

УДК 621.7/9

ББК 34.635

У63

Р е ц е н з е н т ы:

начальник испытательного вагона-лаборатории
службы вагонного хозяйства Октябрьской железной дороги

В. Г. Погудин;

доцент кафедры «Электрическая тяга» ПГУПС, канд. техн. наук

И. А. Ролле.

У63 **Проектирование** технологических процессов механической обработки деталей подвижного состава : учеб. пособ. для курсового проектирования по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» / Сост. С. В. Урушев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко, П. М. Терехов. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 98 с.

ISBN 978-5-7641-0820-9

Рассмотрены основные этапы проектирования технологических процессов, требования, предъявляемые к ним. Даны рекомендации студентам по выполнению курсового проекта по разделу «Обработка металлов резанием», а также по разработке технологической части дипломного проекта.

Предназначено для студентов факультета «Транспортные и энергетические системы» очной формы обучения.

УДК 621.7/9

ББК 34.635

ISBN 978-5-7641-0820-9

© Урушев С. В., Будюкин А. М., 2016

© Кондратенко В. Г., Терехов П. М., 2016

© ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Разработка технологических процессов (ТП) входит как основной раздел в технологическую подготовку производства и выполняется на основе ГОСТ Р 50995.3.1–96.

В соответствии с этим ГОСТом установлены общие правила разработки ТП, исходные данные и перечень основных задач для каждого этапа.

При разработке технологических процессов необходимо использовать передовой опыт и научно-технические достижения в рассматриваемой области, чтобы выпускать изделия высокого качества, удовлетворяющие современным требованиям производства. Технологические процессы должны быть экономичными (с минимальными трудовыми и материальными затратами) и экологичными (с минимумом вредных воздействий на окружающую среду).

К исходным данным при проектировании технологических процессов относят:

- форму, размеры и массу обрабатываемых деталей;
- заданную точность;
- шероховатость поверхности;
- твердость и микротвердость поверхностного слоя;
- вид заготовки;
- программу, выполнение работы по срокам;
- серийность производства;
- условия, для которых разрабатывается технологический процесс (новое производство или модернизация старого).

Каждый технологический процесс предполагает следующие этапы:

- анализ исходных данных;
- выбор типа производства;
- выбор заготовок;
- разработку маршрутной технологии;
- выбор технологического оборудования;
- выбор технологических баз.

Проектирование технологических операций включает такие основные этапы, как:

- разработка структуры операций;
- выбор режущего инструмента;
- выбор приспособлений и контрольно-измерительных средств;
- расчет межоперационных размеров и припусков на обработку;
- расчет параметров режимов резания;
- определение норм времени на обработку;
- расчет производительности труда.

Отдельным разделом должен быть расчет себестоимости операции и ее технико-экономических показателей.

Документация технологических процессов содержит разделы:

- оформление текстовых технологических документов;
- оформление графических технологических документов.

При написании учебного пособия на кафедре «Технология металлов» были переработаны и использованы учебные пособия «Проектирование технологических процессов механической обработки деталей подвижного состава», составители: И. А. Иванов, А. Ф. Богданов, С. В. Урушев, А. М. Будюкин (СПб., ПГУПС, 2003), и «Проектирование технологических процессов производства заготовок и деталей подвижного состава железных дорог», авторы: С. В. Алехин, Н. Ф. Грохольский, И. М. Золотников, П. И. Кочугов, Г. Н. Малышев (М., ВЗИИТ, 1964).

1 ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Разработке технологического процесса предшествует анализ исходных данных, целью которого является уточнение поставленной задачи и определение предпосылок к проектированию маршрутной технологии, выбору способов обработки заготовок и оборудования.

На этом этапе изучают технические требования, предъявляемые к обработке деталей, виду заготовок и заданному объему выпуска (производственной программе).

Требования к *обработке деталей* определяют на основе изучения данных чертежа, фиксируют форму, размеры и массу детали, от которых будет зависеть выбор типов и характеристик технологического оборудования (станков). Особое внимание уделяют требованиям к точности обработки (допускам размеров, отклонениям формы и расположения поверхностей) и качеству обработки поверхности и поверхностного слоя (шероховатости, твердости, знаку остаточных напряжений и др.).

На основе изучения заданных требований предварительно устанавливают, как финишные (суперфиниширование, хонингование, доводка, полирование и др.), так и промежуточные способы обработки поверхностей детали (точение, фрезерование, шлифование).

При *анализе требований к заготовке* определяют ее вид (литье, штамповка, прокат), размеры и состояние поверхности (наличие литейной корки, окалины и т. д.). Вид заготовки определяет структуру технологического процесса, необходимость черновой, получистовой и чистой обработки. От состояния заготовки зависит выбор жесткости и мощности станков.

Заданная производственная программа оказывает влияние на разработку маршрутной технологии и выбор типа производства, предопределяет организационно-производственные принципы и технические средства реализации технологических процессов (специальное оборудование, поточно-конвейерные линии, станки с ЧПУ, гибкие автоматизированные модули и др.).

Тщательное изучение условий, для которых разрабатывается технологический процесс, позволяет учесть имеющиеся технические и экономические ограничения. Так, если техпроцесс разрабатывается с целью совершенствования существующего производства, приходится учитывать необходимость использования имеющегося оборудования и производственных площадей, на которых уже ведутся работы.

При разработке техпроцесса для нового производства открываются большие возможности для использования прогрессивной технологии и высокопроизводительного оборудования и инструмента.

1.2 ВЫБОР ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Различают три типа производства: единичное, серийное и массовое (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Тип производства в зависимости от программы выпуска

Тип производства	Количество деталей одного наименования и типоразмера, обрабатываемых в год		
	Крупных	Средних	Мелких
Единичное	До 5	До 10	До 100
Серийное	Свыше 5 (до 10)	Свыше 10 (до 5000)	Свыше 100 (до 50 000)
Массовое	Свыше 1000	Свыше 5000	Свыше 50 000

Единичное – это производство с широкой номенклатурой и малым объемом выпуска изготавливаемых изделий.

Серийное – это производство с ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями. Различают мелко-, средне- и крупносерийное производство.

Массовое – это производство с узкой номенклатурой изделий, длительное время непрерывно выпускаемых большим объемом.

Тип вновь создаваемого производства определяют следующим образом. Сначала вычисляют такт производства (время между выпуском двух смежных изделий) по формуле

$$\tau = \frac{60\Phi_H\eta}{N} = \frac{60\Phi_D}{N}, \quad (1)$$

где Φ_H – номинальный годовой фонд рабочего времени ($\Phi_H = 4140$ ч при двухсменном режиме работы);

η – коэффициент, учитывающий потери времени на текущий ремонт и наладку оборудования ($\eta = 0,96...0,98$);

Φ_D – действительный годовой фонд рабочего времени;

N – программа выпуска продукции.

Затем ориентировочно определяют среднюю длительность основных операций обработки детали через штучное ($t_{шт_i}$) или оперативное время.

Если $\tau < t_{шт}$, то это массовое производство, если $\tau > t_{шт}$ – серийное.

Размер экономически выгодной партии n определяют по формуле

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m t_{пз_i}}{k_n \sum_{i=1}^m t_{шт_i}}, \quad (2)$$

где $t_{пз_i}$ – подготовительно-заключительное время на i -ю операцию (переналадку оборудования);

m – количество операций;

k_n – коэффициент, учитывающий потери времени на переналадку оборудования; $k_n = 0,04$ на крупносерийном производстве, $k_n = 0,18$ на мелкосерийном.

1.3. ВЫБОР ЗАГОТОВОК

Выбор заготовок зависит:

- от конструкции (формы и размера) детали и материала, из которого она изготовлена, а также от программы выпуска;
- от требований, предъявляемых к качеству готовой детали;
- от минимальной себестоимости производства заготовки с учетом себестоимости механической обработки.

Заготовки должны быть выполнены из материала, указанного на чертеже, с соответствующими механическими свойствами (прочностью, твердостью) и химическим составом, и не иметь внутренних дефектов (рыхлости, раковин, включений, пористости и др.).

В качестве заготовок используют:

- отливки;
- кованные и штампованные заготовки;
- заготовки из проката.

Отливки. Отливки служат заготовками для деталей сложной формы: станин, корпусных изделий, цилиндров, рам, кронштейнов, рукояток, дисков и др.

Применяется несколько способов получения отливок с разными технологическими возможностями (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Характеристика способов изготовления отливок по точности и качеству поверхности

Способы изготовления отливок	Масса, т	Материал заготовки	Квалитет	Шероховатость, мкм
Литье в почву, в песчано-глиняные формы с ручной формовкой	0,1–200	Сталь, чугун, цветные сплавы	14–20	$R_z = 40 \dots 80$
Литье в оболочковые формы, в т. ч. по выплавляемым моделям	0,1–40	Сталь, чугун, цветные сплавы	12–15	$R_z < 20$
Литье в кокиль	0,25–7	Сталь, чугун, цветные сплавы	13–18	$R_z = 1,25 \dots 0,63$
Литье под давлением	0,05–0,1	Цветные сплавы	11–14	$R_a = 1,25 \dots 0,63$
Центробежное литье	0,05–1,0	Чугун, сталь, бронза	14–19	$R_z = 40 \dots 80$
Жидкая штамповка	До 0,3	Цветные сплавы	13–17	$R_z = 20 \dots 80$
Непрерывное литье	Трубы 300–1000 мм	Сталь, чугун, цветные металлы	12–15	$R_z = 20 \dots 80$

На чертежах заготовок из литья, кроме допусков, указывают литейные уклоны (1...3 мм) и радиусы сопряжений [1].

Кованые и штампованные заготовки. Ковкой при использовании молотов и прессов получают поковки массой до 250 т.

Припуски и допуски на поковки, изготовленные на молотах, составляют $5 \pm 1 \dots 34 \pm 10$ мм, на прессах – $10 \pm 3 \dots 80 \pm 30$ мм в зависимости от размеров заготовок.

Горячей ковкой изготавливают следующие виды поковок:

- цилиндрические гладкие и с уступами валы и оси;
- прямоугольные гладкие и с уступами пластины, плиты;
- коленчатые валы;
- бандажи, кольца, втулки, барабаны и др.

На заготовки из поковок разрабатываются чертежи с указанием допусков и с учетом припусков на обработку.

Представлен пример оформления чертежа поковки (рис. 1.1).

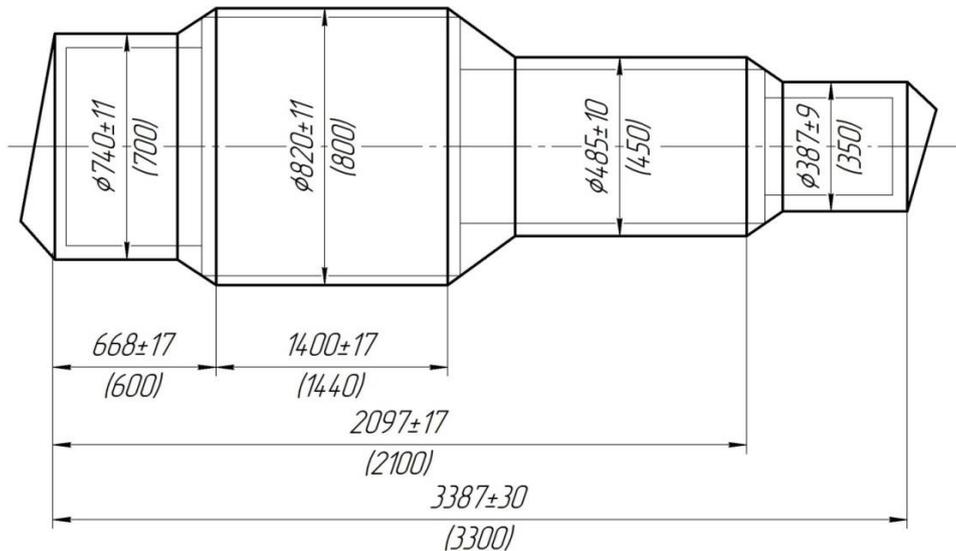


Рис. 1.1. Поковка оси (в скобках размеры детали)

Горячая штамповка осуществляется в закрытых и открытых штампах, выдавливанием и гибкой.

Штамповкой в открытых штампах изготавливают детали сложной формы массой до 3 т (преимущественно 50...100 кг). При этом припуски на сторону 1...5 мм, а допуски 1...10 мм.

Штамповкой в закрытых штампах производят детали преимущественно в виде тел вращения массой до 50...100 кг.

Выдавливанием и прошивкой изготавливают стержни с головкой различной формы, втулки, стаканы с фланцами и прочие массой до 75 кг.

Припуски и допуски для наружных диаметров от 5 до 150 мм составляют $0,4^{+0,3}_{-0,1}$; $1,6^{+0,7}_{-0,3}$ мм, а для внутренних диаметров от 10 до 100 мм – $1,6^{+0,3}_{-1,0}$... $5,0^{+0,5}_{-1,5}$ мм.

Гибкой выполняют заготовки из проката. В ходе гибки заготовки изгибаются в одном или нескольких местах на гибочных машинах (станах), а также в штампах.

Холодная объемная штамповка методом выдавливания применяется для изготовления заготовок из стали, меди, алюминия и других материалов для различных деталей (поршневых колец, корпусов конденсаторов и др.)

Заготовки из проката. В машиностроении применяют товарные заготовки, сортовые и фасонные профили, трубный прокат, гнутые, горяче-прессованные и периодические профили.

Товарные заготовки – болванки обжатые (блюмсы).

Квадратные блюмы служат заготовками под ковку, штамповку валов, рычагов и других деталей.

Сортовые профили – круглые (ГОСТ 2590–2006), квадратные (ГОСТ 2591–2006), шестигранные (ГОСТ 2879–2006); полосовые используют для изготовления валов, втулок, рычагов, клиньев и др. [1].

Фасонные профили (сталь угловая, балки двутавровые, швеллеры) используют преимущественно для изготовления металлоконструкций (рам, плит, кронштейнов).

Трубный прокат (ГОСТ 8734–75) служит для изготовления цилиндров, втулок, гильз, стаканов, пустотелых валков.

Гнутые, горячепрессованные и периодические профили используют для изготовления кронштейнов, опор, скоб, ребер жесткости и спецдеталей.

Точность горячекатаного проката соответствует 12–14 квалитетам, а холоднотянутого – 9–12 квалитетам.

Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый по сортаменту выпускается номинальным диаметром 5...250 мм (см. прилож. 1); прокат сортовой стальной горячекатаный квадратный – с номинальной стороной квадрата 5...200 мм; прокат полосовой стальной – шириной 11...200 мм, толщиной 4...60 мм; прокат стальной шестигранный – с номинальным диаметром вписанного круга 8...100 мм.

Размеры при выборе заготовок из проката согласуются с сортаментом.

Прокат разрезается по заданным размерам на ножницах и прессах, с помощью пил и ножовок, на станках и установках.

Правка проката производится на правильных машинах (роликовых и растяжных), вальцепрокатных станах, прессах.

1.4 РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1.4.1 Общие сведения

Под технологическим маршрутом (маршрутной технологией) **изготовления** детали понимают совокупность операций, выполняемых в логической последовательности, обусловленной способами обработки.

Выбор маршрутной технологии определяют:

- конструкция (форма и размеры) детали и заготовки;
- заданная точность обработки и шероховатость поверхности;
- объем и тип производства.

В зависимости от формы обрабатываемых поверхностей выбирают

способ обработки (точение, фрезерование, шлифование и др.) и виды операций. **Операция** – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Например, при наличии у детали поверхностей вращения применяют точение (одна или несколько токарных операций), при наличии плоскостей, пазов – фрезерование (фрезерные операции), при наличии отверстий – сверление, и т. д.

По заданной точности обработки и шероховатости поверхности выбирают финишную операцию.

Если, например, по чертежу заданы точность по 5 качеству и шероховатость $Ra = 0,2$ мкм, то необходимо применять хонингование и суперфиниширование (после шлифования), а перед этим точение (грубое, получистовое, чистовое). Если точность соответствует 9 качеству, а шероховатость $Ra = 6,3$, то применяют шлифование или чистовое точение (после грубого точения).

Объем производственной программы и тип производства определяют технологический маршрут следующим образом: чем объемнее программа, тем больше операций должно быть в технологическом процессе (маршруте).

При единичном производстве (небольшая программа) технологический процесс разбивают на небольшое число сложных крупных операций, иногда включающих предварительную и окончательную обработку. Такой технологический процесс называется *концентрированным*. При серийном производстве операций больше, чем при единичном производстве, и они проще. При массовом производстве нужно стремиться создать технологический процесс, состоящий из большого числа простых и мелких операций. Такой процесс называется *дифференцированным*. В случае применения агрегатных станков, обрабатывающих центров такой процесс называется концентрированным с небольшим числом сложных операций, выполняемых на прогрессивной технике.

При разработке маршрутной технологии необходимо:

– прежде всего разбить процесс изготовления детали на операции черновой, чистовой и отделочной обработки. Операции черновой обработки целесообразно отделить от чистовой обработки, чтобы уменьшить влияние деформации заготовки на точность обработки. Но если заготовка жесткая, а обрабатываемые поверхности небольшие, такое разделение не обязательно;

– учитывать, что окончательная обработка (тонкое шлифование, хонингование, суперфиниширование, доводка-притирка, полирование) выполняется на конечной стадии процесса;

– учитывать при определении операций, что некоторые поверхности детали обрабатываются с одного станка, например, соосные поверхности вращения и прилегающие к ним торцы (ступенчатые валы и др.). Как самостоятельные операции выделяют обработку зубьев колес, нарезание шлицев, обработку пазов, сверление отверстий и др.

В процессе формирования маршрута намечаются виды обработки и типы применяемого оборудования (токарные, фрезерные, шлифовальные и другие станки).

Технологический маршрут оформляется в виде операционных эскизов заготовок с указанием промежуточных размеров, схемы их базирования и закрепления с выделением жирными линиями обрабатываемых на данной операции поверхностей. В него включают также второстепенные операции: зачистку, промывку, контрольные операции.

1.4.2 Выбор технологических баз

В соответствии с ГОСТ 21495–76 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения» базирование включает в себя силовое замыкание, обеспечивающее определенность базирования, т. е. неизменность положения детали в процессе обработки или измерения.

База – поверхность (поверхности), ось или точка, принадлежащая заготовке; может быть конструкторской, технологической, измерительной.

Конструкторская база определяет положение детали в изделии; *технологическая* – положение заготовки в процессе изготовления или ремонта; *измерительная* – относительное положение заготовки и средств измерения.

При изготовлении деталей используемая технологическая оснастка предполагает различные схемы базирования и характер направления зажимных усилий.

При разработке маршрутной технологии и оформлении операционных эскизов необходимо определить технологическую базу. Вначале за базу принимают необработанные поверхности заготовки. Выбранная черновая база должна обеспечивать равномерное снятие припуска при последующей обработке поверхностей с базированием на обработанную поверхность (технологическую базу) и наиболее точное взаимное положение обработанных и необработанных поверхностей детали.

При выборе технологических баз для обработки заготовок следует использовать *принцип совмещения баз*, т. е. в качестве технологической базы выбирать поверхность, являющуюся измерительной базой. Лучшие результаты достигаются при совмещении технологической, измерительной и конструкторской баз (например, центрального отверстия и торца ступицы зубчатого колеса).

При построении технологического маршрута рекомендуется соблюдать *принцип постоянства баз*: на всех основных технологических операциях использовать в качестве технологических баз одни и те же поверхности заготовки. Принципы совмещения и постоянства баз совпадают в тех случаях, когда выдерживаемые размеры проставлены от одной достаточно устойчивой измерительной базы. Когда осуществить это сложно, выбира-

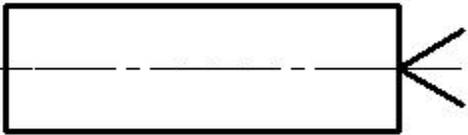
ют постоянную технологическую базу (иногда для этого на деталях создают искусственные технологические базы). Если постоянство технологической базы не может быть обеспечено, то в качестве новой технологической базы выбирают обработанные, а лучше – наиболее точно обработанные поверхности.

Для обеспечения базирования к обрабатываемой детали прикладываются силовые замыкания между поверхностями детали и станка (приспособления). Силы, задающие и сохраняющие контакт между опорными точками детали и станка, вызывают контактные и собственные деформации детали, увеличивающие погрешности обработки. Поэтому для уменьшения собственных деформаций точки приложения сил зажима располагают (по возможности) над опорными точками сопрягаемых поверхностей детали и приспособления. Например, одной из основных задач при изготовлении зубчатых колес является обеспечение точности относительного положения венца и основных баз. При этом у зубчатых колес с центральным отверстием должны быть выдержаны требуемые параллельны и соосны делительного цилиндра (конуса) и базового отверстия. Аналогичные требования предъявляются к зубчатым колесам валов.

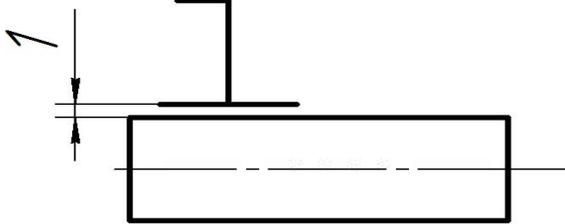
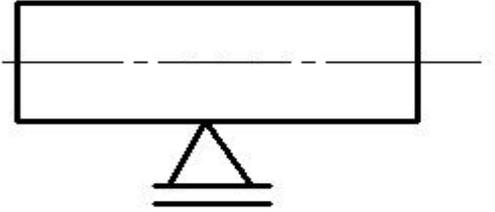
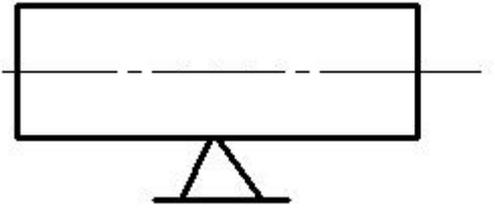
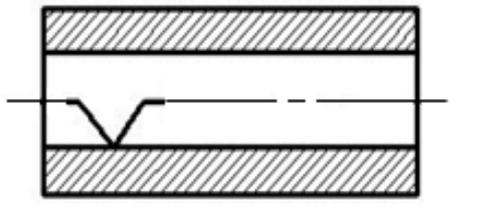
Условные обозначения приспособлений (опор, зажимов и др.), применяемых в технологической документации на изделия машино- и приборостроения, установлены ГОСТ 3.1107–81. Приведены примеры обозначения технологических приспособлений, а также схем установов изделий (табл. 1.3 и 1.4).

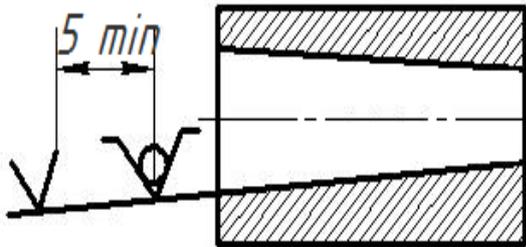
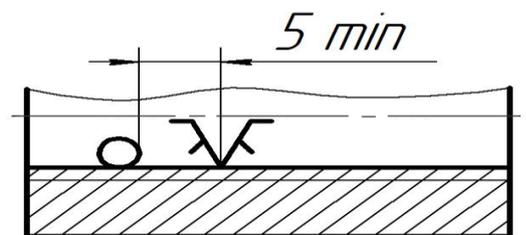
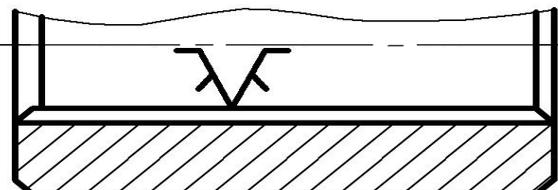
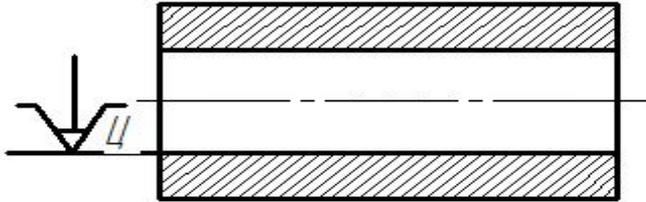
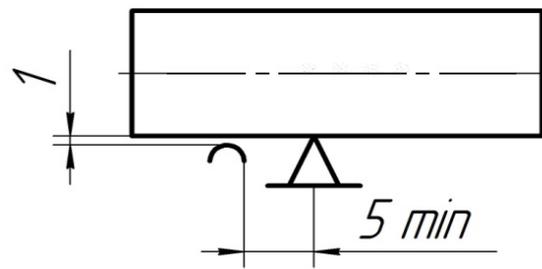
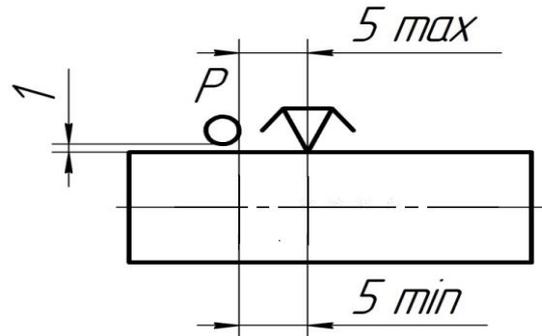
Таблица 1.3

Условные обозначения технологических приспособлений

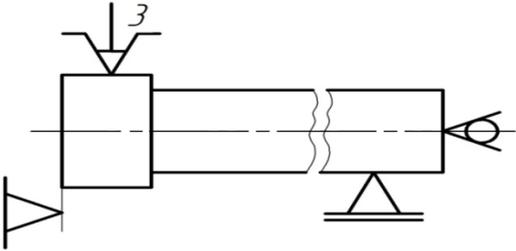
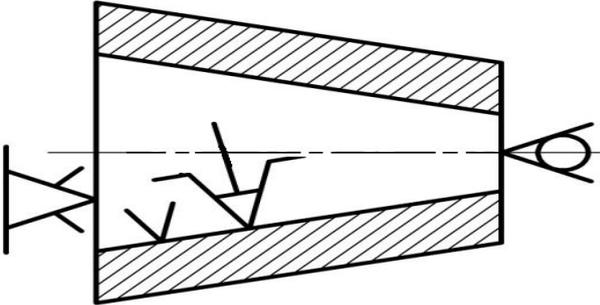
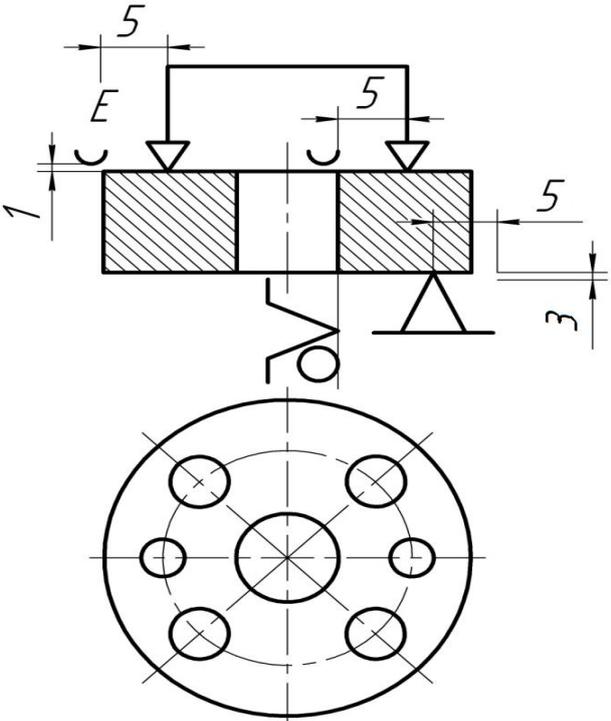
Наименование	Примеры нанесения обозначения опор, зажимов и установочных устройств
1	2
Центр неподвижный (гладкий)	
Центр рифленый	

Продолжение табл. 1.3

1	2
<p>Центр плавающий</p>	
<p>Центр вращающийся</p>	
<p>Центр обратный вращающийся с рифленой поверхностью</p>	
<p>Патрон поводковый</p>	
<p>Люнет подвижный</p>	
<p>Люнет неподвижный</p>	
<p>Оправка цилиндрическая</p>	

1	2
Оправка коническая, роликовая	
Оправка резьбовая, цилиндрическая с наружной резьбой	
Оправка шлицевая	
Опора цанговая	
Опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью	
Зажим пневматический с цилиндрической рифленой поверхностью	

Примеры схем установов изделий при обработке

Описание способа установа	Примеры схем установов изделий
<p>В трехкулачковом патроне с механическим устройством зажима, с упором в торец, с поджимом вращающимся центром и с креплением в подвижном люнете</p>	
<p>На конической оправке с гидропластовым устройством зажима, с упором в торец на рифленую поверхность и с поджимом вращающимся центром</p>	
<p>В кондукторе с центрованием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры и с применением электрического устройства двойного зажима, имеющего сферические рабочие поверхности</p>	

1.4.3 Выбор технологического оборудования

При выборе оборудования необходимо учитывать:

- способы обработки, определенные маршрутной технологией. В зависимости от вида обработки устанавливаются следующие типы станков: токарные, фрезерные, сверлильные, шлифовальные, хонинговальные и т. д.;
- точность обработки и шероховатость поверхности. Этот фактор определяет как тип оборудования, так и его характеристику по точности. Различают станки нормальной точности Н; повышенной П; высокой В; особо высокой А; особо точные станки С;
- размеры, форму и массу обрабатываемых деталей. От них зависит выбор параметров оборудования, таких как высота центров и расстояние между центрами токарных станков, размеры стола фрезерных станков, станков многоцелевого назначения;
- вид обработки (черновая или чистовая). В зависимости от глубины резания и величины снимаемого в стружку припуска выбирают мощность станков;
- тип производства и достигнутый научно-технический уровень производства. Так, например, при единичном производстве выбирают преимущественно универсальные станки широкого профиля; при серийном предпочтительны станки с ЧПУ, агрегатные и многоцелевые (обрабатывающие центры) станки, гибкие автоматизированные легко переналаживаемые модули; при массовом – высокопроизводительные автоматы, автоматические линии как с жесткой, так и с гибкой связью между оборудованием.

Выбор оборудования производят по каталогам или справочникам [1, 2]. Шифр станка характеризует назначение (группу) станка, его тип, компоновку, степень автоматизации или вид применяемого инструмента и т. д.

1.5 ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДЕТАЛИ (ТОРМОЗНОГО ВАЛИКА) ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В качестве примера выбрана разработка маршрутной технологии для детали подвижного состава – тормозного валика (рис. 1.2); материал – сталь 45, среднесерийное производство.

Из чертежа видно, что обрабатываемая деталь является телом вращения, имеющим утолщенную головку с прорезями и отверстие для шплинта. Точность обработки цилиндрической части валика соответствует 6 качеству, а шероховатость поверхности $Ra = 0,8$ мкм.

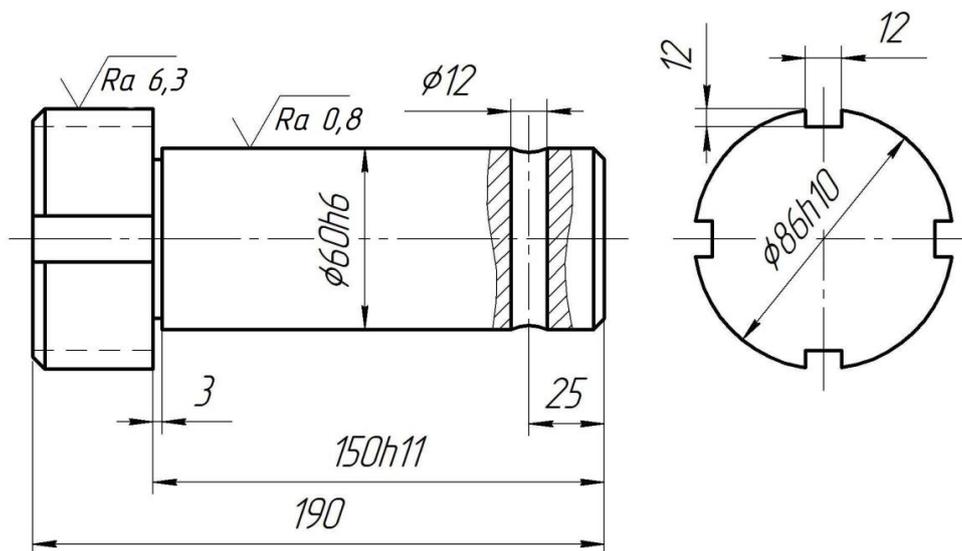


Рис. 1.2. Тормозной валик

Так как к точности обработки и качеству поверхности детали предъявляются высокие требования, при разработке маршрутной технологии следует иметь в виду, что финишной стадией обработки должно быть шлифование, перед которым последовательно выполняются точение, фрезерование и сверление.

В качестве заготовки целесообразно использовать круглую горячекатаную сталь $\text{Ø}90$ мм с учетом сортамента и допусков на заготовку [1]. В рассматриваемом примере заготовки с учетом припусков на обработку по диаметру и длине изготавливают в заготовительном отделении. На механическую обработку они поступают с размерами, указанными на чертеже (рис. 1.3).

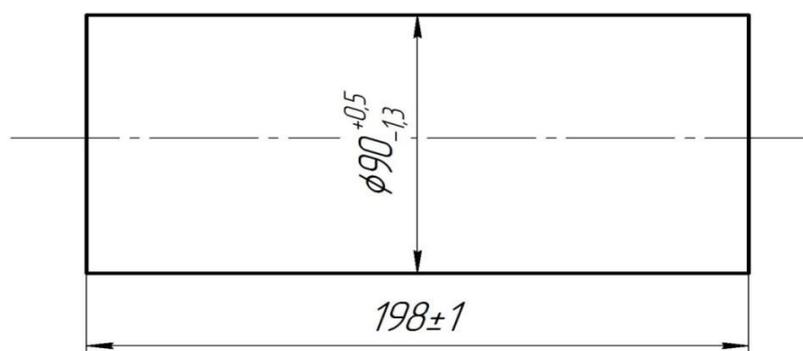
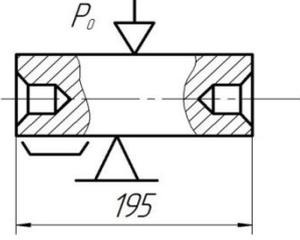
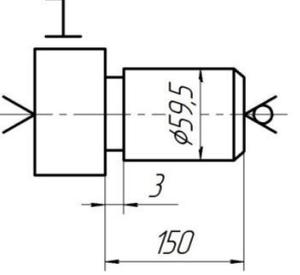
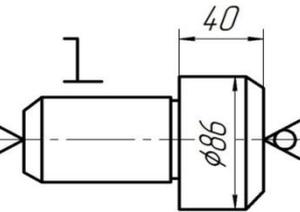
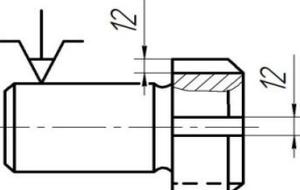
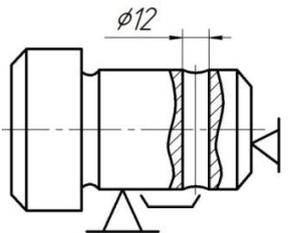
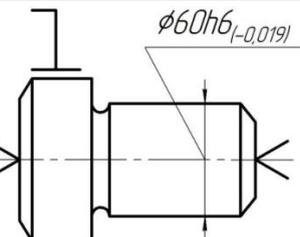


Рис. 1.3. Заготовка валика

Представлена маршрутная технология обработки валика, применяемое оборудование [2], приспособления и операционные эскизы с указанием размеров, технологических баз и условных обозначений используемых приспособлений показаны (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Маршрутная технология обработки тормозного валика

Вид операции и ее содержание	Операционный эскиз	Оборудование	Приспособление
<i>Фрезерно-зацентровочная.</i> Фрезерование торцов в размер 195 мм и обработка центровых отверстий		Фрезерно-центровальный полуавтомат. Мод. 1831	Призматическая опора. Пневматический прижим
<i>Токарная.</i> Подрезание торца, обтачивание поверхности $\varnothing 59,5$ мм на длину 150 мм, канавки 3 мм и фаски $1 \times 45^\circ$		Токарно-винторезный станок. Мод. 16ТВ2А	Вращающиеся и неподвижные центры. Поводковый патрон
<i>Токарная.</i> Обтачивание поверхности $\varnothing 86$ мм на длину 40 мм, фаски $1 \times 45^\circ$		Токарно-винторезный станок. Мод. 16ТВ2А	Вращающиеся и неподвижные центры. Поводковый патрон
<i>Фрезерная.</i> Фрезерование 4 пазов 12×12 мм		Вертикально-фрезерный станок. Мод. 6 P10	Делительная головка. Неподвижный центр. Трехкулачковый патрон
<i>Сверлильная.</i> Сверление отв. $\varnothing 12$ мм		Вертикально-сверлильный станок. Мод. 2Н118	Призматическая опора. Торцевая опора
<i>Шлифовальная.</i> Шлифование цилиндрической поверхности $\varnothing 60h6$		Круглошлифовальный станок. Мод. 3М150	Неподвижные центры. Поводковый патрон

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

2.1 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ОПЕРАЦИЙ

Одной из важных задач при проектировании операций является расчленение каждой операции на элементы.

К элементам операции относят: установ, технологический переход, вспомогательный переход, рабочий ход, вспомогательный ход и позицию.

Установ – это часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой детали на станке.

Технологический переход – часть установа или операции, характеризующая постоянством режима, режущего инструмента и обрабатываемых поверхностей детали.

Вспомогательный переход – часть операции (установка, закрепление детали на станке, смена инструмента, подвод инструмента и детали и т. д.), состоящая из действий рабочего или станка, при которых форма и размер детали не изменяются.

Рабочий ход – часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента и сопровождающаяся изменением формы и размеров детали.

Вспомогательный ход – часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента и не сопровождающаяся изменением формы или размеров детали.

Позиция – фиксированное положение закрепленной обрабатываемой заготовки.

Установить структуру операции значит разбить ее на установы, а установы, в свою очередь, на технологические переходы. Число установов в операции зависит в основном от конструкции детали и способа ее установки на станке.

Чаще всего операция разделяется на два установа: 1) обработка поверхностей, свободных от установочных элементов приспособления; 2) обработка поверхностей, которые невозможно обработать в первом установе.

Поверхности, связанные малыми допусками на взаимное расположение (более точные), нужно обрабатывать за один установ. Лишние установы увеличивают погрешности детали за счет погрешности установки.

Технологических переходов в каждом установе может быть столько, сколько в нем обрабатываемых поверхностей детали. Например, при обработке ступенчатого вала в одном установе столько технологических переходов, сколько ступеней будет обрабатываться. На одноинструментальных станках технологические переходы выполняются последовательно, а на многоинструментальных – совмещенно, полностью или частично. Технологические переходы могут выполняться за один или несколько рабочих ходов.

Если при обработке одной поверхности детали меняется режущий инструмент, то принимается столько технологических переходов, сколько инструментов участвует в ее обработке.

Вспомогательные переходы выбираются в зависимости от установки и закрепления детали на станке. Примеры записи вспомогательных переходов: «Установить и закрепить деталь на станке», «Снять деталь со станка». Вспомогательные переходы записываются с использованием ключевых слов: «выверить, настроить, проверить, поджечь, переустановить» и др.

Пример 1

В операции токарной обработки тормозного валика (см. табл. 1.5), можно наметить следующие вспомогательные и технологические переходы: установить, закрепить и снять деталь, подрезать торец, обточить поверхность $\varnothing 59,5$ мм на длину 150 мм, точить канавку шириной 3 мм и фаску $1 \times 45^\circ$.

Даны примеры полной и сокращенной записи технологических переходов (см. табл. 2.1). Более подробная информация о схеме записи содержания операции приведена в разделе 3.1 настоящего учебного пособия и в ГОСТ 3.1702–79.

2.2. ВЫБОР РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Режущий инструмент выбирается по ГОСТ групп Г.23 «Инструмент для обработки резанием», Г.25 «Инструмент абразивный, алмазный и абразивные материалы» (раздел Г) Классификатора государственных стандартов (КГС), а также по литературным данным [1–5]. Применение того или иного типа инструмента зависит от метода обработки, станка, материала обрабатываемой детали, ее размера и конфигурации, требуемых точности обработки и шероховатости, вида производства.

Инструментальный материал выбирается по ГОСТ 19265–73* «Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия»; ГОСТ 3882–74 (ИСО 513-75). «Сплавы твердые спеченные. Марки» или по специальной таблице (см. табл. 2.2).

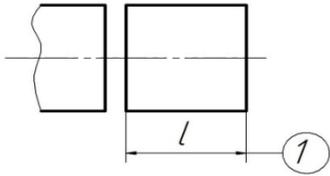
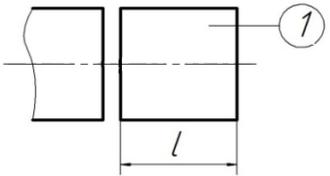
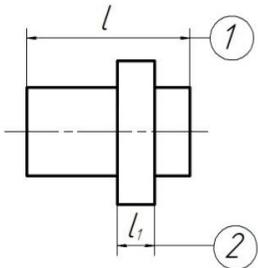
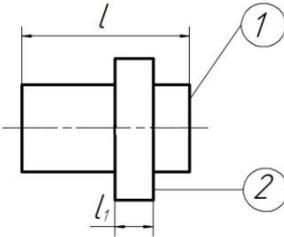
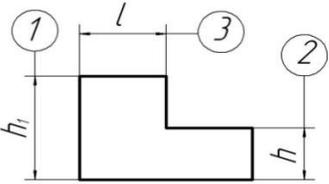
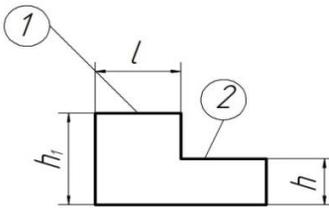
Геометрия режущего инструмента назначается по ГОСТам и данным литературы [1–5] или по табл. 2.3 и 2.4.

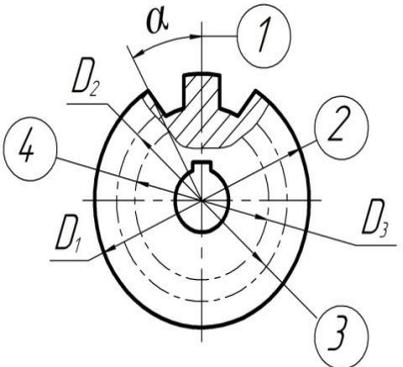
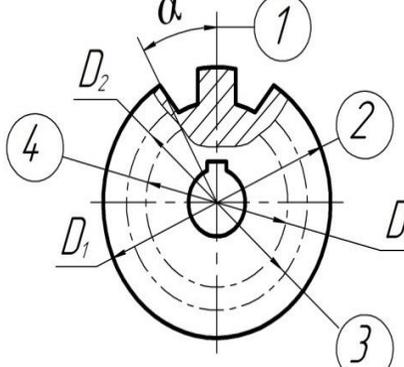
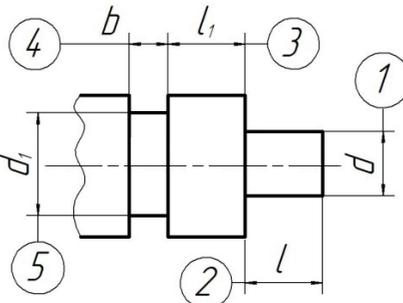
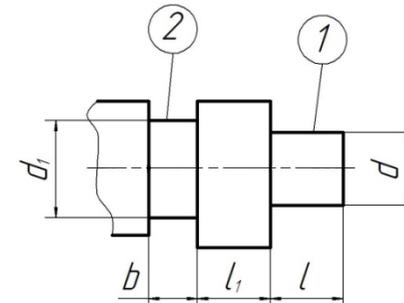
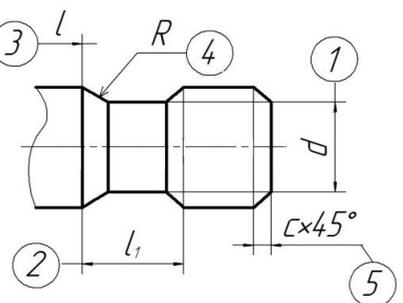
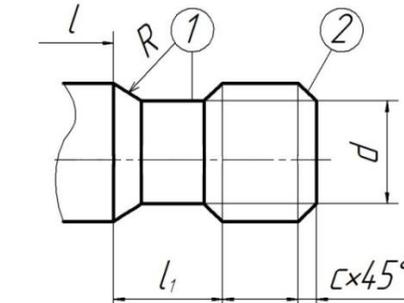
Пример 2

Необходимо выбрать инструмент для полуступенчатой обточки оси на специализированном металлорежущем осетокарном станке модели КЖ1833. Сечение и длина корпуса резца выбираются из паспорта станка: $h \times b = 60 \times 40$ мм, $l = 320$ мм. Далее для обработки углеродистой стали при полуступенчатом точении и прерывистом резании по табл. 2.2 выбирается марка твердого сплава Т15К6, а по таблицам 2.3 и 2.4 – геометрия режущей части резцов: $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; $\gamma_f = -5^\circ$; $\phi = 45^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $f = 0,5$ мм.

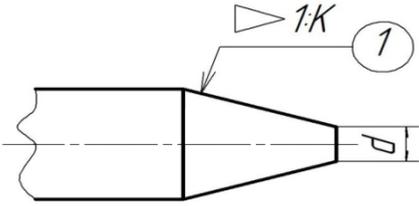
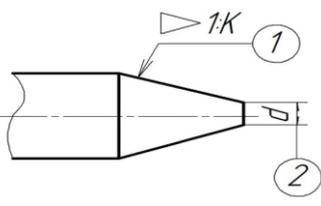
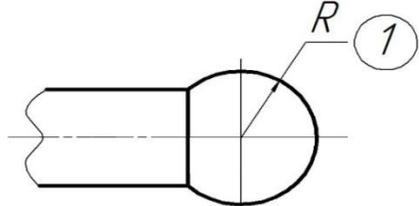
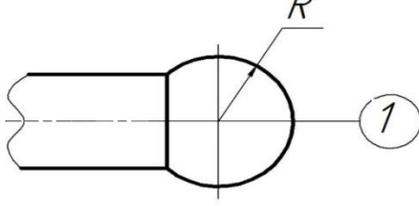
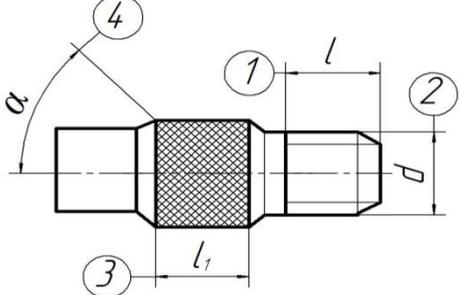
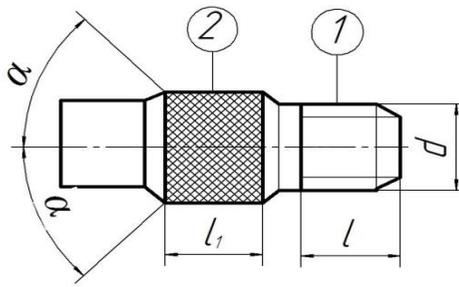
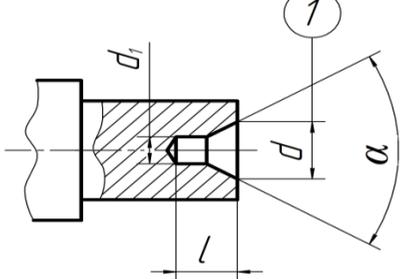
Таблица 2.1

Примеры записи технологических процессов

Полная запись		Сокращенная запись	
Операционный эскиз	Пример записи	Операционный эскиз	Пример записи
1	2	3	4
	Отрезать деталь (заготовку), выдерживая размер 1		Отрезать деталь (заготовку) 1
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец, выдерживая размер 1 2. Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец буртика, выдерживая размер 2 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец 1 2. Подрезать (шлифовать, полировать и т. п.) торец буртика 2
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать (строгать, шлифовать и т. п.) поверхность, выдерживая размер 1 2. Фрезеровать (строгать, шлифовать и т. п.) уступ, выдерживая размеры 2 и 3 		<ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать (строгать, шлифовать и т. п.) поверхность 1 2. Фрезеровать (строгать, шлифовать и т. п.) уступ 2

1	2	3	4
	<p>1. Фрезеровать (долбить, строгать, протянуть, закруглить, шевинговать, притереть, обкатать, зачистить и т. п.) зубья, выдерживая размеры 1...4</p>		<p>Фрезеровать (долбить, строгать, протянуть, закруглить, шевинговать, притереть, обкатать, зачистить и т. п.) зубья 1</p>
	<p>1. Точить (шлифовать, притереть, полировать и т. п.) поверхность, выдерживая размеры 1 и 2 2. Точить (шлифовать, довести) канавку, выдерживая размеры 3...5</p>		<p>1. Точить (шлифовать, притереть, полировать и т. п.) поверхность 1 2. Точить (шлифовать, довести) канавку 2</p>
	<p>1. Точить (шлифовать, полировать и т. п.) выточку, выдерживая размеры 1...4 2. Точить (шлифовать, полировать и т. п.) фаску, выдерживая размер 5</p>		<p>1. Точить (шлифовать, полировать и т. п.) выточку 2. Точить (шлифовать, полировать и т. п.) фаску 2</p>

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
	<p>Точить (шлифовать, притереть и т. п.) конус, выдерживая размеры 1 и 2</p>		<p>Точить (шлифовать, притереть и т. п.) конус 1</p>
	<p>Точить (шлифовать, полировать и т. п.) сферу, выдерживая размер 1</p>		<p>Точить (шлифовать, полировать и т. п.) сферу 1</p>
	<p>1. Нарезать (фрезеровать, накатать, шлифовать и т. п.) резьбу, выдерживая размеры 1 и 2 2. Накатать рифление, выдерживая размеры 3 и 4</p>		<p>1. Нарезать (фрезеровать, накатать, шлифовать и т. п.) резьбу 1 2. Накатать рифление 2</p>
	<p>Центровать торец, выдерживая размеры 1...4</p>		<p>Центровать торец 1</p>

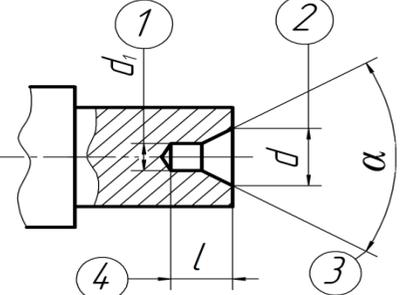
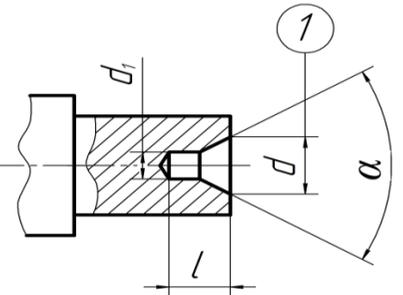
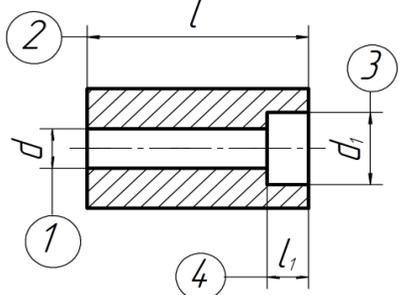
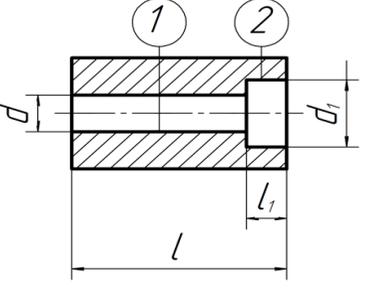
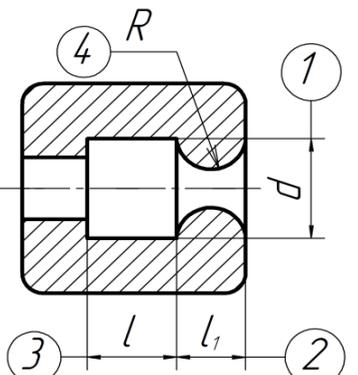
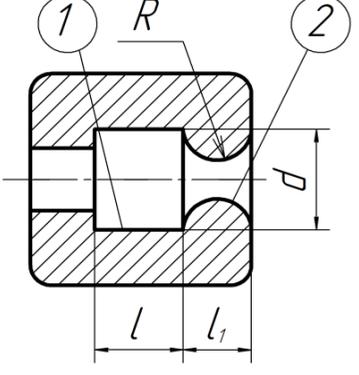
1	2	3	4
	<p>Центровать торец, выдерживая размеры 1...4</p>		<p>Центровать торец 1</p>
	<p>1. Сверлить (рассверливать, зенкеровать и т. п.) отверстие, выдерживая размеры 1 и 2 2. Расточить (зенкеровать, шлифовать и т. п.) отверстие, выдерживая размеры 3 и 4</p>		<p>1. Сверлить (рассверливать, зенкеровать и т. п.) отверстие 1 2. Расточить (зенкеровать, шлифовать и т. п.) отверстие 2</p>
	<p>1. Расточить (полировать, довести и т. п.) выточку, выдерживая размеры 1...3 2. Расточить (зенковать, шлифовать, полировать и т. п.) галтель, выдерживая размер 4</p>		<p>1. Расточить (полировать, довести и т. п.) выточку 1 2. Расточить (зенковать, шлифовать, полировать и т. п.) галтель 2</p>

Таблица 2.2

Выбор марок твердого сплава при различных видах обработки резанием

Виды и характер обработки	Марка твердого сплава при обработке								
	Углеродистой и легированной стали	Труднообрабатываемых материалов	Коррозионно-стойкой стали аустенитного класса	Закаленной стали	Титана и сплавов на его основе	Чугуна		Цветных металлов и их сплавов	Неметаллических материалов
						HB 240	HB 400–700		
Черновое точение по корке и окалине при неравномерном сечении среза и прерывистом резании с ударами	T5K10 T5K12 BK8 BK8B	T5K12 TT7K12 BK8 BK8B	T5K12 BK8B BK8	–	BK8 BK8B	BK8 BK8B BK4	BK8 BK8B	BK4 BK6 BK8	–
Черновое точение по корке при неравномерном сечении среза и непрерывном резании	T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8		BK4	BK4 BK8 BK6	BK6M BK4	BK4 BK6	
Черновое точение по корке при относительно равномерном сечении среза и непрерывном резании	T15K6 T14K8	T5K10 BK4 BK8	BK6M BK4		BK8	BK4 BK8	BK6M BK3	BK3 BK3M BK4	
Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании	T15K6 T14K8 T5K10	BK4 BK8 BK8B	BK4 BK8	T5K10 BK4 BK8	BK4	BK4 BK6 BK8	BK6M	BK3 BK3M BK4	
Тонкое чистовое точение при непрерывном резании	T30K4	–	BK6M BK3M	T30K4 T15K6 BK6M	BK4 BK6M BK3M	BK3 BK3M	BK6M BK3M BK3	BK3 BK3M	

Таблица 2.3

Геометрия резцов с пластинками из твердых сплавов

Обрабатываемый материал	Главный задний угол α°		Передний угол γ°	
	$s < 0,3$ мм/об.	$s \geq 0,3$ мм/об.	Форма передней поверхности	
			Плоская с отрицательной фаской и радиусная с отрицательной фаской	Плоская отрицательная двойная и плоская отрицательная одинарная
Сталь конструкционная углеродистая и легированная: $\sigma_B \leq 1110 \text{ Н/мм}^2$ $\sigma_B > 1110 \text{ Н/мм}^2$	12	8	15	-5
Чугун серый: НВ ≤ 220 НВ > 220	12	—	—	-10
Чугун ковкий: НВ = 140...150	10 10	6 6	12 8	— —
Условия работы	Угол наклона главной режущей поверхности λ , град.			
При обработке с равномерным припуском без ударов	0–5			
Для токарных резцов с углом $\gamma = -5...10^\circ$ $\phi = 70^\circ$ и в целях дробления стружки	10–12			
При обработке с неравномерным припуском. В работе с ударами (прерывистое резание)	10–30			

Таблица 2.4

Геометрические параметры режущей части резцов с пластинками из твердых сплавов для работы с большими подачами (по НИБТН)

Сечение среза, мм ²	Обрабатываемый металл	Углы резца, град					L, мм	f, мм
		ϕ	α	γ	λ	γ_f		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До 7	Сталь: σ_B до 700 Н/мм ²	45	10	(7)	(-7)	-5	(1,2...1,8)S	0,5
	σ_B св. 700 Н/мм ²	45	8	(3,5)	(-3,5)	-5	(1,2...1,8)S	0,5
	Чугун: НВ до 220	45	8	(5)	(-5)	—	(1,2...1,8)S	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Св. 7	Сталь: σ_B до 700 Н/мм ²	45	8	(5)	(0)	-5	1,2S	0,5
	σ_B св. 700 Н/мм ²	45	8	(3,5)	(+3,5)	-5	1,2S	0,5
	Чугун: НВ до 220	45	6	(7)	(0)		1,2S	–
	Сталь: σ_B 700 Н/мм ² и выше	90	8	(5)	(0)	-5	(1,2...1,8)S	0,5
	Чугун: НВ до 220	90	8	(3)	(0)	–	(1,2...1,8)S	–

Примечание. γ_f – угол при фаске; L – длина режущей кромки, параллельной направлению подачи; f – ширина фаски.

2.3 ВЫБОР ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

2.3.1 Выбор приспособлений

Для установки и закрепления детали на станке используются разные приспособления. В единичном и мелкосерийном производстве применяются **приспособления универсального типа**, которые обычно являются принадлежностями станков (тиски, патроны, делительные головки и т. п.), в крупносерийном и массовом производстве – **специальные и специализированные приспособления**. Для каждой операции их следует выбирать по каталогам, справочникам [1, 2], ГОСТ группы Г.27. «Приспособления и вспомогательный инструмент» раздела Г классификатора государственных стандартов или проектировать.

Например, для крепления заготовок на токарных станках применяют *поводковый патрон*, передающий вращение обрабатываемой заготовке с помощью поводка, который ведет ее за палец хомутика; *планишайбу* – для закрепления на ней заготовок сложной формы; *четырёхкулачковый патрон* – для крепления заготовок сложной формы кулачками с независимым радиальным перемещением в пазах патрона; *самоцентрирующийся трёхкулачковый патрон* – для крепления заготовок, имеющих форму тел вращения. Для поддержания второго конца заготовки служат неподвижные и вращающиеся центры. Кроме указанных, используют *патроны цанговые, эксцентриковые*, а также *с пневматическими и гидравлическими приводами*, сокращающие время крепления заготовок. Для поддержки недостаточно жестких деталей применяют *подвижные и неподвижные люнеты*.

Пример 3

Для обработки оси на осетокарном станке КЖ1833 в качестве приспособления используется специальный патрон с гидрозажимом, которым штатно оснащается станок, для обработки железнодорожных вагонных осей (см. паспорт станка).

2.3.2 Выбор контрольно-измерительных средств

Для специальных изделий (например, вагонной оси), обрабатываемых серийно, головные предприятиями часто разрабатывают типовые технологические процессы, в которых уже предусмотрены специализированные средства контроля и измерительные инструменты.

На первом этапе устанавливают допускаемые погрешности измерений диаметров вала или отверстия, которые назначены в зависимости от допусков и номинальных размеров измеряемых изделий. В ГОСТ 8.051–81 (СТ СЭВ 303–76) приведены погрешности измерения для качеств IT2–IT17 по ГОСТ 25346–2013.

Допускаемые погрешности измерений, установленные стандартом, включают не только погрешности измерительных средств, но и другие погрешности, например от базирования, температурных деформаций, установочных мер и т. д.

На втором этапе необходимо установить виды измерительных средств, которые обеспечивали бы техническую возможность измерения. Так, внутренний диаметр ступиц зубчатого колеса можно измерить штангенциркулем или нутромером, но никак не рычажной скобой.

На третьем этапе устанавливают погрешности измерительных средств, которые предполагается использовать, и сопоставляют их с допускаемой погрешностью измерения, установленной первоначально. Сведения о погрешностях измерения средствами, серийно выпускаемыми специализированными заводами, приведены в РД50 98-86 и в ГОСТ 8.549-86 (СТ СЭВ 3292–81).

Пример 4

Для полуступицовой обработки оси (рис. 2.1) необходимо применять шаблоны 301^{-1} и 351^{+2} , калибры-скобы $167^{-0,5}$ и $137^{-0,5}$ для оси РУ-1.

Однако это не исключает использование универсальных контрольно-измерительных средств.

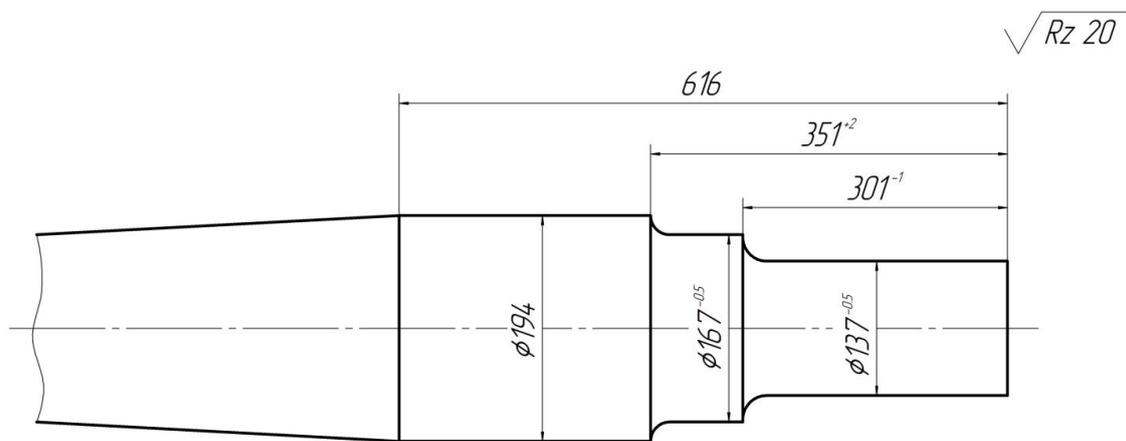


Рис. 2.1. Операционный эскиз оси

Пример 5

Выбрать конкретное универсальное измерительное средство можно в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности измерения. При этом погрешность измерительного средства должна быть меньше допускаемой погрешности измерения. Определенные измерительные средства рекомендованы в ГОСТ 8.051–86 (СТ СЭВ 303–76).

Пример 6

Вал 220и8: допуск 72 мкм, допускаемая погрешность измерения 18 мкм (см. ГОСТ 8.051–81).

Выписываем измерительные средства, рекомендуемые стандартом (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Измерительные средства (220и8)

№ позиции по таблицам стандарта	Наименование измерительного средства	Цена деления, мм	Закрепление (установочные узлы)	Предельная погрешность измерения, мкм
<i>Ручные средства</i>				
4б	Микрометр гладкий МК	0,01	На стойке	10
5б	Скоба индикаторная	0,01	–"–	18
6б	Микрометр рычажный МР	0,01	–"–	7
<i>Станковые средства</i>				
7в	ИЧ 1 кл 10 мм	0,01	На штативе	14
7е	0 кл 10 мм	0,01	–"–	15
11а	Индикатор многооборотный	0,002	–"–	12
32а	Микроскоп измерительный универсальный	0,005	–	–

Из выписанных средств выбираем микрометр гладкий МК (ГОСТ 6507–90*) с пределами измерения 200...225 мм (поз. 4б).

Пример 7

Отверстие 220Н8: допуск 72 мкм, допускаемая погрешность измерения 18 мкм (см. ГОСТ 8.051–81).

Выписываем рекомендуемые стандартом измерительные средства (табл. 2.6)

Таблица 2.6

Измерительные средства (220Н8)

№ позиции по таблице стандарта	Наименование измерительного средства	Цена деления, мм	Средство установки	Предельная погрешность измерения, мкм
<i>Ручные средства</i>				
4б	Нутромер микрометрический	0,01	Аттестуется размер	15
5б	Нутромер индикаторный	0,01	Концевые меры	15
12	Микроскоп универсальный измерительный	0,005	–	7

Выбираем индикаторный нутромер (НИ ГОСТ 868–72) с пределами измерения 160...250 мм (поз. 5б).

2.4 РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ И МЕЖОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ

Припуск на обработку вала при его симметричном расположении назначается на основании методических указаний [7]:

$$2z_i = 2z_{i \min} + |ei_{i-1}| = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1}) + 2\sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} + |ei_{i-1}|, \quad (3)$$

где z_i – припуск на сторону;

$2z_i$ – припуск на диаметр;

$2z_{i \min}$ – минимальный припуск на диаметр;

$R_{z_{i-1}}$, T_{i-1} , ρ_{i-1} , ei_{i-1} – высота неровностей, глубина дефектного поверхностного слоя, сумма пространственных отклонений для элементарной поверхности, отрицательное отклонение размера на предшествующем переходе соответственно;

ε_i – погрешность установки заготовки при выполняемом переходе.

Значения $R_{z_{i-1}}$, T_{i-1} , ei_{i-1} следует принимать по табл. 2.7–2.10. Для заготовок эти значения берут из справочников [1, 2] или соответствующих ГОСТов. Частично эти данные приведены в табл. 2.11–2.12. Глубина дефектного слоя для заготовок составляет 0,5...3 мм.

Таблица 2.7

Шероховатость поверхности в зависимости от точности изготовления деталей

Поле допуска по ГОСТ 25347–82	Шероховатость поверхности Rz , мкм (класс), не более							
	При номинальном диаметре, мм							
	До 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 30	Св. 30 до 80	Св. 80 до 120	Св.120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500
H7	3,2 (8)	3,2 (8)	6,3 (7)	6,3 (7)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	10 (6)
R7, S7, r6, s6	1,6 (9)	1,6 (9)	3,2 (8)	6,3 (7)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	10 (6)
N7, M7, K7, JS7, n6, k6, js6	1,6 (9)	1,6 (9)	3,2 (8)	3,2 (8)	6,3 (8)	6,3 (7)	6,3 (7)	10 (6)
G7, F7, g6, f6	3,2 (8)	3,2 (8)	6,3 (7)	6,3 (7)	6,3 (7)	10 (6)	10 (6)	10 (6)
H8, x8, u8, s7, s8	6,3 (7)	6,3 (7)	6,3 (7)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	10 (6)	20 (5)
h8, h9, F9, E9, f9, e9	6,3 (7)	6,3 (7)	6,3 (7)	10 (6)	20 (5)	20 (5)	20 (5)	40 (4)
H11	10 (6)	10 (6)	10 (6)	20 (5)	20 (5)	40 (4)	40 (4)	40 (4)
h11, D11, d11	10 (6)	10 (6)	20 (5)	20 (5)	20 (5)	40 (4)	40 (4)	40 (4)
B11, C11, b11, c11	10 (6)	20 (5)	20 (5)	20 (5)	40 (4)	40 (4)	80 (3)	80 (3)
H12,h12,B12, b12	20 (5)	20 (5)	40 (4)	40 (4)	80 (3)	80 (3)	80 (3)	80 (3)

Точность и качество поверхностей при обработке наружных цилиндрических поверхностей

Обработка	Шероховатость Rz , мкм (класс)	Дефектный слой, мкм	Квалитет (класс точности)	Технологические допуски, мкм, на размер обработки при номинальном диаметре, мм										
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 360	Св. 360 до 500
Обтачивание: черновое	160–40 (2–3)	120–60	14–12 (7–5)	–	–	–	–	620	740	870	1000	1150	1350	1550
				160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760
получистовое	80–10 (3–5)	50–20	13–11 (5–4)	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760
				80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380
чистовое	40–63 (4–6)	30–20	10–9 (3а–3)	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250
				25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120
тонкое, алмазное	6,3–1,6 (7–8)	10–5	9 (3–2)	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120
				12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	620
Шлифование: предварительное	10–3,2 (6–7)	20	9 (3)	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	12
чистовое	6,3–1,6 (7–8)	15–5	7–6 (2а–2)	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62
				8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40
тонкое	3,2–0,4 (8–10)	5	6–5 (2–1)	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40
				5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25
Притирка. Суперфиниширование	3,2–0,4 (8–10)	5–3	5 (1) –	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25
				3	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20
Обкатывание. Выглаживание алмазное	6,3–0,2 (7–11)		10 (3а)	48	58	70	84	100	120	140	160	185	215	250
			9 (3)	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120
			7 (2а)	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62
			6 (2)	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40
			5 (1)	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25

Примечание. Данные относятся к стальным деталям. Для деталей из чугуна или цветных сплавов значения можно принимать на класс выше.

Таблица 2.9

Точность и качество поверхности при обработке отверстий

Обработка	Шероховатость R_z , мкм (класс)	Дефектный поверхностный слой, мкм	Квалитет (класс точности) размера обработки	Технологические допуски, мкм, на размер обработки при номинальных диаметрах отверстий, мм										
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 360	Св. 360 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сверление, рассверливание	80–10 (3–5)	70–25	12 (5) 11 (4)	– 80	– 100	240 120	280 140	340 –	400 –	– –	– –	– –	– –	–
Зенкерование: черновое	80–20 (3–4)	50–30	12 (5)	–	–	240	280	340	400	460	–	–	–	–
однократное литого проши- того отверстия	40–10 (4–5)	40–25	12 (5) 11 (4)	– –	– –	– 120	280 140	340 170	400 200	460 230	– –	– –	– –	– –
чистовое после черно- вого или свер- ления	40–10 (4–5)	40–25	10 (3а)	–	–	70	84	100	120	140	–	–	–	–
Развертывание: нормальное	10 (6)	25–15	11 (4) 10 (3а)	80 48	100 58	120 70	140 84	170 100	200 120	230 140	260 160	300 185	340 215	– –
точное	6,3 (7)	10	9 (3) 8 (2а)	25 18	30 22	35 27	45 33	50 39	60 46	70 54	80 63	90 73	100 84	– –
тонкое	3,2 (8)	5	7 (2) 6 (1)	13 8	16 9	19 11	23 –	27 –	30 –	35 –	40 –	45 –	50 –	– –
Протягивание: черного лито- го, проши- того отверстия	10 (6)	25–15	11 (4) 10 (3а)	– –	– –	– –	– –	170 100	200 120	230 140	260 160	– –	– –	– –
чистовое после черно- вого сверления	6,3–1,6 (7–8)	10–5	9 (3) 8 (2а) 7 (2)	– – –	– – –	35 27 19	45 33 23	50 39 27	60 46 30	70 54 35	80 63 40	– – –	– – –	– – –

Окончание табл. 2.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Растачивание: черновое	80–20 (3–4)	50–30	12 (5) 11 (4)	– 80	200 100	240 120	280 140	340 170	400 200	460 230	530 260	600 300	680 340	760 380
чистовое	20–6,3 (5–6)	25–15	10 (3а) 9 (3)	48 25	58 30	70 35	84 45	100 50	120 60	140 70	160 80	185 90	215 100	250 120
тонкое алмазное	6,3–0,8 (7–9)	10–4	8 (2а) 7 (7) 6 (1)	18 – –	22 – –	27 19 11	33 23 13	39 27 15	46 30 18	54 35 21	63 40 –	73 45 –	84 50 –	95 60 –
Шлифование: предварительное	10–3,2 (6–7)	– 20–5	9 (3) 8 (2а)	– –	– –	35 27	45 33	50 39	60 46	70 54	80 63	90 73	100 84	120 95
чистовое	1,6 (8)	–	7 (2)	–	–	19	23	27	30	35	40	45	50	60
Притирка, хо- нингование	1,6–0,1 (9–12)	5–3	6 (1) –	8 5	9 6	11 8	13 9	15 11	18 13	21 15	24 18	27 21	30 24	35 27
Раскатывание. Калибрование. Алмазное вы- глаживание	3,2–0,2 (8–11)	–	10 (3а) 9 (3) 8 (2а) 7 (2) 6 (1)	– – – – –	58 30 22 16 9	70 35 27 19 11	84 45 33 23 13	100 50 39 27 15	120 60 46 30 18	140 70 54 35 21	160 80 63 40 24	185 90 73 45 27	215 100 84 50 30	250 120 95 60 35

Примечание. Данные таблицы относятся к стальным деталям. Для деталей из чугуна и цветных сплавов отклонения по точности можно принимать на класс выше.

Таблица 2.10

Точность и качество поверхности при обработке плоскостей

Обработка	Шероховатость R_z , мкм (класс)	Дефектный по-верхностный слой, мкм	Квалитет (класс точности раз-мера обра-ботки)	Технологические допуски , мкм, на размер обработки до базовой поверхности, мм													
				До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500	До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500		
				При размерах (длина × ширина), мм, обрабатываемой плоскости													
				До 160 × 160				Св. 160 × 160 до 400 × 400				Св. 400 × 400 до 1000 × 1000					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Фрезерование и строгание: черновое	80–20 (3–4)	100–50	12 (5)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	400	530	600	760	
			11 (4)	–	–	–	–	–	–	200	260	300	380	200	260	300	380
			10 (3а) 9 (3)	120 60	160 80	185 90	250 120	120 –	160 –	185 –	250 –	–	–	–	–	–	–
чистовое	20–3,2 (5–7)	50–20	11 (4)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	200	260	300	380	
			10 (3а)	–	–	–	–	120	160	185	250	120	160	185	250	–	–
			9 (3) 7 (2а)	60 25	80 40	90 47	120 62	60 –	80 –	90 –	120 –	–	–	–	–	–	–
тонкое	6,3–1,6	30–10	9 (3)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	60	80	90	120	
			7 (2а)	25	40	47	62	25	40	47	62	25	40	47	62	–	–
			6 (2)	20	27	30	40	20	27	30	40	20	27	30	40	–	–
Торцевое точение и подрезка: черновое	160–40 (2–3)	100–50	14 (7)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	740	1000	1150	1550	
			12 (5)	400	530	600	760	400	530	600	760	–	–	–	–	–	
			11 (4)	200	260	300	380	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
чистовое или однократное	80–6,3 (3–6)	50–20	12 (5)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	400	530	600	760	
			11 (4)	–	–	–	–	200	260	300	380	200	260	300	380	–	–
			10 (3а) 9 (3)	120 60	160 80	185 90	250 120	120 –	160 –	185 –	250 –	–	–	–	–	–	–
тонкое	10–1,6 (6–8)	30–10	10 (3а)	–	–	–	–	120	160	185	250	120	160	185	250		
			9 (3)	60	80	90	120	60	80	90	120	60	80	90	120		
			7 (2а)	25	40	47	62	25	40	47	62	–	–	–	–		
Протягивание однократное	20–3,2 (5–7)	50–10	10 (3а)	–	–	–	–	120	160	185	250	120	160	185	250		
			9 (3)	60	80	90	120	60	80	90	120	60	80	90	120		
			7 (2а)	25	40	47	62	25	40	47	62	–	–	–	–		

Окончание табл. 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Шлифование: предваритель- ное	10 (6)	20	10 (3a)	120	160	185	250	120	160	185	250	120	160	185	250
			9 (3)	60	80	90	120	60	80	90	120	60	80	90	120
			7 (2a)	25	40	47	62	25	40	47	62	–	–	–	–
чистовое или однократное	6,3–1,6 (7–8)	15–5	9 (3)	60	80	90	120	60	80	90	120	60	80	90	120
			7 (2a)	25	40	47	62	25	40	47	62	25	40	47	62
			6 (2)	20	27	30	40	20	27	30	40	20	27	30	40
тонкое	3,2–0,4 (8–10)	5	7 (2a)	25	40	47	62	25	40	47	62	25	40	47	62
			6 (2)	20	27	30	40	20	27	30	40	20	27	30	40
			5 (1)	13	18	20	25	13	18	20	25	13	18	20	25
Притирка, тон- кое шабрение	3,2–0,4 (8–10)	5	5 (1)	13	18	20	25	13	18	20	25	13	18	20	25

Примечание. 1. Данные относятся к стальным деталям. Для деталей из чугуна или цветных сплавов отклонения по точности можно принять на класс выше. 2. Данные относятся к обработке деталей жесткой конструкции при базировании по чисто обработанной поверхности и использованию ее в качестве измерительной.

Таблица 2.11

Сравнительная характеристика литых заготовок

Способ литья	Масса отливки, кг	Квалитет (класс точности)		Шероховатость R_z , мкм (класс)		Припуск на механическую обработку на сторону, мм
		Сталь и чугун	Алюминиевые сплавы	Сталь и чугун	Алюминиевые сплавы	
В песчаные формы: при ручной формовке	100	14–17 (7–10)	14–15 (7–8)	320–40 (1–3)	320–40 (1–3)	3–7
В металлическую форму (кокиль)	100	14–5 (7–8)	12–14 (5–7)	320–160 (1–2)	320–20 (1–4)	1–3
Центробежное литье	100	14–5 (7–8)	12–14 (5–7)	320–160 (1–2)	320–20 (1–4)	1–2
В оболочковые формы	10	14–5 (7–8)	12–15 (5–8)	320–20 (1–4)	160–10 (2–5)	1–2
По выплавляемым моделям	1,0	12–14 (5–7)	–	160–10 (2–5)	–	0,3–1
Под давлением	1,0	12–14 (5–7)	12–15 (5–8)	80–10 (3–5)	80–10 (3–5)	0,1–0,5

Таблица 2.12

Сравнительная характеристика способов получения заготовок
обработкой давлением

Способ штамповки	Квалитет (класс точно- сти)	Шероховатость Rz , мкм (класс шероховатости)	Припуск на сто- рону, мм
В подкладных штампах	15–16 (8–9)	320–40 (1–3)	3–12
На штамповочном паро- воздушном молоте	14 (7)	160–20 (2–4)	0,75–4,25
На механическом прессе	12–14 (5–7)	160–20 (2–4)	0,3–2,0
На горизонтально- ковочной машине	12–14 (5–7)	80–20 (3–4)	1,5–3,25
С плоскостной калиб- ровкой	9–13 (3–5)	10–32 (6–8)	0,1–0,05
Прессование на гидрав- лическом прессе	12–14 (5–7)	160–20 (2–4)	2,5–3,0

Значения ρ_{i-1} и ε_i приведены в справочной литературе [1, 2]. При чистовой обработке из-за небольшой величины действующих сил величиной ρ_{i-1} можно пренебречь.

Таблица 2.13

Определение операционных размеров, припусков на $d = 170_{-0,04}$

Но- мер опе- ра- ции	Операция	Операционный размер		От- клоне- ние До- пуск ei/IT	Данные для расчета элементов минималь- ного припуска				$2z_{i\min}$	$2z_i$
		Рас- чет- ный	Округ- лен- ный		$R_{z_{i-1}}$	T_{i-1}	ρ_{i-1}	ei_{i-1}		
6	Шлифо- вание чи- стовое	170	170	$\frac{-0,04}{0,04}$	0,04	0,03	–	0,04	0,22	0,38
5	Чистовое точение	170,38	170,4	$\frac{0,16}{0,16}$	0,16	0,12	–	0,15	0,86	1,39
2	Черновое точение	171,79	171,8	$\frac{-0,53}{0,53}$	0,32	0,3	0,1	0,5	2,26	3,76
1	Штампов- ка	175,56	175,56	$\frac{+2,1}{1,5}$ 3,6	–	–	–	–	–	–

Общий припуск $2z_0$ определяется как сумма припусков по каждой операции:

$$2z_0 = 2 \sum_{i=1}^m z_i. \quad (4)$$

В табл. 2.13 приведены данные для определения операционных припусков, размеров и допусков на обработку поверхности вала $d = 170_{-0,04}$.

Более подробная информация по расчету припусков приведена в справочной литературе [1, 2 и др.].

2.5 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

2.5.1 Общие сведения

Режим резания показывает, как загружен станок, как используется режущий инструмент и насколько производительно обрабатывается деталь.

От режима резания непосредственно зависит основное (машинное) время или продолжительность работы механизмов станка при выполнении данной операции. Основное (машинное) время T_o , мин., рассчитывается по формуле

$$T_o = \frac{L}{n s} i, \quad (5)$$

где L – расчетный путь перемещения инструмента (или детали), включая путь на врезание и перебег, мм;

n – частота вращения шпинделя, об./мин.;

s – подача на оборот, мм/об.;

i – количество проходов.

Режим резания определяется расчетом или выбором трех параметров: глубины резания t , подачи s , скорости резания v . Они связаны с устанавливаемой аналитическими и эмпирическими способами зависимостями, в которых учитывается влияние параметров процесса обработки на силы, возникающие при резании, период стойкости инструмента и качество обработанной поверхности.

Назначение режима резания может осуществляться по нормативным данным [1, 2 и др.] или расчетным путем [6–8 и др.] и включает: выбор максимальной глубины резания; допустимой подачи; определение периода стойкости инструмента; расчет скорости резания и частоты вращения шпинделя. Далее следует проверка режима резания по допускаемым станком крутящему моменту и мощности, необходимой для резания; проверка прочности механизма подачи; проверка прочности и жесткости инструмента и детали. Если при проверке режима резания по мощности, прочности механизма подачи и прочему какие-то условия не выполняются, необходимо понизить уровень режима резания путем уменьшения прежде всего скорости резания, а не подачи или глубины резания. При одинаковом увеличении машинного (основного) времени это обеспечивает большее повышение стойкости инструмента.

Рассмотрим процесс токарной обработки заготовки.

2.5.2 Выбор глубины резания

При назначении режимов резания из соображений повышения производительности целесообразно удалять весь припуск за один проход, однако это возможно только при грубой обработке, когда не предъявляются серьезные требования к точности размеров детали и качеству поверхности ($Rz = 60...100$ мкм). В таком случае глубина резания может быть определена по формуле

$$t = \frac{d - d_0}{2}, \quad (6)$$

где d и d_0 – диаметр обрабатываемой и обработанной поверхности соответственно.

При большой глубине резания трудно выдержать узкий допуск на размеры, так как могут возникнуть значительные деформации обрабатываемой детали и узлов станка под действием сил резания. Кроме того, наружный слой обработанной поверхности будет невысокого качества. Поэтому обычно обработку проводят в два-три прохода, с последним чистовым проходом, предназначенным для обеспечения требуемого качества получаемой поверхности.

Таким образом, число проходов I можно определить по формуле

$$i = \frac{z_i}{t} \quad (7)$$

где z_i – припуск на сторону, мм; t – глубина резания, мм.

При чистовой обработке до шероховатости поверхности $Rz = 20...40$ мкм ($Ra = 3,2...6,3$ мкм) глубина резания назначается $0,5...2$ мм, для получения шероховатости поверхности $Rz \geq 4,0$ мкм ($Ra \geq 0,8$ мкм) – $0,1...0,4$ мм. Более высокие требования к шероховатости поверхности $Rz < 4,0$ мкм ($Ra < 0,8$ мкм) повлекут введение финишных операций.

Расчеты глубины резания для черновой и чистовой обработки производятся одновременно.

При подрезке глубиной является толщина слоя в направлении, перпендикулярном торцу; при отрезании глубина равна ширине лезвия отрезного резца.

2.5.3 Выбор подачи

Стремление работать с максимальными подачами встречает ряд технологических ограничений. При грубой обдирочной обработке нельзя применять чрезмерно большие подачи, так как силы резания возрастают настолько, что возникают недопустимые вибрации детали или неизбежна поломка режущего инструмента. Поэтому при определении максимально допустимой подачи для черновой обработки приходится учитывать жесткость детали и надежность ее закрепления на станке, прочность и жесткость режущего инструмента, прочность механизмов станка. Чистовая обработка производится с небольшой глубиной резания. Силы резания при этом невелики, и важно

получить точные размеры и требуемую шероховатость обработанной поверхности, которая зависит прежде всего от величины подачи.

При черновой токарной обработке подачу предварительно назначают по справочным данным [1, 2] или на основе табличных рекомендаций (см. табл. 2.14–2.16). Подачу можно назначать и на основании личного опыта работы на металлорежущих станках. Назначенная подача должна соответствовать подачам, указанным в паспорте станка, на котором выполняется обработка детали.

После предварительного назначения подачи s (мм/об.) производится проверка ее величины по основным ограничивающим факторам: прочности корпуса резца, прочности режущей части резца (пластины), прочности механизма подачи станка ($P_{x.дон}$), погрешность получаемой детали, связанная с жесткостью системы «Станок – приспособление – инструмент – деталь».

При чистовой токарной обработке подачу назначают так же, как и при черновой обработке, но проверка ее величины по ограничивающим факторам производится по качеству обработанной поверхности (шероховатости поверхности).

После расчета подач по основным ограничениям назначается окончательная подача. Если первоначально назначенная подача меньше любой из расчетных подач по ограничениям, она принимается за фактическую. Если при проверке подачи по ограничениям получены значения меньше назначенной подачи, то принимается подача меньше наименьшей величины, полученной при расчетах по всем ограничениям.

Ниже приводятся алгоритмы проверки назначенной подачи.

Таблица 2.14

Подачи при прорезании пазов и отрезке, мм

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь конструкционная углеродистая и легированная	Чугун, медные и алюмин. сплавы
Токарно-револьверные станки			
До 20	3	0,06–0,08	0,11–0,14
Свыше 20 до 40	3–4	0,10–0,12	0,16–0,19
Свыше 40 до 60	4–5	0,13–0,16	0,20–0,24
Свыше 60 до 100	5–8	0,16–0,23	0,24–0,32
Свыше 100 до 150	6–10	0,18–0,26	0,30–0,40
Свыше 150	10–15	0,28–0,36	0,40–0,55
Карусельные станки			
До 2500	10–15	0,35–0,45	0,55–0,60
Свыше 2500	16–20	0,45–0,60	0,60–0,70

Таблица 2.15

Поддачи при черновом наружном точении резцами из твердого сплава и быстрорежущей стали

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

Примечание. 1. В диапазонах нижние значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца, верхние – бóльшим.

2. При обработке прерывистых поверхностей и работах с ударом табличные значения подач следует умножить на коэффициент, равный 0,75–0,85.

Подачи при черновом растачивании резцами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Диаметр круглого сечения резца или размеры прямо- угольного сечения оправки, мм	Вылет резца или оправ- ки	Обрабатываемый материал											
		Сталь конструкционная углеродистая и легированная						Чугун и медные сплавы					
		Подача s , мм/об., при глубине резания t , мм											
		2	3	5	8	12	20	2	3	5	8	12	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Токарные и токарно-револьверные станки											
10	50	0,08	–					0,12–0,16	–	–	–	–	–
12	60	0,1	0,08					0,12–0,20	0,12–0,18	–	–	–	–
16	80	0,1–0,2	0,15	0,10				0,2–0,3	0,15–0,25	0,10–0,18	–	–	–
20	100	0,15–0,3	0,15–0,25	0,12				0,3–0,4	0,25–0,35	0,12–0,25	–	–	–
25	125	0,25–0,5	0,15–0,40	0,12–0,2				0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,35	–	–	
30	150	0,4–0,7	0,2–0,5	0,12–0,3	–	–	–	0,5–0,8	0,4–0,6	0,25–0,45			
40	200		0,25–0,60	0,15–0,40					0,6–0,8	0,3–0,6			

Окончание табл. 2.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
40 × 40	150		0,6–1,0	0,5–0,7					0,7–1,2	0,5–0,9	0,4–0,5		
	300		0,4–0,7	0,3–0,6					0,6–0,9	0,4–0,7	0,3–0,4		
60 × 60	150	–	0,9–1,2	0,8–1,0	0,6–0,8				1,0–1,5	0,8–1,2	0,6–0,9	–	
	300		0,7–1,0	0,5–0,8	0,4–0,7				0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7	–	
75 × 75	300		0,9–1,3	0,8–1,1	0,7–0,9				1,1–1,6	0,9–1,3	0,7–1,0		
	500		0,7–1,0	0,6–0,9	0,5–0,7				–	0,7–1,1	0,6–0,8		
	800		–	0,4–0,7	–				–	0,6–0,8	–		
		Карусельные станки											
	200	–	1,3–1,7	1,2–1,5	1,1–1,3	0,9–1,2	0,8–1,0	–	1,5–2,0	1,4–2,0	1,2–1,6	1,0–1,4	0,9–1,2
	300		1,2–1,4	1,0–1,3	0,9–1,1	0,8–1,0	0,6–0,8	–	1,4–1,8	1,2–1,7	1,0–1,3	0,8–1,1	0,7–0,9
	500		1,0–1,2	0,9–1,1	0,7–0,9	0,6–0,7	0,5–0,6		1,2–1,6	1,1–1,5	0,8–1,1	0,7–0,9	0,6–0,7
				0,8–1,0	0,7–0,8	0,5–0,6	–	–	–	1,0–1,4	0,9–1,2	0,7–0,9	–

Примечание. 1. Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины резания и более прочных материалов. 2. При обработке прерывистых поверхностей и работах с ударом табличные значения подач следует умножать на коэффициент 0,75–0,85.

Проверка назначенной подачи по прочности корпуса резца

Силы резания принято раскладывать на составляющие, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z , радиальную P_y и осевую P_x). Условие прочности корпуса резца можно записать в виде

$$P_{изг} \geq P_z, \quad (8)$$

где $P_{изг}$ – максимальная нагрузка, обусловленная прочностью резца, Н;
 P_z – тангенциальная (главная) составляющая силы резания, Н.

Главную составляющую силы резания при наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении для быстрорежущих и твердосплавных резцов можно определить по формуле

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} HB^{n_p} K_p, \quad (9)$$

где C_p – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, геометрию инструмента и другие условия резания;

HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю;

x_p, y_p, n_p – степенные показатели влияния глубины резания, подачи, твердости материала на силу резания соответственно;

K_p – общий поправочный коэффициент для учета данных производственных условий резания.

Поправочный коэффициент K_p равен произведению нескольких коэффициентов:

$$K_p = K_{p1} K_{p2} K_{p3} K_{p4} K_{p5} \quad (10)$$

Коэффициент K_{p1} учитывает свойства обрабатываемого материала (табл. 2.17).

Таблица 2.17

Значения коэффициента K_{p1}

Сталь горячекатаная, отожженная нормализованная и термически обработанная (закалка с высоким отпуском)	1,0
Алюминий и силумин	2,0
Дюралюминий, $\sigma_B = 160 \dots 350$ Н/мм ²	0,14...0,15
Дюралюминий, $\sigma_B > 350$ Н/мм ²	0,55

Коэффициент K_{p2} учитывает влияние на силу резания угла в плане ϕ и выбирается по табл. 2.18.

Таблица 2.18

Значения коэффициента K_{p2}

Материал обрабатываемой детали	При угле в плане ϕ , град.				
	30	45	60	75	90
Сталь и легкие сплавы	1,08	1,0	0,98	1,03	1,08
Чугун и медные сплавы	1,0	1,0	0,96	0,91	0,92

Коэффициент K_{p3} учитывает влияние переднего угла γ резца на силу резания и выбирается по табл. 2.19.

Таблица 2.19

Значения коэффициента K_{p3}

γ , град.	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
K_{p3}	1,1	1,075	1,05	1,025	1,0	0,975	0,95	0,925	0,90

Коэффициент K_{p4} учитывает влияние на силу резания радиуса при вершине резца. Для стали, стального литья, алюминиевых и магниевых сплавов этот коэффициент определяется по формуле

$$K_{p4} = \left(\frac{r}{2}\right)^{0,1}, \quad (11)$$

где r – радиус при вершине, мм;

для чугуна и медных сплавов – по формуле

$$K_{p4} = \left(\frac{r}{2}\right)^{0,07}. \quad (12)$$

Коэффициент K_{p5} учитывает влияние износа резца и выбирается по табл. 2.20.

Таблица 2.20

Значения коэффициента K_{p5}

	Износ резца, мм									
	При обработке стали и ковкого чугуна					При обработке серого чугуна				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	0	1,0	2,0	2,0	4,0
K_{p5}	1,0	0,93	0,96	0,98	1,0	0,81	0,82	0,83	0,9	1,0

Коэффициент C_p , и показатели степени x_p , u_p , n_p для быстрорежущих и твердосплавных резцов принимаются по табл. 2.21.

Таблица 2.21

Коэффициент C_p и показатели степени x_p, y_p, n_p для быстрорежущих и твердосплавных резцов

Тип резцов	Материал режущей части резцов	Твердость обрабатываемого материала, НВ	Обрабатываемый материал							
			Сталь, стал. литье, алюминиевые и магниевые сплавы				Чугун и медные сплавы			
			C_p	x_p	y_p	n_p	C_p	x_p	y_p	n_p
Проходные	Быстрорежущая сталь и твердые сплавы	≤ 170	273	1,0	0,75	0,35	63,5	1,0	0,75	0,55
		> 170	35	1,0	0,75	0,75	51,4	1,0	0,75	0,55
Прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь и твердые сплавы	≤ 170	337	1,0	1,0	0,35	88,2	1,0	8,0	0,55
		> 170	43	1,0	1,0	0,75	88,2	1,0	1,0	0,55

Основную составляющую силы резания при наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении для резцов, армированных минералокерамическим материалом можно определить по формуле

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} v^{n_p} K_{\text{Мр}}, \quad (13)$$

где v – скорость резания, м/мин.,
 $K_{\text{Мр}}$ – поправочный коэффициент.

Коэффициент C_p и показатели степени x_p, y_p, n_p для резцов, армированных минералокерамическим материалом, принимаются по табл. 2.22.

Таблица 2.22

Коэффициент C_p и показатели степени x_p, y_p, n_p для резцов, армированных минералокерамическим материалом

Обрабатываемый материал	C_p	x_p	y_p	n_p
Сталь, $\sigma_B = 750$ МПа	2617	0,95	0,75	-0,15
Чугун серый, НВ = 190	1020	0,90	0,63	0

Поправочный коэффициент $K_{\text{мр}}$, учитывающий влияние материала обрабатываемой детали, определяется по формулам:

– при обработке конструкционной и легированной стали:

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{0,75} \quad (14)$$

– при обработке серого чугуна:

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{HB}{196} \right)^{0,6} \quad (15)$$

где σ_B – предел прочности стали, Н/мм²;

HB – твердость чугуна.

Таким образом, условие прочности корпуса резца, имеющего твердосплавную или быстрорежущую рабочую часть, можно записать в виде:

$$s = y_p \sqrt{\frac{P_{\text{изг}}}{C_p t^{x_p} HB^{n_p} K_p}}. \quad (16)$$

Условие прочности корпуса резца, имеющего рабочую часть, армированную минералокерамическим материалом, можно записать в виде:

$$s = y_p \sqrt{\frac{P_{\text{изг}}}{C_p t^{x_p} v^{n_p} K_{\text{мр}}}}. \quad (17)$$

Допускаемые напряжения, возникающие в корпусе резца под действием изгибающего момента, определяются по формуле

$$[\sigma] = \frac{M_{\text{max}}}{W}, \quad (18)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение корпуса на изгиб резца, изготовленного из стали марки 50, $[\sigma] = 200 \dots 250$ Н/мм²;

M_{max} – максимальный изгибающий момент, возникающий в резце, Н·мм;

W – осевой момент сопротивления прямоугольного сечения, мм³.

Максимальную допускаемую нагрузку по прочности корпуса резца можно вычислить по формуле

$$P_{\text{изг}} = \frac{b h^2 [\sigma]}{6l}, \quad (19)$$

где b – ширина корпуса резца, мм;

h – высота корпуса резца, мм;

l – вылет резца, мм ($l \approx 1,5h$).

Проверка назначенной подачи по прочности режущей части резца (пластинки)

Аналогично предыдущей проверке условие прочности режущей части резца можно записать как

$$P_z \leq P_{\text{пр}}, \quad (20)$$

где $P_{\text{пр}}$ – усилие, допускаемое прочностью режущей части резца, Н.

Используя формулы (8), (9), (16), допустимую подачу можно определить как

$$s = y_p \sqrt{\frac{P_{\text{пр}}}{C_p t^{x_p} \text{HB}^{n_p} K_p}}. \quad (21)$$

Усилие, допускаемое прочностью пластинки твердого сплава, может быть принято по табл. 2.23.

Таблица 2.23

Усилия, допускаемые пластинками твердого сплава ВК8 и ВК6, Н

Толщина пластинки, мм	При глубине резания, мм							
	1	2	3	4	6	8	12	15
До 4	880	1760	2650	3530	5290	7060	10 580	13 230
До 6	1860	3770	5680	7550	11 270	15 090	22 540	28 220
До 8	3330	6470	9700	12 940	19 360	19 360	38 710	48 410
До 10	4900	9750	1470	19 600	29 200	39 200	58 410	73 010

Примечание. Для твердых сплавов марок Т15К6 и Т5К10 допускаемое усилие снижается на 10%.

Проверка назначенной подачи по прочности механизма подачи станка

Возникающая в процессе резания осевая составляющая силы P_x оказывает воздействия на механизмы подачи станка. Условие прочности по механизму подачи можно записать в виде

$$P_x \leq P_{\text{доп.ст.}}, \quad (22)$$

Приблизленно осевую составляющую силы резания можно принять как $P_z = 5P_x$, тогда условие прочности:

$$P_z \leq 5P_{\text{доп.ст.}}, \quad (23)$$

где $P_{\text{доп.ст.}}$ – максимальное усилие, допускаемое прочностью механизма

подачи по паспорту станка. Так, например, для одного из наиболее распространенных токарно-винторезных станков модели 16К20 максимальное усилие для продольных подач составляет 7845 Н, для поперечных – 4510 Н.

Используя формулы (8), (9), (16), допустимую подачу можно определить как

$$s = y_p \sqrt{\frac{5P_{\text{под}}}{C_p t^{x_p} \text{HB}^{n_p} K_p}}. \quad (24)$$

Коэффициент C_p и показатели степени x_p , y_p , n_p принимаются по табл. 2.20, коэффициент K_p рассчитывается по формуле (10).

Проверка назначенной подачи по жесткости системы «Станок – приспособление – инструмент – деталь»

Жесткость технологической системы является одним из основных параметров, определяющих связь между точностью и производительностью механической обработки. Под жесткостью технологической (j) системы «Станок – приспособление – инструмент – деталь» и каждого элемента системы отдельно понимается отношение составляющей усилия резания, направленной к обрабатываемой поверхности (P_y), к смещению лезвия режущего инструмента относительно детали, отсчитанному в том же направлении (y):

$$j = \frac{P_y}{y}. \quad (25)$$

Жесткость технологической системы можно определить из жесткости элементов системы:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{\text{СТ}}} + \frac{1}{j_{\text{Д}}} + \frac{1}{j_{\text{И}}}, \quad (26)$$

где $j_{\text{СТ}}$ – жесткость станка, Н/мм;

$j_{\text{Д}}$ – жесткость детали, Н/мм;

$j_{\text{И}}$ – жесткость изделия, Н/мм.

Жесткость станков зависит от их типоразмера, изношенности, качества регулировки, схемы работы, посадки патрона на шпиндель, от отношения P_y / P_z . Нормативная статическая жесткость станков приводится в соответствующих стандартах. Эти нормативные значения устанавливаются

ся как функция от основных размерных параметров станка. Для токарных станков в качестве основного размерного параметра принят наибольший диаметр изготавливаемой детали, другими словами: высота центров. Для токарно-винторезных станков жесткость можно принимать по табл. 2.24.

При определении жесткости j_d детали, обрабатываемой на токарно-винторезном станке, можно воспользоваться зависимостями, известными из курса сопротивления материалов.

Таблица 2.24

Жесткость токарно-винторезных станков

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
Жесткость станка, Н/мм	20 000	25 000	30 000	40 000	50 000
Средняя жесткость узлов станка, Н/мм	40 000	50 000	60 000	80 000	100 000

Например, минимальная жесткость цилиндрического вала, закрепленного в центрах (при расположении резца по центру заготовки) будет определяться как

$$j_d = \frac{48 E J}{l^3}. \quad (27)$$

В случае обработки цилиндрической заготовки, зажатой только в трехкулачковом патроне, ее минимальная жесткость (при расположении резца на торце заготовки) будет определяться как

$$j_d = \frac{3 E J}{l^3}, \quad (28)$$

где E – модуль упругости обрабатываемого материала, для стали равен 210 000 Н/мм², для серого чугуна – 110 000 Н/мм²;

l – длина валика, мм;

J – осевой момент инерции, мм⁴.

Для круглого сечения осевой момент инерции рассчитывается как

$$J = \frac{\pi d^4}{64}, \quad (29)$$

где d – диаметр вала, мм.

Аналогично можно рассчитать жесткость детали и в более сложных случаях, например при непостоянной площади сечения детали по длине.

Так как жесткость инструмента j_u по оси обычно высокая, ее расчет можно опустить.

Максимальная допустимая погрешность детали $\Delta_{\text{дет}}$ определяется в соответствии с допусками, указанными в конструкторской документации, и вычисляется как сумма предельных отклонений единичного геометрического размера, формы и расположения:

$$\Delta_{\text{дет}} = d_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (30)$$

где d_{max} – предельный бóльший размер детали с учетом всех отклонений, мм;
 d_{min} – предельный меньший размер детали с учетом всех отклонений, мм;

С другой стороны, действительная погрешность детали определится смещением режущего лезвия под действием отжимающей силы в процессе резания:

$$\Delta_{\text{дет}} = y_1 - y_2, \quad (31)$$

где y_1 и y_2 – наибольшее и наименьшее смещения лезвия под действием отжимающей силы (см. формулу (25)), мм;

Изменение отжимающей силы определяется изменением срезаемого припуска, которое, в свою очередь, зависит от допусков, с которыми выполнена заготовка. На основании вышесказанного и формул (9) и (25) можно записать:

$$\Delta_{\text{дет}} = \frac{\lambda C_p s^{y_p} \text{HB}^{n_p} K_p}{j} (t_1 - t_2) \quad (32)$$

где t_1 и t_2 – наибольшая и наименьшая глубина резания соответственно, мм;
 λ – соотношение радиальной и тангенциальной составляющей силы резания, может быть принято равным 0,4.

Обозначим наибольшую погрешность заготовки $\Delta_{\text{заг}}$:

$$\Delta_{\text{заг}} = d_{\text{заг. max}} - d_{\text{заг. min}}, \quad (33)$$

где $d_{\text{заг. max}}$ – предельный бóльший размер детали с учетом всех отклонений, мм;

$d_{\text{заг. min}}$ – предельный меньший размер детали с учетом всех отклонений, мм.

Тогда допустимую подачу, по условию обеспечения требуемой точности, можно определить как

$$s = y_p \sqrt{\frac{j}{\lambda C_p \text{HB}^{n_p}} \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}}}. \quad (34)$$

Проверка назначенной чистовой подачи по шероховатости обработанной поверхности

При чистовой обработке подача s , мм/об., в зависимости от шероховатости R_z , мм [по ГОСТ 2789–73* на чертежах она указывается в микрометрах (мкм)], и радиуса при вершине резца $r \leq 5$ мм определяется как

$$s = \sqrt{R_z 8 r}. \quad (35)$$

Для режущего инструмента с большими радиусами при вершине (например, для чашечного резца диаметром 28...30 мм, $r = 14...15$ мм) при обработке стали

$$s = 1,07 \sqrt{\frac{R_z r^{0,65}}{0,21}}. \quad (36)$$

Из результатов вышеприведенных расчетов выбирается наименьшая подача (s), которая сопоставляется с ближайшим значением, указанным в паспорте станка и принимаемым за фактическое. При необходимости величина подачи может быть выбрана или сверена с указанными в таблицах, приведенных в справочной литературе [5].

2.5.4 Выбор скорости резания

При назначении скорости резания руководствуются двумя основными факторами: обеспечением заданного (рационального) периода стойкости резца (T) и соблюдением ограничений накладываемых конструкцией станка (по регулированию частоты вращения шпинделя, по максимальной мощности привода главного движения станка и др.).

Скорость резания v рассчитывается по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки. Для наружного, продольного и поперечного точения и растачивания скорость определяется по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_v; \quad (37)$$

при отрезании и прорезании канавок и фасонном точении – по формуле

$$v = \frac{C_v}{T^m s^{y_v}} K_v, \quad (38)$$

где v – скорость резания (скорость главного движения), м/мин.;

C_v – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала;

K_v – поправочный коэффициент на измененные условия обработки;

T – период стойкости резца, выбирается в соответствии с нормативами, м;

t – глубина резания, мм;

s – подача, мм/об.;

m , x_v , y_v – степенные показатели влияния на период стойкости резца скорости главного движения, глубины резания и подачи соответственно.

Средний период стойкости при одноинструментальной обработке 30-60 мин. Приведены данные о периоде стойкости при обработке основных материалов (табл. 2.25), для очень дорогих инструментов период стойкости рассчитывается, коэффициент C_v и показатели степеней m , x_v , y_v (табл. 2.26; для легированных сталей показатель относительной стойкости $m = 0,3$).

Таблица 2.25

Средняя стойкость резцов

Тип резцов	Размеры резцов, мм	Средняя стойкость T , мин.		
		Резцов из быстрорежущей стали		Резцов с твердыми сплавами
		По стали	По чугуну	По стали и чугуну
Проходные (прямые и отогнутые) и подрезные	16 × 10 25 × 16 30 × 20	30–50	40–60	25–40
	40 × 25 40 × 40	35–60	50–75	40–75
Отрезные и прорезные	16 × 10 25 × 16 30 × 20 40 × 25 40 × 30	15–25	25–45	25–50

Для быстрого приближенного расчета скорость резания можно принять по справочникам или нормативам [1–3].

Коэффициент на измененные условия обработки K_v представляет собой произведение коэффициентов, учитывающих изменение материала заготовки, состояния поверхности, материала инструмента, геометрии режущего инструмента:

$$K_v = K_{v1} K_{v2} K_{v3} K_{v4} K_{v5} K_{v6}. \quad (39)$$

Коэффициент K_{v1} учитывает влияние физико-механических свойств

обрабатываемого материала: для стали $K_{v1} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}$; для серого чу-

гуна $K_{v1} = \left(\frac{190}{\text{НВ}} \right)^{n_v}$; для ковкого чугуна $K_{v1} = \left(\frac{150}{\text{НВ}} \right)^{n_v}$;

где σ_s – предел прочности обрабатываемого материала, Н/мм²;

НВ – твердость чугуна;

K_r – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости;

n_v – степенной показатель влияния прочности и твердости материала на период стойкости резца (см. табл. 2.27).

Значение коэффициента C_v и показателей степеней m , x_v , y_v в формуле скорости резания для точения

Материал режущей части резца	Материал обрабатываемой детали	Вид обработки	Характер обработки (s и t)	Значения коэффициентов при условиях:								
				Без охлаждения				С охлаждением				
				C_v	x_v	y_v	m	C_v	x_v	y_v	m	
Быстро-режущая сталь	Сталь, стальное литье, алюминиевые и магниевые сплавы	Обточка	$s \leq 0,25$	52,5	0,25	0,50	0,1	962	0,25	0,33	0,125	
		Расточка	$s > 0,25$	42,0	0,25	0,66	0,1	608	0,25	0,66	0,125	
		Отрезка Прорезка				–		0,2	21,8	–	0,66	0,25
	Чугун ковкий	Обточка	$s \leq 0,25$	42,6	0,20	0,40	0,1	554	0,2	0,25	0,125	
		Расточка	$s > 0,25$	24,5	0,20	0,40	0,1	474	0,2	0,50	0,125	
		Отрезка Прорезка		20,2	–	0,5	0,20	224	–	0,50	0,25	
	Чугун серый и медные сплавы	Обточка	Получистовая грубая		34,2	0,15	0,30	0,1				
		Расточка			32,6	0,15	0,40	0,1				
		Отрезка Прорезка		20,3	–	0,40	0,15					
Твердый сплав Т15К6	Сталь, стальное литье, алюминиевые и магниевые сплавы	Обточка	$s \leq 0,3$	242	0,18	0,20	0,125	257	0,18	0,20	0,125	
		Расточка	$s = 0,3 \dots 0,75$	267	0,18	0,35	0,125	294	0,18	0,35	0,125	
			$s > 0,75$	259	0,18	0,45	0,125	285	0,18	0,45	0,125	
		Отрезка Прорезка		54,2	–	0,35	0,15	72,8	–	0,35	0,15	
Твердый сплав ВК8	Чугун и медные сплавы	Обточка	$s \leq 0,3$	126	0,22	0,40	0,20	133	0,22	0,4	0,2	
		расточка	$s > 0,3$	112	0,22	0,50	0,20	123	0,22	0,5	0,2	
			$s \leq 0,4$	166	0,13	0,20	0,20	–	–	–	–	
			$s > 0,4$	147	0,20	0,40	0,20	–	–	–	–	
		Обрезка Прорезка		36,9	–	0,4	0,20	–	–	–	–	
Минералокерамический материал	Сталь углеродистая и легированная	Обточка Расточка	$s \leq 0,3$	$t \leq 2$	530	0,19	0,37	0,24*	–	–	–	–
				$t > 2$	750	0,08	0,08	0,24*	–	–	–	–
				$t \leq 7$	700	0,08	0,02	0,24*	–	–	–	–
	Чугун серый и медные сплавы		$s \leq 0,7$	$t \leq 7$	1560	0,2	0,2	0,43	–	–	–	–

Таблица 2.27

Значение коэффициента K_r и показателя степени n_v при определении влияния физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания при обработке резцами

Обрабатываемый материал	K_r		n_v	
	Резцы			
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь углеродистая ($C \leq 0,6\%$) σ_B , Н/мм ² :				
<450	1,0	1,0	-1,0	
450...550	1,0	1,0	1,75	
>550	1,0	1,0	1,75	
Повышенной и высокой обрабатываемости резанием, хромистая	1,2	1,1	1,75	1,0
Углеродистая ($C > 0,6\%$)	0,85	0,95	1,75	
Хромоникелевая, хромомолибденованадиевая	0,8	0,9	1,5	
Хромомарганцовистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хромомолибденоалюминиевая	0,7	0,8	1,25	
Чугун:				
серый	–	–	1,7	1,25
ковкий	–	–	1,7	1,25

Коэффициент K_{v1} для таких материалов, как медные и алюминиевые сплавы, жаропрочные и коррозионностойкие стали, можно найти в справочной литературе [1–3].

Коэффициент K_{v2} учитывает влияние материала режущей части резца (марки твердого сплава, наименования стали), выбирается по табл. 2.28.

Коэффициент K_{v3} учитывает влияние способа изготовления заготовки, выбирается по табл. 2.29.

Коэффициент K_{v4} учитывает влияние состояния обрабатываемой поверхности заготовки, выбирается по табл. 2.30.

Таблица 2.28

Значение коэффициента K_{v2}

Обрабатываемый материал	K_{v2} для инструментального материала:						
	Сталь конструкционная	T5K12B	T5K10	T14K8	T15K6	T15K6	T30K4
0,35		0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Жаропрочные и коррозион- нстойкие стали	BK8	T5K10	T15K6	P18	–		
	1,0	1,4	1,9	0,3			
Сталь закаленная	35...50 HRC				51...62 HRC		
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,00	0,92	0,74
Серый и ковкий чугун	BK8	BK6	BK4	BK3	BK3	–	
	0,83	1,00	1,1	1,15	1,25		
Сталь, чугун, медные и алю- миниевые сплавы	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBG	Y12A	–
	1,00	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Таблица 2.29

Значение коэффициента K_{v3}

Холоднокатаная	Горячекатаная	Отожженная
1,1	1,0	0,9

Таблица 2.30

Значение коэффициента K_{v4}

K_{v4} , за- готовки без корки	K_{v4} , заготовки с коркой				
	Прокат	Поковка	стальные и чугунные отливки		Медные и алю- миниевые сплавы
			С нормальной коркой	С сильно загряз- ненной коркой	
1,0	0,9	0,8	0,8...0,85	0,5...0,6	0,9

Коэффициент K_{v5} учитывает влияние на скорость резания главного угла в плане резца. Для минералокерамических резцов выбирается по табл. 2.31.

Таблица 2.31

Значение коэффициента K_{v5}

φ , град.	20	30	45	60	75–90
K_{v5}	0,75	1,0	1,0	0,7	0,6

При обработке стали для быстрорежущих резцов $K_{v5} = \left(\frac{45}{\varphi^0} \right)^{0,6}$;

при обработке стали для твердосплавных резцов $K_{v5} = \left(\frac{45}{\varphi^0} \right)^{0,3}$;

при обработке чугуна $K_{v5} = \left(\frac{45}{\varphi^0} \right)^{0,45}$.

Коэффициент K_{v6} учитывает влияние поперечного сечения резца и определяется по формулам:

– при обработке стали $K_{v6} = \left(\frac{q}{600} \right)^{0,08}$;

– при обработке чугуна $K_{v6} = \left(\frac{q}{600} \right)^{0,04}$,

где q – сечение корпуса выбранного резца, мм².

Скорость резания, допускаемая мощностью станка, определяется как

$$v = \frac{61 \ 200 N_{\text{э}} \eta_{\text{ст}}}{P_z}, \quad (40)$$

где $N_{\text{э}}$ – мощность электродвигателя станка, кВт;

$\eta_{\text{ст}}$ – коэффициент полезного действия станка.

Используя полученную ранее для определения главной составляющей силы резания формулу (9), можно записать:

$$v = \frac{61 \ 200 N_{\text{э}} \eta_{\text{ст}}}{C_p t^{x_p} s^{y_p} \text{HB}^{n_p} K_p}. \quad (41)$$

По наименьшей рассчитанной скорости резания определяется частота вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000 v}{\pi d}, \quad (42)$$

где n – частота вращения шпинделя, об./мин.;

d – диаметр детали по обрабатываемой поверхности при обточке;

Полученная частота вращения шпинделя сравнивается с указанными в паспорте. Принимается ближайшая к рассчитанной частота вращения по паспорту станка ($n_{\text{ф}}$) и определяется фактическая скорость резания:

$$v_{\phi} = \frac{\pi d n_{\phi}}{1000}. \quad (43)$$

После установления фактической скорости резания может быть определен фактический период стойкости резца из формулы пересчета:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (44)$$

где T_1 – рекомендуемая стойкость (см. табл. 2.14), мин.;

T_2 – фактическая стойкость, мин;

v_1 – расчетная (исходная) скорость резания, м/мин.;

v_2 – фактически принятая скорость резания, м/мин.

Если скорость резания, допускаемая мощностью станка, значительно ниже скорости резания, допускаемой режущим инструментом, то необходимо заменить станок более мощным или же провести его модернизацию. Если нет другого станка и невозможна модернизация, нужно принять режущий инструмент из материала с более низкой теплостойкостью, например, вместо твердосплавного быстрорежущий.

Крутящий момент на резце определяется по формуле

$$M_{\text{рез}} = \frac{P_z d}{2 \cdot 1000}, \quad (45)$$

где $M_{\text{рез}}$ – крутящий момент, Н·м;

d – диаметр заготовки, мм.

Крутящий момент на резце должен удовлетворять условию:

$$M_{\text{рез}} \leq M_{\text{кр}}, \quad (46)$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент шпинделя, допускаемый «слабым звеном», (механизмом коробки скоростей, или приводом главного движения), Н м.

$$M_{\text{кр}} = 974 \cdot 9,81 \frac{N_{\text{эл}}}{n_{\phi}} \eta_{\text{ст}},$$

где $N_{\text{эл}}$ – мощность электродвигателя, кВт;

n_{ϕ} – фактическое число оборотов шпинделя, об./мин.;

$\eta_{\text{ст}}$ – к.п.д. станка, $\eta_{\text{ст}} = 0,75$.

Мощность, необходимая для снятия стружки, равна, кВт:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v_{\phi}}{60 \cdot 102 \cdot 9,81}.$$

Эта мощность должна удовлетворять условию: $N_{\text{рез}} \leq N_{\text{эл}} \eta_{\text{ст}}$.

2.6 НОРМЫ ВРЕМЕНИ НА ОБРАБОТКУ. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

2.6.1 Определение норм времени

Техническая норма, или норма времени, – это затраты времени, устанавливаемые на единицу продукции или на работу, выполняемые одним рабочим. Для технологического процесса нормой штучного времени $T_{шт}$ являются затраты времени на выполнение одной операции, мин.:

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{доп}, \quad (47)$$

где T_o – основное (машинное) время, в течение которого снимается стружка с заготовки, мин.;

$T_{всп}$ – вспомогательное время: на установку и закрепление детали на станке, снятие ее со станка, на управление станком, мин.;

$T_{доп}$ – дополнительное время, мин.

$$T_{доп} = T_{o.обсл} + T_{т.обсл} + T_{отд}, \quad (48)$$

где $T_{o.обсл}$ – время на организационное обслуживание станка;

$T_{т.обсл}$ – время на техническое обслуживание станка;

$T_{отд}$ – время отдыха рабочего.

Расчет основного времени. Основное (машинное) время, затрачиваемое на операцию, определяется как, мин.:

$$T_o = \sum_{i_n=i}^m T_{мп.i}, \quad (49)$$

где $T_{мп.i}$ – машинное время для i -го технологического перехода;

i_n – число переходов в операции.

Машинное время, мин., затрачиваемое на следующие операции:

– точение, сверление и фрезерование

$$T_o = \frac{L}{s_M} = \frac{l + l_1 + l_2}{s n}; \quad (50)$$

– строгание

$$T_o = \frac{L}{s_M} = \frac{B + B_1 + B_2}{s n_q}; \quad (51)$$

– протягивание

$$T_o = \frac{L_{px} i}{1000 v}; \quad (52)$$

– нарезание резьбы резцом

$$T_o = \frac{(l + l_1 + f) i g}{n P}; \quad (53)$$

– нарезание зубчатых колес червячной фрезой

$$T_o = \frac{L z_{зк}}{n s q}; \quad (54)$$

– обработку долбяком

$$T_o = \frac{\pi z_{зк} m i}{n_q s} + \frac{h_3}{s n_q}; \quad (55)$$

– шлифование

$$T_o = \frac{L h_{ш}}{n_q s t}; \quad (56)$$

где L – расчетный путь перемещения инструмента (детали), в т. ч. путь на врезание и перебег, мм;

s – подача на оборот, мм/об.;

s_M – подача минутная, мм/мин.;

l – длина детали, мм;

l_1 – длина врезания инструмента, мм;

l_2 – длина перебега инструмента, мм;

n – частота вращения детали или инструмента, об./мин.;

n_q – число двойных ходов, дв.х/мин.;

B – ширина поверхности детали, мм;

B_1 – ширина врезания при строгании, мм;

B_2 – ширина перебега при строгании, мм;

L_{px} – длина хода протяжки, мм;

i – число проходов;

v – скорость резания при протягивании, м/мин.;

f – ширина канавки для выхода резца, мм;

g – число заходов резьбы;

P – шаг резьбы, мм;

q – число заходов червячной фрезы;

$z_{зк}$ – число нарезаемых зубьев колеса;

m – модуль зубчатого колеса, мм;

h_3 – высота зуба, мм;

$h_{ш}$ – припуск на шлифование, мм;

t – глубина резания, мм.

Расчет вспомогательного времени. Вспомогательное время складывается из времени, связанного с операцией $T_{всп.о}$, т. е. времени на установку, за-

крепление детали на станке, снятие ее со станка, и вспомогательного времени $T_{всп.п}$ на каждый технологический переход – подвод и отвод режущего инструмента, на вспомогательные ходы:

$$T_{всп} = T_{всп.о} + T_{всп.п}. \quad (57)$$

Вспомогательное время, связанное с операцией ($T_{всп.о}$), и вспомогательное время, связанное с переходом ($T_{всп.п}$), не рассчитываются, а определяются путем хронометрирования этих работ или выбираются по учебникам [11, с. 141–146; 12; 13 и др.].

Расчет дополнительного времени. Дополнительное время $T_{доп}$ аналитически не определяется, а принимается равным 5...10 % оперативного времени, которое равно сумме основного и вспомогательного времени, или берется из учебников [12, 13].

$$T_{доп} = (0,05...0,1)(T_o + T_{всп}). \quad (58)$$

Расчет нормы штучно-калькуляционного времени. Норма штучно-калькуляционного времени T_k служит для определения себестоимости детали. Она складывается из нормы штучного времени $T_{шт}$ и подготовительно-заключительного времени $T_{п.з}$, мин.:

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n_{шт}}, \quad (59)$$

где $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время на всю партию деталей, мин. [12–14].

Подготовительно-заключительное время – это время на ознакомление с работой, настройку оборудования для выполнения данной работы, на требуемые режимы резания, на пробную обработку деталей, на получение на рабочем месте заданий, заготовок, инструмента, приспособлений, на сдачу продукции и (иногда) доставку на рабочее место инструмента и приспособлений и сдачу их в кладовую после окончания работы. Подготовительно-заключительное время задается по нормативам в минутах и зависит от характера и объема подготовительных работ.

2.6.2 Расчет производительности труда

Производительностью труда называют количество изделий (деталей), изготовленных в единицу времени, например шт./смену;

$$Q = \frac{480}{T_{шт}}, \quad (60)$$

где $T_{шт}$ – норма штучного времени на операцию, мин.

Производительность труда – один из обобщающих показателей, характеризующих эффективность технологического процесса. Расчет норм времени и производительности труда удобнее выполнять в виде таблицы (табл. 2.32).

2.7 РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПЕРАЦИИ

Одним из главных показателей эффективности технологического процесса является себестоимость детали.

Себестоимость детали C – это сумма всех затрат, связанных с изготовлением детали. Существует несколько методических указаний по расчету себестоимости. Для оценки эффективности технологического процесса себестоимость детали можно определить без точного анализа всех статей затрат, руб.:

$$C = M_{\text{заг}} + P_p + H_{\text{ц}} + H_3, \quad (61)$$

где $M_{\text{заг}}$ – стоимость материала заготовки;

P_p – размер заработной платы за изготовление детали;

$H_{\text{ц}}$ – цеховые затраты;

H_3 – общезаводские затраты.

Стоимость заготовки можно определить по формулам, из графиков или условно принять как стоимость металла для заготовки.

Размер основной заработной платы P_p равен, руб.:

$$P_p = \sum_{i=1}^m P_c + \sum_{i=1}^m P_n, \quad (62)$$

где P_c – зарплата станочника (расценка операции),

$$P_c = \frac{C_{\text{ч.с}}}{60} T_{\text{шт}} K. \quad (63)$$

где $C_{\text{ч.с}}$ – часовая ставка сдельщика, руб.;

$T_{\text{шт}}$ – штучное время, мин.;

K – коэффициент перевыполнения нормы времени, $K = 1,15 \dots 1,25$;

P_n – зарплата наладчиков (приходящаяся на одну деталь), руб.:

$$P_n = \frac{C_{\text{ч.н}}}{60} \frac{T_{\text{п.з}}}{n_{\text{шт}}} K_n, \quad (64)$$

где $C_{\text{ч.н}}$ – часовая ставка наладчика, руб.;

$T_{\text{п.з}}$ – подготовительно-заключительное время на операцию, мин.;

$n_{\text{шт}}$ – количество деталей в партии, шт.;

K_n – коэффициент перевыполнения норм времени.

Таблица 2.32

Сводная таблица норм времени

Номер операции	Наименование операции	Номер установки	Номер технологического перехода	Расчетные данные							Оперативное время $T_{оп}$, мин.	Дополнительное время $T_{доп}$, мин.	Штучное время $T_{шт}$, мин.	Произв-сть труда Q , шт./смена		
				Длина, мм		Режимы резания			Вспомогательное время, мин.							
				l	a	Частота n , об./мм	Подача s , мм/мм	Число рабочих ходов i	Основное время T_o , мин.	Связан. с операцией $T_{всп.о}$					Связан. с переходом $T_{всп.п}$	
				Обработки детали	Рабочего хода											
25	Получистовая обработка	1	05								Опред-ся по графику циклограммы – 3,8 (рис. 3.2)	12,7	1,1	13,7	35	
			10	902	922	250	0,66	1	5,6	1,5						0,2
			15	1402	1422	250	0,66	1	8,6							0,2
			20													0,5
			25							0,3						0,8
			30							1,2						

Цеховые затраты $H_{ц}$ – это затраты на содержание ИТР, АУР, вспомогательных рабочих, отчисления на амортизацию оборудования и оснастки, на расход электроэнергии и ремонт оборудования и т. д. Обычно цеховые затраты определяются в процентах от основной заработной платы P_p , руб.:

$$H_{ц} = (1,5...6,0) P_p. \quad (65)$$

Общезаводские затраты $H_з$ – это затраты на содержание вспомогательных цехов завода, заводоуправления и др. Заводские затраты также определяются в процентах от основной заработной платы, руб.:

$$H_з = (0,25...0,5) P_p. \quad (66)$$

Показатели эффективности технологического процесса – это различные коэффициенты использования средств производства.

Коэффициент основного времени $K_{\text{осн}}$ рассчитывается по формуле

$$K_{\text{осн}} = \frac{\sum T_o}{\sum T_k}. \quad (67)$$

Этот коэффициент показывает долю основного времени в общем калькуляционном времени. По данным профессора М. Е. Егорова, в условиях серийного производства $K_{\text{осн}} \geq 0,7$.

Коэффициент использования мощности станка K_N варьирует от 0,5 до 1,2:

$$K_N = \frac{N_{\text{рез}}}{N_{\text{шп}}}, \quad (68)$$

где $N_{\text{рез}}$ – мощность, расходуемая на резание, кВт;

$N_{\text{шп}}$ – мощность шпинделя станка, кВт.

Коэффициент использования режущего инструмента ($K_{\text{р.и}} > 0,7$):

$$K_{\text{р.и}} = \frac{t_{\text{ф}} s_{\text{ф}} v_{\text{ф}}}{t_{\text{р}} s_{\text{р}} v_{\text{р}}}, \quad (69)$$

где $t_{\text{ф}}$, $s_{\text{ф}}$, $v_{\text{ф}}$ – фактические элементы режима резания;

$t_{\text{р}}$, $s_{\text{р}}$, $v_{\text{р}}$ – рациональные элементы режима резания.

Коэффициент использования материала заготовки

$$K_3 = \frac{G_{\text{д}}}{G_3}, \quad (70)$$

где $G_{\text{д}}$ – масса детали, кг;

G_3 – масса заготовки, кг.

Для литых заготовок $G_3 > 0,6$, для штампованных – $G_3 > 0,8$.

3 ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1 ОФОРМЛЕНИЕ ТЕКСТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

3.1.1 Общие сведения

Требования к технологическим документам изложены в ГОСТ 3.1104–81. Основные требования, предъявляемые к текстовым технологическим документам:

- документы должны оформляться на бланках, установленных стандартами ЕСТД (Единой системы технологической документации);
- при заполнении документов от руки высота букв и цифр должна соответствовать установленной ГОСТ 2.304–81;
- документы, содержащие в основном сплошной текст, оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105–95.

Наименование граф документа следует записывать в виде заголовка с прописной буквы, а подзаголовков – со строчной, если его наименование составляет одно целое с заголовком. Если подзаголовки имеют самостоятельное значение, то пишутся с прописной буквы. Записи следует делать на каждой строке в один ряд. Если в графе «Наименование» содержание графы записано на нескольких строках, то записи, размещаемые в одну строку в соседних графах, следует производить на уровне первой строки (см. ГОСТ 3.1701–79, ГОСТ 3.1703-79).

Операции следует нумеровать числами ряда арифметической прогрессии (0; 5; 10; 15; 20 и т. д.). Допускается слева добавлять к числам нули (005, 010 и т. д.). Переходы следует нумеровать числами натурального ряда (1, 2, 3 и т. д.).

Размерность параметров технологических режимов указывается только после числовых значений (например, 0,2 мм/об.).

Коды, наименования, обозначения данных следует записывать в соответствии с действующими государственными классификаторами технико-экономической информации, государственными стандартами и отраслевыми нормативно-техническими документами.

Допускается сокращенная запись наименований и обозначений данных, если в самом текстовом документе или в одном из документов комплекта, в который входит текстовый документ, уже записаны коды или полные наименования и приведены обозначения данных.

3.1.2 Оформление маршрутной карты

Маршрутная карта (МК) – это документ, содержащий описание технологического процесса (по операциям) изготовления или ремонта (включая контроль и перемещение) изделия. В МК приводятся данные об

оборудовании, оснастке, материальных и трудовых затратах в соответствии с установленными ГОСТ 3.1118–82 формами. Формы МК унифицированы, и их следует применять независимо от типа и характера производства и степени детализации описания технологических процессов. При маршрутном и маршрутно-операционном описании технологического процесса МК является одним из основных документов, по которому описывается весь технологический процесс. При операционном описании технологического процесса МК играет роль сводного документа (табл. 3.1).

Информацию о технологических процессах вносят построчно, разными типами строк. Каждому типу строки соответствует определенный служебный символ. Служебные символы условно обозначают состав информации, размещаемой в графах того или иного типа, и предназначены для машинной обработки информации.

Постановка служебных символов обязательна. Служебные символы и их содержание приведены в ГОСТ 3.1118–82. Например, строка, начинающаяся с символа «А», содержит информацию о номере цеха, участке, рабочем месте, где выполняется операция, номере операции, коде и наименовании операции, о документах, применяемых при выполнении данной операции; строка, начинающаяся с символа «Б», содержит код и наименование оборудования; с символа «О» – содержание операции, перехода; с символа «Т» – сведения о применяемой при выполнении операции технологической оснастке.

При заполнении строк, имеющих служебный символ «О», следует руководствоваться требованиями государственных стандартов ЕСТД седьмой классификационной группы. Запись следует выполнять последовательно по всей длине строки с возможностью переноса на последующие строки. При операционном описании технологического процесса на МК номер перехода проставляют в начале строки.

При заполнении строк, имеющих служебный символ «Т», следует руководствоваться требованиями соответствующих классификаторов, государственных и отраслевых стандартов кодирования (обозначения) и наименования технологической оснастки. Информацию по применяемой на операции технологической оснастке записывают в следующей последовательности: приспособление; вспомогательный инструмент; режущий инструмент; слесарно-монтажный; специальный (при сварке, штамповке и т. д.) инструмент; средства измерения.

Таблица 3.1

Форма маршрутной карты

											ГОСТ 3.1118-82		Форма 1				
											Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Дубл.												1					
Взам.																	
Подл.																	
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВАЛИК ТОРМОЗНОЙ						
А	ИВХ	УЧ	РМ	Опер.	Код, наименование операции			Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования						СМ	Проф.	Р	Ит	КР	КОИД	ЕН	ОП	К _{ит}	Т _{н.з.}	Т _{ит.}
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала						Обозначение, код					ОПП	ЕВ	ЕН	КЦ	Н расх.	
А 01	005 Фрезерно-зацентровочная																
Б 02	1831						2			1	1	1	100	1	0,56	1,67	
О 03	Фрезеровать торцы в размер 198 мм; обработать центровые отверстия.																
Т 04	Призматические опоры, прижим пневматический; торцевые фрезы (2 шт.), сверла зацентровочные (2 шт).																
05																	
06																	
А 07	010 Токарная																
Б 08	16ТО2А						2			1	1	1	100		0,46	2,13	
О 09	Подрезать торец, точить поверхность Ø59,5 мм длиной 150 мм, точить фаску и канавку 3 мм																
10																	
Т 11	Резцы: подрезной, проходной упорный, фасочный и канавочный, ШЦ II – 250 – 005																
12																	
А 13	015 Токарная																
Б 14	16ТО2А						2			1	1	1	100		0,46	1,05	
О 15	Подрезать торец, точить поверхность Ø86 мм на длину 40 мм, точить фаску.																
Т 16	Резцы: подрезной, проходной φ = 45°, ШЦ II – 250 – 005																
17																	
МК																	

ГОСТ 3.1118-82

Форма 1,б

											Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Дубл.												1					
Взам.																	
Подл.																	
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВАЛИК ТОРМОЗНОЙ						
А	ИВХ	УЧ	РМ	Опер.	Код, наименование операции					Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	Ит	КР	КОИД	ЕН	ОП	К _{шт}	Т _{н.з.}	Т _{шт.}	
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение, код					ОПП	ЕВ	ЕН	КЦ	Н расх.		
А 01	020 Фрезерная																
Б 02	6Р10					2					1	1	1	100	1	0,56	1,25
О 03	Фрезеровать пазы шириной 12 мм – 4шт.																
Т 04	Делительная головка, фреза концевая Ø12 мм																
05																	
А 06	025 Сверлильная					АБВГ											
Б 07	2Н118															0,35	0,56
О 08	Сверлить отверстие Ø12 мм																
Т 09	Призма, сверло спиральное Ø12 мм																
10																	
А 11	030 Шлифовальная																
Б 12	3М150															0,45	0,65
О 13	Шлифовать поверхность Ø60h6																
Т 14	Круг шлифовальный ПП350×40×127 45А 16СМ 1 7 К5 35м/с А1К1																
15																	
16																	
17																	
МК																	

Допускается применять условное обозначение оснастки видов, например: режущий инструмент – РИ.

Запись следует также выполнять по всей длине строки с возможностью переноса на последующие строки, приводя средства оснастки через точку с запятой. Количество одновременно применяемых единиц технологической оснастки следует указывать после кода (обозначения) оснастки в скобках. Например: 7200-0253, ГОСТ 21168–75*, Тиски; 2214-0157, ВК8, ГОСТ 9473–80, Фреза; 6225-0147, ГОСТ 15067-75*, Оправка.

Наименование и содержание операций в МК записывают с учетом требований ГОСТ 3.1702–79, который регламентирует перечень операций, их кодирование, правила записи и т. д. В частности, наименование операций обработки резанием должно быть записано в соответствии с терминами группы операций (например, токарная, сверлильная, программная, расточная). Рекомендуется и уточненная форма записи наименования операции с учетом особенности применяемого оборудования (например, токарно-винторезная, горизонтально-фрезерная и т. д.).

Содержание операции в МК обычно раскрывается при маршрутном типе технологического процесса по его описанию, при единичном типе технологического процесса – по его организации. В таком случае маршрутная карта сопровождается чертежом детали или операционным эскизом. Запись содержания операции может быть полной или сокращенной. Схема записи определена ГОСТ 3.1702–79 и начинается с ключевого слова (КСО) – глагола в неопределенной форме, характеризующего метод обработки: точить, фрезеровать, шлифовать и т. п. Ключевые слова технологических переходов и их условные коды следует принимать по ГОСТ 3.1702-79. Далее в определенной последовательности указывается дополнительная и основная информация. Дополнительная информация первая (ДИ1) – это количество последовательно или одновременно обрабатываемых поверхностей, дополнительная информация вторая (ДИ2), приводимая при полной записи за первой, это характеристика обрабатываемой поверхности (внутренняя, коническая, фасонная, наружная, ступенчатая; или глухое, сквозное, отверстие; или шпоночный, Т-образный, паз, и т. д.).

На третьей позиции (см. рис. 3.1) указывается наименование предметов производства (НППЗ), обрабатываемых и конструктивных элементов. ГОСТ 3.1702–79 рекомендует использовать следующие термины: «деталь, заготовка, червяк, цилиндр, поверхность, торец, лыска, фаска, буртик» и т. д.

На четвертой позиции приводятся условные обозначения размеров (УОР4) и конструктивных элементов с числовыми данными со словами: «выдерживая» или «выдерживая размеры». Здесь приняты следующие обозначения: d – диаметр, l – длина, b – ширина, \angle – угол, h – глубина, высота, R – радиус. Размерность (мм) не указывается.

Дополнительная информация пятая (ДИ5) содержит фаски (c) и радиусы закругления (r) на обрабатываемых поверхностях. Дополнительная информация шестая (ДИ6) определяет характер обработки и количество одновременно (последовательно) обрабатываемых поверхностей. Рекомендуемая терминология: «окончательно, предварительно, с подрезкой торца, по копиру, по программе, согласно эскизу, последовательно» и т. д. Приведен пример учета дополнительной информации (рис. 3.1).

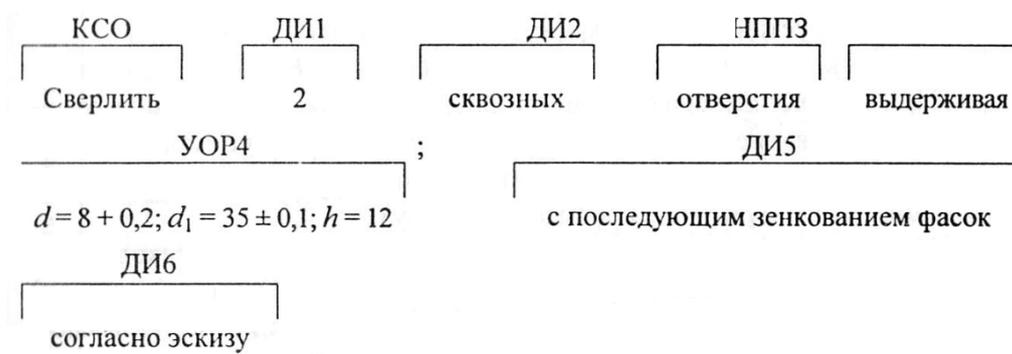


Рис. 3.1. Схема учета дополнительной информации

Полная запись содержания операций или нескольких операций в маршрутной карте обычно делается при отсутствии графического изображения (или при неполном изображении).

При необходимости в одном предложении допускается указывать несколько ключевых слов, характеризующих последовательность обработки изделий в данной операции. Например: «Сверлить, зенкеровать и развернуть 2 сквозных отверстия с последующим зенкованием фасок, выдерживая...» Сокращенная запись делается при наличии графических изображений, довольно полно представляющих всю необходимую информацию.

При маршрутном проектировании технологии необходима кодовая запись данных об оборудовании, оснастке и прочем в соответствии с действующими классификаторами.

3.1.3 Оформление операционной карты

Операционная карта (ОК) механической обработки – это документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки, оборудования, средств оснащения и т. д. (табл. 3.2). Некоторые графы и строки операционной карты заполняются аналогично графам маршрутной карты (см. табл. 3.1, информация о строках «А, Б, О, Т»).

В соответствии с требованиями ГОСТ 3.1702–79 необходимо придерживаться определенных правил при записи технологических и вспомогательных переходов. Вначале указываются вспомогательные переходы, например:

1. Установить заготовку.
2. Закрепить заготовку.
3. Снять заготовку (этот переход записывается в конце перечня переходов операции).

Допускается объединение вспомогательных переходов:

1. Снять, установить и закрепить заготовку.
2. Снять, установить, выверить и закрепить заготовку.

При необходимости переустановить заготовку в процессе совершения операции в требуемом месте указывают соответствующий вспомогательный переход (например: «2. Переустановить и закрепить заготовку»). Или: «Переустановить, выверить и закрепить заготовку»).

Некоторые часто повторяющиеся вспомогательные переходы, например, такие как «Повернуть револьверную головку», «Отвести (подвести) револьверную головку», в ряде случаев в перечне переходов не указывают. Их лишь учитывают при определении вспомогательного времени $T_{всп}$, ограничиваясь записью в операционной карте первого вспомогательного перехода: «1. Снять, установить и закрепить заготовку». Следует иметь в виду, что переход «Закрепить» предполагает и переход «Раскрепить».

Вспомогательные переходы записываются с использованием ключевых слов: «выверить, закрепить, настроить, установить, переустановить, переместить, поджать, проверить, смазать, снять».

Основные переходы также нумеруют арабскими цифрами и записывают в полной и сокращенной форме.

Полная запись начинается с ключевого слова, характеризующего метод обработки: например, «точить». Далее приводится наименование предмета производства (НПП), обрабатываемой поверхности или конструктивных элементов, затем со словами «выдерживая» или «выдерживая размер» – условное обозначение размеров (УОР) и конструктивных элементов с числовыми данными. Например: *Точить поверхность, выдерживая $d = 40$, $L = 98 + 0,5$, предварительно*. Данная запись, не имеющая графических иллюстраций, содержит номинальные размеры с их предельными отклонениями.

Для переходов, которым соответствуют размеры графических иллюстраций, форма записи будет следующая: *Точить поверхность, выдерживая размеры 1 и 2*. Полная запись перехода может быть выполнена и по схеме, рекомендуемой при маршрутном описании технологических операций, т.е. с указанием различной дополнительной информации. Например: *Точить наружную поверхность, выдерживая $d = 40$, $L = 98 + 0,5$, предварительно*.

Сокращенная запись переходов выполняется со ссылкой на условное (номерное) обозначение конструктивного элемента обрабатываемого изде-

лия. При этом необходимо, чтобы на операционном эскизе обрабатываемые конструктивные элементы были обозначены номерами. В этом случае выдерживаемые на операции размеры не нумеруются. Сокращенная запись переходов целесообразна при сравнительно простых операциях и переходах и при четком и понятном графическом изображении. Примеры полной и сокращенной записи переходов приведены в табл. 2.1.

При заполнении операционной карты данными об оснастке следует соблюдать требования к заполнению строк МК со служебным символом «Т». При наличии ведомости оснастки в операционной карте могут быть записаны лишь индексы инструмента. **Универсальный мерительный инструмент в операционных картах, как правило, не указывается.**

Приведен пример оформления операционной карты механической обработки (форма 2) вагонной оси (табл. 3.2) и график работы станка [циклограмма] (рис. 3.2).

В карте приводят размеры обрабатываемых поверхностей: расчетный диаметр (ширину) и расчетную длину обработки L , определяемую с учетом величин врезания и перебега. При этом учитывают наибольший диаметр, по которому рассчитывают скорость резания. При обработке сверлом, зенкером, разверткой, метчиком в графе «Диаметр, ширина» указывают диаметр инструмента.

Глубину резания, подачу, частоту вращения шпинделя, скорость резания указывают в соответствии с расчетом и условиями обработки на переходе.

В графе T_0 записывают основное машинное время на технологический переход с учетом затрат времени на врезание и перебеги инструмента для всех видов обработки и на обратный ход для обработки на станках с возвратно-поступательными движениями инструмента.

В графе $T_{всп}$ записывают вспомогательное время на переход, связанное с управлением станком, выполнением вспомогательных переходов, а также проведением контроля. Отдельно записывается вспомогательное время на установку и закрепление детали, относящееся к операции в целом.

В графах технологических карт, обведенных утолщенными линиями, помещают информацию, необходимую для обработки технологических документов средствами вычислительной техники. Содержание, объем и кодирование этой информации приведены в разработках ВНИИНМАШ – головной организации по разработке ЕСТД и ЕСТПП.

Карта технологического процесса (КТП) предназначена для операционного описания ТП по всем операциям с указанием переходов, режимов работы и т. д. Правила заполнения КТП аналогичны правилам заполнения МК и ОК.

Нормоконтроль технологических документов производится по ГОСТ 3.1116–79*.

Таблица 3.2

Операционная карта механической обработки вагонной оси

				ГОСТ 3.1404-86				Форма 2			
				Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Дробь											
Этаж											
Подп.											
Разработ	Петров Н. Ч.		10.02.01	ПГУПС	ЛБВГ.хххххх.ххх	хххххх.ххххххххх	К.	хххххх.хххххх			
Начерт	Васильев А. А.		11.02.01								
И. контр.	Жуков И. И.		12.02.01	Ось вагонная РЧ				02	05	-	010
				Наименование операции		Материал					
				Токарная		Сталь Ос8 ГОСТ 4728-81					
				Твердость	кВ	НД	Профиль и размеры		МЭ	КОИД	
				НВ163-190	к2	59	поковка		510	1	
				Оборудование, устройство ЧПУ				Обозначения программы			
				КЭТЦ 1А833				-			
T_1	T_2	$T_{с1}$	$T_{с2}$	СОЖ							
4,3	3,6	-	8,53	-							
P	ПМ	С. или В	L	f	i	S	n	V			
U 01	1. Установить ось на станке, закрепить и снять ее со станка. Подвести и опустить суппорт						3,4				
T 02	ЛБВГ.хххххх.ххх Захват										
03											
U 04	2. Точить ось по кепиру правым суппортом						0,2	4,1			
T 05	ЛБВГ.хххххх.ххх катил, ЛБВГ.хххххх.ххх резец праводной ТМКИ, ЛБВГ.хххххх.ххх шаблон, ЛБВГ.хххххх.ххх скоба										
P 06		В7-194	616	2	1	0,66	250	109-152			
07											
U 08	3. Точить ось по кепиру левым суппортом						0,2	4,1			
T 09											
P 10											
OK											

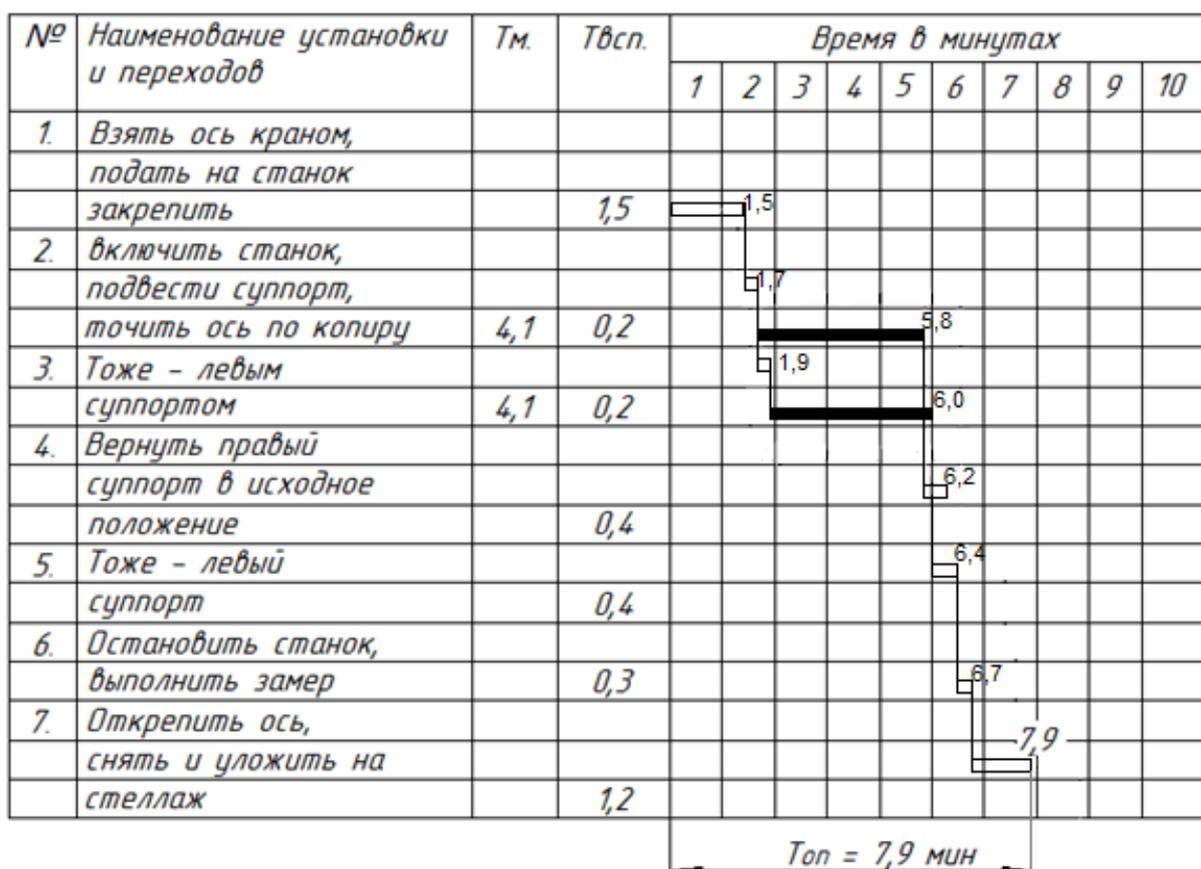


Рис. 3.2. Операционная карта: график работы станка

3.2 ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ (КАРТА ЭСКИЗОВ)

К графическим документам относят карту эскизов (рис. 3.3) на которой изображается операционный эскиз с учетом требований ГОСТ 3.1104-81. На карте эскизов должны быть указаны данные, необходимые для выполнения технологического процесса (размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости, технические требования и т. д.).

Таблицы, схемы и технические требования следует размещать на свободном поле карты эскиза справа от изображения или под ним. Технические требования на карте эскизов проставляют по ГОСТ 2.316-68. Эскизы могут выполняться без соблюдения масштаба. Необходимое количество изображений (видов, размеров, сечений и выносных элементов) на эскизе устанавливает технолог исходя из условий обеспечения наглядности изображения обрабатываемых поверхностей или для указания взаимного расположения деталей и сборочных единиц в изделии.

Главная проекция на операционном эскизе должна изображать заготовку в том виде, в котором она предстает со стороны рабочего места у

станка после выполнения операции. Число дополнительных проекций, сечений, разрезов и выносимых элементов должно быть достаточным, чтобы показать все обрабатываемые на данной операции поверхности, их размеры, а также поверхности, принятые за базы. Если операция состоит из нескольких установов, то на карте эскизов вычерчиваются эскизы заготовки после обработки ее при каждом установе.

Обрабатываемые поверхности заготовки следует обводить сплошной линией толщиной $2...3S$, где S – толщина основных линий на эскизе.

На эскизе приводятся только те размеры, которые определяют величину обрабатываемых при данной операции поверхностей и их положение относительно баз.

Размеры указывают с предельными отклонениями в виде чисел или условных обозначений полей допусков и посадок в соответствии с действующими стандартами. Характер простановки размеров на операционном эскизе должен отвечать требованиям ГОСТ 2.307–68*.

При полной записи содержания переходов все размеры обрабатываемых поверхностей условно нумеруются арабскими цифрами. Номер размера обрабатываемой поверхности проставляют в окружности диаметром $6...8$ мм, расположенной на продолжении размерной линии. На эскизе в каждой операции нумерация размеров начинается с единицы. Нумерация производится по часовой стрелке. При сокращенной записи переходов нумеруются не размеры, а обрабатываемые поверхности (см. табл. 2.1).

На эскизе рекомендуется проставлять справочные размеры, показывающие протяженность (длину, ширину, высоту) обрабатываемых на данной операции поверхностей. Справочные размеры отмечают знаком *, а в технических требованиях на карте эскизов записывают: «Размеры для справок».

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.309–73* указывается шероховатость обрабатываемых поверхностей, которая должна быть обеспечена данной операцией.

На эскизе с помощью условных обозначений (см. табл. 1.3 и 1.4) указываются опоры, определяющие технологические базы, задаются направление и точка приложения усилия зажима заготовки. Несколько одноименных опор могут быть обозначены одним знаком с указанием количества этих опор арабской цифрой справа от знака.

При маршрутном описании содержания операции (операций) в единичном производстве операционный эскиз может содержать данные о поверхностях, обрабатываемых на различном оборудовании; в качестве операционного эскиза может быть представлен чертеж изготавливаемой детали. На операционных эскизах маршрутного описания могут отсутствовать обозначения технологических баз опор зажимных усилий.

				ГОСТ 3.1103-74		Форма 7	
Изд. №	Подпись и дата	Взам	Изд. № докум.	Подпись и дата			
	ГГ/ММ		Карта эскизов				
Полезна - экономическая целесообразно							

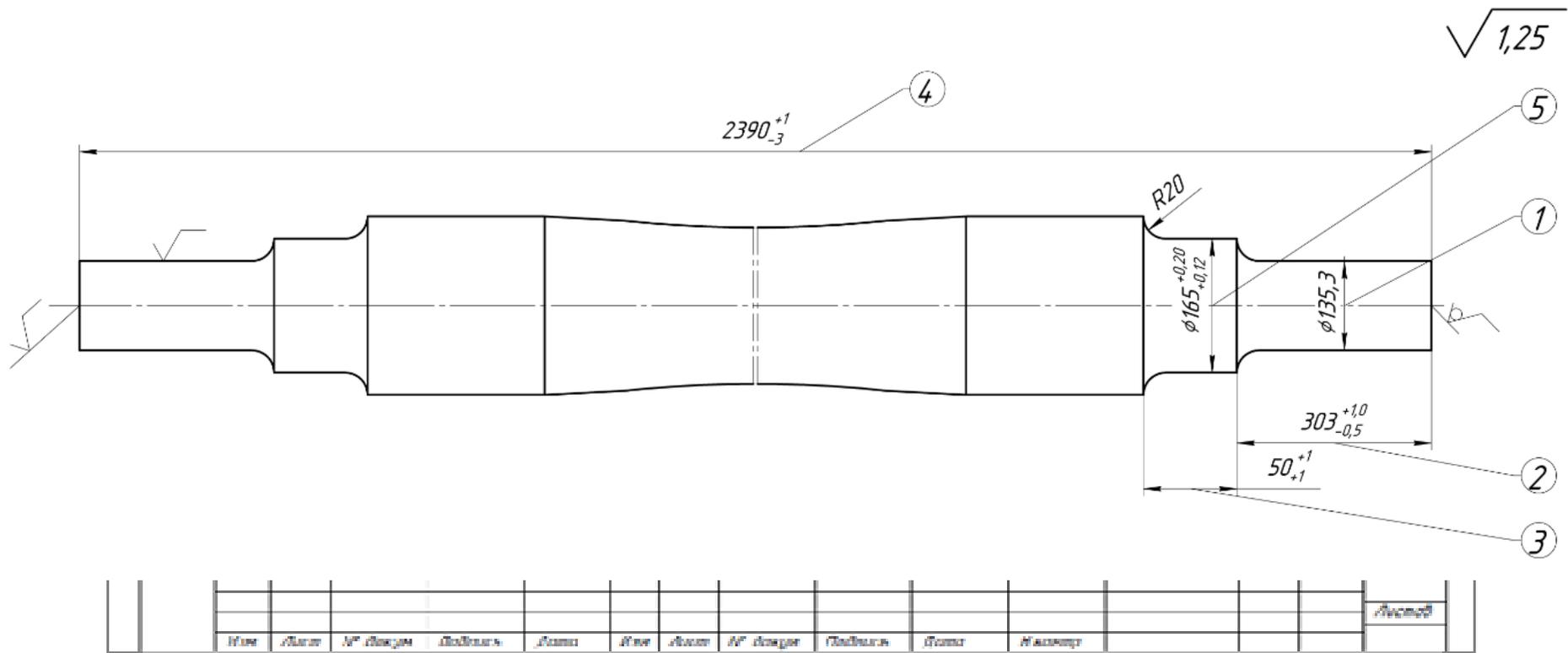


Рис. 3.3. Образец карты эскизов

3.3 ЗАДАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА (КУРСОВОЙ РАБОТЫ)

Вариант задания на курсовой проект выдается на первом занятии преподавателем каждому студенту в виде шифра, состоящего из девяти цифр. Первые две цифры – номер эскиза детали, третья и четвертая – номер обрабатываемой поверхности, пятая – шероховатость обработанной поверхности Ra , шестая – марка обрабатываемого материала, седьмая – твердость обрабатываемой поверхности $HВ$ или прочность σ_b , восьмая – марка инструментального материала, девятая – тип крепления пластины.

В Приложении (1–6) приведены варианты с заданиями для расчета параметров режима резания, необходимый справочный материал и пример расчета параметров резания:

Приложение 1. Таблица исходных данных для расчета режимов резания при точении».

Приложение 2. Варианты эскизов деталей для обработки.

Приложение 3. Справочный материал «Сталь горячекатаная круглая(сортамент по ГОСТ 2590–2006)».

Приложение 4. Содержание курсового проекта «Расчет параметров режима резания при точении» по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» для специальностей ЛТ, В, РПС и направления подготовки АСБ.

Приложение 5. Образец выдаваемого индивидуального задания.

Приложение 6. Пример расчета параметров режима резания, выполненный по заданию, приведенному в приложении 5.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Справочник* технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. Д. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова; 5-е изд. исправл. – М. : Машиностроение, 2003.
2. *Обработка* металлов резанием : справочник технолога / А. А. Панов, В. В. Анисин, М. Г. Бойм и др.; под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988.
3. *Справочник* технолога по автоматическим линиям / под ред. А. Г. Косиловой. – М. : Машиностроение, 1985.
4. *Справочник* конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В. И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1994.
5. *Материаловедение*. Технология конструкционных материалов : учеб.-метод. пособие /И. А. Иванов, С. В. Урушев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко и др. – СПб. : ПГУПС, 2012.
6. *Обработка* металлов резанием. Ч. 1 : учеб. пособие / И. А. Иванов, С. В. Урушев, А. М. Будюкин, В. Г. Кондратенко и др. – СПб. : ПГУПС, 2011.
7. *Технология* конструкционных материалов : метод. указания для лабораторных занятий / под ред. д-ра техн. наук, проф. С. В. Урушева. – СПб. : ПГУПС, 2008.
8. *Проектирование* технологических процессов механической обработки деталей подвижного состава / И. А. Иванов, А. Ф. Богданов, С. В. Урушев, А. М. Будюкин. – СПб. : ПГУПС, 2003.
9. *Обработка* металлов резанием: метод, указания к лабораторным работам по дисциплине «Технология конструкционных материалов» / И. А. Иванов, Л. Ф. Богданов, С. В. Урушев и др. – СПб. : ПГУПС, 1997.
10. *Алехин С. В.* Проектирование технологических процессов механической обработки деталей подвижного состава : метод. указания по курсовому проектированию и технологической части дипломного проектирования / С. В. Алехин, И. А. Иванов. – Л. : ЛИИЖТ, 1979.
11. *Арзамасов В. Б.* Материаловедение и ТКМ : учебник / В. Б. Арзамасов, А. А. Черепяхин. – М. : Академия, 2007.
12. *Колесов С. Н.* Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2007.
13. *Грановский Г. И.* Резание металлов : учебник для вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985.
14. *Васин С. А.* Резание материалов / С. А. Васин, А. С. Верещака, В. С. Кушнер. – М. : МГТУ, 2001.
15. *Богданов А. Ф.* Эксплуатация и ремонт колесных пар вагонов / А. Ф. Богданов, В. Г. Чурсин. – М. : Транспорт, 1985.
16. *Металлорежущие* станки / под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1986.
17. *Общемашиностроительные* нормативы времени и режимов резания: В 2 ч. – М. : Экономика, 1990.
18. *Справочник* нормировщика / под ред. д-ра экон. наук, проф. А. В. Ахумова. – Л. : Машиностроение, 1987.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Таблица 1

Исходные данные для расчета режимов резания при точении

№ варианта детали	№ обрабатываемой поверхности	Величина шероховатости обработанной поверхности, Ra, мкм	Марка обрабатываемой стали	Величины твердости и прочности обрабатываемой поверхности HB / $\sigma_{в,к}$ (Н/мм ²)	Инструментальный режущий материал, марка	Тип крепления режущей пластины
1	2	3	4	5	6	7
01	01	1,6	40	180/630	ВК6	Напайная
02	02				ВК8	
03	03					
04	04	2,0	35	220/750		
05	05					
06	06				2,5	
07	07	С механичес- ким креплением				
08	08		T14K8			
09	09		3,2	55	320/1070	
10	10					

Варианты эскизов деталей для обработки

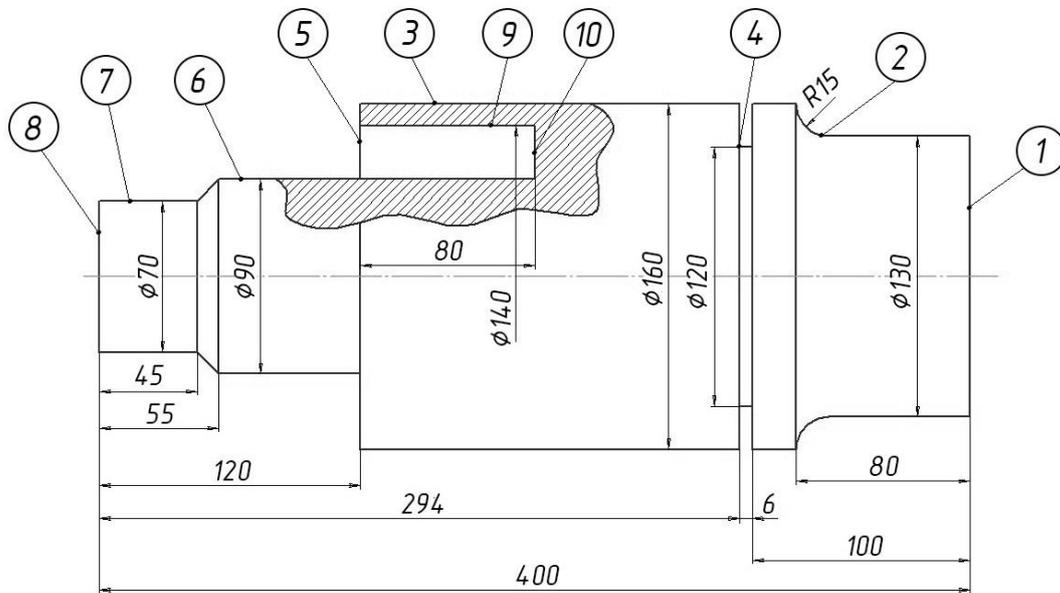


Рис. 1. Эскиз детали № 1

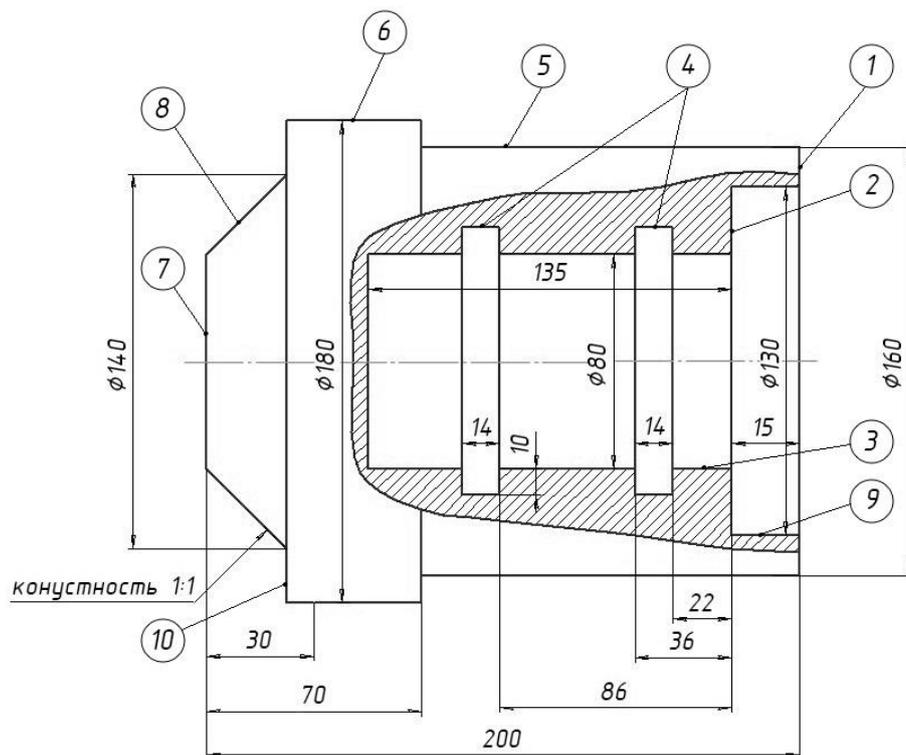


Рис. 2. Эскиз детали № 2

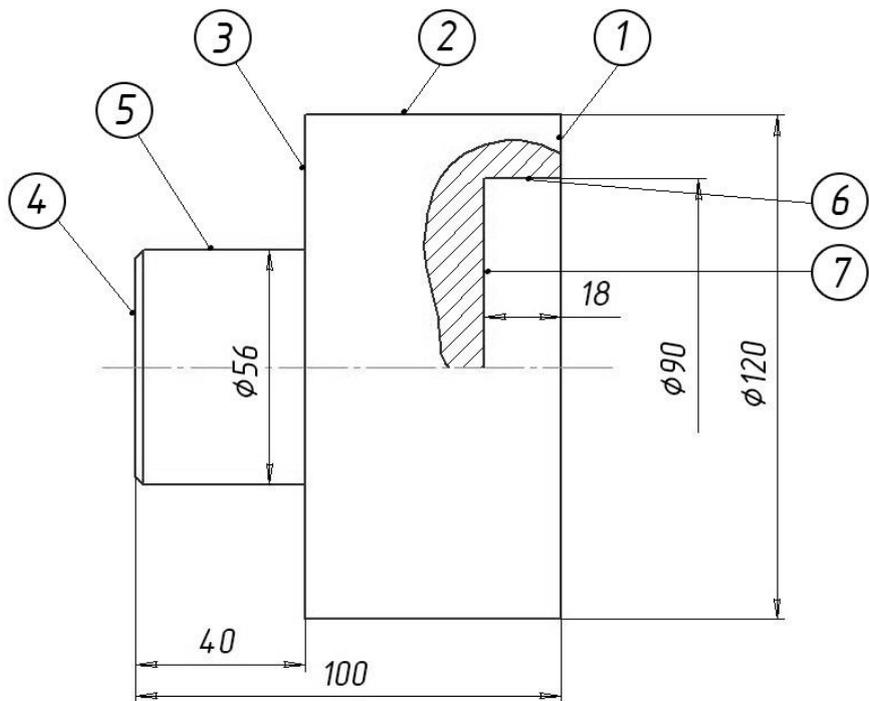


Рис. 3. Эскиз детали № 3

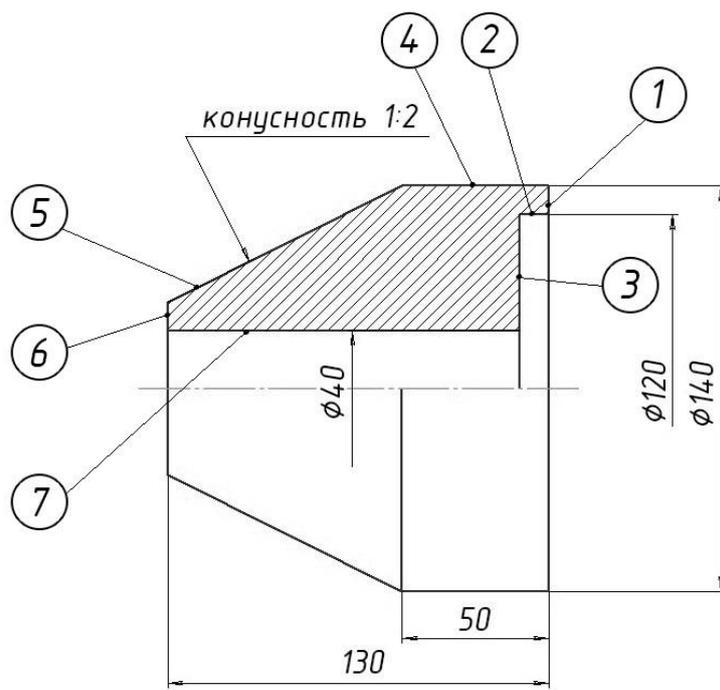


Рис. 4. Эскиз детали № 4

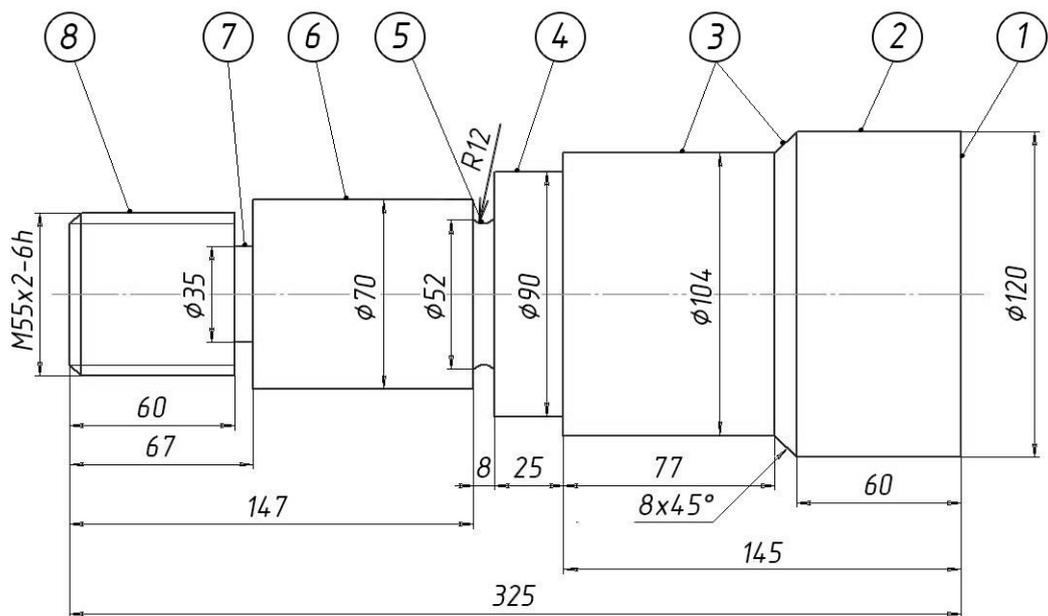


Рис. 5. Эскиз детали № 5

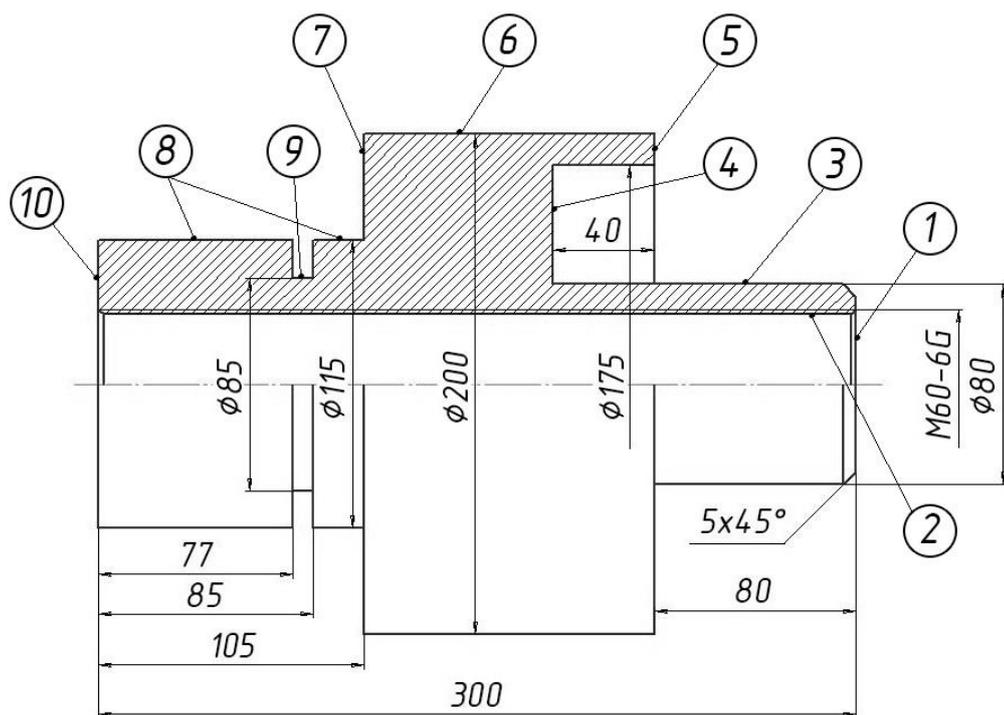


Рис. 6. Эскиз детали № 6

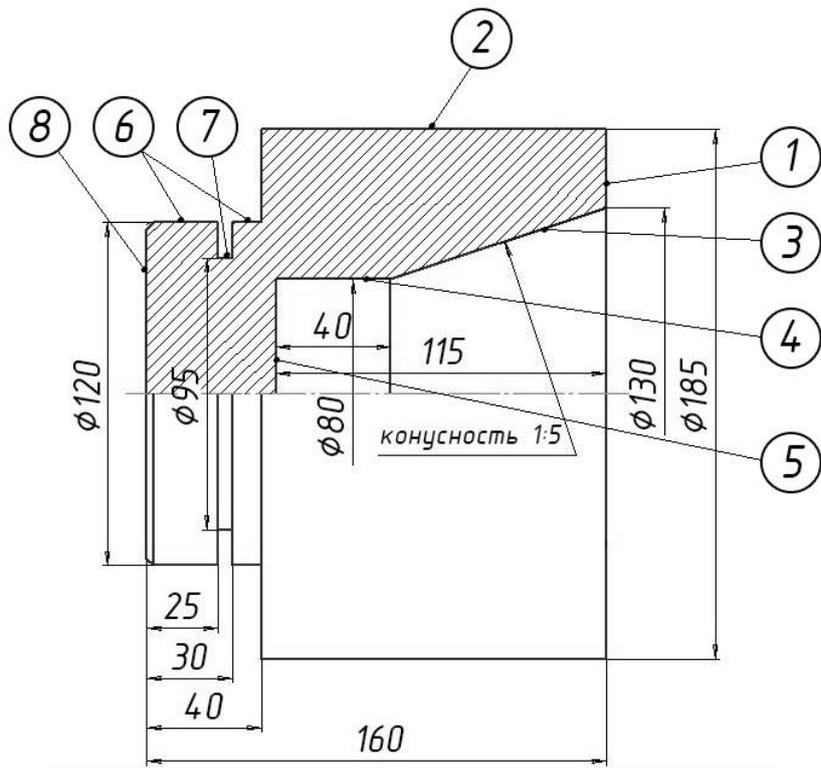


Рис. 7. Эскиз детали № 7

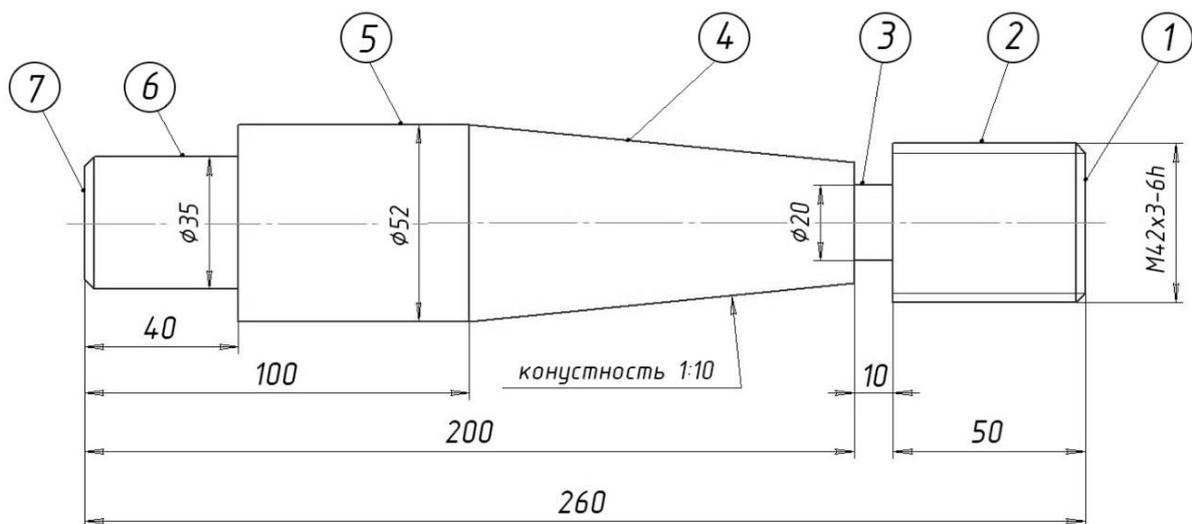


Рис. 8. Эскиз детали № 8

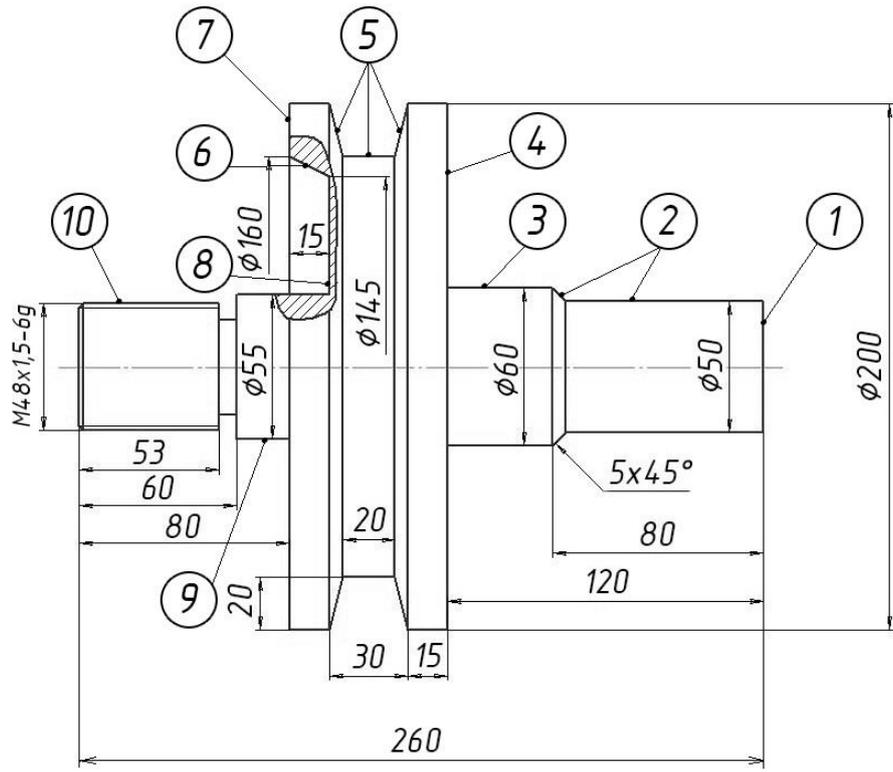


Рис. 9. Эскиз детали № 9

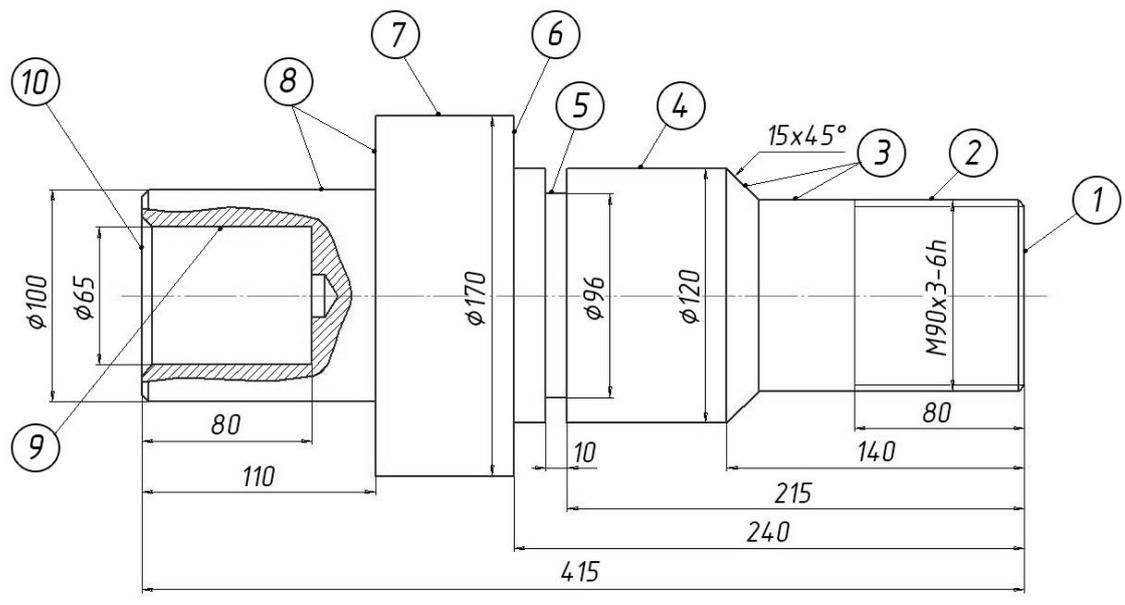
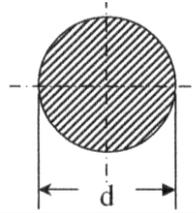


Рис. 10. Эскиз детали № 10

Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый

(сортамент по ГОСТ 2590–2006)



Номинальный диаметр d , мм	Масса 1 м длины проката, кг	Номинальный диаметр d , мм	Масса 1 м длины проката, кг	Номинальный диаметр d , мм	Масса 1 м длины проката, кг
5	0,154	24	3,55	80	39,46
5,5	0,187	25	3,85	85	44,55
6	0,222	26	4,17	90	49,94
6,3	0,245	28	4,83	95	55,64
6,5	0,260	30	5,55	100	61,65
7	0,302	32	6,31	105	67,97
8	0,395	34	7,13	110	74,60
9	0,499	36	7,99	120	88,78
10	0,617	38	8,90	125	96,33
11	0,746	40	9,87	130	104,20
12	0,888	42	10,87	140	120,84
13	1,04	45	12,48	150	138,72
14	1,21	48	14,21	160	157,83
15	1,39	50	15,42	170	178,18
16	1,58	53	17,32	180	199,76
17	1,78	56	19,33	190	222,57
18	2,00	60	22,19	200	246,62
19	2,23	63	24,47	210	271,89
20	2,47	65	26,05	220	298,40
21	2,72	70	30,21	240	355,13
22	2,98	75	34,68	250	385,34
				260	416,78
				270	449,46

По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать прокат диаметром свыше 270 мм до 300 мм включительно с предельными отклонениями $\pm 6,0$ мм, свыше 300 мм

до 330 мм включительно с предельными отклонениями $\pm 7,0$ мм.

Порядок выполнения курсового проекта «Расчет параметров режима резания при точении» по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». Основные требования к выполнению и оформлению

Для студентов специальностей ЛТ, В РПС и направления подготовки АСБ

1. Объем курсового проекта

Курсовой проект выполняется согласно заданию, выданному преподавателем. Эскизы деталей с основными размерами и указанными поверхностями, подлежащими обработке, представлены в приложении 2. Остальные заданные параметры определяются по таблице, приведенной в приложении 1.

Курсовой проект состоит из четырех основных частей:

- Практических исследовательских занятий в лаборатории «Резание металлов». Оформляются пояснительной запиской и в графической части.
- Расчетной части. Оформляется пояснительной запиской (листы формата А4).
- Текстовых технологических документов.
- Графической части. Оформляется задание на КП (КР) и результаты практических и исследовательских занятий (листы формата А4) и входит в общий объем пояснительной записки.

2. Содержание пояснительной записки

1. Введение: формулировка задания, эскиз детали и исходные данные для расчета согласно выданному индивидуальному номеру варианта задания.

2. Выбор заготовки, определение и обозначение на эскизе обрабатываемых поверхностей, схемы закрепления и технологических баз.

3. Выбор режущего инструмента и его характеристик.

3.1. Изучение элементов геометрии режущих инструментов на примере токарных резцов.

3.2. Изучение инструментальных материалов режущих инструментов и их влияние на процесс резания.

3.3. Выбор типа и характеристик резца для обработки заданных поверхностей.

3.4. Исследование влияния геометрии режущего инструмента на процесс точения.

4. Выбор станочного оборудования.
 - 4.1. Изучение основных частей и механизмов токарного станка и их назначения.
 - 4.2. Изучение кинематики токарного станка и его возможностей. Написание уравнений кинематического баланса выбранного оборудования.
 - 4.3. Изучение паспортных данных станка, необходимых для назначения режимов резания при точении. Привести в виде таблиц паспортные данные станка по величинам главного движения и движения подач.
5. Изучение влияния параметров режима резания на процесс точения и его характеристики.
 - 5.1. Исследование влияния параметров режима резания на силу резания и температуру резания с целью получения экспериментальных зависимостей (эмпирических формул), необходимых для расчета параметров режима резания при точении.
 - 5.2. Изучение влияния стойкости режущего инструмента на параметры режима резания с целью получения экспериментальных зависимостей, необходимых для расчета параметров режима резания при точении.
6. Расчет режимов резания при черновом и чистовом точении
 - 6.1. Назначение припуска на обработку и глубины резания при черновой и чистовой обработке.
 - 6.2. Назначение подачи при черновом точении и ее проверка (прочность державки, прочность пластины, жесткость системы СПИД, прочность механизма подачи станка).
 - 6.3. Расчет скорости резания при черновом точении, определение и назначение фактической скорости резания и числа оборотов шпинделя для выбранного оборудования.
 - 6.4. Проверка режимов резания по динамическим данным станка при черновом точении.
 - 6.5. Назначение подачи при чистовом точении и ее проверка на соответствие требуемому качеству поверхности (шероховатости).
 - 6.6. Расчет скорости резания при чистовом точении, определение и назначение фактической скорости резания и числа оборотов шпинделя для выбранного оборудования.
 - 6.7. Расчет машинного времени, необходимого для обработки назначенных согласно индивидуальному заданию поверхностей детали.
7. Оформление текстовых документов согласно требованиям раздела 3 пособия.
8. Библиографический список.

3. Требования к форме отчетности для разделов проекта

Разделы 3, 4 и 5 курсового проекта выполняются на основе выполненных студентом в ходе лабораторных работ исследований в объеме согласно пунктам 1–5 рабочей тетради для лабораторных занятий по дисциплине «Технология конструкционных материалов» раздела «Обработка металлов резанием и металлорежущие станки» и в соответствии с материалами методического пособия по ТКМ [5]. При этом в раздел 3 необходимо добавить физико-механические свойства и химический состав инструментального материала, выбранного для данного процесса резания, а в разделе 4 привести паспортные данные станка, необходимые для назначения подач и скоростей резания ($n_{\text{ШП}}$).

Раздел 6 выполняется в соответствии с указаниями, приведенными в данном учебном пособии (раздел 2.5), и примером (прил. 6).

В разделе 7 составляется только одна операционная карта для обработки назначенной поверхности детали и карта маршрутной технологии.

**Пример варианта задания для курсового проекта по дисциплине
«Материаловедение. Технология конструкционных материалов»,
по разделу «Обработка металлов резанием»**

Кафедра «Технология металлов»
Вариант № 05.03.3.3.1.4.1

Выдано студенту.....

Группы.....

Выдал преподаватель.....

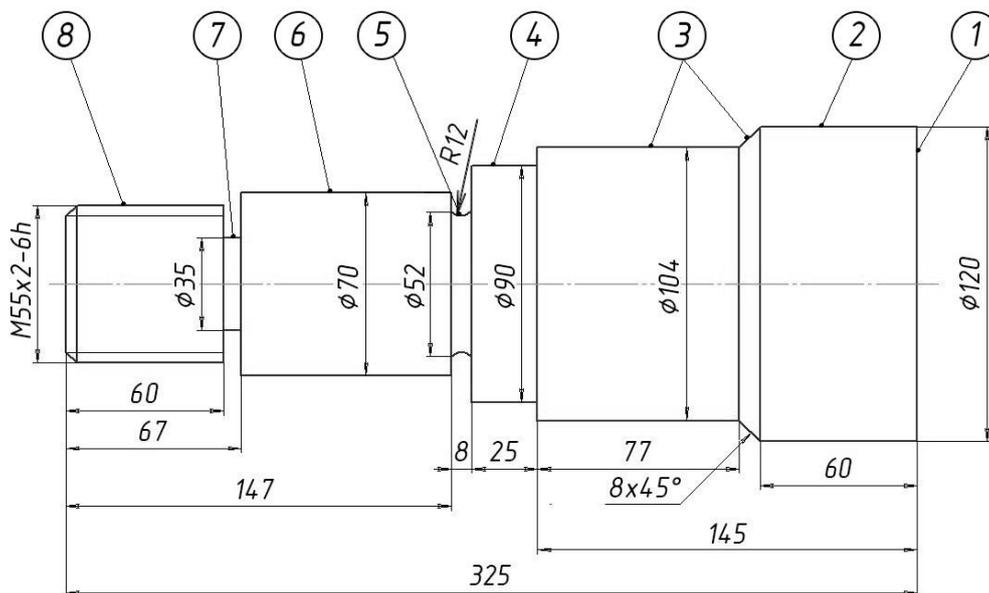


Таблица исходных данных для расчета режимов резания при точении

№ варианта детали	№ обрабатываемой поверхности	Шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм	Марка обрабатываемого материала	Твердость и прочность обрабатываемой поверхности, НВ/ $\sigma_{\text{с т}}$, (Н/мм ²)	Марка инструментального режущего материала	Тип крепления режущей пластины
05	03	2,5	Ст50	180/630	T15K6	Напайная

Пример расчета параметров режима резания
(вариант № 05.03.3.3.1.4.1, см. прил. 5)

1. Назначение припуска на обработку и глубины резания при черновой и чистовой обработке поверхности 03 детали 05

Для обработки данной поверхности, согласно разделу 3 курсового проекта, был выбран токарный проходной резец (ГОСТ 18878–73) имеющий геометрию режущей части $\alpha = 6$, $\gamma = 8$, $\varphi = 45$. Сечение корпуса резца $h b = 25 \cdot 16$ мм, длина резца 170 мм.

Общий припуск для точения поверхности 03 рассчитывается по формуле, мм:

$$z_i = \frac{d - d_0}{2} = \frac{120 - 104}{2} = 8,$$

где d – диаметр поверхности 03 до обработки, $d = 120$ мм;

d_0 – диаметр поверхности 03 после обработки, $d_0 = 104$ мм.

Общий припуск и количество рабочих проходов резца для чистового точения зависит от шероховатости поверхности и точности получаемого размера. По заданной шероховатости принимается глубина резания для чистового прохода $t_{\text{чист}} = 0,5$ мм. Количество проходов $i = 1$.

Тогда припуск на сторону для чернового точения $z_{\text{черн}}$ будет равен, мм:

$$z_{\text{черн}} = z_i - z_{\text{чист}} = 8 - 0,5 = 7,5.$$

Глубина резания при черновом точении принимается $t_{\text{черн}} = 2,5$ мм (табл. 2.8, 2.9). Тогда количество проходов равно

$$i = \frac{z_{\text{черн}}}{t_{\text{черн}}} = \frac{7,5}{2,5} = 3,0.$$

2. Назначение величины подачи при черновом точении

Предварительно, по виду обработки и обрабатываемой поверхности (табл. 2.15) и паспортным данным станка, назначается продольная подача $s = 0,8$ мм/об. и затем проверяется по известным ограничениям (см. с. 50-61).

2.1. Проверка назначенной подачи по прочности корпуса резца

Расчет предельной подачи по данному ограничению выполняется по формуле (16), мм/об.:

$$s = y_p \sqrt{\frac{P_{\text{изг}}}{C_p t^{1,0} \text{HB}^{\text{пр}} K_p}} = 0,75 \sqrt{\frac{9600}{35 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 180^{0,75} \cdot 0,75}} = 4,28,$$

где $P_{\text{изг}}$ – максимальная нагрузка, допускаемая прочностью резца, Н:

$$P_{\text{изг}} = \frac{bh^2[\sigma]}{6l} = \frac{16 \cdot 25^2 \cdot 216}{6 \cdot 37,5} = 9600,$$

где b – ширина корпуса резца, $b = 16$ мм;

h – высота корпуса резца, $h = 25$ мм;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение корпуса резца на изгиб, $[\sigma] = 216$ Н/мм²;

l – вылет резца, $l = 1,5h = 1,5 \cdot 25$ мм = 37,5 мм;

C_p – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал, геометрию инструмента и другие условия резания, $C_p = 35$ (см. табл. 2.21);

t – глубина резания, $t = 2,5$ мм;

НВ – твердость обрабатываемого материала, НВ = 180 кгс/мм²;

n_p – показатель степени, $n_p = 0,75$ (см. табл. 2.21);

K_p – общий поправочный коэффициент для учета конкретных производственных условий резания,

$$K_p = K_{p1} K_{p2} K_{p3} K_{p4} K_{p5} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,87 \cdot 0,96 = 0,75,$$

где K_{p1} – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, для стали $K_{p1} = 1,0$ (табл. 2.17);

K_{p2} – коэффициент, учитывающий влияние угла ϕ в плане резца, $K_{p2} = 1,0$ (табл. 2.18);

K_{p3} – коэффициент, учитывающий влияние переднего угла резца, $K_{p3} = 0,9$ (табл. 2.19);

K_{p4} – коэффициент, учитывающий влияние радиуса для стали, по формуле (11)

$$K_{p4} = \left(\frac{r}{2}\right)^{0,1} = \left(\frac{0,5}{2}\right)^{0,1} = 0,87,$$

где r – радиус при вершине, $r = 0,5$ мм;

K_{p5} – коэффициент, учитывающий влияние износа резца, принимается $K_{p5} = 0,96$. (табл. 2.20).

2.2. Проверка назначенной подачи по прочности режущей части резца (пластинки)

Расчет предельной подачи по данному ограничению проводится по формуле (16), мм/об.:

$$s = y_p \sqrt{\frac{P_{\text{изг}}}{C_p t^{1,0} \text{НВ}^{\text{пр}} K_p}} = 0,75 \sqrt{\frac{5112}{35 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 180^{0,75} \cdot 0,75}} = 1,85,$$

где $P_{\text{пр}}$ – усилие, допускаемое прочностью режущей части резца для пластины толщиной до 6 мм, $P_{\text{пр}} = 5680 \cdot 0,9 = 5112$ [Н] (см. табл. 2.23).

2.3. Проверка назначенной подачи по прочности механизма подачи станка

Расчет предельной подачи по данному ограничению проводят по формуле (24), мм/об.:

$$s = y_p \sqrt{\frac{5 P_{\text{под}}}{C_p t^{xp} \text{HB}^{\text{пр}} K_p}} = 0,75 \sqrt{\frac{5 \cdot 7845}{35 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 180^{0,75} \cdot 0,75}} = 27,97,$$

где $P_{\text{под}}$ – максимальное усилие, допускаемое прочностью механизма подачи, по паспортным данным станка $P_{\text{под}} = 7845$ Н (см. с. 51).

2.4 Проверка назначенной подачи по жесткости системы «Станок – приспособление – инструмент – деталь»

Расчет предельной подачи по данному ограничению проводят по формуле (34), мм/об.:

$$s = y_p \sqrt{\frac{j}{\lambda C_p \text{HB}^{\text{пр}} \Delta_{\text{заг}}}} \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}} = 0,75 \sqrt{\frac{19766}{0,4 \cdot 35 \cdot 180^{0,75}}} \frac{50}{1000} = 1,62,$$

где $\Delta_{\text{дет}}$ – неточность детали, мм;

$\Delta_{\text{заг}}$ – неточность заготовки, мм;

λ – коэффициент, учитывающий соотношение составляющих сил резания P_Y и P_Z , $\lambda = 0,4$;

j – жесткость системы «Станок – приспособление – инструмент – деталь», определяется через жесткость отдельных звеньев, Н/мм:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{\text{ст}}} + \frac{1}{j_{\text{д}}} + \frac{1}{j_{\text{и}}},$$

где $j_{\text{и}}$ – жесткость инструмента, которой в расчете можно пренебречь;

$j_{\text{ст}}$ – жесткость станка, по табл. 2.24 $j_{\text{ст}} = 20\,000$ Н/мм;

$j_{\text{д}}$ – жесткость детали: для заданной детали при обработке данной поверхности жесткость рассчитывается по формуле (27), Н/мм:

$$j_{\text{д}} = \frac{48Ej}{l^3} = \frac{48 \cdot 210\,000 \cdot 5\,739\,619}{325^3} = 1\,685\,363,$$

где l – длина детали, $l = 325$ мм,

E – модуль упругости, для стали $E = 210\,000$ Н/мм²;

J – осевой момент инерции, мм⁴.

Осевой момент инерции, мм⁴, следует рассчитывать по формуле

$$j = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 104^4}{64} = 5\,739\,619,$$

где d – диаметр обрабатываемой поверхности детали, $d = 104$ мм.

Тогда жесткость равна, Н/мм:

$$j = \frac{1}{\frac{1}{j_{ст}} + \frac{1}{j_{\partial}}} = \frac{1}{\frac{1}{20\,000} + \frac{1}{1\,685\,363}} = 19\,766.$$

За погрешность обрабатываемой поверхности ($\Delta_{заг}$) принимают ее допуск с учетом вида обработки (черновая). Назначают по 14 качеству $\Delta_{заг} = 1000$ мкм.

Погрешность детали, мкм, рассчитывают по заданной шероховатости $Ra = 2,5$ мкм:

$$\Delta_{дет} = \frac{Ra}{0,05} = \frac{2,5}{0,05} = 50.$$

После сравнения полученных при проверке по ограничениям расчетных подач с первоначально назначенной подачей, окончательно принимают $s = 0,8$ мм/об., т. к. все проверочные значения больше назначенной.

3. Расчет скорости резания при черновом точении. Назначение фактического числа оборотов шпинделя

Первоначально рассчитывают скорость резания, которая при точении определяется по формуле, м/мин.:

$$v_{расч} = \frac{C_v K_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} = \frac{259 \cdot 1,15}{40^{0,125} \cdot 2,5^{0,18} \cdot 0,8^{0,45}} = 200,5,$$

где C_v – коэффициент, учитывающий влияние прочности обрабатываемого материала (см. табл. 2.26), $C_v = 259$;

T – период стойкости резца, $T = 40$ мин. (см. табл. 2.25);

m – показатель степени, $m = 0,125$ (см. табл. 2.26);

x_v – показатель степени, $x_v = 0,18$ (см. табл. 2.26);

y_v – показатель степени, $y_v = 0,45$ (см. табл. 2.26);

K_v – поправочный коэффициент на измененные условия обработки:

$$K_v = K_{v1} K_{v2} K_{v3} K_{v4} K_{v5} K_{v6} = 1,19 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,97 = 1,15,$$

где K_{v1} – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала,

$$K_{v1} = K_{\gamma} \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1,0 \left(\frac{750}{630} \right)^{1,0} = 1,19,$$

где σ_B – предел прочности обрабатываемого материала, $\sigma_B = 630$ Н/мм²;

K_{γ} – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости (см. табл. 2.27); для стали $K_{\gamma} = 1,0$;

n_v – степенной показатель влияния, прочности и твердости материала на

период стойкости резца, $n_v = 1,0$ (см. табл. 2.27);

K_{v2} – коэффициент, учитывающий влияние материала режущей части резца, $K_{v2} = 1,0$ (см. табл. 2.28);

K_{v3} – коэффициент, учитывающий влияние материала обрабатываемой детали, $K_{v3} = 1,0$ (см. табл. 2.29);

K_{v4} – коэффициент, учитывающий влияние способа изготовления заготовки, $K_{v4} = 1,0$ (см. табл. 2.30);

K_{v5} – коэффициент, учитывающий влияние главного угла резца в плане, для твердосплавных резцов находят по формуле

$$K_{v5} = \left(\frac{45}{\varphi}\right)^{0,3} = 1,0,$$

где φ – главный угол резца в плане;

K_{v6} – коэффициент, учитывающий влияние поперечного сечения резца.

$$K_{v6} = \left(\frac{q}{600}\right)^{0,08} = \left(\frac{400}{600}\right)^{0,08} = 0,97,$$

где q – сечение стержня принятого резца, мм^2 , $q = 25 \times 16 = 400$.

Скорость резания, допускаемая мощностью станка, определяется из формулы, м/мин.:

$$v_{\text{доп}} = \frac{61\,200 N_d \eta_{\text{ст}}}{C_p t^{x_p} s^{y_p} \text{HB}^{\text{пр}} K_p} = \frac{61\,200 \cdot 11 \cdot 0,75}{35 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 180^{0,75} \cdot 0,75} = 185,0,$$

где N_d – мощность двигателя станка, $N_d = 11$ кВт;

$\eta_{\text{ст}}$ – коэффициент полезного действия станка, $\eta_{\text{ст}} = 0,75$.

По наименьшей из полученных при расчете скорости резания определяют число оборотов шпинделя по формуле, об./мин.:

$$n_{\text{расч}} = \frac{1000 v_{\text{расч}}}{\pi d} = \frac{1000 \times 185}{3,14 \times 120} = 491,$$

где d – диаметр детали по обрабатываемой поверхности при обточке, $d = 120$ мм.

По данным паспорта станка принимают ближайшее меньшее фактическое число оборотов шпинделя $n_{\text{ф}} = 400$ об./мин.

Окончательно рассчитываем фактическую скорость резания по формуле, об./мин.:

$$v_{\text{ф}} = \frac{\pi d n_{\text{ф}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 400}{1000} = 150,72.$$

После определения фактической скорости резания может быть определен фактический период стойкости резца из формулы перерасчета, мин.:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{m}} = 40 \left(\frac{185}{150,72} \right)^{\frac{1}{0,125}} = 206,$$

где T_1 – исходная стойкость резца, $T_1 = 40$ мин.;

v_1 – расчетная скорость резания, $v_1 = 185$ м/мин.;

v_2 – фактически принятая скорость резания, $v_2 = 150,72$ м/мин.

4. Проверка режимов резания по динамическим данным станка при черновом точении

Проверка режимов резания сводится к сравнению мощности и крутящего момента на резце, необходимого для снятия стружки, и мощности и крутящего момента на шпинделе станка.

Крутящий момент на резце должен удовлетворять условию:

$$M_{\text{рез}} \leq M_{\text{кр}},$$

где $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент на шпинделе, допускаемый «слабым звеном», Н·м;

$M_{\text{рез}}$ – крутящий момент на резце, Н м.

Мощность резания должна удовлетворять условию:

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{эл}} \eta_{\text{ст}}$$

где $N_{\text{эл}}$ – мощность электродвигателя, $N_{\text{эл}} = 11$ кВт;

n – число оборотов шпинделя, $n = 31,5$ об./мин.;

$\eta_{\text{ст}}$ – к.п.д. станка, $\eta_{\text{ст}} = 0,75$.

Первоначально определяют усилие резания по формуле, Н:

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} \text{HB}^{\text{пр}} K_p = 35 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 180^{0,75} \cdot 0,75 = 2728.$$

Крутящий момент на резце, Н м:

$$M_{\text{рез}} = \frac{P_z d}{2 \cdot 1000} = \frac{2728 \cdot 120}{2 \cdot 1000} = 164,$$

где d – диаметр заготовки, $d = 120$ мм.

Крутящий момент на шпинделе станка равен, Н·м:

$$M_{\text{кр}} = 974 \cdot 9,81 \frac{N_{\text{эл}}}{n_{\text{ф}}} \eta_{\text{ст}} = 9555 \cdot \frac{11}{400} \cdot 0,75 = 197.$$

Рассчитывают мощность, необходимую для снятия стружки, кВт:

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v_{\text{ф}}}{60 \cdot 102 \cdot 9,81} = \frac{2728 \cdot 150,72}{60 \cdot 102 \cdot 9,81} = 6,85.$$

Рассчитывают мощность электродвигателя станка, кВт:

$$N_{\text{эл}} \eta_{\text{ст}} = 11 \cdot 0,75 = 8,25.$$

Режимы резания выбраны правильно, т.к. соблюдены оба условия ограничений: $6,85 \text{ кВт} < 8,25 \text{ кВт}$ и $164 \text{ Н м} < 197 \text{ Н м}$

5. Назначение подачи при чистовом точении и ее проверка на соответствии требуемому качеству поверхности (шероховатости)

Для чистовой обработки подачу рассчитывают в зависимости от шероховатости:

$$R_z = 4Ra = 4 \cdot 2,5 = 10,0 [\text{мкм}].$$

$$R_z = \frac{s^2 10^2}{8r}, \text{ откуда}$$

$$s \leq \sqrt{R_z 8r} = \sqrt{10 \times 10^{-2} \times 8 \times 0,5} = 0,2 [\text{мм/об.}].$$

После сравнения расчетной подачи с указанной в паспортных данных станка принимают расчетную продольную подачу за фактическую $s = 0,2$ мм/об.

6. Расчет скорости резания при чистовом точении, определение фактической скорости резания и числа оборотов шпинделя для выбранного оборудования

Скорость резания, допускаемая режущим инструментом с металлическим лезвием, при точении определяется по формуле, м/мин.:

$$v_{расч} = \frac{C_v K_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} = \frac{242 \cdot 1,15}{40^{0,125} \cdot 0,5^{0,18} \cdot 0,2^{0,20}} = 276.$$

При обработке данной поверхности приняты значения коэффициентов: $C_v = 242$, $m = 0,125$; $x_v = 0,18$; $y_v = 0,20$ (см. табл. 2.26).

Расчетное число оборотов детали равно, об./мин.:

$$n_{расч} = \frac{1000 v_{расч}}{\pi d} = \frac{100 \cdot 276}{3,14 \cdot 120} = 732.$$

По данным паспорта станка принимают ближайшее меньшее фактическое число оборотов шпинделя $n_\phi = 630$ об./мин. Окончательно фактическую скорость резания при чистовом проходе рассчитывают по формуле, м/мин.:

$$v_\phi = \frac{\pi d n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 630}{1000} = 237.$$

7. Расчет основного (машинного) времени, необходимого на обработку.

Основное время на обработку цилиндрических поверхностей точением рассчитывается по формуле (50):

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{s n_\phi} i,$$

где l – длина обрабатываемой поверхности (для рассматриваемого случая $l = 77$ мм);

l_1 – врезание резца, зависящая от глубины резания и главного угла резца в

плане (для рассматриваемого варианта $\varphi = 45^\circ$);

l_2 – перебег резца, при обработке данной поверхности $l_2 = 0$ мм;

i – количество проходов.

Основное время при черновом точении будет равно, мин.:

$$T_{\text{очерн}} = \frac{l + l_{1\text{черн}} + l_{2\text{черн}}}{s_{\text{черн}} n_{\text{ф.черн}}} i = \frac{77 + 2,5 + 0}{0,8 \times 400} = 0,75.$$

Значения, принятые при расчете: $t_{\text{черн}} = 2,5$ мм; $s_{\text{черн}} = 0,8$ мм/об.;

$l_2 = 0$ мм.

Врезание резца рассчитывается по формуле, мм:

$$l_{1\text{черн}} = \frac{t_{\text{черн}}}{\text{tg}\varphi} = \frac{2,5}{\text{tg}45} = \frac{2,5}{1,0} = 2,5.$$

Основное время для чистового прохода рассчитывают по формуле, мин.:

$$T_{\text{очист}} = \frac{l + l_{1\text{чист}} + l_{2\text{чист}}}{s_{\text{чист}} n_{\text{ф}}} i = \frac{77 + 0,5 + 0}{0,2 \cdot 630} = 0,62.$$

Значения, принятые при расчете: $t_{\text{чист}} = 0,5$ мм; $s_{\text{чист}} = 0,2$ мм/об.; $l_2 = 0$ мм.

Врезание резца, мм:

$$l_{1\text{чист}} = \frac{t_{\text{чист}}}{\text{tg}\varphi} = \frac{0,5}{\text{tg}45} = \frac{0,5}{1,0} = 0,5.$$

Общее основное время обработки поверхности 03 определяется как суммарное время, затраченное на черновые и чистовые проходы, мин.:

$$T_0 = T_{\text{очерн}} + T_{\text{очист}} = 0,8 + 0,6 = 1,4.$$

8. Результаты расчета

Результаты расчета параметров режима резания и основного времени для обработки поверхности 03 детали 05 сведены в таблицу:

Вид обработки	t , мм	i	s , мм/об.	$v_{\text{ф}}$, м/мин.	$n_{\text{ф}}$, об./мин.	T_0 , мин.
Черновая	2,5	3	0,8	150,72	400	0,75
Чистовая	0,5	1	0,2	237	630	0,62
					Σ	1,37

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Основные этапы разработки технологических процессов.....	4
1.1 Анализ исходных данных.....	4
1.2 Выбор типа производства.....	5
1.3 Выбор заготовок.....	6
1.4 Разработка маршрутной технологии.....	9
1.5 Пример разработки маршрутной технологии для детали (тормозного валика) подвижного состава.....	16
2 Проектирование технологических операций.....	19
2.1 Разработка структуры операций.....	19
2.2 Выбор режущего инструмента.....	20
2.3 Выбор приспособлений и контрольно-измерительных средств.....	27
2.4 Расчет припусков на обработку и межоперационных размеров.....	30
2.5 Расчет параметров режима резания.....	38
2.6 Нормы времени на обработку. Расчет производительности труда.....	59
2.7 Расчет себестоимости и технико-экономических показателей операции.....	62
3 Документирование технологических процессов.....	65
3.1 Оформление текстовых технологических документов.....	65
3.2 Оформление графических технологических документов (карта эскизов).....	74
3.3 Задания на выполнение курсового проекта (курсовой работы).....	77
Список использованной литературы.....	78
Приложение.....	79