

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспортных средств и техносферной безопасности

Технология конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению индивидуального задания для студентов направления 190109
«Наземные транспортно-технологические средства»

Составители: А.А. ЗЮЗИН, Б.Н. КАЗЬМИН

Липецк
Липецкий государственный технический университет
2014

УДК 629.017
З-381

Рецензент – канд. техн. наук, доц. Б. А. Новожилов

Зюзин, А. А.

З-381 Технология конструкционных материалов» [Текст]: методические указания к выполнению индивидуального задания для студентов направления 190109 «Наземные транспортно-технологические средства/ сост. А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2014. – 53 с.

В методических указаниях изложен подход к выбору требуемого варианта метода получения заготовки с учетом технических условий, особенностей конструкции деталей и характера производства, а также методика проектирования технологических процессов механической обработки основных поверхностей детали. Представлена методика выполнения каждого этапа индивидуального задания.

Ил. 8, Табл. 11, Библиограф.: 20 назв.

© ФГБОУ ВПО «Липецкий
государственный технический
университет», 2014

Методические указания к выполнению самостоятельной работы студентов по дисциплине «Технология конструкционных материалов» составлены для студентов направления 190109 «Наземные транспортно-технологические средства». В них даются рекомендации по тематике индивидуальных заданий, содержанию разработок, объему и последовательности выполнения этапов проектирования технологии производства деталей автомобилей и тракторов различных классификационных групп. Выполнение этих рекомендаций обеспечивает идентичность индивидуальных заданий по характеру и объему разработок.

Методические указания к самостоятельному выполнению основных разделов индивидуального задания, составлению расчетно-пояснительной записки и оформлению иллюстраций помогут студентам практически решать задачи технологической подготовки производства на предприятии.

Данные методические указания предусматривают использование инженерных справочников и литературы по технологии конструкционных материалов.

1. Задача и тематика индивидуальных заданий

Выполнение индивидуальных заданий по самостоятельной работе студентов по дисциплине «Технология конструкционных материалов» для студентов направления 190109 «Наземные транспортно-технологические средства» является первой комплексной работой в плане технологической подготовки производства деталей и сборочных единиц автомобилей и тракторов и машин другого назначения.

Основной целью выполнения индивидуальных заданий является приобретение студентами практических навыков по выбору конструкционных материалов, технологических способов получения заготовок, методов механической обработки поверхностей деталей машин различного назначения и составлению маршрута изготовления детали в целом. При этом необходимо больше внимания уделять вопросам взаимосвязи задач конструирования изделий с техноло-

гией их производства, а также вопросам достижения в производстве требуемых (в соответствии с чертежами и техническими условиями) показателей качества изделий, вопросам контроля и испытания. Технологические разработки по изделиям помогают студенту уяснить всю сложность процесса создания машины и роль конструктора в упрощении и удешевлении этого процесса.

Темой индивидуального задания по самостоятельной работе студента предусматривается произвести анализ применяемых конструкционных материалов, технологических способов изготовления заготовок и методов механической обработки основных поверхностей деталей автомобилей или тракторов (Т-150К, ЛТЗ-155 и др.) и машин другого назначения. Детали для индивидуального задания следует выбирать с учетом возможности применения при их изготовлении различных технологических методов обработки, использования станков, режущих, вспомогательных, измерительных инструментов и приспособлений различных типов.

Так, например, темой индивидуального задания могут быть:

1. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей шлицевых валов.
2. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки коренных шеек коленчатых валов.
3. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки шатунных шеек коленчатых валов.
4. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей втулок типа гильз цилиндров.
5. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей цилиндрических зубчатых колес.
6. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей прямозубых конических зубчатых колес.
7. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей конических зубчатых колес с кру-

говым зубом.

8. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей маховиков.

9. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей рычагов.

10. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей корпусных деталей призматического неразъемного типа.

11. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей корпусных деталей призматического разъемного типа.

12. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей корпусных деталей фланцевого типа.

13. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей карданных вилок.

14. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей крестовин шарниров неравных угловых скоростей.

15. Анализ технологических методов получения заготовок и методов механической обработки основных поверхностей торсионных валов.

При выполнении индивидуального задания студенту следует ориентироваться на среднесерийный и мелкосерийный типы многономенклатурного производства, позволяющие применять современные технологические методы изготовления заготовок и методы механической обработки, прогрессивные оборудование и инструменты, средства механизации и автоматизации.

2. Объем и содержание индивидуального задания по самостоятельной работе студентов

Отчетный материал по самостоятельной работе студента по индивидуальному заданию оформляется в виде пояснительной записки на 12 – 15 страницах с иллюстрацией излагаемого материала.

В общем случае пояснительная записка включает следующие основные разделы:

1. Введение;
2. Анализ служебного назначения и конструктивных особенностей заданных деталей;
3. Анализ соответствия технических требований, норм точности и качества основных поверхностей их функциональному назначению при эксплуатации заданных деталей;
4. Анализ применяемых конструкционных материалов для изготовления заданных деталей и выбор рациональной марки;
5. Анализ методов изготовления заготовок для заданных деталей и выбор рационального способа;
6. Выбор установочных технологических баз;
7. Разработка маршрута (плана) механической обработки отдельных основных поверхностей детали;
8. Составление маршрута (плана) изготовления детали в целом;
9. Выводы и заключение.

2.1. Введение

Во введении рассматриваются основные направления развития технологии производства автомобилей и тракторов в соответствии с потребностями рынка сбыта, дается обзор современного состояния проблемы технологического обеспечения точности и качества деталей и сборочных единиц автомобилей и

тракторов.

2.2. Анализ служебного назначения и конструктивных особенностей заданных деталей

Под служебным назначением детали или ее поверхности понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой они предназначены.

Из описания служебного назначения и конструкции детали должно быть ясно, какие поверхности и размеры имеют основное, решающее значение для нормального функционирования детали и какие - второстепенное. Для технически грамотного и обоснованного изложения этого раздела необходимо изучить сборочные чертежи узлов и механизмов, дать описание назначения самой детали, основных ее поверхностей и влияния точности их взаимного расположения, формы, размеров и шероховатости обработки на качество работы механизма, для которого изготавливается деталь.

Анализ конструкции деталей проводится по чертежам и техническим условиям в соответствии с функциональным назначением, с учетом объема выпуска, условий производства и ГОСТ 14.205-83 «Технологичность конструкции изделия. Термины и определения». При анализе чертежа необходимо проверить:

- а) правильность оформления в соответствии с требованиями ЕСКД и других нормативных документов;
- б) достаточность видов, разрезов и сечений, дающих полное представление о конструкции детали;
- в) достаточность и правильность простановки размеров;
- г) степень унификации размеров пазов, канавок, галтелей, отверстий, фасок и других конструктивных элементов.

На этом этапе студент уточняет в чертежах допуски и посадки по системе ЕСДП, количественно оценивает параметры шероховатости поверхности

(ГОСТ 2789-73) в соответствии со служебным назначением, ориентируясь на данные таблицы 1.

Таблица 1

Параметры шероховатости

Эксплуатационные свойства поверхности	Параметры шероховатости
Износ трущихся поверхностей	R_a или R_z , t_p , направление неровностей
Трение скольжения и качения	R_a или R_z , t_p , направление неровностей
Контактная жесткость	R_a или R_z , t_p
Прочность соединения	R_a или R_z , t_p , направление неровностей
Прочность конструкции при циклических нагрузках	R_{max} , S_m , S , направление неровностей
Герметичность соединения	R_a или R_z , t_p

Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых поверхностей детали, в соответствии с методами их образования. Диапазоны значений параметров R_z и R_a шероховатости поверхностей в зависимости от способов их получения представлены в приложении А.

Параметры шероховатости в зависимости от функционального назначения и способа обработки поверхностей представлены в таблице 2.

В таблице 3 приведена взаимосвязь между качествами точности и шероховатостью при различных методах обработки поверхностей.

Таблица 2

Параметры шероховатости в зависимости от функционального назначения и способа обработки поверхностей

Параметр шероховатости	Поверхности	Способ обработки
1	2	3
✓	Поверхности заготовки в состоянии поставки, не прошедшие механической обработки и не определяемые данным чертежом	Прокатка, ковка, литье, штамповка, волочение и т.п.

Продолжение таблицы 2

1	2	3
\sqrt{Rz}	Поверхности, не соприкасающиеся с другими поверхностями (кромки после штамповки и резания, поверхности литых деталей и т.п.)	Зачистка напильником, резка автогеном, на ножницах и прессах
$\sqrt{Rz 320}$	Наружные, механически обработанные поверхности, не соприкасающиеся с другими поверхностями (поверхности фланцев, арматуры, гаек и др.)	Черновое точение, черновое фрезерование, сверление, обдирочное шлифование
$\sqrt{Rz 160}$	Проходные отверстия под болты, винты, шпильки и т.д.	Сверление, зенкерование
$\sqrt{Rz 80}$	Опорные поверхности станин, кронштейнов, защитных кожухов, поверхности галтелей, канавок, фланцев, шкивов, торцы труб и др.	Получистовое точение и растачивание, черновое строгание, сверление, зенкерование
$\sqrt{Rz 40}$	Корпус патрона, свободные поверхности валов, шкивов, корпусов, неответственные профили и резьбы, поверхности отверстия с диаметром до 15 мм под болты, винты, шпильки и др.	Сверление, зенкерование, развертывание, получистовое точение
$\sqrt{Rz 20}$	Присоединительные поверхности корпусов кронштейнов, наружные свободные поверхности зубчатых колес и др.	Чистовое точение, получистовое фрезерование и строгание, чистовое растачивание, чистовое строгание
$\sqrt{Ra 2,5}$	Сопряжения поверхностей неподвижных соединений: опорные плоскости реек, направляющие типа «ласточкин хвост», внутренние поверхности корпусов под подшипники качения, рабочие поверхности шпонок и шпоночных пазов; эвольвентные поверхности профиля зуба стальных зубчатых колес	Чистовое сверление, чистовое шлифование, нарезание резьб, зубошлифование, зубодолбление
$\sqrt{Ra 1,25}$	Посадочные поверхности зубчатых колес, маховиков, шкивов, червяков, втулок, подшипников скольжения	Чистовое тонкое точение, чистовое фрезерование, протягивание чистовое, шлифование
$\sqrt{Ra 0,63}$	Сопрягаемые поверхности бронзовых зубчатых колес, рабочие шейки коленчатых и распределительных валов и винтов, поверхности валов	

Окончание таблицы 2

1	2	3
	под подшипник качения	
$\sqrt{Ra\ 0,32}$	Посадочные поверхности осей и валов малого диаметра, рабочие поверхности центров	Тонкое шлифование, тонкое точение, притирка
$\sqrt{Ra\ 0,16}$	Поверхности, работающие в условиях трения: наиболее ответственные оси и валы повышенной точности; рабочие поверхности коленчатых и распределительных валов быстроходных двигателей; поверхности ответственных цилиндрических, призматических и плоских направляющих	Притирка, доводка, суперфиниширование, хонингование
$\sqrt{Ra\ 0,08}$	Внутренние поверхности цилиндров поршневых машин, наружные поверхности пальцев, поршневых колец, поверхности трения, рабочая рейка прецизионных быстроходных станков	Притирка, доводка

Таблица 3

Взаимосвязь между качествами точности и шероховатостью при различных методах обработки поверхностей

Метод обработки	Квалитет точности	Шероховатость, мкм
1	2	3
Точение: предварительное чистовое тонкое	12 9 7 – 8	$R_z=20 - 40$ $R_a=1,25 - 2,5$ $R_a=0,32 - 0,63$
Фрезерование: предварительное чистовое тонкое	12 9 7 – 8	$R_z=20 - 40$ $R_a=1,25 - 2,5$ $R_a=0,32 - 0,63$
Сверление	11 – 12	$R_z=20 - 80$
Чистовое зенкерование	11 – 10	$R_a=2,5 - 5,0$
Развертывание: предварительное чистовое тонкое	9 7 – 8 6 – 7	$R_a=1,25 - 2,5$ $R_a=0,32 - 0,63$ $R_a=0,16 - 0,32$

1	2	3
Протягивание отверстий	7 – 8	$R_a=0,32 – 0,63$
Шлифование:		
чистовое	7 – 8	$R_a=0,32 – 0,63$
тонкое	7 – 6	$R_a=0,08 – 0,16$
Притирка	6	$R_a=0,02 – 0,04$

Значения параметра шероховатости R_z в зависимости от допуска δ на выполнение сборочного соединения находятся в пределах:

$$R_z/\delta=0,12 – 0,10 \text{ (для посадок с натягом);}$$

$$R_z/\delta=0,10 – 0,08 \text{ (для переходных посадок);}$$

$$R_z/\delta=0,08 – 0,05 \text{ (для посадок с зазором);}$$

$$R_z/\delta=0,04 – 0,02 \text{ (для высокоответственных сопряжений).}$$

Предельные отклонения размеров указываются непосредственно после номинальных размеров. Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными обозначениями полей допусков и посадок, принятых в ГОСТ 25347-82 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки», а также числовыми значениями предельных отклонений.

Вид допуска формы или расположения должен быть обозначен на чертеже специальным знаком, согласно ГОСТ 2.308-79 «Единая система конструкторской документации. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей» [1 – 4].

2.3. Анализ соответствия технических требований, норм точности, и качества основных поверхностей их функциональному назначению при эксплуатации заданных деталей

На этом этапе самостоятельной работы студентом решаются следующие задачи:

- а) изучаются данные по точности размеров детали (допуски, посадки) и

шероховатости поверхностей, точности геометрической формы (отклонения от круглости, цилиндричности и др.) и точности взаимного расположения поверхностей (параллельность, перпендикулярность, соосность и др.). По этим данным формируется представление о методах окончательной чистовой обработки основных поверхностей и числе технологических переходов (операций) обработки каждой поверхности детали, выявляются измерительные и технологические установочные базы и предварительно последовательность обработки основных поверхностей;

б) выполняется анализ требований к качеству поверхностного слоя (по физико-механическим свойствам, характеру термообработки, покрытиям и др.);

в) подробно рассматриваются технические требования к чертежу, а также общие технические требования к изготовлению изделия;

г) принимаются предварительные решения о методах обработки (механическая обработка резанием, электроэрозионная обработка (ЭЭО), электрохимическая обработка (ЭХО) и др.), о дифференциации технологии изготовления детали на этапы черновой, получистовой и чистовой окончательной обработки, о способах окончательных, отделочных и упрочняющих операций.

Нередко конструкторы завышают или занижают нормы точности и качества поверхностей и поверхностных слоев детали, что в конечном итоге не способствует повышению надежности машины в целом. В этих случаях предлагаются соответствующие коррективы, и на основе совместного с преподавателем обсуждения вопроса находится правильное решение. Следует иметь в виду, что в принятом представлении качество поверхности и поверхностного слоя детали характеризуется шероховатостью, волнистостью и физико-механическими свойствами (твердостью, микротвердостью, характером, величиной и глубиной распространения внутренних остаточных напряжений, структурными и фазовыми превращениями, деформацией кристаллической решетки). При применении химико-термических методов обработки (ХТО) происходят также изменения химического состава материала поверхностного слоя.

При анализе технических требований устанавливается в какой степени то

или иное требование определяет правильность изготовления детали в соответствии с ее работой в механизме, достаточно ли подробно указаны все необходимые требования и какие из них должны быть введены дополнительно исходя из функционального назначения и технологических соображений [1-6].

2.4. Анализ применяемых конструкционных материалов для изготовления заданных деталей и выбор рациональной марки

Известно, что работоспособность деталей машин в значительной степени обеспечивается применением необходимых конструкционных материалов. Основными причинами потери работоспособности деталей машин являются износ и усталостное разрушение. Поэтому особое внимание следует уделять повышению их износостойкости и усталостной прочности, которые существенно зависят от правильного выбора рациональной марки материала. В связи с массовым введением в практику машиностроения новых конструкционных материалов часто возникает проблема выбора конструкционного материала с оптимальными свойствами, максимально удовлетворяющими служебному назначению детали. При этом необходимо учитывать не только свойства конструкционного материала противостоять различным видам разрушения (износ, усталостное, термоусталостное, коррозионное, ползучесть и др.), но и его способность обрабатываться резанием, воспринимать термическую обработку, пластически деформироваться, свариваться и др. Подобные проблемы возникают также на этапе восстановления работоспособности деталей и сопряжений при ремонтах. На данном этапе самостоятельной работы студенты анализируют марки конструкционных материалов, применяемых для изготовления заданных деталей по их соответствию служебному назначению, отмечают достоинства и недостатки. С этой целью следует пользоваться классификацией конструкционных материалов и их описанием по основным эксплуатационным (служебным) требованиям, предъявляемым к деталям машин. Согласно этим требованиям конструкционные материалы распределены по группам, каждая из которых определяется

комплексом стандартных и нестандартных свойств, от которых зависит реализация эксплуатационных характеристик [5, 9].

В этом же разделе пояснительной записки следует привести данные о наиболее рациональном материале детали по химическому составу, механическим свойствам до и после термической обработки в виде таблиц. В качестве примера в таблицах 4 и 5 представлены химический состав и механические свойства стали 45.

Таблица 4

Химический состав стали 45, % (ГОСТ 1050-88)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
не более								
0,42 – 0,50	0,17 – 0,37	0,50 – 0,80	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Таблица 5

Механические свойства поковок из стали 45 (ГОСТ 8479-70)

Термообработка	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	ψ	НВ, не более
		МПа		%		
Нормализация	100 – 300	245	470	19	42	143 – 179

2.5. Анализ методов изготовления заготовок для заданных деталей и выбор рационального способа

Выбор метода изготовления заготовки проводится на основе анализа рабочего чертежа детали. Основными факторами, по которым производится выбор метода получения заготовки, являются:

а) технологическая характеристика материала (его свойства, определяющие возможности литья, пластических деформаций и сварки);

б) качественная характеристика метода (литые заготовки менее плотные, чем получаемые обработкой давлением), а также структурные изменения материала в процессе формообразования (расположение волокон в поковках, размер

зерна в литых заготовках);

в) конструктивные формы и размеры детали (чем крупнее деталь, тем дороже обходится технологическая оснастка заготовительного цеха и рентабельнее становится сварная конструкция);

г) программное задание и тип производства (при больших выпусках выгодны методы, обеспечивающие наибольшее приближение формы и размеров заготовки к форме и размерам детали; точная штамповка, литье под давлением);

д) производственные возможности заготовительных цехов (наличие соответствующего оборудования);

е) время, затрачиваемое на подготовку производства (изготовление штампов, моделей, пресс-форм);

ж) возможность быстрой переналадки оборудования и оснастки (особенно важно при работе на переменнo-поточных линиях, характерных для автоматизированного производства).

Следует отметить трудности с выбором вида заготовок, из-за большого количества вариантов технологических способов их получения. Поэтому, чтобы определить оптимальную технологию изготовления заготовки, нужно рассмотреть все возможные методы производства: литейное, кузнечное, прокатное, сварочное, порошковое, а также их способы. Рекомендуется выбирать способ, который обеспечит качество и экономичность производства, и применять ту технологию, которая выгодна в данном конкретном случае.

При выборе заготовки определяется метод ее получения и класс (группа) точности по ГОСТ или по нормам на отливки или поковки. В ряде случаев назначенный конструктором материал детали и ее конструктивные формы определяют способ получения заготовки. В других же случаях, особенно для стальных деталей, необходимо решить вопрос о целесообразности их изготовления непосредственно из прокатного материала или с применением горячей штамповки.

Выбор оптимального способа получения заготовки должен производить-

ся на основе глубокого анализа и сопоставлении всех приемлемых для данной детали способов изготовления заготовки. При этом необходимо ориентироваться на минимальный расход и наилучшее использование материала, наименьшую стоимость заготовки, уменьшение трудоемкости и себестоимости механической обработки.

Следует иметь в виду, что себестоимость детали складывается из себестоимости заготовки и технологической себестоимости последующей ее обработки. Поэтому необходимо процесс изготовления детали рассматривать комплексно, включая процессы получения заготовки и ее обработки. Из многих возможных способов получения заготовки надо выбрать оптимальный для заданных условий производства, обеспечивающий минимальную себестоимость изготовления детали. Так для условий массового производства деталей экономически оправдывается способ получения заготовок, наиболее приближающихся по форме и размерам к готовой детали.

На данном этапе выбора заготовки, для оценки рационального способа ее изготовления определяют:

1. Коэффициент использования материала

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{q}{Q_i},$$

где q , Q – масса соответственно детали и заготовки.

При технически равнозначных способах выбирают тот, где значение $K_{\text{и.м.}}$ выше. Для повышения $K_{\text{и.м.}}$ необходимо приближать форму заготовки к конфигурации готовой детали, повышать точность ее изготовления и улучшать качество поверхностного слоя.

2. Снижение материалоемкости

$$\Delta M = Q_{\text{з.б.}} - Q_{\text{з.н.}} \cdot N,$$

где $Q_{\text{з.б.}}$, $Q_{\text{з.н.}}$ – соответственно масса заготовки при базовом (сравниваемом) и новом варианте;

N – годовая программа выпуска деталей, шт.

Так как себестоимость готовой детали складывается из себестоимости заготовки и технологической себестоимости последующей ее обработки, то процесс изготовления детали следует рассматривать комплексно. Из многих возможных способов получения заготовки надо выбрать оптимальный для заданных условий производства, обеспечивающий минимальную себестоимость изготовления детали. В случае, когда способ получения заготовки не влечет изменения в технологическом процессе механической обработки, предпочтение следует отдавать заготовке, характеризующейся лучшим использованием материала и меньшей себестоимостью. При этом стоимость заготовки рассчитывается по ее массе с учетом отходов в виде сдаваемой стружки

$$S_{\text{заг } i} = \frac{C_i \cdot Q_i}{1000} - Q_i - q \cdot \frac{C_{i \text{ отх}}}{1000},$$

где C_i – средняя стоимость 1т по варианту получения заготовки в условных денежных единицах (у.е.);

$C_{i \text{ отх}}$ – средняя стоимость 1т отходов в виде сдаваемой стружки в у.е.

Среднюю стоимость 1т заготовки в условных денежных единицах (у.е.) можно принять по таблице 6 или по действующим прейскурантам цен. Среднюю стоимость 1т отходов в виде сдаваемой стружки следует принимать в 8 – 10 раз меньше по сравнению со стоимостью исходного материала заготовки.

Массу заготовки по каждому из сравниваемых вариантов можно определить ориентировочно по нормативным значениям коэффициента использования материала для соответствующего типа производства с учетом изменения припуска для конкретного способа изготовления заготовки:

- а) мелкосерийное – $K_{\text{и.м.}}=0,55 - 0,65$;
- б) среднесерийное – $K_{\text{и.м.}}=0,65 - 0,75$;
- в) крупносерийное – $K_{\text{и.м.}}=0,75 - 0,85$;
- г) массовое – $K_{\text{и.м.}}=0,85 - 0,95$.

Таблица 6

Средняя стоимость 1т материала в условных денежных единицах (у.е.)

Заготовки	Сталь			Цветные металлы и сплавы			
	45	45ХНМ	95Х18	Алюм.	Бронза	Латунь	Медь
Отливки: в песчаные формы	400	400	2000	1700	1300	–	–
в оболочко- вые формы	1300	–	–	–	–	1000	–
по выплавля- емым моде- лям	3000	–	–	–	–	–	–
Горячештам- пованные	255	400	1250	–	1250	–	–
Холодно- штампован- ные	430	700	2650	–	–	1500	1540
Сортовой го- рячекатаный прокат:							
мелкий до 19 мм	110	280	300	800	–	800	950
средний 20-110 мм	95	250	1200	600	–	700	900
крупный 120-150 мм	67	165	955	500	850	600	850

В случае, если способ получения заготовки более высокой точности вызывает изменение в технологическом процессе механической обработки, технико-экономический анализ конкурирующих вариантов выполняют с учетом изменяющихся статей затрат. Для полной оценки вариантов, если располагают необходимыми данными, выполняют технико-экономический анализ, критери-

ем которого является себестоимость готовой детали. Варианты сравнивают по изменяющимся статьям затрат : стоимость материала, инструмента, технологической оснастки (штампы, пресс-формы, модели и т. д.), оборудования; заработной платы; электроэнергии. Учитывают и другие статьи затрат, если они приводят к значительному изменению варианта изготовления детали.

Стоимость заготовок, получаемых такими методами, как литье в обычные земляные формы, металлические формы (кокили), литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, горячая объемная штамповка на молотах, прессах, ГКМ, а также электровысадкой, можно с достаточной точностью определить по формуле, у.е.

$$S_{\text{ЗАГ } i} = \frac{C_i \cdot Q_i}{1000} \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} - Q_i - q \cdot \frac{C_{i \text{ отх}}}{1000},$$

где $k_T, k_C, k_B, k_M, k_{\Pi}$ – коэффициенты, зависящие от класса точности, группы сложности, массы, марки материала и годовой программы производства заготовок.

Экономический эффект для сравнения способов получения заготовок, при которых технологический процесс механической обработки не меняется, может быть рассчитан по формуле

$$\mathcal{E}_3 = S_{\text{ЗАГ1}} - S_{\text{ЗАГ2}} \cdot N,$$

где $S_{\text{ЗАГ1}}, S_{\text{ЗАГ2}}$ – себестоимость сопоставляемых заготовок по сравниваемым вариантам, у.е.;

N – годовая программа производства, шт.

Заготовка выбирается как по виду (прокат, отливка, штамповка), так и по способу выполнения (способ и тип оборудования).

Штампованные заготовки. Штамповкой на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) получают поковки массой от 0,1 до 100 кг с максимальным диаметром 315 мм. Штамповка на ГКМ является одним из производительных способов и может быть рентабельной для определенного вида заготовок. Штамповка производится из прутков и труб горячекатаного металла повышенной точности диаметром от 20 до 270 мм.

На ГKM изготавливаются следующие поковки: конические шестерни с валом, цилиндрические шестерни с валом, кольца, втулки, шестерни, шестерни с фланцем, двухвенцовые шестерни, втулки с квадратным фланцем и т.д. (см. рис. 1).

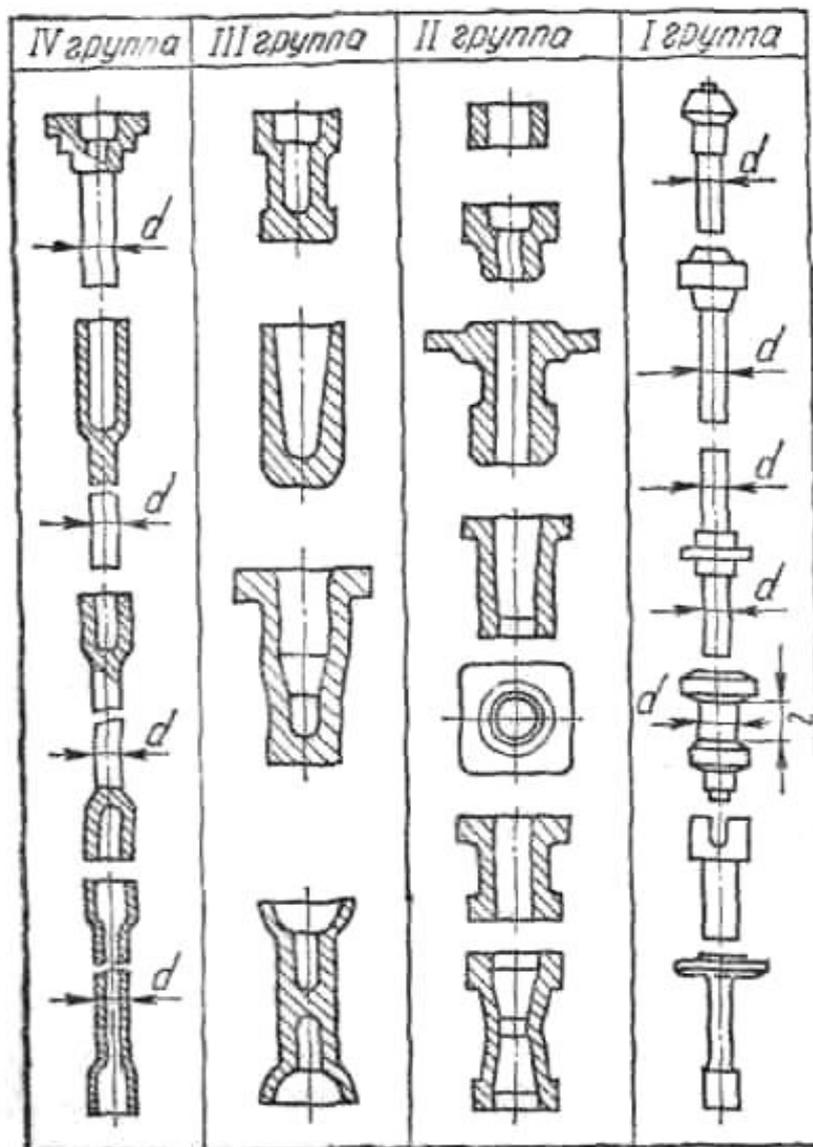


Рис. 1. Классификация поковок по группам сложности, штампуемых на горизонтально-ковочных машинах

Допуски и припуски на поковки, изготавливаемые на ГKM, регламентируются ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски».

В том случае, когда поковку невозможно выполнить на ГКМ, анализируют варианты штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) или молотах. На КГШП можно штамповать заготовки массой до 200 кг, штампуемых в торец типа шестерен, крестовин, круглых и квадратных фланцев со ступицами, ступенчатых валов, валов-шестерен, поворотных кулаков, рычагов, шатунов, коленчатых валов и т. д. (см. рис. 2).

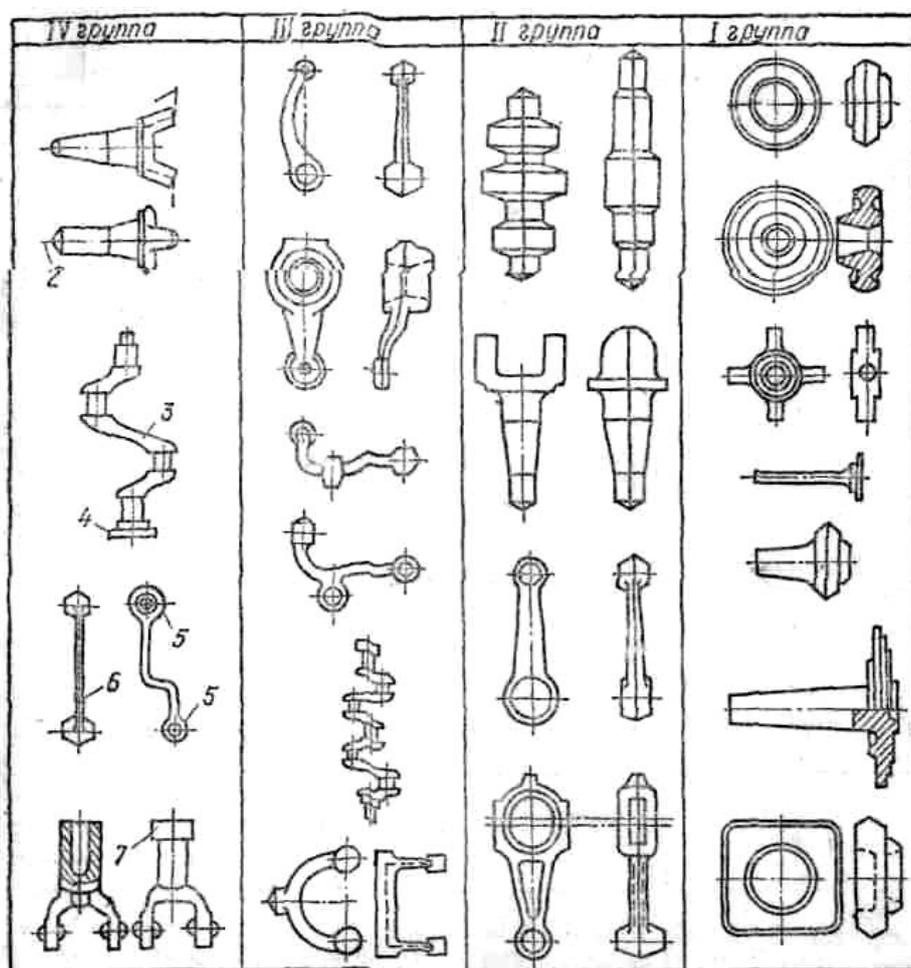


Рис. 2. Классификация поковок по группам сложности, штампуемых на молотах и кривошипных горячештамповочных прессах: 1 – разъем на прессе; 2 – разъем на молоте; 3 – штамповка на прессе; 4 – фланец штампуется на горизонтально-ковочной машине; 5 – головки после штамповки на горизонтально-ковочной машине штампованы на прессе; 6 – стержень согнут на горизонтально-гибочной машине; 7 – штамповка на молоте или прессе, высадка на горизонтально-ковочной машине

Штамповка на КГШП в 2...3 раза производительнее, припуски и допуски

на 20...35% ниже по сравнению со штамповкой на молотах, расход металла на поковки снижается на 10...15%. При штамповке необходимо широко использовать профильный прокат или подкат, полученный на ковочных вальцах. Допуски и припуски заготовок, штампуемых на КГШП, принимают по ГОСТ 7505-89.

Выбор класса точности поковок в зависимости от деформирующего оборудования представлен в таблице 7. К первой группе (высокая точность) необходимо относить детали массового производства, ко второй группе (повышенной точности) – детали крупносерийного и среднесерийного производства.

Таблица 7

Выбор класса точности поковок

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка	–	–	–	+	+
закрытая штамповка	–	+	+	–	–
выдавливание	–	–	+	+	–
Горизонтально-ковочные машины	–	–	–	+	+
Прессы винтовые, гидравлические	–	–	–	+	+
Горячештамповочные автоматы	–	+	+	–	–
Штамповочные молоты	–	–	–	+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+	–	–	–
Прецизионная штамповка	+	–	–	–	–

Поковки. Ковка является универсальным методом производства поковок на молоте или прессе. Ковкой получают заготовки для самых разнообразных деталей массой от 10 г до 350 т с припусками от 5_{-2}^{+1} до 34 ± 10 мм (ковка на молотах) и от 10 ± 3 мм до 80 ± 30 мм (ковка на прессах). Выбор величины допусков, припусков и напусков проводят в зависимости от типа и формы поковок, а также соотношения из размеров согласно ГОСТ 7829-70 «Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на молотах. Припуски и допуски» и ГОСТ 7062-90 «Поковки из углеродистой и легированной

стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски».

Для уменьшения расхода металла при ковке заготовок партиями 30...50 шт. применяют кольца (рис. 3, а) и подкладные штампы (рис. 3, б).

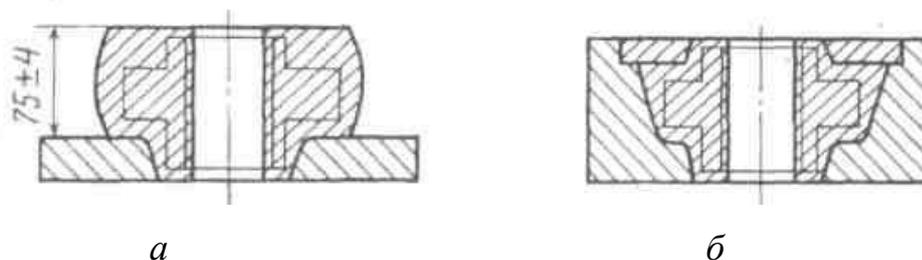


Рис. 3. Поковка, полученная: а – ковкой с подкладным кольцом;
б – в подкладном закрытом штампе

Это делает возможным сократить расход металла на 15...20% по сравнению со свободной ковкой универсальными инструментами. Ковка имеет ряд преимуществ. Она позволяет получать крупногабаритные заготовки последовательным деформированием отдельных ее участков. В процессековки улучшаются физико-механические свойства материала, особенно ударная вязкость, поэтому ответственные детали машин, такие как диски турбин, роторы, валки прокатных станов, коленчатые валы судовых двигателей, детали крупных штампов производят из поковок.

Основными операциямиковки являются: осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка, закручивание и др.

Степень сложности является одной из конструктивных характеристик формы поковок, качественно оценивающей ее и используется при назначении припусков и допусков. Она определяется

$$C = \frac{G_{\Pi}}{G_{\Phi}},$$

где G_{Π} – масса (объем) поковки;

G_{Φ} – масса (объем) геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки.

Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилин-

дром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой (см. рис. 4). При вычислении отношения $G_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$, принимают ту из геометрических фигур, масса (объем) которой наименьший.

При определении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Степеням сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения $G_{\text{п}}/G_{\text{ф}}$: C_1 – свыше 0,63; C_2 – свыше 0,32 до 0,63 включительно; C_3 – свыше 0,16 до 0,32 включительно; C_4 – до 0,16 включительно.

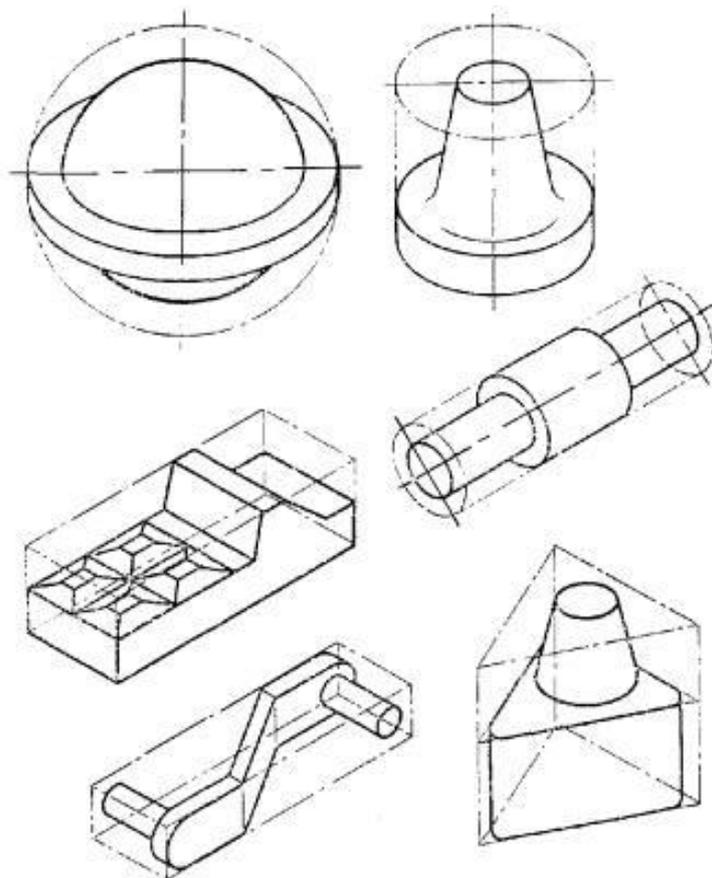


Рис. 4. Геометрические фигуры, в которые вписываются формы
поковок

Отливки. Метод литья в песчано-глинистые формы применяют для всех литейных сплавов, типов производств, заготовок любых масс, конфигураций и габаритов. В общем объеме производства отливок литьем в песчано-глинистые

формы получают 80% всех отливок и лишь 20% отливок производят специальными методами литья. Он отличается технологической универсальностью и дешевизной. Изменяя способы формовки, материалы моделей и составы формовочных смесей, заготовки изготавливают с заданной точностью и качеством поверхностного слоя. Метод отличается большим грузопотоком формовочных и вспомогательных материалов, для него характерны большие припуски на механическую обработку, в стружку уходит 15...25% металла от массы заготовки.

Литьем в оболочковые формы получают заготовки сложной конфигурации: коленчатые и кулачковые валы, ребристые цилиндры воздушного охлаждения, крыльчатки. Часть поверхностей заготовок не требует механической обработки. Ко времени затвердевания металла форма легко разрушается, не препятствуя усадке металла, остаточные напряжения в отливке незначительные. Расход формовочных материалов меньше в 10...20 раз, чем при литье в песчано-глинистые формы. В то же время работа с горячими металлическими моделями представляет определенную сложность, является дорогой.

Литье по выплавляемым моделям – метод для изготовления сложных и точных заготовок из труднодеформируемых и труднообрабатываемых сплавов с высокой температурой плавления. Он отличается самым длительным и трудоемким технологическим процессом среди всех методов литья. Экономичность метода достигается правильно выбранной номенклатурой отливок, особенно когда требования шероховатости поверхности и точности размеров могут быть обеспечены в литом состоянии и требуется механическая обработка только сопрягаемых поверхностей. Применение заготовок, полученных литьем по выплавляемым моделям, вместо штампованных снижает расход металла до 55...75%, трудоемкость механической обработки до 60% и себестоимость детали на 20%.

Литье в металлические формы (кокиль). Сущность процесса заключается в многократном применении металлической формы. Стойкость кокилей зависит от технологических факторов: температуры заливки металла, материала

кокиля, размеров, массы и конфигурации отливки. Особенностью формирования отливок в кокиль является большая интенсивность теплообмена между отливкой и формой. Быстрое охлаждение расплава снижает жидкотекучесть, поэтому толщина стенок при литье в кокиль значительная. Для алюминиевых и магниевых сплавов она составляет 3...4 мм, для чугуна и стали 8... 10 мм. Металл отливки имеет мелкозернистую структуру, его физико-механические свойства на 15...30% выше, чем у песчаных отливок. Метод полностью устраняет пригар, увеличивает выход годных заготовок до 75...95%. Процесс исключает трудоемкие операции формовки, сборки и выбивки форм, легче автоматизируется. В общем случае для метода характерно наличие дефектов в отливках в виде объемных деформаций, трещин, газовой пористости.

Литье под давлением обеспечивает получение заготовок, близких по форме к готовой детали, с высокой точностью и малой шероховатостью поверхности. Этим методом производят сложные тонкостенные отливки из цветных сплавов (алюминия, магния, цинка, меди). Сочетание в процессе литья металлической формы и давления на жидкий металл позволяет получать отливки с прочностью на 15...20% большей, чем при литье в песчано-глинистые формы. Механической обработке подвергают только посадочные места и поверхности сопряжения. Основными преимуществами метода являются получение отливок с толщиной стенок менее 1 мм и возможность автоматизации процесса. Метод требует применения очень дорогих пресс-форм, изготавливаемых по 6-му...8-му квалитетам.

Центробежное литье. Характерной особенностью метода является утяжеление частиц под действием центробежных сил при заливке и затвердевании. Это улучшает формообразование отливок, однако химическая неоднородность (ликвация) у таких заготовок выражена более ярко, чем у других. Этим методом получают заготовки типа полых тел вращения: втулки, гильзы цилиндров, кольца, трубы из чугуна, сталей, твердых сплавов и цветных металлов.

Для литья из титановых сплавов это пока единственный метод получе-

ния качественных заготовок.

Преимуществами метода являются относительно высокая плотность отливок вследствие малого количества межкристаллических пустот, недостатками – сложность получения качественных отливок из-за неоднородности по химическому составу сплавов, засорение отливок ликвидами и неметаллическими включениями, что увеличивает припуски на механическую обработку поверхностей на 25%.

Штамповка жидкого металла – разновидность литья под давлением. Сущность метода состоит в том, что жидкий металл подается в металлическую форму, где под давлением пуансона происходит его уплотнение. Конструкция форм аналогична закрытым штампам для горячей объемной штамповки. Формы изготавливают из стали марки ХВГ или ЗХВ8. Метод позволяет получать тонкостенные заготовки корпусов, фланцев, тройников из цветных и черных металлов. При этом благодаря кристаллизации в условиях всестороннего сжатия устраняются газовые и усадочные раковины. Коэффициент использования металла достигает 0,9...0,93.

Отливки к той или иной группе сложности можно отнести по следующим признакам:

а) I группа – удлиненные детали типа тел вращения, которые можно отливать не только стационарным, но и центробежным способом. К ним относятся простые и биметаллические вкладыши, некоторые втулки и гильзы, трубы, цилиндры, некоторые типы шпинделей с фланцами, коленчатые и распределительные валы и др. Отношение длины к диаметру у таких деталей больше единицы;

б) II группа – детали типа дисков: маховики и основные диски муфт сцепления, шкивы, диски, корпуса подшипников;

в) III группа — простые по конфигурации коробчатые плоские детали, для формовки которых не требуется большого количества стержней. К этой группе относятся передние, боковые и нижние крышки двигателей; крышки коробок скоростей, передних бабок и других корпусных деталей; суппорты

станков; кронштейны; планки; вилки; рычаги;

г) IV группа – закрытые корпусные детали коробчатого типа, внутри которых монтируются механизмы машин. Это – блоки и головки цилиндров автомобильных, тракторных и других двигателей; корпуса коробок передач; картеры двигателей; корпуса мостов автомобилей и тракторов; картеры рулевого управления; передние бабки, коробки подач и фартуки токарных станков, коробки скоростей и подач сверлильных станков и другие детали сложной формы, для изготовления которых требуется значительное количество стержней при формовке;

д) V группа – крупные и тяжелые коробчатые детали, на которых обычно монтируются узлы и механизмы машин. К ним можно отнести коробчатые литые рамы тракторов и сельскохозяйственных машин, станины металлорежущих станков и литейных машин, а также прессов, компрессоров и др. Внутри таких деталей обычно не монтируются какие-либо механизмы, т. е. они служат как несущие конструкции.

Точность отливок в песчаные (земляные) формы и припуски на обработку регламентируются для чугуновых (в том числе и для деталей из ковкого чугуна) и стальных деталей ГОСТ Р 53464-2009. «Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку».

Припуски на обработку (на сторону) назначают дифференциально на каждую обрабатываемую поверхность отливки. Общий припуск назначают в соответствии с приложением Б для устранения погрешностей размеров, формы и расположения, неровностей и дефектов обрабатываемой поверхности, формирующихся при изготовлении отливки и последовательных переходах ее обработки, в целях повышения точности обрабатываемого элемента отливки.

Если материал детали обладает литейными свойствами и хорошо обрабатывается давлением, то выбор процесса или метода получения заготовки всегда следует связывать с обеспечением заданного качества детали.

На рис. 5 приведен цилиндр компрессора и его поковка. Чем же обоснован выбор заготовки для детали в виде поковки? Ведь цилиндры и блоки воз-

душных, газовых и холодильных компрессорных машин обычно изготавливаются литьем из серого чугуна марок СЧ 18-36 или СЧ 21-40.

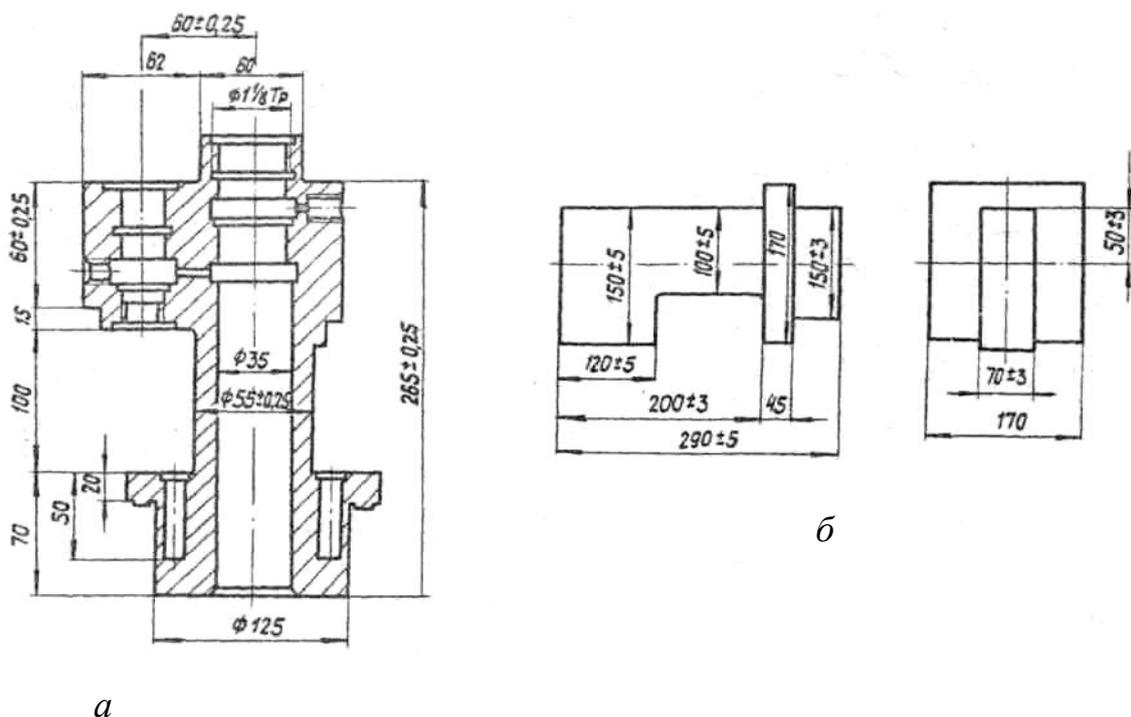


Рис. 5. Цилиндр третьей ступени компрессора: *а* – рабочий чертеж (материал сталь 45; давление при испытании водой 20 МПа; масса цилиндра 11 кг); *б* – поковка

Приведенный на рисунке цилиндр – для специального газового компрессора высокого давления. Во время работы компрессора цилиндр подвергается значительным переменным усилиям от давления газа, равного 13 МПа, и дополнительным температурным напряжениям. Такой цилиндр должен быть не только прочным, но и плотным. Поэтому конструктор в качестве материала цилиндра избрал сталь 45, а технолог – поковку.

В некоторых конструкциях специальных газовых компрессоров высокого давления в целях увеличения антикоррозионной стойкости зеркала цилиндра применяется нержавеющая сталь марки 3Х13. Эта сталь подвергается только обработке давлением. Следовательно, и в этом случае нужно выбирать в качестве заготовки поковку.

В большинстве случаев крупные цилиндры (массой до 20 т) отливались

из серого чугуна. Однако они часто браковались по плотности и из-за наличия на зеркале цилиндра раковин, обнаруживаемых при механической обработке. Для ликвидации брака применяют постановку сменных втулок, выполняемых из чугуна с перлитной структурой, или пропитку стенок цилиндра бакелитовым лаком с наполнителем в виде железного порошка. Методы исправления литых отливок крупных цилиндров определяются конструктором или технологом по согласованию с конструктором. Они зависят от ответственности исправляемых мест и должны гарантировать удовлетворение требованиям, предъявляемым к детали в условиях эксплуатации.

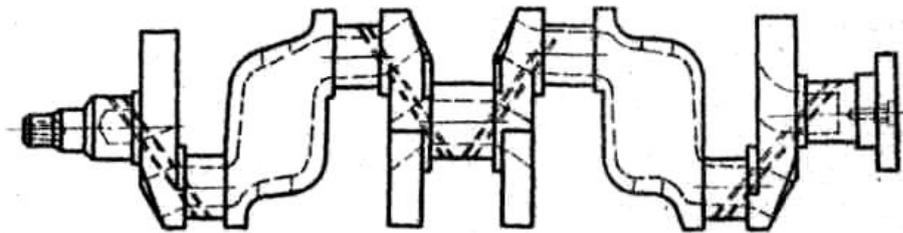


Рис. 6. Литой коленчатый вал

В последнее время находят широкое применение литые коленчатые валы вместо штампованных (рис. 6). Обладая хорошими прочностными характеристиками, литые коленчатые валы обеспечивают более высокий коэффициент использования материала (0,84 вместо 0,76), способны лучше гасить вибрации, менее чувствительны к концентрации напряжений, обрабатываются с большей производительностью, не требуют термической обработки шеек. Полые шатунные и коренные шейки, а в некоторых случаях и щеки, получаемые в процессе изготовления отливки, уменьшают вращающиеся массы и требуют меньшей балансировки.

Для определения конфигурации заготовки целесообразно использовать рекомендации, указанные в ГОСТ Р 53464-2009 (отливки), ГОСТ 8479-70, ГОСТ 7062-90 и 7829-70 (поковки), ГОСТ 7505-89 (штамповки).

После определения припусков и допусков чертеж заготовки с указанием плоскостей разреза, литейных или штамповочных радиусов и уклонов приво-

дится в расчетно-пояснительной записке на листе формата А4.

2.6. Выбор установочных технологических баз

Основные понятия по базированию регламентированы ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения».

При проектировании технологических процессов большое значение имеет выбор установочных баз. Обработку заготовок обычно начинают с создания чистовых установочных баз. По месту положения установочных баз в технологическом процессе их делят на черновые или предварительные, чистовые промежуточные и окончательные. Черновые базы используют на первых операциях обработки, когда никаких обработанных поверхностей на заготовке нет. Они служат для создания промежуточных чистовых установочных баз, а часто сразу и окончательных, используемых для завершения обработки основных поверхностей детали с обеспечением заданной точности и шероховатости. В качестве черновых установочных баз могут быть выбраны поверхности заготовки либо вовсе не обрабатываемые, либо обрабатываемые в дальнейшем. Выбранная черновая база должна обеспечивать в возможной степени равномерное снятие припуска при последующей обработке поверхностей с базированием на обработанную установочную базу и наиболее точное взаимное положение обработанных и необработанных поверхностей детали. Черновые базовые поверхности должны быть по возможности гладкими; не иметь штамповочных и литейных уклонов; на них не следует размещать литники, прибыли, плоскости разъема литейных форм и штампов.

Основные соображения, которыми целесообразно руководствоваться при выборе установочных баз для обработки заготовок, можно сформулировать в следующем виде.

Следует по возможности использовать принцип совмещения баз, т. е. в качестве установочной базы брать поверхность, являющуюся измерительной базой. При этом необходимо учитывать, что лучшие результаты по точности

будут достигнуты в случае, если установочной и измерительной базой служит сборочная база, т. е. те поверхности, которые определяют положение детали в собранном изделии (например, центральное отверстие и торец ступицы зубчатого колеса). Учитывая взаимосвязь сборочной, измерительной и установочной баз, технолог при выборе баз и построении технологических процессов должен анализировать не только рабочие, но и сборочные чертежи деталей. Конструктор также должен проектировать деталь с учетом возможности совмещения сборочной, измерительной и установочной баз при ее обработке.

Следует по возможности соблюдать принцип постоянства баз и в ходе обработки на всех основных технологических операциях использовать в качестве установочных баз одни и те же поверхности. Принципы совмещения и постоянства баз совпадают в тех случаях, когда выдерживаемые размеры проставлены от одной достаточно устойчивой измерительной базы. Если измерительные базы переменны и не везде достаточно развиты по своим размерам, то первый принцип осуществить затруднительно. В этом случае осуществляют второй принцип, выбирая соответствующую постоянную установочную базу. Создание вспомогательных установочных поверхностей на деталях способствует более полному соблюдению принципа постоянства баз.

Когда постоянство установочной базы не может быть обеспечено, в качестве новой установочной базы выбирают обязательно обработанные, и желательно более точно обработанные, поверхности. Если при этом базовая поверхность не является измерительной, производят проверочный расчет допуска на выдерживаемый размер и в случае необходимости – пересчет допусков на размеры базовых поверхностей, т. е. прибегают к более жестким технологическим допускам на размеры этих поверхностей.

Установочная база должна обеспечивать достаточную устойчивость и жесткость установки заготовки; это достигается соответствующими размерами и качеством базовых поверхностей, а также их взаимным расположением.

При выборе установочных баз необходимо обеспечивать требуемую условиями выполнения данной операции ориентацию обрабатываемой заготов-

ки в приспособлении. В процессе всей обработки заготовка должна сохранять точное, заранее заданное расположение относительно режущего инструмента. Для этого необходимо обеспечить, чтобы заготовка не имела возможности перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а также поворачиваться вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, т. е. лишить заготовку шести степеней подвижности. Это условие обеспечивается соблюдением «правила шести точек», согласно которому: «чтобы лишить заготовку шести степеней подвижности, необходимо и достаточно закрепить ее в шести точках, расположенных в трех взаимно перпендикулярных плоскостях».

2.7. Разработка маршрута (плана) механической обработки отдельных основных поверхностей детали

Выбор маршрута производят, исходя из требований рабочего чертежа и принятой заготовки. По заданным квалитетам точности и шероховатости основных поверхностей детали и с учетом ее размера, массы и конфигурации выбирают один или несколько возможных методов окончательной их обработки, а также тип соответствующего оборудования. Решение этой задачи облегчается при использовании технологических характеристик методов обработки (см. таблицы 2, 3). Зная вид заготовки, таким же образом решается вопрос о выборе первого чернового метода маршрута. Если, например, точность заготовки невысока, то обработку данной поверхности начинают с использования предварительного (чернового) метода. При точной заготовке сразу можно начинать чистовую, а в некоторых случаях и отделочную обработку.

Основываясь на завершающем и первом методах маршрута обработки, устанавливают промежуточные методы. При этом исходят из того, что каждому методу окончательной обработки предшествует один или несколько возможных предварительных (менее точных) методов. Так чистовому развертыванию отверстия предшествует предварительное, а предварительному развертыванию – чистовое зенкерование или сверление.

При построении маршрута обработки исходят из того, что каждый последующий метод должен быть точнее предыдущего, примерно, на один квалитет. Технологический допуск на промежуточный размер и качество поверхности, полученное на предыдущем этапе обработки, должны находиться в тех пределах, при которых возможно нормальное использование намечаемого последующего метода обработки. После чернового растачивания нельзя, например, применять чистовое развертывание, так как для устранения всех погрешностей предшествующей обработки зубья развертки работали бы с недопустимо большой глубиной резания. Выбор маршрута обработки поверхности на последующих этапах проектирования связан с установлением припусков на эту поверхность.

Количество возможных вариантов маршрута обработки данной поверхности может быть довольно большим. Все они, однако, различны по эффективности и рентабельности. Выбор окончательного варианта по этим показателям важен, но сложен и трудоемок.

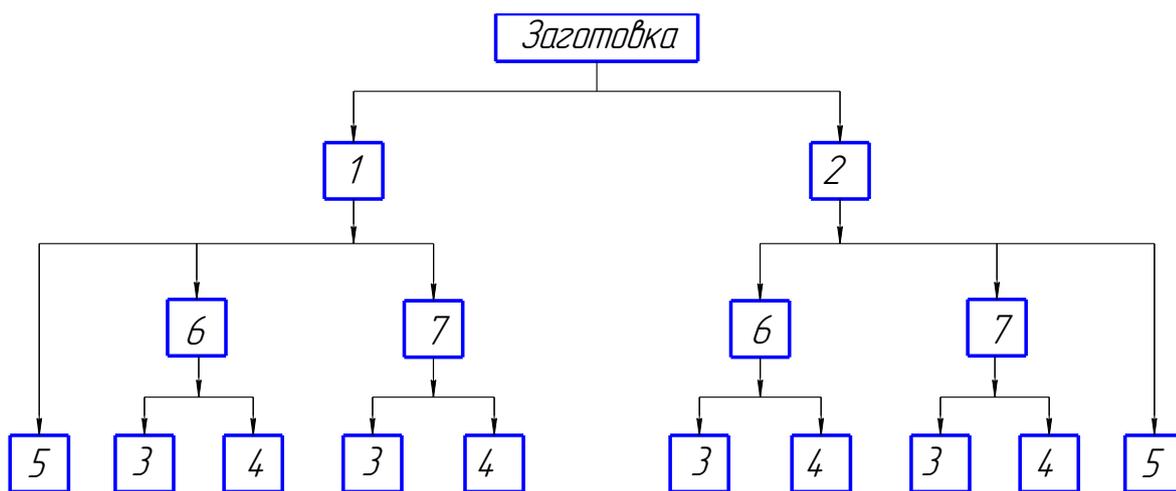


Рис. 7. Варианты обработки цилиндрического отверстия

Рассмотрим в качестве примера формирование вариантов маршрута обработки цилиндрического отверстия по 8-ому квалитету точности (см. рис. 7). Отверстие в заготовке получено литьем. В качестве предварительных методов обработки можно применить предварительное растачивание 1 и предварительное

зенкерование 2, а в качестве окончательных (обеспечивающих заданную точность и показанных на рисунке 7 – в нижнем ряду) развертывание 3, тонкое растачивание 4 и протягивание 5. В качестве промежуточных методов обработки используют чистовое зенкерование 6 и чистовое растачивание 7. Из рис. 7 видно, что для данного конкретного случая возможно построить десять различных маршрутов обработки отверстия. Приближенный выбор маршрута производят, оценивая трудоемкость сопоставляемых вариантов по суммарному основному времени обработки, используя для расчета нормативные материалы. Более точный выбор маршрута получают при сравнении суммарной себестоимости обработки. Решение данной задачи может быть облегчено использованием типовых маршрутов обработки, приведенных в литературных источниках по технологии машиностроения.

Количество вариантов часто можно значительно сократить с учетом ряда практических соображений. К их числу можно отнести необходимость обработки данной поверхности на одном станке за несколько последовательных переходов, ограничение возможности применения других методов обработки из-за недостаточной жесткости детали, а также необходимость обработки данной поверхности совместно с другими поверхностями.

Проанализировав требования к точности и качеству поверхностей детали и заготовки, устанавливают маршрут обработки всех основных поверхностей с указанием базирования и закрепления заготовки и выдерживаемых размеров, форма которого представлена в таблице 7.

Таблица 7

Маршрут обработки детали

№ операции	Наименование и краткое содержание операции по переходам	Оборудование	Схема эскиза обработки

На эскизах обработки опоры и зажимы указывают конструктивно в упрощенном виде или в виде условных знаков согласно ГОСТ 3.1107-81 «Единая система технологической документации. Опоры, зажимы, установочные устройства. Графические обозначения». В таблицах 8 – 11 приведены основные условные обозначения по ГОСТ 3.1107-81.

Таблица 8

Условные обозначения опор

Опора	Обозначение опоры на видах		
	спереди	сверху	снизу
Неподвижная			
Подвижная			
Плавающая			
Регулируемая			

Таблица 9

Обозначения для указания формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств

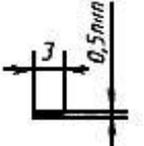
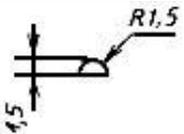
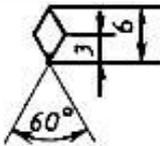
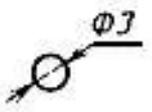
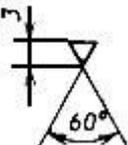
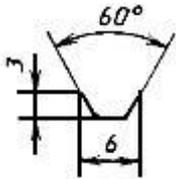
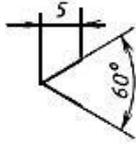
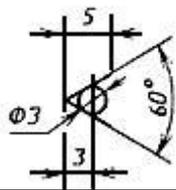
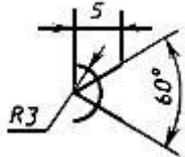
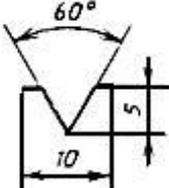
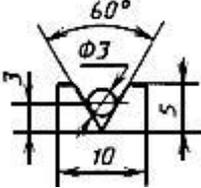
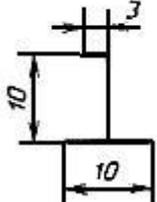
Формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах	Формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах
Плоская		Коническая	
Сферическая		Ромбическая	
Цилиндрическая (шариковая)		Трехгранная	
Призматическая			

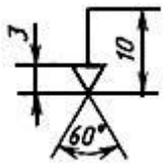
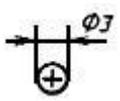
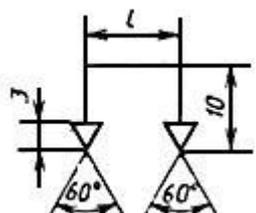
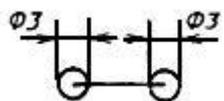
Таблица 10

Обозначения установочных устройств

Наименование установочного устройства	Обозначение установочного устройства
1	2
Центр неподвижный	
Центр вращающийся	

1	2
Центр плавающий	
Оправка цилиндрическая	
Оправка шариковая (роликовая)	
Патрон поводковый	
Патрон двухкулачковый	
Патрон трехкулачковый	
Патрон четырехкулачковый	

Обозначения зажимов

Наименование зажима	Обозначение зажима на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Одиночный			
Двойной			

Для указания устройств зажимов приняты обозначения: пневматические – *P*; электрические – *E*; магнитные – *M*; электромагнитные – *EM*; гидравлические – *H*; прочие – без обозначения.

2.8. Составление предварительного варианта маршрута (плана)

изготовления детали в целом

Составление маршрута изготовления детали в целом представляет сложную задачу с большим количеством возможных вариантов решения. Его цель – дать общий план обработки заготовки, наметить содержание операций технологического процесса и выбрать тип оборудования.

Для решения этой задачи могут быть даны следующие методические указания. При установлении общей последовательности обработки сначала обрабатывают поверхности, принятые за установочные базы. Затем обрабатывают остальные поверхности в последовательности обратной степени их точности, т. е. чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже она обрабатывается. Заканчивается обработка той поверхностью, которая является наиболее

точной и имеет наибольшее значение для детали. В конце маршрута часто выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, к которым, например, относят наружные резьбы и другие элементы деталей.

В целях своевременного выявления раковин и других дефектов материала, сначала производят черновую, а если потребуется, и чистовую обработку поверхностей, на которых эти дефекты не допускаются. В случае обнаружения дефектов заготовку либо бракуют без дальнейшей излишней затраты труда, либо принимают меры для исправления брака.

В производстве точных ответственных машин маршрут обработки часто делят на три последовательные стадии: черновую, чистовую и отелочную. На первой стадии обработки снимают основную массу материала в виде припусков и напусков, вторая – имеет промежуточное значение, на последней – обеспечивается заданная точность и шероховатость основных поверхностей детали. В пользу такого расчленения маршрута могут быть приведены следующие соображения. На черновой стадии обработки имеют место сравнительно большие погрешности, вызываемые деформациями технологической системы от сил резания и сил закрепления заготовки, а также ее интенсивный нагрев. Чередование черновой и чистовой обработок в этих условиях не обеспечивает заданную точность.

После черновой обработки наблюдаются наибольшие деформации заготовки в результате перераспределения остаточных напряжений в ее материале. Группируя обработку по указанным стадиям, мы увеличиваем разрыв во времени между черновой и отделочной обработкой и даем возможность более полно выявиться деформациям до их устранения на последней стадии обработки.

Вынесением отделочной обработки в конец маршрута уменьшается риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей в процессе обработки и транспортировки. Кроме этого, черновая обработка может выполняться на специально выделенном изношенном или неточном оборудовании рабочими более низкой квалификации. Изложенный принцип построения маршрута, однако, не во всех случаях является обязательным. Слепое следование

ему иногда может привести к созданию нереальных процессов. При жесткой заготовке и малых размерах обрабатываемых поверхностей окончательная обработка отдельных элементов может выполняться и в начале маршрута без каких-либо вредных последствий. Данный принцип в определенной мере противоречит также принципу концентрации обработки, когда в одной операции могут выполняться переходы черновой и чистовой обработок (изготовление деталей из прутка на автоматах).

Если деталь подвергается термической обработке, то технологический процесс механической обработки разделяется на две части: операции процесса до термической обработки и операции после нее. Для устранения возможных короблений часто приходится предусматривать правку деталей или повторную обработку отдельных поверхностей для обеспечения заданных точности и шероховатости. Отдельные виды термической обработки в большей степени усложняют процесс механической обработки. Так, при цементации обычно требуется науглеродить отдельные участки детали. Это достигается защитным омеднением остальных участков или оставлением на них припуска, который снимается дополнительной обработкой после цементации, но до закалки.

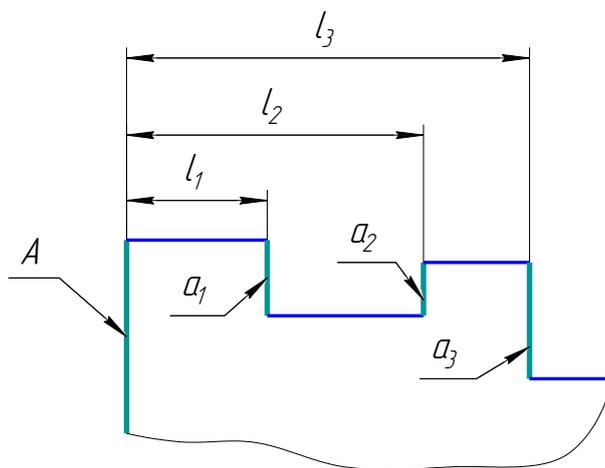


Рис. 8. Схема простановки размеров

Последовательность обработки в определенной степени зависит от системы простановки размеров. В первую очередь следует обрабатывать ту по-

верхность, относительно которой на чертеже координировано большее количество других поверхностей детали. При простановке размеров согласно рис. 8 сначала обрабатывают поверхность A , а затем в произвольном порядке поверхности a_1, a_2, a_3 .

Операции вспомогательного или второстепенного характера (сверление мелких отверстий, снятие фасок, прорезка канавок, зачистка заусенцев и т. п.) обычно выполняют на стадии чистовой обработки. На данном этапе маршрута последовательность выполнения этих операций часто может меняться; она не влияет на качественные показатели и экономику процесса в целом.

Операции технического контроля намечают после тех этапов обработки, где вероятно повышенное количество брака, перед сложными и дорогостоящими операциями, а также в конце обработки. При выполнении большинства операций функции технического контроля выполняются выборочно «летучими» контролерами, а также станочниками и наладчиками. На отдельных, в основном предварительных, операциях, где используется мерный режущий инструмент (сверла, зенкеры) контроль обычно не производят, полагаясь на правильность размера стандартного инструмента. Это сокращает количество контролеров и издержки производства. Размер выборок при выборочной приемке массовых деталей производят по правилу математической статистики.

При проектировании операций технического контроля исходными данными являются точность контроля (допустимая погрешность контроля составляет не более 20% от допуска на размер) и его производительность. Технолог устанавливает объект, метод и средства контроля. Им дается техническое задание на конструирование специальных контрольно-измерительных инструментов и приспособлений; выбирается схема контрольного приспособления с учетом наименьшей себестоимости выполнения контрольной операции.

При проектировании технологических процессов для существующих заводов, где цехи организованы по видам обработки, последовательность обработки устанавливают с учетом возможного сокращения путей транспортировки деталей. В данном случае, например, выполняется токарная обработка, затем

фрезерная и т. д.

Предварительное содержание операций устанавливается объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на выбранном типе станка. В массовом производстве содержание операций определяется из условия, чтобы их длительность была равна или кратна темпу. На содержание операций влияет также необходимость сокращения количества перестановок деталей со станка на станок, что имеет большое значение для условий тяжелого машиностроения.

Принципиально правильный подход к составлению маршрута изготовления деталей различных классов (валов, дисков, втулок и т.п.) для данных производственных условий должен определяться на базе типизации технологических процессов [11 – 13].

При проектировании в технологическом маршруте изготовления детали наряду с основными операциями должны быть продуманы и предусмотрены также и вспомогательные, например: мойка, сушка, слесарная зачистка острых кромок, снятие заусенцев и т.п.

3. Оформление пояснительной записки

Пояснительная записка составляется в течение всей работы при выполнении индивидуального задания. На последних этапах выполнения пояснительная записка окончательно оформляется. Пояснительная записка пишется от руки чернилами разборчивым почерком или печатается на одной стороне листа писчей бумаги формата А4, нумеруется и брошюруется. Она должна быть краткой (15...20 страниц), написана грамотно, хорошим литературным языком.

Рекомендуется следующая структура пояснительной записки по индивидуальному заданию:

Титульный лист;

Задание на самостоятельную работу;

Содержание;

Введение;

Анализ служебного назначения и конструктивных особенностей заданных деталей;

Анализ соответствия технических требований, норм точности, и качества основных поверхностей их функциональному назначению при эксплуатации заданных деталей;

Анализ применяемых конструкционных материалов для изготовления заданных деталей и выбор рациональной марки;

Анализ методов изготовления заготовок для заданных деталей и выбор рационального способа;

Выбор установочных технологических баз;

Разработка маршрута (плана) механической обработки отдельных основных поверхностей детали;

Составление предварительного варианта маршрута (плана) изготовления детали в целом;

Выводы и заключения;

Библиографический список;

Комплект маршрутных карт.

4. Оценка индивидуальной работы

Ввиду большого значения самостоятельной работы в подготовке студентов для практической деятельности зачет проводится в форме защиты студентом выполненного им индивидуального задания.

По результатам выполнения и защиты индивидуального задания устанавливается оценка в пределах 53...100 баллов.

Оценивается индивидуальная работа по следующим критериям:

а) степени соответствия объема и содержания выполненной работы инди-

видуальному заданию;

б) оригинальности и техническому соответствию принятых решений по вопросам индивидуального задания;

в) качеству выполнения этапов индивидуального задания, принятых решений и оформления пояснительной записки;

г) соответствию выполненных разделов индивидуального задания и оформления пояснительной записки требованиям ГОСТов и ЕСКД, ЕСПД и ЕСТПП;

д) правильности и четкости ответов на вопросы, поставленные преподавателем в ходе защиты.

Библиографический список

1. ГОСТ 25347 – 82. Поля допусков и рекомендуемые посадки [Текст]. – Введ. – 1983 – 07 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 54 с. – (Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок).
2. ГОСТ 14.205 – 83 Технологичность конструкции изделия. Термины и определения [Текст]. – Введ. – 1983 – 07 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1984. – 23 с.
3. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» [Текст]. – Введ. – 1975 – 01 – 01. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
4. ГОСТ 2.308 – 79. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей [Текст]. – Введ. – 1980 – 01 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1980. – 22 с. – (Единая система конструкторской документации).
5. Справочник по конструкционным материалам [Текст]: справочник/ Б.Н. Арзамасов [и др.]; под. ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – 640 с.
6. Торопов, Ю. А. Припуски, допуски и посадки гладких цилиндрических соединений. Припуски отливок и поковок [Текст]: справочник/ Ю. А. Торопов. – 2-е изд. доп. и перераб. – Санкт-Петербург: Профессия, 2007. – 688 с.

7. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/ А.М. Дальский [и др.] – 6-е изд. испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 2005. – 592 с.
8. Технология конструкционных материалов [Текст]: учеб. пособие для вузов/ под. ред. М.А. Шатерина. – Санкт-Петербург : Политехника, 2005. – 597 с.
9. Материаловедение [Текст]: учебник для вузов/ Б.Н. Арзамасов [и др.]; под. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 5-е изд. стереотип. – Москва: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 648 с.
10. Косилова, А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении [Текст]: справочник технолога/ А.Г. Косилова [и др.] – Москва: Машиностроение, 1976. – 288 с.
11. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. В 2-х т. Т.1/ под ред. А.М. Дальского [и др.] – 5-е изд. перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2001. – 912 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]. В 2-х т. Т.2/ под ред. А.М. Дальского [и др.] – 5-е изд. перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2001. – 905 с.
13. Сысоев, С.К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов [Текст]: учеб. пособие/ С.К. Сысоев, А.С. Сысоев, В.А. Левко. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 352 с.
14. ГОСТ 21495 – 76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения [Текст]. – Введ. – 1977 – 01 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1991 – 37 с.
15. ГОСТ 3.1107-81. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения» [Текст]. – Введ. – 1982 – 07 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1983 – 13 с. – (Единая система технологической документации).
16. ГОСТ Р 53464 – 2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку [Текст]. – Введ. – 2010 – 07 – 01.– Москва: Стандартинформ, 2010. – 48 с.
17. ГОСТ 7829 – 70. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготов-

ляемые ковкой на молотах. Припуски и допуски [Текст]. – Введ. – 1971 – 01 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 2000. – 27 с.

18. ГОСТ 7062 – 90. Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски [Текст]. – Введ. – 1992 – 01 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 2003. – 31 с.

19. ГОСТ 8479 – 70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали [Текст]. – Взамен ГОСТ 8479 – 57; введ. 1971 – 01 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 18 с.

20. ГОСТ 7505 – 89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски [Текст]. – Введ. 1990 – 07 – 01. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 57 с.

Продолжение приложения А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Строгание чистовое						\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						
Развертывание черновое						\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						
Развертывание чистовое							\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}					
Развертывание отделочное								\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}				
Точение обдирочное	\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}									
Точение чистовое					\sqrt{Rz}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						
Точение тонкое								\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}				
Растачивание обдирочное		\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}									
Растачивание чистовое					\sqrt{Rz}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						
Растачивание тонкое								\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}				
Фрезерование черновое				\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}								
Фрезерование чистовое						\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						

Окончание приложения А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Шлифование чистовое						\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}						
Шлифование тонкое								\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}			
Полирование									\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	
Хонингование									\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}		
Обкатка								\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}		
Виброобкатка						\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}		
Доводка										\sqrt{Ra}	\sqrt{Ra}	\sqrt{Rz}	\sqrt{Rz}

Минимальный литейный припуск на обработку поверхности отливки

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
До 0,10	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,10 до 0,11	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,11 до 0,12	Черновая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,12 до 0,14	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,14 до 0,16	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,16 до 0,18	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,18 до 0,20	Черновая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,20 до 0,22	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,22 до 0,24	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	2,5	3,1	-	-	-	-	-	-
Св. 0,24 до 0,28	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,3	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	2,5	3,1	-	-	-	-	-	-
Св. 0,28 до 0,32	Черновая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	2,6	3,3	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,0	2,4	3,0	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	-	-	-	-	-	-
Св. 0,32 до 0,36	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	3,3	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	2,5	3,1	3,6	-	-	-	-	-
Св. 0,36 до 0,40	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-	-	-
	Чистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-	-	-

Продолжение приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Тонкая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-
Св. 0,40 до 0,44	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	4,3				
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,8	-	-	-	-
	Чистовая	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,7	3,4	3,9	5,0	-	-	-	-
	Тонкая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-
Св. 0,44 до 0,50	Черновая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	-	-	-
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,3	3,8	4,8	5,8	-	-	-
	Чистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,5	3,9	5,2	6,2	-	-	-
	Тонкая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,6	4,1	5,3	6,3	-	-	-
Св. 0,50 до 0,56	Черновая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	-	-	-
	Получистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,7	3,3	3,8	4,9	5,8	-	-	-
	Чистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,4	4,0	5,1	6,1	-	-	-
	Тонкая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,3	5,5	6,3	-	-	-
Св. 0,56 до 0,64	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5	-	-
	Получистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,9	5,0	6,0	7,1	-	-
	Чистовая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3	-	-
	Тонкая	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,7	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	-	-
Св. 0,64 до 0,70	Черновая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,4	6,5	8,5	-
	Получистовая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,8	3,5	3,9	5,0	6,0	7,1	9,3	-
	Чистовая	0,9	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5	9,8	-
	Тонкая	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,9	4,4	5,6	6,5	7,8	9,8	-
Св. 0,70 до 0,80	Черновая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,6	5,6	6,5	8,5	-
	Получистовая	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1	2,5	2,9	3,6	4,0	5,2	6,2	7,3	9,3	-
	Чистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	9,8	-
	Тонкая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	-
Св. 0,80 до 0,90	Черновая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7	8,5	10,5
	Получистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,7	3,1	3,7	4,1	5,3	6,3	7,3	9,5	11,5
	Чистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Тонкая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,5	12,5
Св. 0,90 до 1,00	Черновая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	12,0
	Тонкая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	6,0	6,9	8,0	10,5	12,5
Св. 1,00 до 1,10	Черновая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,3	3,8	4,8	5,8	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8	10,0	12,5
	Тонкая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,3	3,7	4,4	4,9	6,0	7,1	8,3	10,5	12,5
Св. 1,10 до 1,20	Черновая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9	8,8	11,0
	Получистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	5,4	6,5	7,5	9,8	12,0
	Чистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,5
	Тонкая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	2,8	3,4	3,8	4,4	4,9	6,2	7,1	8,3	10,5	12,5
Св. 1,20 до 1,40	Черновая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,5	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9	9,0	11,0
	Получистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Чистовая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Тонкая	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,7	4,0	4,8	5,1	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
Св. 1,40 до 1,60	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,0
	Чистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5	10,5	13,0
	Тонкая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9	4,3	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,5
Св. 1,60 до 1,80	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	5,2	6,2	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,5	3,8	4,4	4,9	6,0	7,1	8,0	10,0	12,5
	Чистовая	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
	Тонкая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	9,0	11,0	13,5
Св. 1,80 до 2,00	Черновая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	6,1	7,3	9,3	11,0
	Получистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,0	4,6	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Чистовая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
	Тонкая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,8	5,5	5,8	7,1	8,0	9,3	11,5	13,5

Окончание приложения Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Св. 2,00 до 2,20	Черновая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,5	6,3	7,3	9,5	11,5
	Получистовая	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,2	3,4	3,8	4,1	4,8	5,3	6,3	7,3	8,5	10,5	12,5
	Чистовая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,8	6,9	8,0	9,0	11,0	13,5
	Тонкая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,9	4,1	4,6	5,0	5,6	6,1	7,3	8,3	9,5	12,0	14,0
Св. 2,20 до 2,40	Черновая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	4,0	4,5	5,4	6,5	7,5	9,5	11,5
	Получистовая	2,4	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,5	7,5	8,8	11,0	13,0
	Чистовая	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,8	3,9	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Тонкая	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,8	5,1	5,8	6,3	7,5	8,5	9,8	12,0	14,0
Св. 2,40 до 2,80	Черновая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	11,5
	Получистовая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,6	6,7	7,8	9,0	11,0	13,0
	Чистовая	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,2	5,8	6,1	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Тонкая	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,1	4,4	4,6	5,2	5,4	6,1	6,7	8,0	9,0	10,0	12,5	14,5

