1981.
18. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – М., Высшая школа, 1975.