

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

Д.Р. Ганин

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

для студентов, обучающихся по направлению подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование
всех форм обучения

Новотроицк, 2022 г.

УДК 621
ББК 34.5
Г 19

Рецензенты:

*Доцент кафедры механики ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет» им. Г.И. Носова, к.т.н.
М.В. Харченко*

*Доцент кафедры электроэнергетики и электротехники
Новотроицкого филиала ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», к.т.н.
А.Н. Бушуев*

Ганин Д.Р. Основы технологии машиностроения: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование всех форм обучения. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2022. – 154 с.

Учебное пособие раскрывает основное содержание дисциплины «Основы технологии машиностроения» и предназначено для самостоятельного изучения студентами, обучающимися по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование. Материалы пособия целесообразно использовать при выполнении курсовых работ по данной дисциплине.

Материалы учебного пособия подготовлены на основе трудов ведущих специалистов в области технологии машиностроения.

Учебное пособие составлено в соответствии с требованиями ФГОС ВО подготовки бакалавров направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»

ISBN 978-5-903472-31-4

© ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС»
Новотроицкий филиал, 2022

Содержание

Введение.....	5
1 Изделие и его элементы.....	9
2 Понятие баз в технологии машиностроения и их классификация по назначению.....	12
3 Функциональное назначение изделий машиностроения	28
4 Технологичность изделий	31
5 Производственный и технологический процессы	43
6 Производительность труда, себестоимость и цена изделий в.....	51
машиностроении.....	51
7 Понятие о точности.....	54
8 Допустимая погрешность конструкторских и технологических	57
размеров, обработки и сборки изделий.....	57
9 Общая погрешность обработки заготовок.....	62
10 Погрешности базирования, закрепления и приспособления	63
11 Погрешности, связанные с инструментом.....	71
12 Погрешности от температурных деформаций	74
13 Погрешность обработки, обусловленные упругими деформациями.....	75
технологической системы от сил резания	75
14 Погрешности, обусловленные геометрической неточностью станка	84
15 Случайные погрешности обработки и законы рассеивания	85
действительных размеров деталей	85
16 Суммирование погрешностей обработки и точностной анализ.....	86
технологических операций.....	86
17 Погрешности сборки.....	87
18 Понятие о качестве поверхностного слоя деталей	88
19 Припуски на обработку	89
20 Выбор заготовок для изготовления деталей машин	92
21 Установление последовательности и выбор методов обработки.....	110
поверхностей заготовок.....	110

22 Разработка технологических процессов изготовления деталей.....	117
23 Разработка технологических процессов сборки изделий	120
24 Выбор технологического оборудования, оснастки и средств	127
контроля при разработке технологического процесса	127
25 Технологическая производительность труда и техническое нормирование	133
26 Технологическая себестоимость изделий.....	141
27 Оценка экономической эффективности.....	142
Перечень вопросов для проверки знаний	151
Список использованных источников	153

Введение

Главной отраслью промышленности, определяющей технический прогресс любого государства и возможность развития других отраслей промышленности, а также оказывающей решающее влияние на уровень жизни людей, является машиностроение, обеспечивающее изготовление и совершенствование имеющихся машин [1].

Отрасль, изучающая закономерности, действующие в процессе изготовления машин, занимающаяся их прогнозированием в целях использования закономерностей для обеспечения требуемого качества машин и наименьшей их себестоимости, называется технологией машиностроения [1]. Развитие данной отрасли потребовало выделения в самостоятельную дисциплину «Основы технологии машиностроения» [2].

Основная идея дисциплины «Основы технологии машиностроения» заключается в умении разрабатывать технологические процессы изготовления деталей и сборки машин, а главной целью студента при изучении курса «Основы технологии машиностроения» является овладение методами построения технологических и производственных процессов, обеспечивающих получение качественных машин при наименьших затратах живого и овеществленного труда.

Значительный вклад в развитие технологии машиностроения был сделан нашими соотечественниками.

Мастер А. Чохов в 1587 г. отлил и изготовил Царь-пушку [1].

На Тульском оружейном заводе в 1714 г. М.В. Сидоров создал «вододействующие машины» для сверления оружейных стволов [3]. В этом же году на Олонекских заводах В.И. Геннин построил многопозиционный станок.

В 1715 г. Я. Батищев создал хонинговальную машину для одновременной отделки двенадцати стволов [3].

Механик Петра I А.К. Нартов разработал ряд технологических процессов изготовления оружия и постройки кораблей, создал оригинальные станки и инструменты, принципиальные схемы которых используются и ныне [1]. Кроме того, А.К. Нартову принадлежит изобретение (около 1718 г.) самоходного суппорта токарного станка с ходовым винтом [3]. До этого времени инструмент на протяжении многих веков держали в руках, опираясь на подручник.

Большой вклад в развитие обработки различных материалов внес М.В. Ломоносов, построивший и применивший в своих мастерских оригинальные лоботокарные, сферотокарные, шлифовальные и другие станки [3].

На Тульском оружейном заводе в 1761 г. впервые в мире было разработано и внедрено изготовление взаимозаменяемых деталей, контроль которых

осуществлялся с использованием калибров [1]. Производство взаимозаменяемых деталей и узлов в России было освоено на 70-80 лет раньше, чем в Европе [3].

В 1763-1765 гг. под руководством И.И. Ползунова была построена первая в мире паровая машина для привода металлообрабатывающих станков [2, 3].

В период с 1810 по 1826 гг. П.Д. Захаво создал несколько уникальных станков по сверлению стволов, а также станков для изготовления и обработки штыковых трубок, что способствовало, в том числе, Тульскому оружейному заводу достичь европейской известности и славы.

Но, несмотря на отдельные выдающиеся изобретения, станкостроение и технология машиностроения в России XVIII-XIX вв. развивались с отставанием от ведущих промышленных стран мира, например, Англии, представителем которой Г. Модсли создал механизированный суппорт, систему смены зубчатых колес, микрометр, устройства автоматического останова, токарно-винторезный станок с крестовым суппортом, отрезной с маятниковой пилой станок, многошпиндельный станок, сверлильный станок, долбежный станок, поперечно-строгальный станок, зубострогальный станок, расточной станок и модификации фрезерных станков [3].

Начало изучения рациональных способов обработки заготовок на станках, обеспечивающих получение готового изделия, соответствующего по размерам, форме и качеству поверхности заданным требованиям, относится к началу XIX в.

В 1804 г. В.М. Севергин сформулировал основные положения о технологии процессов, а впервые обобщил накопленный производственный опыт, по-видимому, профессор Московского университета И.А. Двигубский, издавший в 1807 г. книгу «Начальные основания технологии или краткое описание работ, на заводах и фабриках производимых» [4].

И.А. Тиме в 1885 г. создал первый капитальный труд «Основы машиностроения, организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ» [1]. Исследования И.А. Тиме легли в основу науки о резании металлов, в которой раскрываются вопросы правильного понимания процесса резания как последовательного скалывания отдельных элементов металла и формулируются основные законы резания.

А.П. Гавриленко создал труд «Технология металлов», в котором обобщил опыт и дал теоретические основы технологии машиностроения, долгие годы являвшийся основным курсом, пользуясь которым, училось несколько поколений русских инженеров [1].

К первым трудам по технологии машиностроения, опубликованным в СССР, относятся работы А.П. Соколовского, изданные в 1930-1932 гг., а также «Основы проектирования технологических процессов» А.И. Каширина (1933 г.), «Теория размерных цепей» Б.С. Балакшина (1933 г.), «Технология автотракторостроения» В.М. Кована (1935 г.) и другие [5].

Кроме вышеперечисленных ученых значительный вклад в развитие технологии машиностроения сделан И.С. Амосовым, Н.С. Ачерканом, Б.М. Базровым, В.В. Бойцовым, Н.А. Бородачевым, К.В. Вотиновым, Л.А. Глейзером, Г.К. Горанским, Б.Д. Грозиным, А.М. Дальским, В.И. Дементьевым, Ф.С. Демьянюком, В.С. Дикушиным, Р.З. Диланяном, И.В. Дуниным-Барковским, П.Е. Дьяченко, М.Е. Егоровым, Ю.М. Ермаковым, А.П. Знаменским, А.А. Зыковым, И.И. Ивашкевичем, А.И. Исаевым, Н.М. Капустинным, И.М. Колесовым, А.И. Кондаковым, А.Г. Косиловой, В.С. Корсаковым, С.Н. Корчаком, Б.И. Костецким, Б.А. Кравченко, И.В. Крагельским, М.С. Красильщиковым, В.А. Кудиновым, И.В. Кудрявцевым, Ю.В. Линником, Е.И. Луцковым, А.А. Маталиным, Н.Г. Мельниковым, Р.К. Мещеряковым, С.П. Митрофановым, М.П. Новиковым, Д.Д. Папшевым, А.В. Подзеем, Ю.Г. Проскуряковым, С.П. Протопоповым, Э.В. Рыжовым, Э.А. Сателем, С.С. Силиным, В.А. Скраганом, М.Д. Солодовым, Ю.М. Соломенцевым, А.М. Сулимой, А.Г. Сусловым, М.М. Тверским, В.А. Тимирязевым, А.Г. Холодковой, Л.В. Худобиным, В.Д. Цветковым, Д.В. Чарнко, Ю.Г. Шнейдером, М.О. Якобсоном, А.Б. Яхиным, П.И. Ящерициным и др. [1, 3-5].

Развитие теоретических основ технологии машиностроения принесло выдающиеся практические результаты.

Так, в 1939-40 гг. на Волгоградском тракторном заводе под руководством И.П. Иночкина была построена первая в мире автоматическая линия станков для обработки и сборки ступицы и фланцев поддерживающего ролика тракторной гусеницы [3].

В 1950 г. в Ульяновске начал работу первый в мире завод-автомат по производству автомобильных поршней, спроектированный Экспериментальным институтом металлорежущих станков [3]. При этом все операции от подачи заготовок до упаковки готовой продукции выполнялись без использования ручного труда.

В 1958 г. на Брюссельской всемирной выставке первый в мире токарный станок с программным управлением 1К62ПР получил премию Гран-при [3].

В 1972 г. группа ученых Московского станкоинструментального института под руководством профессора Б.С. Балакшина разработала теорию адаптивного управления станками, открывшую путь к созданию безлюдных технологий – основы современного машиностроения [3].

В настоящее время технология машиностроения развивается, в основном, в следующих направлениях:

- углубленная разработка проблемы влияния методов обработки на физико-химическое состояние металла поверхностного слоя обрабатываемых заготовок и на эксплуатационные свойства и надежность машин;

- разработка проблемы технологической наследственности и упрочняющей технологии;

- разработка методов оптимизации технологических процессов по достигаемой точности, производительности и экономической эффективности при условии обеспечения высоких эксплуатационных качеств и надежности работы машины;

- создание систем автоматического управления ходом технологического процесса с его оптимизацией по всем основным параметрам изготовления и требуемым эксплуатационным качествам;

- создание гибких автоматизированных производственных систем на основе использования вычислительной техники и станков с ЧПУ;

- совершенствование технологических процессов сборки, особенно в направлении ее автоматизации;

- разработка и широкое внедрение в производство малоотходных и ресурсосберегающих технологий.

Технология машиностроения в значительной мере определяет уровень профессиональной подготовки инженера-машиностроителя и его способности к практическому использованию достижений общетеоретических и общинженерных наук [6]. Изучение дисциплины «Основы технологии машиностроения» имеет большое значение в подготовке специалиста, дает знания для повседневной и творческой деятельности при разработке прогрессивных технологий и создании рациональной конструкции машин, позволяет применять для их производства высокопроизводительные методы. Знание «Основ технологии машиностроения» является непременным условием успешной защиты выпускной квалификационной работы и последующей успешной трудовой деятельности инженера-механика любой специализации.

1 Изделие и его элементы

Изделием называется продукт конечной стадии любого машиностроительного производства. Изделием может быть машина, узел (сборочная единица), заготовка или деталь, в зависимости от того, что является объектом данного производства [1].

Машина – это механизм или сочетание механизмов, осуществляющих целенаправленные движения для преобразования энергии или выполнения работы [5]. Практически все машины в настоящее время являются мехатронными системами. Механическая часть этих систем представляет собой объект производства машиностроительных предприятий, электронная – предприятий электронной промышленности.

Заготовкой в машиностроительном производстве является изделие, используемое для изготовления детали [7].

Деталь – это изделие, характерным признаком которого считают отсутствие в нем разъемных или неразъемных соединений (например, вал, шестерня, корпус, державка резца и т.д.) [8].

У каждой детали, предназначенной для сборки, есть *сопрягающиеся и несопрягающиеся* поверхности. Сопрягающиеся поверхности при сборке соприкасаются с поверхностями других деталей, образуя сопряжения.

Сопрягающиеся поверхности, служащие для присоединения к данной детали других деталей, называются *вспомогательными базами* (например, направляющие станины, на которые устанавливают переднюю бабку, опорная плоскость державки под режущую пластинку и т.д.).

Поверхности, выполняющие некоторые рабочие функции, называются *функциональными* (исполнительными или рабочими) (например, боковая поверхность зуба зубчатого колеса, направляющие станков).

Базовые детали – это детали, выполняющие в узле роль соединительного звена, обеспечивающего при сборке соответствующее относительное положение других деталей (например, станина станка, рама автомобиля, державка резца и т.д.).

Сборочная единица (узел) – это часть изделия, которую собирают отдельно, и в дальнейшем она участвует в процессе сборки как одно целое (например, передняя бабка токарного станка).

Комплексы – два и более специфицированных изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Например, ленточный транспортер, который состоит из электродвигателя, редуктора, ведущего и ведомого барабанов и транспортерной ленты. Объединение этих

изделий при сборке создает единую функциональную систему для выполнения транспортных операций.

Комплекты – два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. Примерами являются наборы запасных инструментов и приспособлений (ЗИП), наборы слесарного инструмента и т.д.

Схема соподчинения перечисленных изделий представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Виды изделий и их соподчинение по ГОСТ 2.101-2016 [9]

На этой схеме видно, что, например, в состав сборочной единицы входят детали, сборочные единицы. Аналогично прослеживается состав понятий «комплект» и «комплекс».

Понятие сборочной единицы является чрезвычайно широким. Оно отражает все виды и комбинации возможных объединений элементов, входящих в сборочную единицу. Термин «сборочная единица» может применяться, с одной стороны, к элементам конструкции, состоящих из двух деталей, а с другой – к агрегатам и блокам технической системы, включающим тысячи деталей.

Сборочные единицы технической системы принято разделять по уровню сложности (рисунок 2). Исходным (нулевым) уровнем S_0 сборочных единиц являются детали. В состав сборочной единицы первого уровня S_1 входят только детали. Ко второму и последующим уровням сложности относятся сборочные единицы всех предшествующих уровней, включая детали. С этих позиций понятия «комплект» и «сборочная единица» становятся равноценными, поскольку и те, и другие состоят из деталей и сборочных единиц разных уровней сложности.

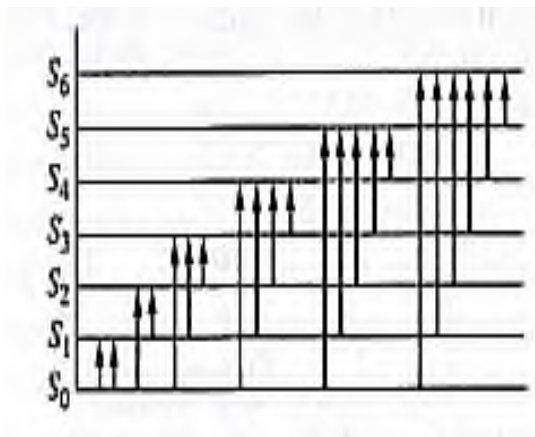


Рисунок 2 – Уровни сложности сборочных единиц [9]

В Единой системе технологической документации (ЕСТД) терминология, принятая в Единой конструкторской документации (ЕСКД), дополнена и расширена.

Группу составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части, называют *сборочным комплектом*, который определяется спецификацией на документированную сборочную единицу. В состав сборочного комплекта входят как изделия, изготовленные на конкретном предприятии, так и комплектующие изделия предприятия-поставщика, связанные с предприятием-изготовителем договорными отношениями.

В ЕСТД вводится понятие недокументированной технологической сборочной единицы с наименованием «узел». Он может собираться отдельно от других составных частей изделия или изделия в целом. Но определить его функцию можно только в совокупности с другими частями изделия. Сборочные единицы с четко выраженным функциональным назначением называют *агрегатами*. Агрегаты, в свою очередь, объединяют в более крупные конструктивные структуры, которые в различных отраслях машиностроения называют *секциями, блоками, модулями* и т.д. Из них в результате общей сборки формируется техническая система. Общая сборка может осуществляться как на заводе, так и на месте эксплуатации.

2 Понятие баз в технологии машиностроения и их классификация по назначению

Известно, что в любой машине детали и сборочные единицы занимают определенное взаимное положение. В процессе изготовления детали ее заготовка также должна занимать и сохранять в течение всего времени обработки определенное положение относительно механизмов и узлов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающих инструментов. Задачи взаимной ориентировки деталей и сборочных единиц в машинах при их сборке и заготовок на станках при изготовлении деталей решаются их *базированием*.

В общем случае *базированием* называется придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495-76). При механической обработке заготовок на станках *базированием* принято считать придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

База – это элементы изделия: поверхности, оси, линии или точки, положение которых ориентирует изделие определенным образом на станке или в сборочной единице.

Из механики известно, что каждое свободное твердое тело имеет шесть степеней свободы относительно осей координат X , Y , Z . Оно может перемещаться параллельно трем взаимно перпендикулярным координатным осям и вращаться вокруг каждой из них (рисунок 3).

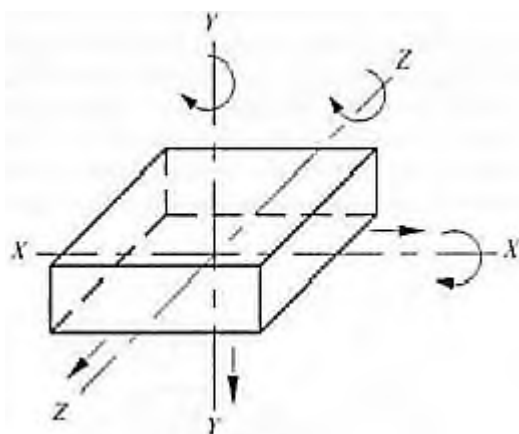
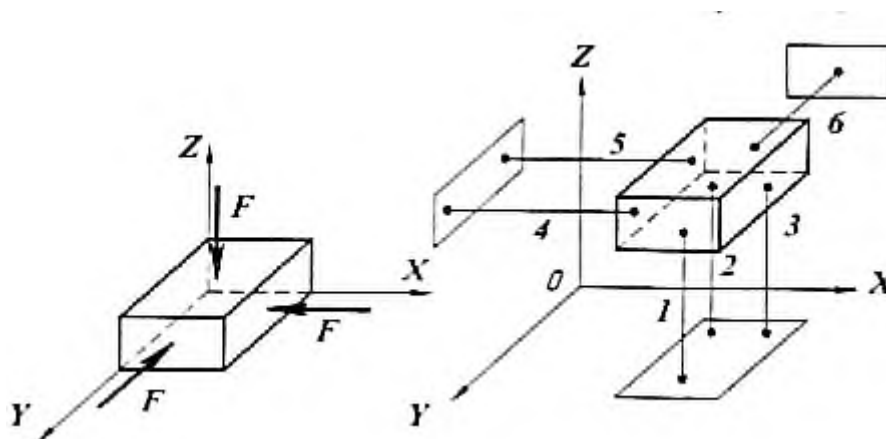


Рисунок 3 – Степени свободы твердого тела в пространстве [1]

Таким образом, для определения положения детали необходимо и достаточно иметь шесть опорных точек, для размещения которых требуются три поверхности (или заменяющие их три сочетания поверхностей). Этот вывод получил название «правило шести точек». Это правило широко исполь-

зуют при конструировании изделий, где возникают задачи соединения с требуемой точностью двух или большего количества деталей, например, при сборке и регулировке машины и ее механизмов, при обработке деталей на различных технологических операциях, когда деталь необходимо установить и закрепить с заданной точностью на столе станка или в приспособлении. *Опорная точка* – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат. В зависимости от формы и размеров заготовки эти точки могут быть расположены на поверхности различно. На заготовках деталей, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, три опорные точки размещаются на поверхности, отличающейся наибольшими размерами, две – на поверхности, отличающейся наибольшей протяженностью, одна – на поверхности, отличающейся наименьшими размерами.

На рисунке 4 призматическое тело прижато к плоскости XOY и лишено трех степеней свободы – перемещения вдоль оси Z и вращения вокруг осей X и Y (рисунок 4).



1-6 – двухсторонние связи или опорные точки

Рисунок 4 – Базирование и закрепление призматического тела [8]

Таким образом, получены три двусторонние связи в виде опорных точек 1-3. Теперь прижмем тело к плоскости YOZ . В этом случае образуются две двухсторонние связи 4 и 5. Общее число опорных точек становится равным пяти. Чтобы лишить тело шестой степени свободы, его необходимо прижать к плоскости XOZ . Таким образом возникает шестая двухсторонняя связь, и тело лишается всех степеней свободы.

Необходимо, чтобы силы закрепления и резания действовали в одном направлении. Это исключает смещение заготовки под действием сил резания, что может привести к поломке инструмента, порче изделия и травмам.

Рассмотрим применение правила шести точек при базировании и закреплении длинного цилиндрического тела (рисунок 5).

Установим и закрепим его на призме или в цанге, лишив его тем самым четырех степеней свободы – перемещения и вращения относительно осей X и Z (рисунок 5, а, б). Таким образом получим четыре двухсторонние связи в виде опорных точек 1-4 (рисунок 5, в). Пятую связь получим, прижимая торцевую часть цилиндра к координатной плоскости XOZ. Это будет пятая опорная точка, которая устраняет возможность перемещения цилиндра вдоль собственной оси. Шестую связь, которая препятствует вращению цилиндра вокруг этой оси, можно получить геометрическим или силовым замыканием.

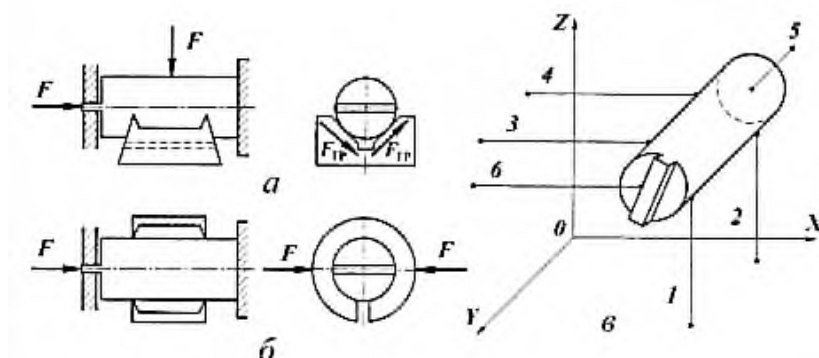


Рисунок 5 – Базирование и закрепление длинного цилиндрического тела [8]

Геометрическое замыкание осуществляется соединением цилиндра с опорой с помощью шпонки или шипа, который может быть размещен на торце цилиндра. Эта связь является двухсторонней и представлена в виде опорной точки 6 (рисунок 5, в).

В этом случае положение цилиндра будет полностью определено.

Силовое замыкание получим, если цилиндр только прижать к призме или зажать в цанге без соединения шпонки или шипа с опорами. Тогда на базовой поверхности возникнут силы трения, которые будут препятствовать вращению цилиндра вокруг собственной оси. Такие связи будем называть *фрикционными*. На схеме рисунок 5, а) эти связи представлены силами трения $F_{тр}$. За счет сил трения осуществляется закрепление заготовки. Однако базирование заготовки в окружном направлении отсутствует, т.к. положение заготовки в этом направлении до закрепления может быть любым, а при базировании заготовка должна занимать вполне определенное положение. Поэтому фрикционная связь не уменьшает число степеней свободы заготовки. Очевидно, для осуществления фрикционных связей необходимо, чтобы силы резания не превышали сил трения, которые возникают на опорных поверхностях при закреплении.

Цилиндрическое тело типа диска будем считать коротким, если его длина существенно меньше диаметра ($l \leq 0,6d$) (рисунок 6).

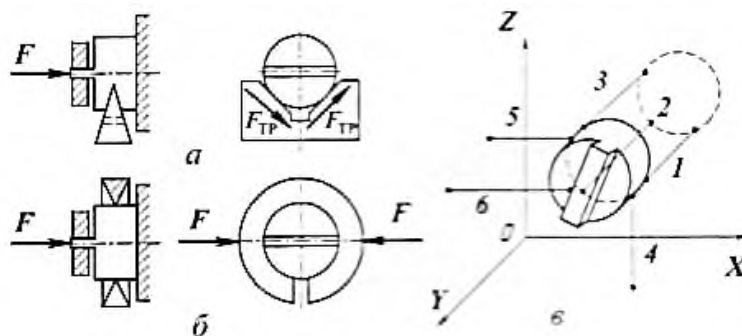


Рисунок 6 – Базирование и закрепление короткого цилиндрического тела [8]

Прижмем диск к плоскости XOZ , лишив ее трех степеней свободы, т.е. перемещения вдоль оси Y и вращения вокруг осей X и Z . Таким образом, получим три двухсторонние связи в виде опорных точек 1-3 (рисунок 6, в).

Контакт боковой поверхности диска с призмой (рисунок 6, а) или втулкой с разрезом (рисунок 6, б) лишает двух его степеней свободы, т.е. перемещения вдоль осей X и Z с образованием двухсторонних связей в виде опорных точек 4 и 5. Шестую связь в виде опорной точки 6 можно получить, как и в предыдущем случае, с помощью шипа.

Примерами длинного конического тела с малой конусностью являются хвостовики различных режущих инструментов: сверл, фрез и т.д. (рисунок 7, а).

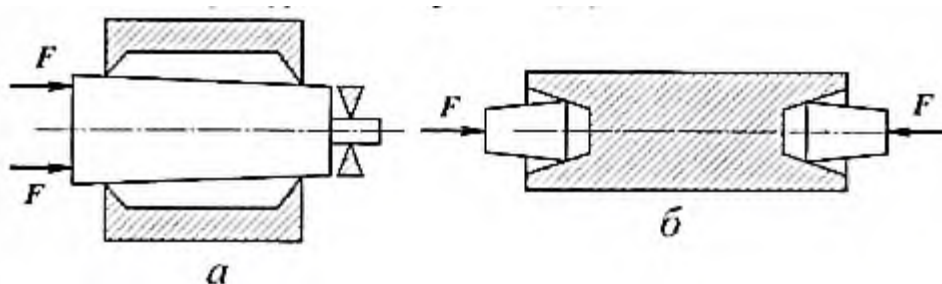


Рисунок 7 – Установка тел с коническими поверхностями [8]

При базировании по такой конической поверхности тело лишается пяти степеней свободы – перемещения всех координатных осей и вращения относительно двух. Шестую степень свободы, вращение вокруг собственной оси, можно устранить с помощью шипа. Препятствовать вращению можно также за счет момента от силы трения на конической поверхности, т.е. фрикционной связи.

Примером цилиндрического тела с двумя короткими коническими поверхностями с большой конусностью является вал с двумя центровыми отверстиями, выполненными по ГОСТ 14034-74. Схема установки такого тела

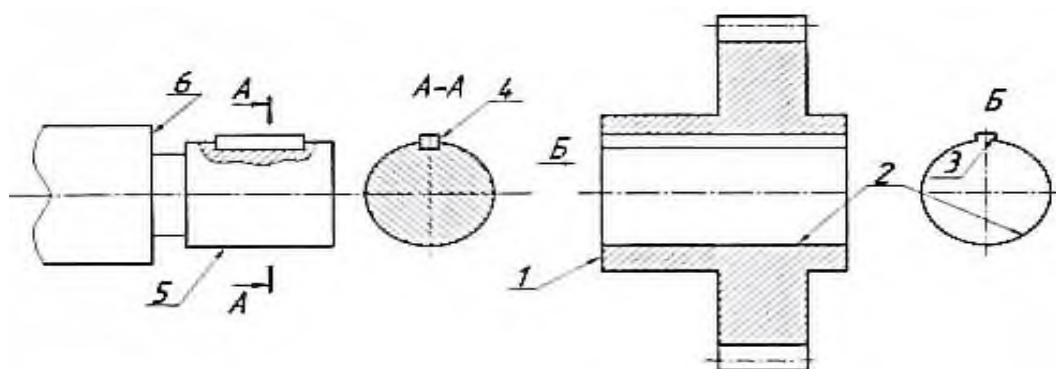
представлена на рисунке 7, б. Базирование по одному отверстию лишает тело возможности перемещения вдоль координатных осей. Возможность поворота вокруг осей остается. Поэтому в данном случае тело обладает тремя степенями свободы. При использовании в качестве базы второго отверстия возможность вращения тела вокруг своей оси сохраняется. Шестую связь можно создать путем использования уже известных средств – шипа или шпонки. Однако, например, при токарной обработке валов с установкой в центрах для этой цели применяется поводковый патрон. Патрон не принимает участия в базировании, а только закрепляет заготовку в окружном направлении за счет создания фрикционной связи. В то время как положение заготовки в этом направлении остается неопределенным.

Поверхности или заменяющие их сочетания поверхностей, относительно которых определяется положение других поверхностей заготовки детали, называются *базирующими поверхностями*.

Согласно ГОСТ 21495-76 классификация машиностроительных баз производится по назначению, лишаемым степеням свободы и характеру проявления.

По назначению машиностроительные базы подразделяются на конструкторские, измерительные и технологические.

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Они подразделяются на основные и вспомогательные. *Основная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. *Вспомогательная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемых деталей (сборочных единиц) относительно данной детали (сборочной единицы). Примеры основных и вспомогательных конструкторских баз показаны на рисунке 8.



1-3 – основные; 4-6 - вспомогательные

Рисунок 8 – Конструкторские базы [8]

В этом случае колесо при сборке присоединяется к валу и поверхности 1-3 зубчатого колеса являются основными конструкторскими базами, а поверхности 4-6 шпонки и вала являются вспомогательными конструкторскими базами.

Основными и вспомогательными базами могут быть только конструкторские базы. В то же время основная конструкторская база может быть измерительной и технологической базой.

Выбор конструкторских баз в качестве основных или вспомогательных зависит от последовательности сборки, то есть от того какая из деталей присоединяется к другой детали.

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия (детали) и средств измерения, то есть элемент изделия, от которого производится отсчет размеров или отклонений размеров при измерительном контроле. Пример измерительной базы показан на рисунке 9.

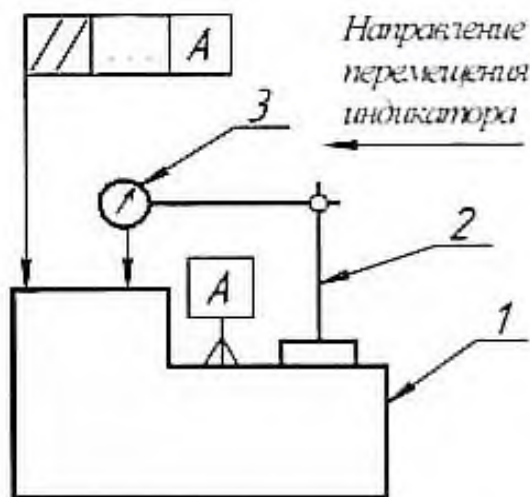
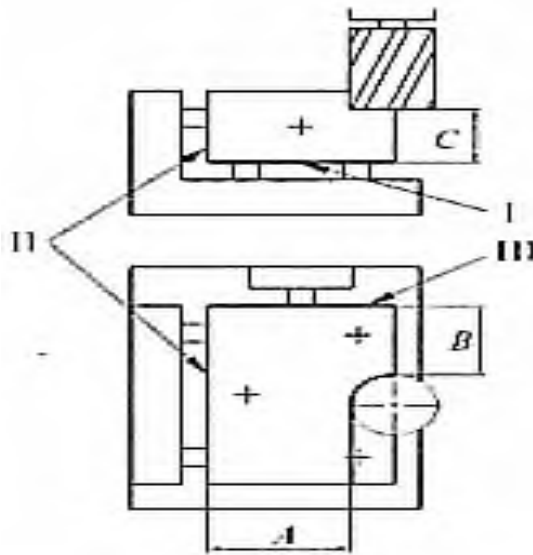


Рисунок 9 – Пример измерительной базы [8]

В данном случае измерительная база определена нормированием отклонения от параллельности верхней плоскости относительно базовой. Для контроля этого отклонения стойку 2 с индикатором 3 перемещают по базовой плоскости А детали 1.

Технологическая база – база, используемая для определения относительного положения заготовки (изделия) в процессе изготовления или ремонта, например, при фрезеровании уступа призматической детали на фрезерном станке при выдерживаемых размерах А, В, С (рисунок 10). Технологической базой могут быть поверхности, линии или точки, определяющие положение заготовки на станке при механической обработке.



I, II, III – комплект технологических баз

Рисунок 10 – Пример технологической базы [1]

При выборе технологических баз необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. В качестве технологической базы желательно выбирать конструкторскую базу.

2. На первой операции технологическую базу следует выбирать с учетом решения одной из двух задач: равномерного распределения припуска между обрабатываемыми поверхностями детали или обеспечения размерной связи между поверхностями, подлежащими обработке и поверхностями необрабатываемыми.

3. В качестве установочной технологической базы следует выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

4. В качестве направляющей технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в одном направлении.

5. В качестве опорной технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наименьшие габариты.

6. Поверхности, которые будут использованы в качестве технологической базы в дальнейшем должны быть обработаны на первой операции, желательно за один установ детали.

По лишаемым степеням свободы, независимо от назначения, базы подразделяют на установочные, направляющие, двойные направляющие, опорные, двойные опорные.

Поверхность или заменяющее ее сочетание поверхностей, лишаящие заготовку детали трех степеней свободы, называют *установочной базой*, в

качестве которой создается или выбирается поверхность (сочетание поверхностей) с наибольшими размерами.

Поверхность или заменяющее ее сочетание поверхностей, лишаящие заготовку детали двух степеней свободы, называют *направляющей базой*, в качестве которой создается или выбирается поверхность (сочетание поверхностей) наибольшей протяженности.

Двойная направляющая база – база, лишаящая заготовку (изделие) четырех степеней свободы – перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Поверхность или заменяющее ее сочетание поверхностей, лишаящие заготовку детали одной степени свободы, называют *опорной базой*, в качестве которой создается или выбирается поверхность (сочетание поверхностей) с наименьшими размерами.

Двойная опорная база – база, лишаящая заготовку (изделие) двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей.

Совокупность *установочной, направляющей и опорной баз* определяет схему базирования заготовки. Каждая из баз контактирует с установочными элементами приспособлений, рассматриваемыми как жесткие опорные точки, лишаящие заготовку соответствующего числа степеней свободы.

Для обеспечения контакта между поверхностями детали и опорными точками необходимо создать зажимные усилия (силовые замыкания), которые рекомендуется располагать против опорных точек.

Для призматического тела, изображенного на рисунке 4, плоскости с одной, двумя и тремя опорными точками, являются соответственно опорной, направляющей и установочной базами.

Для длинного цилиндрического тела, показанного на рисунке 5, боковая поверхность является двойной направляющей базой, а торцевая поверхность и поверхность шипа являются опорными базами.

Для диска, приведенного на рисунке 6, торцевая поверхность является установочной базой, боковая поверхность – двойной опорной базой, а поверхность шипа – опорной базой.

Для длинного конического тела с малой конусностью (рисунок 7, а) коническая поверхность совмещает в себе функции двойной направляющей и опорной баз, которые использовались при базировании длинного цилиндрического тела. Такую коническую поверхность в некоторых случаях называют опорно-направляющей базой. Аналогичные функции выполняют два центральных отверстия в детали (рисунок 7, б). В обоих случаях тела лишаются пяти степеней свободы.

По характеру проявления базы делятся на явные и скрытые.

Явная база – база заготовки (изделия) в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Такие базы проявляют себя лишь при закреплении заготовок в самоцентрирующих зажимах (приспособлениях, в которых при закреплении заготовок оси симметрии зажимов и заготовок совмещаются) (рисунок 11). Это достигается за счет синхронного перемещения зажимных элементов в направлении осей симметрии приспособления либо за счет центрирования заготовок в самих зажимных элементах (губках) приспособлений.

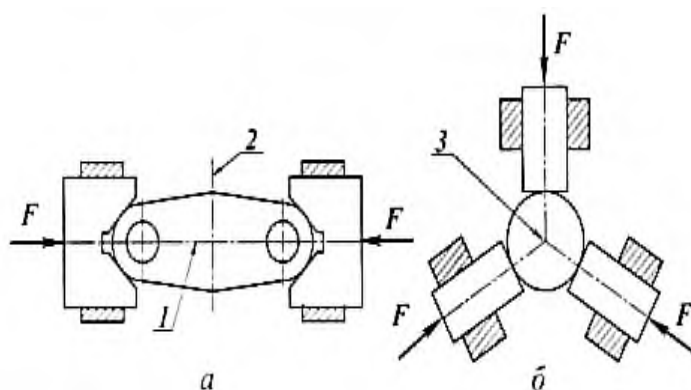


Рисунок 11 – Технологические скрытые базы 1, 2, 3 [8]

В самоцентрирующем устройстве (рисунок 11, а) совмещение осей симметрии заготовки зажимного устройства достигается за счет синхронного перемещения зажимов в виде призм. Данные призмы перемещаются одновременно и с одинаковой скоростью навстречу друг другу. Оси заготовки 1 и 2 после закрепления будут совмещены с осями симметрии приспособления и зажимов. Новая заготовка той же конфигурации, если не учитывать погрешности ее размеров, займет положение предыдущей.

В случае установки цилиндрической заготовки в самоцентрирующем трехлапчатом патроне будут совмещаться оси заготовки и патрона (рисунок 11, б). Согласно ГОСТ 21495-76 такие оси при установке заготовок в самоцентрирующих устройствах следует принимать в качестве баз. Однако, фактическое базирование осуществляется за счет контакта реальных поверхностей заготовок, которые имеют различного рода погрешности. Поэтому в реальных условиях оси заготовок с осями самоцентрирующих устройств не совпадают и скрытые базы таковыми не являются. Практическое значение скрытых баз состоит в том, что их обозначение в технологической документации указывает на необходимость закрепления заготовки в самоцентрирующем устройстве для повышения точности во время механической обработки.

При образовании названий баз признаки классификации должны располагаться в следующей последовательности: по назначению, лишаемым степеням свободы, характеру появления, например, «Конструкторская основная установочная явная база», «Технологическая направляющая скрытая база», «Измерительная опорная явная база». Кроме того, в стандарте имеются определения *проектной* и *действительной* баз.

Проектная база – поверхность, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия.

Действительная база – поверхность, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

В технической литературе также используется ряд устаревших определений для баз: *черновая база*, *чистовая база*, *настроечная база*, *проверочная база*, *искусственная база*.

Черновая база – необработанная поверхность заготовки. По ней заготовку базируют в начальной стадии обработки на первом установе или первой операции для обработки поверхностей, которые затем используются как базы на последующих операциях.

Чистовая база – обработанная поверхность. По ней заготовку базируют на последующих установках или операциях.

Настроечная база – поверхность заготовки, которая обрабатывается на данном установе и связана размером с технологической базой. По данной базе настраивают станок для обработки на том же установе других поверхностей, связанных с ней размерами. Понятие *настроечной базы* используется при обработке заготовок партиями на предварительно настроенных станках.

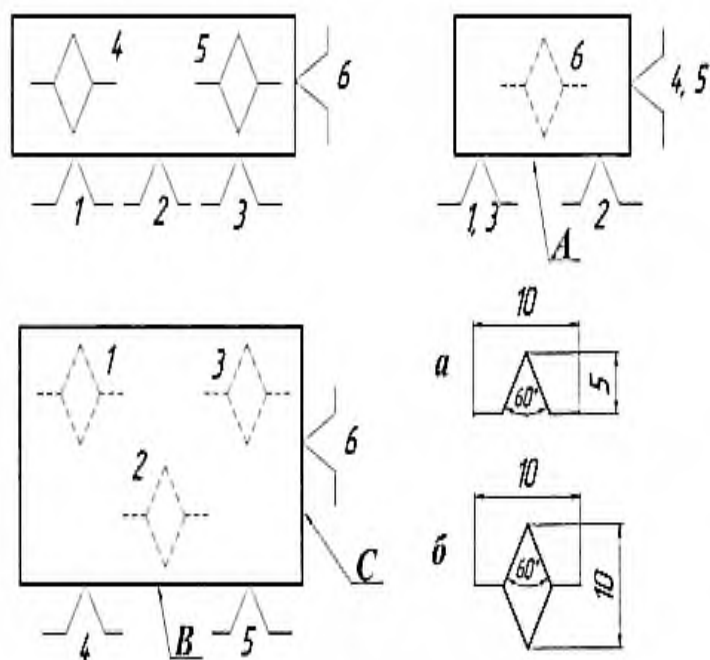
Проверочная база – поверхность, линия или точка заготовки, по которым производится выверка положения заготовки на станке. Их используют в единичном и мелкосерийном производствах.

Искусственная база – поверхность, которая отсутствует у детали, но создается специально на заготовке, если нельзя или трудно использовать другие поверхности для ее надежного базирования и закрепления при обработке с заданной точностью.

При проектировании технологических процессов механической обработки решение задачи базирования и закрепления заготовки на станке, в приспособлении заключается в выборе баз и устройств, необходимых для закрепления заготовки. Результаты данного решения оформляются в виде схем базирования и установа.

Схемой базирования называется схема расположения опорных точек на базах. На схеме базирования изображают контур изделия в проекциях и опорные точки на базах, которые символизируют двухсторонние связи. На рисунке 12 приведена схема базирования призматической детали по трем

взаимноперпендикулярным плоскостям с условным изображением опорных точек.



а – на линии (контуре), б – на поверхности (плоскости),
А, В, С – базы детали

Рисунок 12 – Схема базирования призматической детали с условным обозначением опорных точек 1-6 [8]

Стандартом установлены следующие правила изображения схемы базирования:

- все опорные точки на схеме изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек;
- при наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка, а около нее проставляют номера совмещенных точек;
- если опорные точки расположены на втором плане за контуром детали, то они изображаются штриховыми линиями;
- число проекций заготовки на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Схема базирования не определяет каким образом, с помощью каких устройств реализована двухсторонняя связь. Для этого в технологической документации оформляется схема установка, на которую наносят контур изделия и условные обозначения опор, зажимов, установочных устройств, с помощью которых производится базирование и закрепление заготовки. Графические обозначения опор, зажимов, установочных устройств установлены

«ГОСТ 3.1107-81. Единая система технологической документации (ЕСТД). Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения» и представлены в таблицах 1, 2, 4. В технологической документации для условных обозначений опор, зажимов и установочных устройств следует применять сплошную тонкую линию по ГОСТ 2.303-79. В таблице 1 приведен один из вариантов конструкции опор.

Таблица 1 – Условные обозначения опор в технологической документации [8]

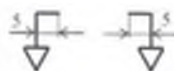
Наименование опоры	Обозначение опоры на видах			Варианты конструкции
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу	
1. Неподвижная				
2. Подвижная				
3. Плавающая				
4. Регулируемая				

Допускается обозначение подвижной, плавающей и регулируемой опор изображать как обозначение неподвижной опоры на аналогичных видах.

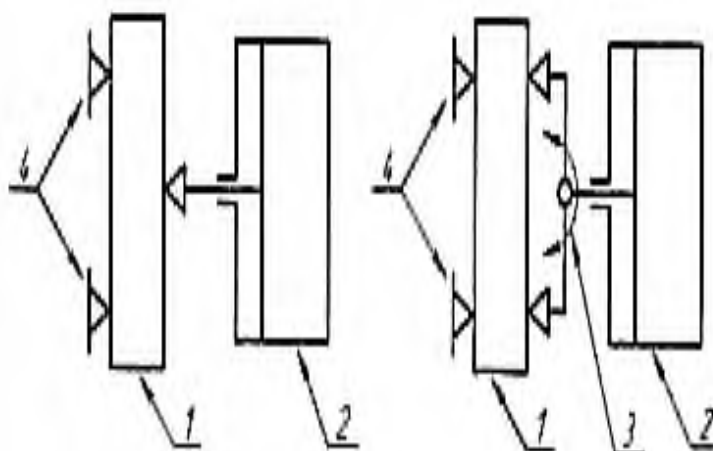
Таблица 2 – Условные обозначения зажимов в технологической документации [8]

Наименование зажима	Обозначение зажимов на видах		
	Спереди, сзади	Сверху	Снизу
1. Одночленной			
2. Двойной			

Для двойных зажимов длина плеч 1 устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил. Обозначение двойного зажима на виде спереди или сзади при совпадении точек приложения силы допускается изображать как обозначение одиночного зажима на аналогичных видах. Допускается упрощенное обозначение двойного зажима в виде:



На рисунке 13 изображены принципиальные схемы действия одиночного и двойного зажимов.

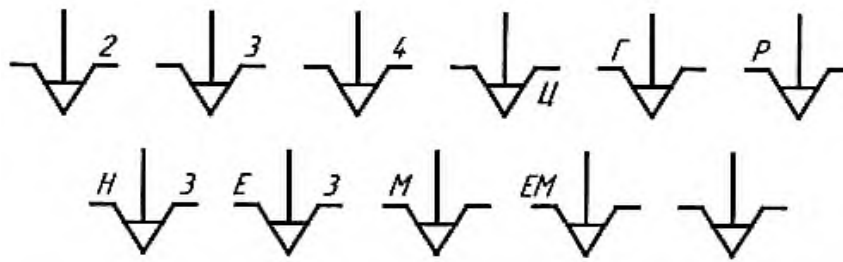


1 – заготовка; 2 – пневмоцилиндр (гидроцилиндр); 3 – шарнир;
4 – неподвижные опоры

Рисунок 13 – Схема действия одиночного и двойного зажимов [8]

Условные обозначения зажимов различного типа и действия представлены на рисунке 14. Количество точек приложения сил зажима к изделию изображают справа от обозначения зажима, а принцип действия обозначают слева, за исключением цанговых устройств.

Установочными устройствами являются: центр неподвижный, центр вращающийся, центр плавающий, оправка цилиндрическая, оправка шариковая (роликовая), патрон поводковый (таблица 3).



2, 3, 4 – патроны двух-, трех- и четырехручачковые;

Ц – патроны и оправки цанговые;

Г – патроны и оправки с гидропластовым зажимом;
патроны и зажимы:

Р – пневматические; Н – гидравлические; Е – электрические;

М – магнитные; ЕМ – электромагнитные; без обозначения – прочие

Рисунок 14 – Условные обозначения зажимов различного типа и действия [8]

Таблица 3 – Условные обозначения установочных устройств в технологической документации [8]

Наименование установочного устройства	Обозначение установочного устройства на видах	
	Спереди, сзади, сверху, снизу	Слева, справа
1. Центр неподвижный		Без обозначения
2. Центр вращающийся		Без обозначения
3. Центр плавающий		Без обозначения
4. Оправка цилиндрическая		
5. Оправка шариковая (роликковая)		
6. Патрон поводковый		

Допускается обозначения опор и установочных устройств, кроме центров, наносить на выносных линиях соответствующих поверхностей.

Для указания формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств применяются обозначения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Условные обозначения формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств [8]

Наименование формы рабочей поверхности	Обозначение формы рабочей поверхности на всех видах	Форма реальной поверхности
1. Плоская		
2. Сферическая		
3. Цилиндрическая (шариковая)		
4. Призматическая		
5. Коническая		
6. Ромбическая		
7. Трехгранная		

Обозначения форм рабочих поверхностей наносят слева от обозначения опоры, зажима или установочного устройства.

Для указания рельефа рабочих поверхностей (рифленая, резьбовая, шлицевая) следует применять обозначения, приведенные на рисунке 15.

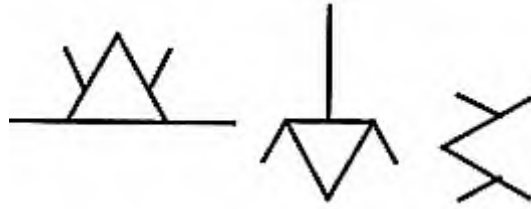


Рисунок 15 – Условные обозначения опоры, зажима и неподвижного центра с рифленой поверхностью [8]

3 Функциональное назначение изделий машиностроения

Каждая машина предназначена для выполнения определенных функций при заданных условиях эксплуатации. Определение этих функций базируется на научном анализе и маркетинге. При этом необходимо добиться:

- конкурентоспособности и технологичности процесса, для реализации которого предназначена проектируемая машина;
- конкурентоспособности и перспективности продукции и услуг для производства и реализации которых предназначается данная машина.

После этого вырабатываются требования к служебному назначению машины:

- вид продукции или услуг, для которых предназначена машина;
- производительность машины;
- уровень автоматизации машины;
- технологичность машины;
- условия эксплуатации машины (температура, влажность, агрессивность среды и т.д.);
- безотказность и долговечность машины;
- удобство управления машиной, безопасность работы и обслуживания;
- дизайн машины.

Учитывая многообразие машин, для каждого их наименования эти требования уточняются и конкретизируются.

Сборочная единица, как правило, предназначается для передачи и увеличения силы, преобразования движения и осуществления других действий, необходимых для выполнения машиной своих функций. Исходя из этого, все сборочные единицы должны удовлетворять требованиям к своему служебному назначению, перечисленным для машины.

Свое функциональное назначение машина и сборочные единицы выполняют с помощью связей, действующих между исполнительными поверхностями отдельных деталей. Эти связи могут быть размерными, кинематическими, динамическими, гидравлическими, пневматическими, электрическими, магнитными, световыми, звуковыми и др. Проектирование машины и сборочных единиц начинают с выбора такого сочетания связей, которое позволяет им выполнять свое функциональное назначение с наивысшим КПД.

Наиболее широкими функциями обладают цилиндрические и резьбовые соединения деталей машин.

Цилиндрические соединения используют как для ориентированного перемещения (осевого и вращательного) одной из сопрягаемых деталей относительно другой, так и для передачи осевых нагрузок и крутящего момента от одной сопрягаемой детали к другой.

Анализ показывает, что резьбовые соединения в наилучшей степени позволяют обеспечить сборку и разборку неподвижных соединений деталей и сборочных единиц машины, увеличение передаваемой силы, а также точность линейного перемещения одной детали относительно другой.

Деталь представляет собой комплекс взаимосвязанных поверхностей, выполняющих различные функции. Исполнительные поверхности бывают соприкасающимися и функциональными. Соприкасающиеся поверхности детали машины или сборочной единицы контактируют с соответствующими поверхностями других деталей. Функциональные поверхности детали предназначены для выполнения определенных функций при эксплуатации машины.

На каждую деталь в машине или в сборочной единице возлагают исполнение определенных функций, вытекающих из общего функционального назначения машины или сборочной единицы. Например, корпусные детали, станины, кронштейны и т.п., выполняя несущую роль, служат для крепления других деталей и сборочных единиц; валы служат для передачи крутящего момента и установки на них деталей, с помощью которых передается крутящий момент; зубчатые колеса передают крутящий момент.

Безотказность и долговечность исполнения своих функций изделием машиностроения определяется рядом эксплуатационных свойств деталей и их соединений: статической и усталостной прочностью, поверхностной контактной статической и динамической прочностью, коррозионной стойкостью, контактной жесткостью, герметичностью, износостойкостью, прочностью посадок и др. Все эти эксплуатационные свойства в значительной мере зависят от качества поверхностного слоя деталей, так как все разрушения (статические, усталостные, контактные, коррозионные и др.) начинаются с поверхности.

Под *статической и усталостной прочностью* деталей понимают их способность сопротивляться разрушению при воздействии соответственно статической и динамической нагрузки.

Качество поверхностного слоя оказывает влияние на статическую и усталостную прочность деталей через коэффициент концентрации напряжений.

Поверхностная контактная статическая и динамическая прочность определяется способностью поверхностного слоя детали сопротивляться разрушению при контакте с другой деталью под воздействием соответственно статических и динамических нагрузок.

При статической нагрузке начало поверхностных контактных разрушений определяется ее величиной.

При действии статической и динамической нагрузок контактные разрушения определяются величиной накапливаемой контактной деформации.

Под *коррозионной стойкостью деталей* понимают способность поверхностных слоев сопротивляться разрушению под действием внешней среды.

Контактная жесткость определяет способность слоев деталей, находящихся в контакте, сопротивляться действию сил, стремящихся их деформировать.

Контактные перемещения составляют значительную часть в балансе упругих перемещений машин и сборочных единиц. Например, в суппортах токарных станков контактные деформации составляют 80...90 % общих перемещений, а в одностоечных координатно-расточных и вертикально-фрезерных станках – до 70 %, в двухстоечных карусельных станках – до 40 % и т.д.

Контактная жесткость сказывается на точности работы приборов, на точности обработки и сборки, т.е. на качестве машиностроительных изделий.

При повторных нагрузках (без их увеличения) контактные перемещения определяются упругими деформациями.

Герметичность соединений определяет их способность удерживать утечки газа или жидкости.

При работе пар трения происходит изнашивание (разрушение) поверхностных слоев, которое приводит к уменьшению размеров контактирующих деталей, т.е. их износу.

Под прочностью посадок с натягом понимают их способность передавать крутящий момент и осевые нагрузки без взаимного проскальзывания сопрягаемых деталей.

Таким образом, выполнение функционального назначения изделия машиностроения в значительной мере определяется их качеством.

4 Технологичность изделий

Под *технологичностью конструкции изделия* понимают совокупность свойств конструкции, определяющих ее пригодность в достижении оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работы. Технологичность конструкции изделия выражает его конструктивные особенности: состав и взаимное расположение его узлов; форму и расположение поверхностей деталей и соединений; их состояние, размеры, материалы и т.д. Конструктивное исполнение изделия во многом определяет его функциональность, надежность, эргономичность, эстетичность, экономичность, безопасность, экологичность.

В соответствии с современной тенденцией отработка на технологичность смещается на стадию разработки конструкторской документации, то есть изделие обрабатывается на технологичность в процессе его конструирования, а не изготовления. Поэтому при проектировании деталей конструктор должен уметь выбирать марку материала и оптимальные методы (способы) получения заготовки, ее последующей обработки, обеспечивающие требуемое качество.

Оценка технологичности конструкции во время разработки технологического процесса обязательна, так как обычно квалификация технолога в области проектирования технологических процессов выше, чем у конструктора. Оценка технологичности конструкции на стадии производства – проверка эффективности конструкторских и технологических решений, позволяющая устранить имеющиеся недостатки, внести изменения в конструкцию изделий, вскрывает резервы для дальнейшего повышения технологичности конструкции.

Технологичность конструкции оценивается качественно и количественно.

Качественная оценка (хорошо – плохо, допустимо – недопустимо) предшествует количественной.

Количественную оценку выполняют по принятым показателям технологичности (трудоемкости, себестоимости, материалоемкости) ГОСТ 14.201-83.

Выбор показателей технологичности зависит от назначения детали, типа производства и условий эксплуатации.

Для заготовок в качестве показателей технологичности применяют коэффициент использования материала, технологическую себестоимость, трудоемкость изготовления и др.

Коэффициент использования материала (КИМ) – безразмерная величина, определяемая отношением массы детали m_d к массе израсходованного материала m_p :

$$\text{КИМ} = m_d/m_p. \quad (1)$$

Масса израсходованного материала может быть определена как сумма массы заготовки $m_{\text{заг}}$, массы технологических потерь, которые образуются в процессе изготовления заготовки, и массы неизбежных потерь, связанных с отработкой технологического процесса. Значение $m_{\text{заг}}$ определяется суммой масс получаемой детали, напуска и припуска на механическую обработку.

При расчете КИМ находят коэффициент выхода годного материала $K_{\text{в.г}}$ в процессе изготовления заготовки:

$$K_{\text{в.г}} = m_{\text{заг}}/m_p, \quad (2)$$

и коэффициент весовой точности:

$$K_{\text{в.т}} = m_{\text{заг}}/m_{\text{заг}}, \quad (3)$$

который определяет количество материала, удаляемого в процессе механической обработки заготовки при получении детали требуемого качества.

Для оценки технологичности конструкции детали необходимо учитывать, что

$$\text{КИМ} = K_{\text{в.г}} \times K_{\text{в.т}}. \quad (4)$$

Обеспечение технологичности деталей на стадии проектирования достигается при соблюдении следующих условий:

- конфигурация изделия представляет собой сочетание наиболее простых геометрических форм;
- формы и размеры отдельных элементов детали (уклоны, радиусы закругления и др.) должны быть по возможности унифицированы;
- точность размеров и шероховатость поверхности деталей должны быть обоснованы;
- желательно использовать способы получения заготовок, не требующие последующего снятия стружки, например, коллоидную объемную штамповку.

Дополнительная оценка может проводиться по степени унификации марок материалов, унификации и нормализации элементов изделия, коэффициентам среднего качества точности и параметров шероховатости поверхностей деталей, возможности автоматизации их изготовления.

Понятие технологичности конструкции изделия необходимо увязывать с серийностью.

При конструировании машин конструктор должен учитывать возможность построения высокопроизводительных технологических процессов общей и узловой сборки. Конструкция машины должна допускать возможность ее сборки из предварительно собранных узлов. Это позволяет осуществлять параллельно сборку нескольких узлов и сократить цикл сборки машины. Необходимо стремиться к использованию стандартных и унифицированных деталей и узлов.

Нужно обеспечить возможность удобного и свободного подвода высокопроизводительных механизированных инструментов к местам соединения деталей и предусмотреть легкость захвата их грузоподъемными устройствами для транспортировки и установки на собираемое изделие.

Для разборки машины при ее обслуживании и ремонте необходимо предусмотреть резьбовые отверстия для отжимных винтов, заменяющих съемники, отверстия для выколоток, рым-болты или литые выступы для захвата и подъема тяжелых деталей и т.д.

При конструировании деталей машин их конфигурация должна быть простой для применения высокопроизводительных технологических методов и предусматривать удобную, надежную базу для установки и закрепления в процессе обработки.

В случаях, когда такая база не обеспечивается, должны быть предусмотрены специальные элементы (приливы, бобышки, отверстия) для базирования и закрепления заготовки. При необходимости данные элементы могут быть удалены после обработки.

Материалы, заданные точность и шероховатость поверхностей детали должны быть строго обоснованы ее служебным назначением.

Стандартизация и унификация деталей, их элементов способствует уменьшению трудоемкости процессов производства и снижению себестоимости деталей в связи с увеличением серийности и унификацией станочных наладок.

Себестоимость производства заготовок также в значительной мере определяется их технологичностью.

Кованные заготовки должны иметь простую симметричную форму без пересекающихся цилиндрических и призматических элементов, а также бобышек и выступов на основных поверхностях поковки.

Геометрическая форма штампованных заготовок должна обеспечивать возможность их свободного извлечения из штампов. Боковые поверхности заготовки должны иметь штамповочные уклоны. Переходы от одной поверхности к другой должны осуществляться с закруглениями.

Конфигурация отливки должна обеспечивать возможность беспрепятственного извлечения модели из формы и стержневых ящиков. С этой целью необходимо назначать формовочные уклоны для вертикальных поверхностей отливки.

Ответственные поверхности заготовок должны занимать в форме нижнее положение.

Технологичность заготовок может быть повышена применением сварных конструкций, что позволяет получить сложную заготовку из простых элементов, выполняемых горячей или листовой штамповкой, резкой проката и т.д. При замене стальных отливок штампосварными иногда снижается их масса на 20-30 % и уменьшается объем последующей обработки резанием на 30-50 %.

Технологичность конструкций деталей в значительной мере определяется возможностью их механической обработки. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

- ступенчатые поверхности должны иметь минимальный перепад диаметров;
- предпочтительны сквозные отверстия, а не глухие;
- расстояния между отверстиями целесообразно назначать с учетом возможности применения многошпиндельных сверлильных головок;
- во избежание поломки сверл при сверлении поверхности на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны оси отверстий;
- размеры отверстий должны соответствовать нормальям на сверла, зенкеры, развертки;
- резьбы должны быть нормализованными;
- конфигурация плоской поверхности должна предусматривать возможность ее обработки на проход;
- глубина и ширина пазов выбирается в соответствии с нормальями на фрезы;
- размеры зубьев зубчатых колес должны соответствовать нормальям на модульные фрезы.

Эти требования необходимо соблюдать в тех случаях, если они не снижают качество деталей.

Для повышения качества проектирования, сокращения цикла и затрат на технологическую подготовку производства изделий необходимо одновременно создавать конструкторскую и технологическую документацию. Конструирование детали должно обеспечить необходимый уровень эксплуатационных характеристик при заданных массе, конфигурации, точности размеров и шероховатости поверхностей. При проектировании изделий следует учи-

тывать свойства материалов, технологию получения заготовок и их последующую термическую и механическую обработки.

Для одной и той же детали технологичность конструкции будет разной в условиях различных типов производств. Например, изделие, технологичное при изготовлении его в единичном производстве, может оказаться нетехнологичным в массовом производстве.

Важнейшим условием создания технологичной конструкции является стандартизация и унификация геометрических форм и размеров детали. Это позволяет широко внедрять в производство автоматизацию и механизацию. Кроме того, унификация элементов деталей и их размеров создает предпосылки для унификации применяемых инструментов.

Для обеспечения точности и стабильности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали следует избегать обработки нежестких заготовок, так как возникающие силы резания приводят к их значительным деформациям. Кроме того, необходимо использовать заготовки формой, близкой к форме детали, что позволяет уменьшить число обрабатываемых поверхностей. Это дает возможность повысить точность обработки, поскольку снижает влияние фактора износа режущего инструмента, тепловых деформаций и т.п.

При проектировании заготовок следует заменять сложные поверхности более простыми, так как механическая обработка резанием фасонных поверхностей требует более сложной кинематики станка, специального режущего инструмента и повышения их жесткости. Там, где это возможно, следует использовать сборные элементы конструкций.

Допускаемые значения шероховатости обрабатываемых поверхностей можно определить по четырем уровням относительной геометрической точности в зависимости от соотношения допусков формы (TF) и размеров (T).

Во всех случаях необходимо соотносить рекомендации таблицы 5 с характеристиками обрабатываемости материала заготовки.

Таблица 5 – Параметры шероховатости в зависимости от соотношения допусков формы и размеров [7]

Уровень относительной геометрической точности TF/T, %	Значение параметров шероховатости, мкм	
	A=60	Ra <0,05T
B=40	Ra <0,025T	Rz<0,1T
C=25	Ra <0,012T	0,05T
D<25	Ra =0,15TF	Rz≤0,6TF

Выбор вида обработки резанием цилиндрических и плоских поверхностей, обеспечивающих требуемые параметры шероховатости и точности размеров (калитета), может быть выполнен с учетом данных, приведенных в таблице 6.

Таблица 6 - Влияние вида обработки резанием на параметр шероховатости поверхности и точность размеров [7]

Вид обработки	Шероховатость, Ra, мкм	Квалитет ISO
1	2	3
Цилиндрические поверхности*		
Обтачивание, растачивание:		
черновое	50...6,3	14-12
получистовое	25...3,2	12-11
чистовое	6,3...0,8	10-8
тонкое	0,8...0,1	8-7
Шлифование:		
предварительное	3,2...0,4	9-8
чистовое	0,8...0,2	7-6
тонкое	0,4...0,05	6-5
Притирка	0,4...0,008	5
Суперфиниширование	0,2...0,012	5
Сверление, рассверливание	12,5...1,6	13-11
Зенкерование:		
черновое	12,5...0,8	13-12
однократное литого или прошитого отверстия	6,3...0,4	13-10
чистовое после чернового или сверления	3,2...0,1	10
Развертывание:		
предварительное	1,6...0,8	11-10
чистовое	0,8...0,4	9-8
тонкое	0,4...0,2	7-6
Протягивание:		
черновое литого или прошитого отверстия	1,6...0,8	11-10
чистовое после чернового или сверления	0,4...0,2	8-7

Продолжение таблицы 6

1	2	3
Хонингование	0,4...0,05	6
Плоские поверхности**		
Фрезерование, строгание:		
черновое	25...6,3	13-18
чистовое	6,3...0,8	11-7
тонкое	1,6...0,2	9-6
Горцевое точение и подрезка		
черновое	25...3,2	14-11
чистовое	6,3...0,8	12-8
тонкое	3,2...0,4	10-7
Протягивание однократное	1,6...0,2	10-7
Шлифование:		
предварительное	3,2...0,4	10-7
чистовое	0,8...0,2	9-6
тонкое	0,4...0,05	7-3
*Данные относятся к стальным заготовкам, значения действительны для $l/d < 2$.		
**Данные относятся к стальным заготовкам жесткой конструкции.		

Количественную оценку технологичности детали проводят по трудоемкости изготовления, металлоемкости детали, себестоимости, коэффициенту использования материала и др.

Трудоемкость механической обработки повышается при увеличении числа обрабатываемых поверхностей, сложности их геометрических форм, протяженности, а также при высоких требованиях к качеству поверхностного слоя. В связи с этим при конструировании деталей следует предусматривать возможно большее число поверхностей без последующей механической обработки. Кроме того, поверхности заготовок, подвергаемые обработке резанием, должны иметь минимально допустимые припуски.

Снижение металлоемкости деталей может быть достигнуто повышением точности расчетов при проектировании и применением материалов с повышенными механическими и технологическими свойствами. Прогрессивные технологические процессы изготовления заготовок и последующая обработка резанием также позволяют уменьшить металлоемкость деталей.

Себестоимость изготовления детали в значительной степени определяется точностью заготовки, выраженной допуском соответствующего качества. Себестоимость детали можно представить, как сумму стоимостей исходного материала, изготовления из него заготовки и последующей обработки. При снижении точности получаемых заготовок уменьшаются затраты на их изготовление, но возрастают расходы на исходный материал и обработку

резанием. С уменьшением допуска снижаются расходы на исходный материал и обработку резанием, но возрастают затраты на получение заготовок.

Технологичность конструкции детали по КИМ окончательно устанавливается после выбора метода (способа) получения заготовок и определения припусков на механическую обработку резанием.

Конструкция проектируемых деталей должна отражать требования обработки на станках с ЧПУ. В этом случае следует считать технологичными такие изделия, форма и размеры которых отвечают условиям обработки в непрерывном технологическом цикле. Для облегчения программирования необходимо упрощать форму поверхностей и типизировать основные повторяющиеся геометрические поверхности заготовки. Желательно, чтобы обрабатываемые поверхности представляли собой тела вращения, плоскости или криволинейные поверхности, профиль которых образован сопряжением прямых с дугами окружностей. В том случае, когда конструкция заготовки отвечает общим требованиям обработки резанием и программирования, повышение технологичности конструкции должно быть направлено на сокращение типоразмеров режущих инструментов, необходимых для полной обработки заготовки. При этом следует стремиться использовать стандартный режущий инструмент.

При проектировании деталей необходимо учитывать технологичность сборочной единицы, в которую она входит как составная часть. Механизация сборочных процессов на основе современных средств технологического оснащения в значительной степени зависит от обеспечения технологичности конструкций сборочных единиц. Например, придание деталям симметричных простых форм, применение специальных баз и направляющих элементов, отражающих специфику сборочных операций, повышают технологичность конструкции сборочной единицы.

Ниже рассмотрены некоторые конструктивные и технологические мероприятия, обеспечивающие повышение технологичности детали.

Сокращение объема механической обработки заготовок. Для деталей, изготавливаемых из профилей круглого поперечного сечения, снижение трудоемкости механической обработки и уменьшение объема снимаемого металла достигается сокращением перепада между максимальным и минимальным диаметрами изделия.

В ступенчатом валу (рисунок 16, а) ввиду наличия заплечника увеличивается диаметр D исходной заготовки. Объем снимаемой стружки составляет 135 % объема готового изделия. Коэффициент использования материала заготовки равен 0,43, т.е. более половины объема заготовки идет в стружку.

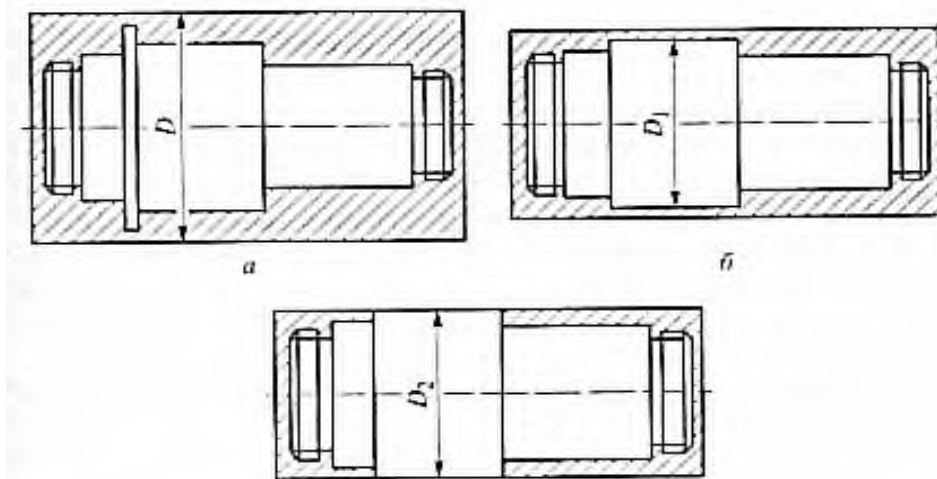


Рисунок 16 – Деталь, изготавливаемая из сортового профиля [7]

В конструкции вала без заплечника (рисунок 16, б) объем снимаемой стружки сокращается в 3 раза по сравнению с предыдущим вариантом, а КИМ повышается до 0,7. При изготовлении детали из заготовки диаметром, равным максимальному диаметру D_2 вала, КИМ повышается до 0,8 (рисунок 16, в).

Обработка напроход. Конструкция корпусной детали, изображенной на рисунке 17, а нетехнологична, т.к. ход режущего инструмента (торцевой фрезы) вдоль обрабатываемой поверхности ограничен стенками изделия.

Условия резания одинаковы на различных участках обрабатываемой поверхности. Для того, чтобы получить одинаковую шероховатость на всем протяжении обрабатываемой поверхности, требуется выполнить несколько проходов. В технологичной конструкции (рисунок 17, б) фреза работает напроход, что позволяет получить с одинаковой шероховатостью при высокой производительности.

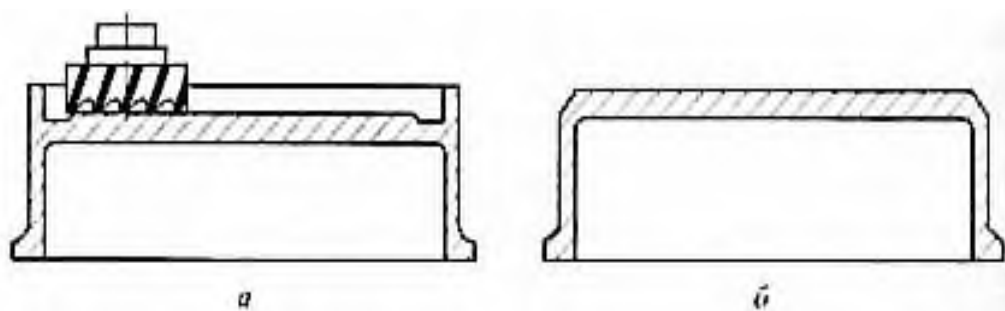


Рисунок 17 – Обработка заготовок корпусных деталей за один проход [7]

Выход обрабатывающего инструмента. Обработка напроход не всегда осуществима по конструктивным условиям. В таких случаях выход инструмента обеспечивают введением на участке сопряжения канавок глубиной не-

скольких десятых миллиметра. Если обработке подвергается только цилиндрическая поверхность, то применяют цилиндрические выточки (рисунок 18, а). При механической обработке торцовых поверхностей предусматривают торцовые выточки (рисунок 18, б). При одновременной обработке цилиндра и примыкающего к нему торца вводят диагональные канавки (рисунок 18, в).

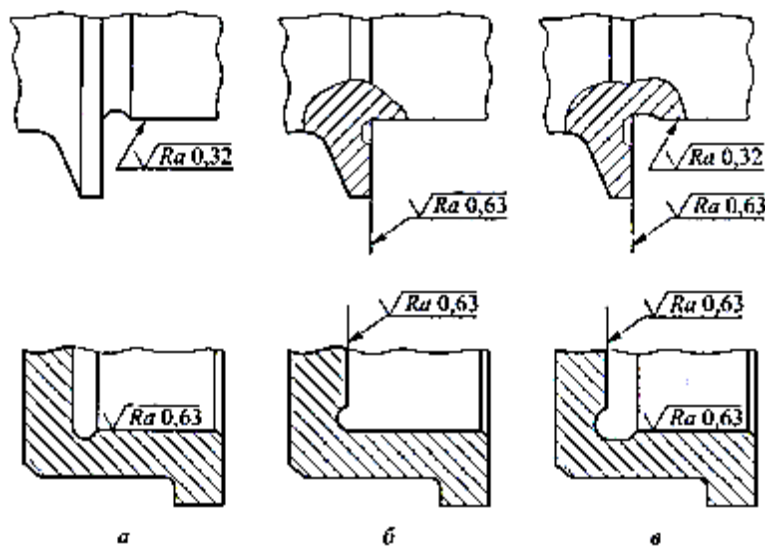


Рисунок 18 – Канавки для выхода режущего инструмента [7]

Подход обрабатывающего инструмента. Для повышения производительности и точности механической обработки требуется обеспечить свободный подход режущего инструмента к обрабатываемой поверхности. Для этого необходимо представлять характер технологической операции, знать размеры режущего инструмента и его крепежных элементов, условия установки и крепления заготовки при обработке.

Разделение поверхностей, обрабатываемых с разной точностью. Цилиндрические поверхности одинакового диаметра, обрабатываемые до различных параметров шероховатости, целесообразно разделять неглубокой канавкой или же обрабатывать всю поверхность напроход до одинаковых параметров шероховатости. Если номинальный диаметр посадочной поверхности вала равен наружному диаметру резьбы, то из-за увеличения диаметра резьбы в результате «подъема» витков при нарезании невозможно установить деталь на вал. В таких случаях целесообразно уменьшить диаметр резьбы.

Обработка с одного станова. Поверхности, нуждающиеся в точной взаимной координации, целесообразно обрабатывать с одного станова. Так, в корпусных деталях технологичнее делать отверстия одинакового или ступенчатого диаметра, убывающего по направлению хода режущего инструмента.

Устранение одностороннего давления на режущий инструмент. При обработке отверстий осевым инструментом следует предотвращать односто-

роннее давление на режущий инструмент, нарушающее точность обработки и вызывающее повышенный износ, а иногда и поломку инструмента (рисунок 19, б, в). Правильная работа инструмента обеспечивается в том случае, когда отверстие отнесено от стенки на расстояние K (рисунок 19, а).

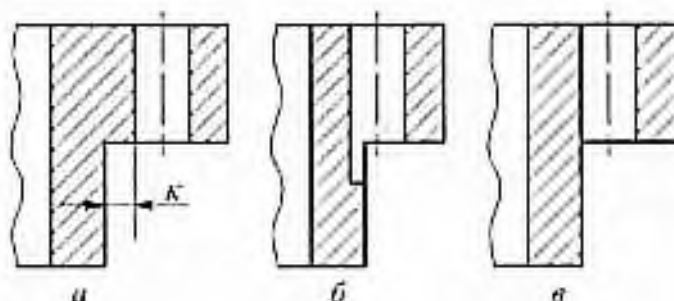


Рисунок 19 – Технологичное (а) и нетехнологичное (б, в) расположения сквозных отверстий [7]

Устранение деформаций под действием режущего инструмента. Непременное условие получения точных поверхностей – достаточная и равномерная жесткость обрабатываемых участков. В противном случае наименее жесткие участки прогибаются под действием сил резания и по окончании обработки возвращаются в прежнее положение, в результате чего точность размеров нарушается. На рисунке 20, а показана нетехнологичная конструкция корпусной детали с консолью, подвергаемой обработке по плоскости m . Консоль под воздействием силы резания P отгибается (рисунок 20, б), а после обработки выпрямляется (рисунок 20, в). При повышенной податливости консоли возникают вибрации, поэтому получить поверхность с малой шероховатостью невозможно. Жесткость конструкции детали может быть увеличена одним из вариантов ребрения (рисунок 20, г, д, е).

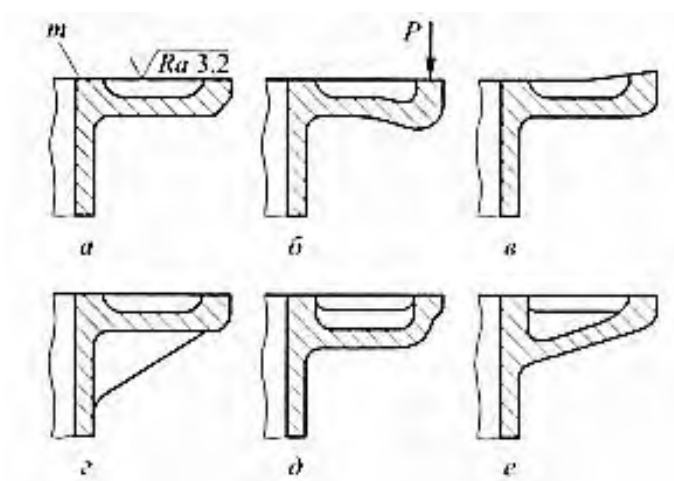
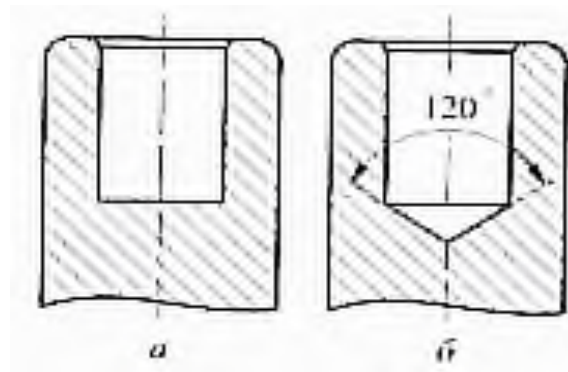


Рисунок 20 – Устранение деформаций под воздействием режущего инструмента [7]

Безударная работа резца. При обработке должен быть выдержан непрерывный контакт инструмента с поверхностью заготовки. Нежелательны местные выемки, углубления и другие неровности на обрабатываемой поверхности, нарушающие непрерывность процесса резания. Получить ровную поверхность в этих условиях трудно. Резец, подверженный периодическим ударам, быстро изнашивается.

Обработка отверстий. Отверстие неотвеченного назначения с параметрами шероховатости поверхности до Ra 3,2 мкм и диаметром до 40 мм рекомендуется выполнять только сверлением, оставляя днище коническим (рисунок 21, б). Форма отверстия, показанного на рисунке 21, а, нетехнологична. Глубину отверстий, получаемых с помощью обычных спиральных сверл, во избежание смещения отверстия и поломки сверл рекомендуется делать не более 6-8 диаметров.



а – нетехнологичное; б – технологичное

Рисунок 21 – Глухие отверстия [7]

Сокращение номенклатуры обрабатывающего инструмента. Для сокращения номенклатуры режущего инструмента следует унифицировать параметры поверхностей. Это особенно важно для отверстий, обрабатываемых мерным цилиндрическим инструментом (сверла, зенкеры, развертки, протяжки). Во избежание перестановки и смены инструмента рекомендуется использовать один и тот же инструмент для выполнения максимально возможного числа отверстий.

Свободные переходы между ступеньками и буртиками валов, не служащие опорными поверхностями, целесообразно выполнять по конусу с углом наклона, равным углу главной режущей кромки проходного резца в плане (обычно $\phi = 45^\circ$), и галтелью у основания, равной стандартному закруглению $R=1$ мм у вершины резца.

5 Производственный и технологический процессы

Производственная деятельность на предприятии называется производственным процессом.

Производственный процесс по ГОСТ 14.004-83 – совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

Машиностроительное предприятие – производственная система, включающая в себя производственные подразделения и разнообразные службы, работающие для осуществления производственного процесса в целях изготовления технических систем.

Производственной структурой предприятия называют состав основных, вспомогательных цехов и обслуживающих хозяйств, а также формы их взаимосвязи.

Производственная структура машиностроительного предприятия (рисунок 22) подчинена содержанию производственного процесса как совокупности основных, вспомогательных и обслуживающих процессов и во многом ему соответствует.



Рисунок 22 – Производственная структура машиностроительного предприятия [9]

К числу основных цехов относятся заготовительные (литейные, кузнечно-штамповочные, кузнечно-прессовые цехи, цехи холодной листовой штамповки и др.), обработывающие (механические, термические цехи, цехи электрохимической обработки и др.), сборочные цехи.

Вспомогательными цехами являются инструментальные (инструментально-штамповые, модельные), ремонтные (механические, электроремонт-

ные и др. цехи). В каждом из вспомогательных цехов осуществляется особый, отличный от основного, технологический процесс.

К обслуживающим хозяйствам относятся складское и транспортное хозяйства, а также санитарно-технические и общезаводские службы. Кроме того, в состав обслуживающих хозяйств включаются службы, обеспечивающие обслуживание территорий предприятия, охрану и ремонт зданий.

В состав производственной структуры входят службы предприятия, готовящие и осуществляющие информационное обслуживание производственного процесса. К их числу относятся отделы главного технолога, главного механика, главного металлурга, главного метролога, центральная заводская лаборатория, конструкторские бюро технологического оснащения, отел снабжения, отдел кадров, бухгалтерия и т.д.).

При построении производственной структуры предприятия учитывают свойственные ему следующие основные факторы:

- конструктивные и технологические особенности его продукции;
- формы специализации предприятия и его кооперирования с другими предприятиями;
- масштаб производства по отдельным видам продукции.

При этом производственный процесс также является технической системой, включающий комплекс мероприятий по изготовлению объекта производства.

Составляющими производственной системы машиностроительного предприятия являются рабочие места, производственные участки, отделения, линии, цехи и другие подразделения.

Рабочее место располагается на производственной площади и комплектуется следующими средствами технологического оснащения:

- технологическим оборудованием для технологического воздействия на объект производства (таким оборудованием может быть, например, станок) и обслуживающими устройствам (устройства управления; подачи, охлаждения и очистки смазывающе-охлаждающих жидкостей, обеспечения энергией, подъемно-транспортные и т.п.);
- технологической оснасткой, к которой относятся приспособления и инструмент, позволяющие непосредственно воздействовать на объект производства.

К технологическому оборудованию и технологической оснастке подводится энергия (электрическая, тепловая, сжатые газы, пар и жидкости под высоким давлением и т.п.).

В процессе воздействия на объект производства кроме материалов, входящих в его состав, используют вспомогательные материалы (например, присадочная проволока для сварки), включающие в себя и технологические

среды (флюсы, смазывающе-охлаждающие жидкости, инертные газы, вакуум и т.п.).

На рабочее место подаются:

- партии объектов производства в количестве $N_{п}$ в различных исходных состояниях (материалы, заготовки, полуфабрикаты, детали, сборочные единицы);

- конструкторская и технологическая документация (информационное обеспечение), необходимая для выполнения технологической операции (чертежи, описания технологических процессов и технологические паспорта, управляющие программы для оборудования с числовым программным обеспечением, инструкции по обслуживанию технологического оборудования и средств оснащения, правила техники безопасности и т.п.).

На рабочем месте может осуществляться обработка нескольких объектов производства одновременно.

С рабочего места выходят годные объекты производства, изменившие форму, размеры, свойства, а также бракованные объекты производства (с параметрами, не соответствующими техническим требованиям) и отходы основных и вспомогательных материалов (рисунок 23).



Рисунок 23 – Средства оснащения и функции рабочего места [9]

Кроме того, на входе имеется информация о состоянии объектов производства, если она получена в процессе выполнения операции.

Средства оснащения рабочего места подразделяют на специальные и универсальные.

Под производственной структурой цеха понимают состав и формы взаимосвязи внутрицеховых подразделений: производственных участков, отделений, пролетов, линий и т.п., а также службы цеха, готовящие и осуществ-

ляющие информационное, техническое и технологическое обслуживание производственного процесса.

Первичным (наименьшим) элементом производственной структуры любого подразделения производственной системы является рабочее место (рисунок 24).



Рисунок 24 – Производственная структура цеха [9]

Рабочие места объединяются в участки. Участки формируют отделения, пролеты, линии.

Планировка (размещение рабочих мест) производственной площади подразделений может быть организована по принципу технологической или предметной специализации.

При технологической специализации на производственных участках выполняются отдельные технологические процессы. При этом участки, как правило, оснащаются однородным оборудованием.

Технологическая специализация дает возможность компактно разместить рабочие места, на небольшой территории сконцентрировать специалистов, обслуживающих и поддерживающих работоспособность оборудования. На каждом участке при такой специализации формируются параметры всех или многих объектов производства, изготавливаемых на предприятии. Однако при этом возникают проблемы с транспортированием объектов производства между рабочими местами.

В зависимости от величины программы, объемов и характеристик выпускаемых изделий различают единичное, серийное и массовое производство.

Под единичным производством машин, их деталей или заготовок понимают изготовление их, характеризуемое малым объемом выпуска. При этом считают, что выпуск таких же машин, деталей или заготовок не повторится по неизменяемым чертежам.

Под серийным производством машин, их деталей или заготовок понимают их периодическое изготовление повторяющимися партиями по неизменяемым чертежам в течение продолжительного промежутка календарного времени. Производство изделий осуществляется партиями, при этом возможна партия из одного изделия. В зависимости от объема различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производства.

Под массовым производством машин, деталей или заготовок понимается их непрерывное изготовление в больших объемах по неизменяемым чертежам продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна и та же операция. Для массового производства характерны узкая номенклатура и большой объем выпуска изделий.

Отнесение производства к тому или иному типу определяется не только объемом выпуска, но и особенностями самих изделий.

Для установления типа производства необходимо определить массу детали:

$$M = \rho V, \quad (5)$$

где M – масса детали, кг;

ρ – плотность материала детали, кг/м³;

V – объем детали, м³.

Тип производства ориентировочно может быть определен в зависимости от массы детали и объема производства с помощью таблицы 7.

Таблица 7 – Ориентировочные данные для приближенной оценки типа производства

Производство	Число изготавливаемых деталей одного типоразмера в год, шт.		
	Тяжелых (массой более 100 кг)	Средних (массой от 10 до 100 кг)	Легких (массой до 10 кг)
Единичное	До 5	До 10	До 100
Мелкосерийное	5-100	10-200	100-500
Среднесерийное	100-300	200-500	500-5000
Крупносерийное	300-1000	500-5000	5000-50000
Массовое	Более 1000	Более 5000	Более 50000

Окончательно тип производства уточняют на стадии формирования маршрута обработки. Уточненный расчет типа производства в соответствии с ГОСТ 3.1121-84 устанавливается на основе определения коэффициента закрепления операций:

$$K_{30} = O/P, \quad (6)$$

где O – количество всех различных технологических операций, выполненных в течение месяца;

P – число рабочих мест, необходимых для выполнения месячной программы.

Согласно ГОСТ 3.1121-84 приняты следующие коэффициенты закрепления операций:

- для единичного производства $K_{30} > 40$;
- мелкосерийного $K_{30} = 20 \dots 40$;
- среднесерийного $K_{30} = 10 \dots 20$;
- крупносерийного $K_{30} = 2 \dots 10$;
- для массового $K_{30} = 1$.

Одним из основных элементов производственного процесса является технологический процесс. В соответствии с ГОСТ 3.1109-82 под технологическим процессом понимают часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и/или определению состояния предмета труда. По Р 50-54-93-88 работы по созданию технологических процессов предусматривают: определение серийности производства, анализ исходных данных; в зависимости от серийности производства и исходных данных подбор действующего типового, группового, модульного технологического процесса или поиск аналога единичного процесса; выбор исходной заготовки и методов ее изготовления; выбор технологических баз; составление технологического маршрута обработки; разработку технологических операций; выбор средств технологического оснащения (СТО); определение потребности в СТО, в случае необходимости их проектирования, производство и заказ; выбор средств механизации и автоматизации технологического процесса и внутренних средств транспортирования; назначение и расчет режимов обработки, нормирование, определение требований, обеспечивающих безопасность технологических процессов; расчет экономической эффективности; оформление технологической документации [1].

Под средствами технологического оснащения понимают оборудование и оснастку, в том числе для контроля и испытаний.

По организации производственные процессы делятся на поточный и непоточный.

Под поточным видом организации производственного процесса понимают такой его вид, при котором заготовки, детали или собираемые изделия в процессе их производства находятся в периодическом движении с постоянной величиной такта.

Для поточного производства важнейшей характеристикой является такт выпуска (время между выпусками двух промежуточных изделий):

$$t = 60 \cdot \frac{F}{N}, \text{ мин,} \quad (7)$$

где F – действительный годовой фонд времени работы технологического оборудования, используемого для производства изделия в час;

N – годовая программа выпуска изделий.

Под непоточным видом организации производственного процесса понимают такой его вид, при котором заготовки, детали или собираемые изделия в процессе их производства находятся в периодическом движении с различной продолжительностью операций и пролеживания между ними, в результате чего процесс осуществляется с меняющейся величиной такта по каждой операции.

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими.

Операция может выполняться за один или несколько установов.

Установ – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Операция обычно выполняется за один либо несколько переходов. Переходы бывают технологические и вспомогательные.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и/или оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и поверхностей, но необходимы

для выполнения технологического перехода, например, установка и закрепление заготовки, смена инструмента и т.д.

Технологический переход может осуществляться за один или несколько ходов, которые могут быть рабочими и вспомогательными.

Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхностей или свойств заготовки.

Вспомогательный ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, несопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхностей или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода (подвод инструмента, отвод инструмента и т.д.).

Технологические процессы (ТП) классифицируют на единичный, типовой и групповой.

Единичный ТП разрабатывается индивидуально на конкретное изделие.

Типовой ТП создают для группы изделий, обладающих общими конструктивными и технологическими признаками (валы, зубчатые колеса, рычаги и т.д.).

Групповой ТП – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками (детали, обрабатываемые на токарных станках, детали, обрабатываемые на фрезерных станках и т.д.).

Степень детализации описания технологического процесса определяется серийностью производства и экономическими соображениями.

В единичном производстве осуществляется *маршрутное описание ТП*, заключающееся в сокращенном описании всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов.

В мелкосерийном и среднесерийном, а для ответственных деталей и в единичном производстве осуществляется *маршрутно-операционное описание ТП*, при котором дается сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте и полное описание ответственных операций, формирующих качество изделия.

В крупносерийном и массовом производствах, а для ответственных деталей и в мелкосерийном и среднесерийном производствах осуществляется *операционное описание ТП*, которое сводится к полному описанию всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием технологических переходов и режимов.

6 Производительность труда, себестоимость и цена изделий в машиностроении

Для отражения эффективности производственной деятельности коллектива завода (цеха, участка) используют понятия – производительность производственного процесса и производительность труда работающих.

Значение этого показателя зависит прежде всего, от производительности действующих производственных процессов (производительности используемого оборудования), связано с численностью инженерно-технического, управленческого состава, штатов других категорий (производительностью труда всех сотрудников предприятия), интенсивности и организации труда, условий труда персонала.

Производительность производственного процесса оценивается объемом продукции (измеряемым в штуках, единицах массы, объема или рублях), произведенной в единицу времени. Объем продукции, приходящийся на одного работающего, чаще измеряют в рублях из-за необходимости учета разнородной продукции завода.

Производительность труда рабочего Q измеряется количеством (объемом) годной продукции W , произведенной им за единицу рабочего времени t :

$$Q = W/t. \quad (8)$$

Производительность станка можно оценивать объемом удаленного с заготовки материала или площадью обработанной поверхности, отнесенными к единице времени. Производительность станка зависит от его мощности, режимов (скорости резания, подачи), на которых можно обрабатывать заготовки, а также качества используемого инструмента.

Являясь показателем эффективности станка, труда рабочего, производственного процесса и т.д., производительность может выступать в одной из трех форм: номинального, действительного и измеренного значений.

Затраты на материалы, средства производства и заработную плату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют цеховой себестоимостью (себестоимостью).

Различают себестоимость машины в целом, себестоимость отдельных сборочных единиц и деталей. Можно оценивать себестоимость отдельных операций технологических процессов изготовления деталей или сборки машины, учитывая расходы, связанные только с их выполнением.

Себестоимость может быть определена по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^m \left[O + \Pi + И + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) Z \right], \quad (9)$$

где M – расходы на материалы на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.;

O – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию оборудования, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

Π – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию приспособлений, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

$И$ – расходы на амортизацию и содержание инструмента, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

a_1 – начисления на расходы по заработной плате на социальные нужды, %;

a_2 – накладные расходы, начисляемые на расходы по заработной плате %;

p – число различных марок материалов, расходуемых на единицу продукции;

m – число операций, которые проходит единица продукции при ее изготовлении;

Z – расходы на заработную плату, приходящиеся на единицу продукции.

Себестоимость единицы продукции также может выступать в форме номинального, действительного и измеренного значений.

Денежное выражение потребительских свойств изделий определяется их ценой. В условиях рыночной экономики цена изделия, по которой оно реализуется, как правило, определяется спросом и предложением. Однако для машиностроительных предприятий, чтобы не оказаться банкротом, цена, по которой реализуется изделие, не должна быть ниже так называемой производственной цены.

Производственная цена изделия до настоящего времени определяется его себестоимостью, накладными расходами и налогами, которые включают в полную себестоимость и рентабельность производства:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{п}} \left(1 + \frac{R}{100} \right) \quad (10)$$

где $C_{\text{п}}$ – полная себестоимость изделия;

R – рентабельность производства.

Однако для большей объективности и определения конкурентоспособности производства изделия целесообразно в эту формулу ввести относительный комплексный показатель качества K , а именно:

$$Ц_{пр} = C_{п} K \left(1 + \frac{R}{100}\right), \quad (11)$$

причем относительный комплексный показатель качества изделия можно определить по формуле:

$$K = \left(\sum_{i=1}^n K_i \cdot B_i \right) / n, \quad (12)$$

где K_i – показатели отдельных составляющих качества изделий (долговечность, безотказность, КПД, производительности, безопасности, эстетичности, удобства обслуживания, ремонта и т.п.), определяемые по их отношениям к аналогичным составляющим мировых образцов;

B_i – важность отдельных составляющих качества для данного изделия;

n – количество отдельных показателей качества изделия.

Это позволит промышленным предприятиям реально подойти к повышению качества выпускаемой продукции и выйти на мировой рынок.

7 Понятие о точности

Под *качеством* промышленной продукции понимают степень соответствия присущих характеристик потребностям потребителей (ГОСТ Р ИСО 9000-2001).

Точность – важнейший показатель качества в машиностроении. Чаще всего приходится иметь дело с точностью геометрических размеров.

В производстве нельзя достичь абсолютных размеров и других показателей продукции, поэтому работают в пределах допусков (сознательно идут на регламентируемые допускаемые отклонения размеров и других показателей).

Допуск – разница между наибольшим и наименьшим предельными размерами. По абсолютной величине допуск равен алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями. Различают функциональные, конструкторские, технологические, эксплуатационные допуски.

Функциональные допуски устанавливают исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей машины, либо детали. Так, для несопрягаемых поверхностей это могут быть допуски на диаметры сопел, жиклеров и т.д. В этом случае функциональный допуск T_{ϕ} равен разности между наибольшим T_{ϕ}^{\max} и наименьшим T_{ϕ}^{\min} допустимыми значениями этого размера, определенными, исходя из допустимого значения эксплуатационных показателей (рисунок 25)

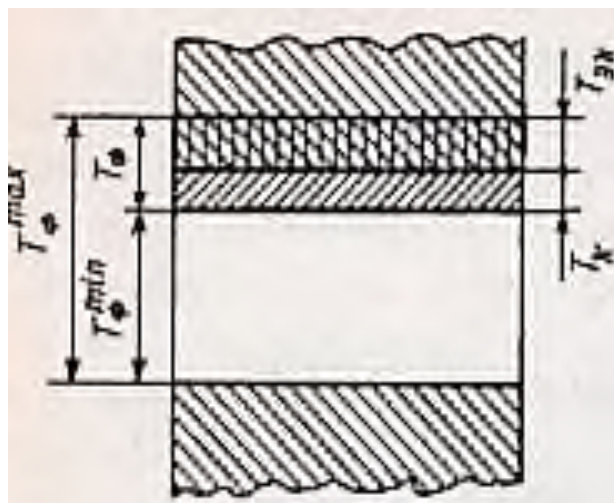


Рисунок 25 – Схема расположения полей допусков [10]

В функциональный допуск входят эксплуатационный $T_{\text{эк}}$ и конструкторский $T_{\text{к}}$ допуски. Первый характеризует запас точности, необходимый для сохранения требований точности детали в процессе длительной эксплуатации. Второй идет на компенсацию различных погрешностей. В случае сопрягаемых поверхностей конструкторский допуск учитывает погрешности изго-

товления деталей, погрешности сборки соединений и машин, их регулировки, а также компенсирует прочие погрешности.

Конструкторские допуски также связаны с функциональным (служебным) назначением машины и условиями ее работы.

Допуски на промежуточные размеры, возникающие в ходе ТП, называют технологическими. Они связаны со сложными процессами возникновения погрешностей. Чтобы технологический допуск был меньше конструкторского, такие погрешности должны быть сведены к минимуму. В этом случае облегчается процесс сборки соединений и машин. Анализ соотношений между конструкторскими и технологическими допусками позволяет судить о совершенстве ТП.

В большинстве случаев качество заготовок оценивают точностью формы, размеров, взаимного расположения поверхностей и физико-механическими свойствами, а также состоянием поверхностного слоя.

Под *точностью* заготовки понимают ее соответствие требованиям чертежа и технических условий на ее изготовление. Отклонение реальной заготовки от требований чертежа (эталона) называют *погрешностью*.

Точность изделия – это степень соответствия действительного значения геометрического параметра его заданной величине. Количественным показателем точности (нормой точности) является допуск. Назначение величины допуска называется нормированием точности. Нормированию подлежат допуски размеров, отклонения формы и расположения поверхностей.

Под точностью обработки понимают степень соответствия параметров изготовленной детали данным чертежа или ее прототипу.

Точность сборки – степень соответствия машины или соединения надежно функционирующему прототипу в заданных условиях эксплуатации.

Поверхностью называется численное отклонение действительного (измеренного) значения параметра от его заданного значения. Заданным значением параметра могут быть предельные и номинальный размеры, а также параметры, определяющие номинальную форму и расположение поверхностей (круглость, прямолинейность, соосность и т.д.).

Погрешность может быть абсолютной и относительной. Представленное выше определение относится к абсолютной погрешности. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называется относительной погрешностью. Эта погрешность обычно выражается в процентах. Таким образом, погрешность тоже является количественным показателем точности. Очевидно, при изготовлении деталей с большими погрешностями невозможно обеспечить высокую точность.

Погрешность может быть детерминированной (закономерной) или случайной (статической) величиной. Согласно принятой в технологии машиностроения терминологии детерминированные погрешности называются си-

стематическими. Систематические погрешности делят на два вида: постоянные и переменные.

Постоянными называют такие погрешности, которые при обработке партии заготовок не изменяются от заготовки к заготовке. К ним можно отнести погрешности, которые зависят от точности станков и размеров мерного (калиброванного) инструмента (сверла, зенкера, развертки, метчики).

Переменные погрешности меняются от заготовки к заготовке при обработке партии. К ним следует отнести погрешности из-за постепенного износа режущего инструмента и тепловых деформаций системы ДИПС (деталь-инструмент-приспособление-станок).

Случайные погрешности не подчиняются видимой закономерности. Для каждой заготовки из партии они имеют свое значение. Можно предполагать и даже знать причину появления случайной погрешности. Однако корни этой причины, как правило, находятся в малоисследованных областях, что не позволяет точно определить эти погрешности. Например, причиной разной величины погрешностей могут быть колебания механических свойств, связанные с металлургическими факторами, и т.д.

При механической обработке в силу разнообразных причин возникают все погрешности. Поэтому погрешность механической обработки состоит из трех составляющих: постоянной, переменной и случайной.

8 Допустимая погрешность конструкторских и технологических размеров, обработки и сборки изделий

Допустимую погрешность размеров деталей при обработке и соединений во время сборки рассчитывают с использованием теории размерных цепей.

Размерная цепь – совокупность размеров, участвующих в решении поставленной конструкторской либо технологической задачи и образующих замкнутый контур. Размерную цепь замкнутого контура образуют только размеры, непосредственно участвующие в решении поставленной задачи.

Размеры, входящие в размерную цепь, называются *звеньями*, одно из которых является замыкающим, а остальные – составляющими.

Замыкающим звеном называется звено, полученное последним при решении поставленной задачи. На конструкторских чертежах деталей размер замыкающего звена обычно не указывают. На сборочных чертежах замыкающим звеном, как правило, бывают зазоры, линейные либо угловые размеры, точность которых оговаривается в технологических условиях. В технологических размерных цепях замыкающим звеном часто является размер припуска на обработку заготовки.

Составляющие звенья бывают увеличивающими и уменьшающими.

Увеличивающими звеньями называются такие, с увеличением которых замыкающее звено увеличивается. Они обозначаются односторонними стрелками, направленными вправо – \vec{A} . *Составляющие звенья*, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается, называются *уменьшающими*. На схемах они обозначаются односторонними стрелками, направленными влево – \overleftarrow{A} .

Размерные цепи бывают конструкторскими и технологическими.

Конструкторская размерная цепь определяет расстояния или относительный поворот поверхностей или осей деталей в изделии. Например, размерная цепь (рисунок 26) составлена исходя из необходимости обеспечения требуемой величины зазора A_4 между зубчатым колесом 1 и торцом кольца 2.

Технологической называется размерная цепь, составленная для определения расстояния между поверхностями изделия при выполнении технологического процесса.

Например, в техпроцессе (рисунок 27) требуется получить размер A_5 . Он будет получен на 3-й операции (рисунок 27, в). Составляющими звеньями размерной цепи будут: размер A_4 , непосредственно получаемый при фрезеровании; размер A_3 – ширина левого уступа, полученная на второй операции

(рисунок 27, б). Он был замыкающим на этой операции и получился в зависимости от размеров A_2 и A_1 . Последний был получен на первой операции (рисунок 27, а). Это вскрывает взаимосвязь погрешности размеров на протяжении всего технологического процесса.

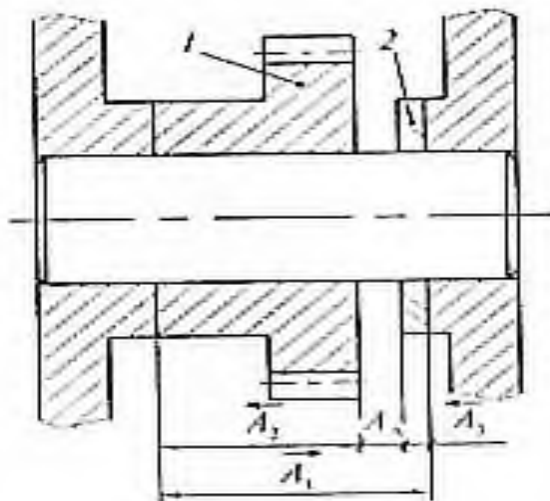


Рисунок 26 – Схема расположения полей допусков [1]

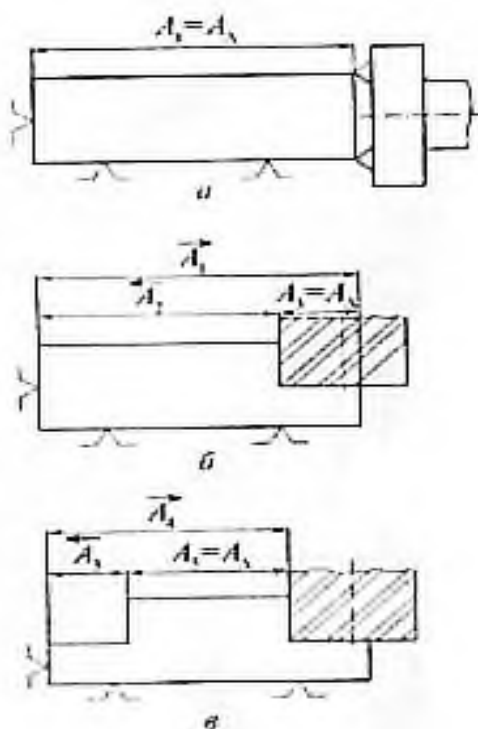


Рисунок 27 – Технологические размерные цепи [1]

Построение размерной цепи начинают с нахождения замыкающего звена исходя из задачи, возникающей при конструировании, изготовлении или измерении изделия. Поэтому вначале четко формулируется задача, решение которой при конструировании обеспечит функциональное назначение изделия, при изготовлении и измерении - требуемую точность. Затем к одной из поверхностей замыкающего звена пристраивают составляющие звенья

размерной цепи, непосредственно участвующие в решении поставленной задачи, и доводят до второй поверхности замыкающего звена, создавая замкнутую размерную цепь.

Расчет размерных цепей может осуществляться двумя методами: максимум-минимум и вероятностным.

Метод расчета «максимум-минимум» учитывает только предельные отклонения звеньев размерной цепи.

Номинальный размер замыкающего звена при этом рассчитывается по формуле:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{j=1}^m \overleftarrow{A}_j \quad (13)$$

где $\sum_{i=1}^n \vec{A}_i$ – сумма n номинальных размеров увеличивающих звеньев;
 $\sum_{j=1}^m \overleftarrow{A}_j$ – сумма m номинальных размеров уменьшающих звеньев.

Максимальный и минимальный предельные размеры замыкающего звена соответственно равны:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{j=1}^m \overleftarrow{A}_j \quad (14)$$

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{j=1}^m \overleftarrow{A}_j \quad (15)$$

где \vec{A}_i^{max} и \vec{A}_i^{min} – соответственно максимальные и минимальные размеры увеличивающих звеньев размерной i -ой цепи;

$\overleftarrow{A}_j^{max}$ и $\overleftarrow{A}_j^{min}$ – соответственно максимальные и минимальные размеры уменьшающих звеньев размерной j -ой цепи.

Разность наибольшего и наименьшего предельных размеров замыкающего звена определяет величину его допуска TA_{Δ} , т.е.

$$TA_{\Delta} = A_{\Delta}^{max} - A_{\Delta}^{min} = \sum_{i=1}^n T \vec{A}_i + \sum_{j=1}^m T \overleftarrow{A}_j \quad (16)$$

где $T \vec{A}_i$ – допуски на размер увеличивающих звеньев;

$T \overleftarrow{A}_j$ – допуски на размер уменьшающих звеньев.

Т.к. верхнее предельное отклонение замыкающего звена ESA_{Δ} равно разности его максимального и минимального размера, то произведя вычитание соответственно левых и правых частей уравнений (13) и (14), получим

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n ES \vec{A}_i - \sum_{j=1}^m EI \overleftarrow{A}_j \quad (17)$$

а так как нижнее предельное отклонение замыкающего звена равно разности его минимального и номинального размера, то, произведя аналогичные действия с уравнениями (13) и (15), получим

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n EI \vec{A}_i - \sum_{j=1}^m ES \overleftarrow{A}_j \quad (18)$$

где $ES \vec{A}_i$ и $EI \overleftarrow{A}_j$ – соответственно верхнее и нижнее отклонения увеличивающихся звеньев;

$EI \vec{A}_i$ и $ES \overleftarrow{A}_j$ – соответственно верхнее и нижнее отклонения уменьшающихся звеньев.

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{i=1}^n (T \vec{A}_i)^2 + \sum_{j=1}^m (T \overleftarrow{A}_j)^2} \quad (19)$$

где t – параметр распределения случайных допусков составляющих звеньев, для нормального распределения $t=1$, для закона Симпсона $t=1,2$.

При вычислении предельных значений замыкающего звена вероятностным методом условно принимают, что номинальные размеры как составляющих, так и замыкающих звена располагаются в середине их допусков. Тогда номинальный размер замыкающего звена определяется по уравнению (13), а его верхнее и нижнее отклонения по формулам:

$$ESA_{\Delta} = \frac{TA_{\Delta}}{2}, \quad (20)$$

$$EIA_{\Delta} = -\frac{TA_{\Delta}}{2}. \quad (21)$$

Уравнения (17) и (18) устанавливают одно из основных правил определения предельных отклонений замыкающего звена размерной цепи по максимуму – минимуму.

Верхнее предельное отклонение замыкающего звена равно сумме верхних отклонений увеличивающих звеньев минус сумма нижних отклонений уменьшающих звеньев.

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена равно сумме нижних отклонений увеличивающих звеньев минус сумма верхних отклонений уменьшающих звеньев.

Вероятностный метод расчета учитывает вероятность различных сочетаний возможных отклонений составляющих звеньев размерной цепи в пределах их допуска. Суммирование случайных величин производится квадратически, т.е. допуск замыкающего звена определяется из уравнения:

9 Общая погрешность обработки заготовок

При изготовлении деталей на каждой из операций технологического процесса неизбежны погрешности обработки, обусловленные рядом факторов. И одна из задач технологов – прогнозировать эти погрешности при разработке технологических процессов, чтобы гарантировать получение требуемой точности обработки. Общая погрешность обработки на каждой технологической операции в общем случае определяется систематической составляющей $\Delta_{\text{сист}}$ и случайной – $\Delta_{\text{сл}}$. *Систематической* называется такая погрешность, которая для всех деталей рассматриваемой партии остается постоянной или же закономерно изменяется при переходе от одной обработанной детали к другой, и ее изменение может быть определено расчетным путем. *Случайной* называется такая погрешность, которая для различных деталей рассматриваемой партии имеет различные случайные значения, и закон их распределения может быть установлен только опытным путем. Так как величина и направление случайной погрешности при обработке детали на каждой операции $\Delta_{\text{сл}}$ неизвестны, то ее сложение с систематической погрешностью на той же операции $\Delta_{\text{сист}}$ при определении общей погрешности обработки на i -ой операции $\Phi_{\text{оби}}$ осуществляется по определенным законам, которые будут рассмотрены ниже. Причем определенная общая погрешность обработки ω_i должна быть меньше допуска на размер детали T_i , получаемого на данной операции. Это обеспечивается выбором технологических условий, оказывающих влияние на погрешность обработки. На систематическую составляющую погрешности обработки в общем случае оказывают влияние: погрешность установки заготовки на данной операции ε_{yci} ; погрешность, обусловленная самим процессом обработки Δ_i .

Для обработки заготовки на любой из технологических операций требуется придать ей определенное положение относительно обрабатываемого инструмента. Это обеспечивается ее установкой в приспособлении, на стол или планшайбу станка. При этом возникает определенная погрешность. Систематическая погрешность, обусловленная процессом обработки, в общем случае определяется по формуле:

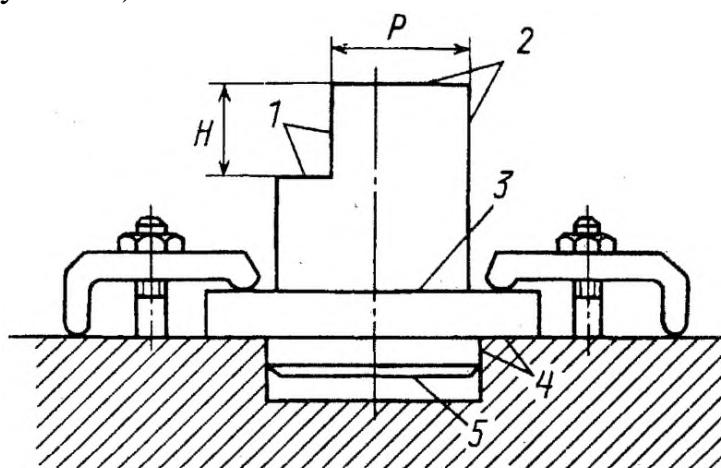
$$\Delta_i = \Delta_{\text{ин}} \pm \Delta_{\text{т}} \pm \Delta_{\text{упр}} \pm \Delta_{\text{ст}}, \quad (22)$$

где $\Delta_{\text{ин}}$, $\Delta_{\text{т}}$, $\Delta_{\text{упр}}$, $\Delta_{\text{ст}}$ – систематическая погрешность обработки, обусловленная соответственно неточностью обрабатываемого инструмента, температурными деформациями технологической системы, упругими деформациями технологической системы, геометрической неточностью станка.

10 Погрешности базирования, закрепления и приспособления

Процесс установки заготовки для обработки на металлорежущих станках сопровождается возникновением погрешности ε , которая является составной частью суммарной погрешности Δ . Как возникает рассеяние размеров готовых деталей в ходе обработки заготовок, так возникает и рассеяние положений заготовок при их установке. Каждая конкретная заготовка обладает своими геометрическими особенностями, что и порождает при установке различные положения заготовок в пространстве. Погрешность установки, в свою очередь, равна сумме погрешностей базирования, закрепления и погрешности, вызываемой применением приспособлений.

Рассмотрим заготовку, ориентированную в пространстве и закрепленную на станке (рисунок 28).



- 1 - обрабатываемые поверхности; 2 - поверхность и линия, от которых производят измерения; 3 - поверхность, воспринимающая силы закрепления; 4 - поверхности, по которым заготовка ориентируется в пространстве; 5 - свободная поверхность

Рисунок 28 – Поверхности заготовки [1]

Поверхности, линии и точки, от которых проводят измерения, называют измерительными базами.

Поверхности, линии и точки, принадлежащие заготовке и определяющие положение ее в пространстве, называют технологическими базами.

На рисунке 28 торцевая поверхность и образующая цилиндра (поверхности 2) являются измерительными базами для размеров H и P , а плоская поверхность и цилиндрическая поверхность (поверхности 4) - технологическими базами.

Составной частью погрешности установки является погрешность базирования.

Сущность этой погрешности можно пояснить с помощью схемы, приведенной на рисунке 29, а.

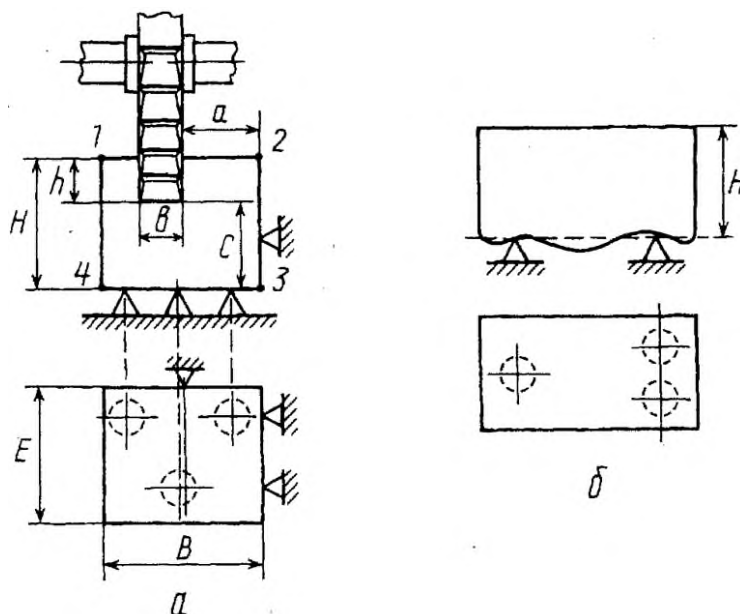


Рисунок 29 - Схема для определения погрешности базирования [2]

Заготовка с размерами H , E и B установлена на станке с помощью шести опор. При этом она силами закрепления прижата ко всем опорам и лишена всех степеней свободы. На заготовке с помощью пазовой фрезы выполняют паз глубиной h и шириной b . Паз расположен на расстоянии a от правой вертикальной плоскости. Партию деталей изготавливают на предварительно настроенном станке, так как расстояние C от нижнего зуба фрезы до опор строго зафиксировано.

При фрезеровании размер a у всех заготовок будет постоянным, так как положение измерительной базы 2-3 всегда неизменно. Размер b также не меняется и зависит от точности фрезы. Параметр h будет изменяться. На опоры настроенного приспособления одну за другой будут устанавливаться заготовки, у которых положение измерительной базы 1-2 будет колебаться, поскольку в пределах допуска на заготовку изменяется размер H . Следовательно, в партии изготовленных деталей обязательно найдется деталь, у которой $h_{\max} = H_{\max} - C$, и деталь, у которой $h_{\min} = H_{\min} - C$.

Разность $h_{\max} - h_{\min} = H_{\max} - H_{\min}$ называется погрешностью базирования размера h . Поскольку $H_{\max} - H_{\min} = IT$, то $\varepsilon_{\delta h} = IT$.

Погрешностью базирования ε_{δ} называется разность предельных положений измерительной базы относительно настроенного на размер инструмента. Это определение оказывается очень важным, поскольку оно позволяет определить количественно погрешность базирования для любой схемы установки. При этом важно лишь найти и выразить через производственные па-

раметры предельные положения измерительной базы. Для каждой схемы установки будет своя расчетная формула.

Если, например, в предыдущем случае $(IT)H = 0,5$ мм, то на это значение будет изменяться и глубина паза h . Однако во многих случаях удастся уменьшить погрешность базирования. Предположим, что удалось установить заготовку с опорой на три точки на поверхности 1-2, т.е. на измерительную базу. Поверхность 3-4 в этом случае перестает быть технологической базой. Следовательно, произошло совмещение измерительной и технологической баз. В этом случае погрешность базирования равна нулю, так как измерительная база всегда занимает постоянное положение. В единстве измерительной и технологической баз состоит принцип совмещения баз. Итак, если при базировании совместить измерительную и технологическую базы, погрешность базирования всегда будет равна нулю. Этот важный принцип широко используется на практике.

Каждая установка заготовки на новую (другую) технологическую базу неизменно приводит к появлению дополнительной погрешности. Если изготовление детали производится с последовательной установкой на несколько баз, выдерживаемый размер оказывается менее точным, чем в случае, когда все или большинство операций выполняются с установкой на одну постоянную базу. Поэтому в технологии машиностроения выдвинут принцип постоянства технологической базы, который подтверждает возможность увеличения точности при неизменной установке заготовок для изготовления деталей.

Технологические базы заготовок всегда имеют отклонения от идеальных геометрических образов. Реальная технологическая база (показана на рисунке в утрированном виде) касается трех опор приспособления. Небольшой сдвиг заготовки приведет к ее новому положению и возникновению новых погрешностей. Размер H отсчитывается при неизменном закреплении заготовки от плоскости, проходящей через три опоры (показана пунктирной линией).

Второй составной частью погрешности установки является погрешность закрепления ε_3 . Каждая заготовка должна быть не только сбазирована, т.е. ее технологические базы должны контактировать с установочными элементами приспособлений или станков, но еще и закреплена. Лишь в этом случае она будет занимать в пространстве заданное положение и будет лишена всех степеней свободы. Однако силы закрепления и их моменты, воздействуя на заготовку, вызывают ее деформирование. Измерительная база может смещаться, а вся заготовка будет обрабатываться в деформированном состоянии. Погрешность, вызываемая силовыми факторами, должна быть учтена. *Погрешностью закрепления* называется разность предельных рассто-

яний от измерительной базы до установленного на размер инструмента, возникающая под действием сил закрепления.

Различают два вида деформаций. Под действием силовых факторов, во-первых, деформируется собственно материал заготовки и, во-вторых, деформируются ее поверхностные слои. Доминирующее влияние вида деформации на точностные параметры заготовки определяется ее жесткостью. В большинстве случаев приходится учитывать деформации поверхностных слоев заготовок, пренебрегая по малости деформациями основной массы их материала.

Расчетное определение упругих деформаций поверхностных слоев заготовок оказывается весьма сложным. Например, если необходимо точно определить деформацию заготовки в результате внедрения (рисунок 30, а) в ее поверхность под действием силы Q цилиндра диаметром d , необходимо провести громоздкие и сложные расчеты. Деформация y зависит от радиуса r . Такие расчеты мало пригодны для практической деятельности. В противовес расчетному предлагается экспериментальный метод, когда упругие перемещения y определяют в зависимости от давления p (рисунок 30, б). Эксперименты проводят многократно. Каждый эксперимент характеризуется точкой на графике. Совокупность точек ограничена двумя пунктирными кривыми, между которыми проводят основную линию. Для такой линии подбирают уравнение, которым и пользуются на практике.

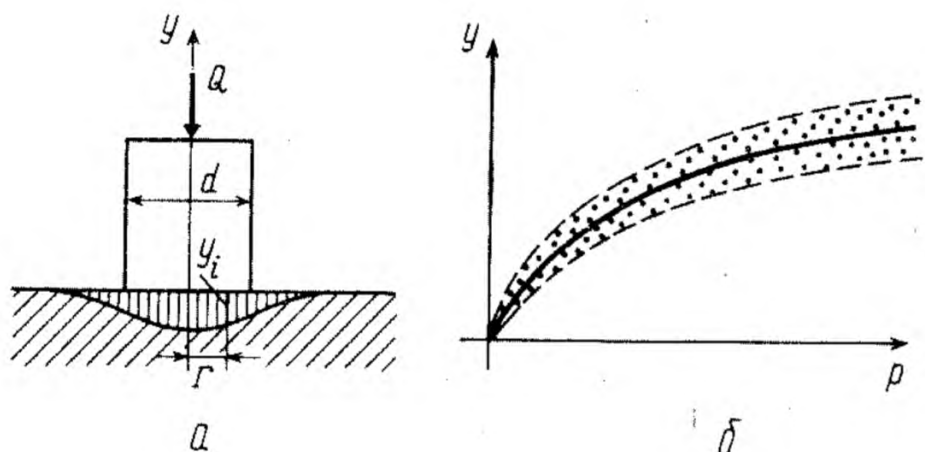


Рисунок 30 - Схема деформирования детали (а) и график деформации от сил закрепления (б) [2]

Достаточно часто применяют уравнение:

$$y = Cp^m, \quad (23)$$

где C и m характеризуют условия контактирования, т.е. форму приспособлений, их твердость, состояние поверхностного слоя заготовок, наличие смазки и пр.

Для поверхностей с малой шероховатостью зависимость деформации от давления представляется прямой линией

$$y = kp \quad (24)$$

Удобны эмпирические уравнения, в которых используют не давление, а силу:

$$y = C Q^n \cos \alpha, \quad (25)$$

где α - угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего смещения заготовки.

Значение коэффициента C имеет рассеяние прежде всего из-за колебаний твердости и шероховатости поверхностных слоев заготовки. Предельные рассеяние значения коэффициента C определяют по специальным формулам. Значения коэффициентов и показателей степеней содержатся в справочной литературе.

Связь погрешности закрепления и точности размера показана на рисунке 31. Фрезерный станок предварительно настроен на размер C для выдерживания размера H . После приложения к заготовке сил закрепления Q она переместится на величину ε_3 и измерительная база 1-2 займет новое положение. Так возникает погрешность закрепления.

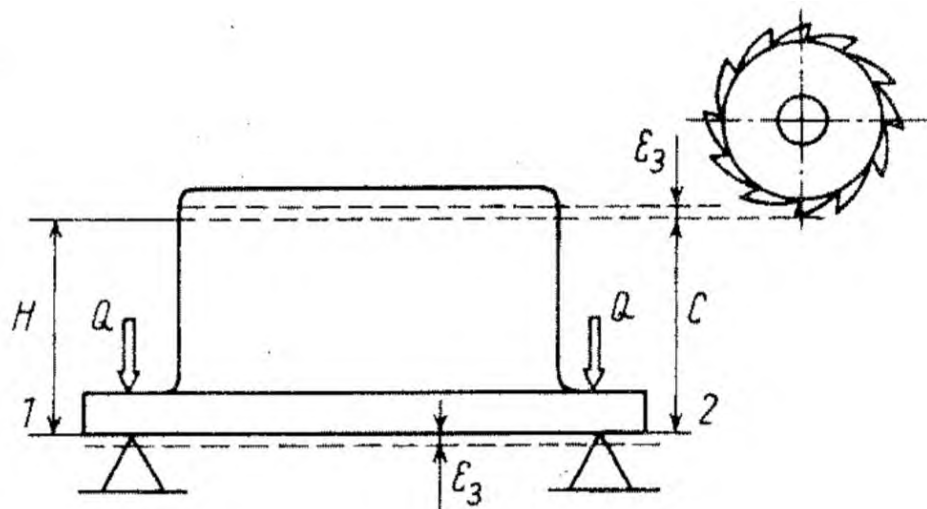


Рисунок 31 - Схема образования погрешности закрепления [2]

Погрешностью закрепления ε_3 называется разность предельных положений измерительной базы относительно настроенного на размер инструмента, возникающая при действии сил закрепления.

Силы закрепления вызывают также отклонения формы. На рисунке 32 показаны четыре фазы (I..IV) состояния заготовки типа кольца, установленного в трехкулачковый патрон для растачивания отверстия. На первой фазе заготовка не деформирована, на второй - и наружная, и внутренняя поверхности деформированы силами Q . После растачивания отверстия (третья фаза) отклонений формы не наблюдается. Точности размера и формы отверстия могут быть весьма высокими. Наружная поверхность деформирована. После раскрепления кольца (четвертая фаза) точность отверстия нарушена (показано утрированно), а наружная поверхность восстановила свою форму.

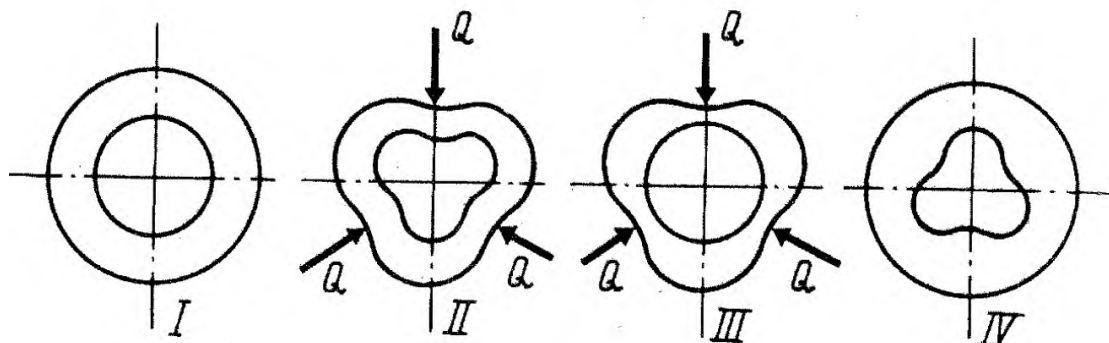


Рисунок 32 - Погрешности формы, вызываемые силами закрепления [2]

Рациональное базирование и закрепление заготовок позволяют существенно повысить точность деталей. На рисунке 33, а показана деталь, на которой необходимо фрезеровать уступ с размерами 35 и 10 мм, а на рисунке 33, б - различные схемы установки заготовки с применением призм и приспособления со втулкой.

Если определить по соответствующим формулам погрешности базирования и закрепления (при прочих равных условиях), суммировать эти погрешности, то можно убедиться в том, что наибольшую погрешность даст схема установки, приведенная на рисунке 33, в, а наименьшую - схема на рисунке 33, д. Для последней $\varepsilon_6 = 0$, так как измерительная и технологическая базы совмещены. Точность размера $35_{-0,1}$ будет определяться только погрешностью закрепления, т.е. деформацией технологической базы. Схема на рисунке 33, д оказывается точнее схемы на рисунке 33, в примерно в 40 раз.

Третья составляющая часть погрешности установки – *погрешность $\varepsilon_{п}$, вызываемая применением приспособлений*. Ее учитывают каждый раз особо. Возникновение этой погрешности связано с неточностью изготовления приспособлений, их установкой на станке, износом опор от многократного контактирования с заготовками.

При установке приспособлений на станки возникают различные перекосы, установочные элементы занимают положения, не соответствующие заданным. Например, обычные трехкулачковые патроны при каждом закрепле-

нии на шпинделях станков занимают новые положения. Рассеяние положений происходит в пределах зазора между шейкой шпинделя и отверстием в патроне, так как ось вращения шпинделя и ось патрона не совпадают. В другом случае зажимные элементы приспособлений в процессе закрепления заготовок перекашиваются в пределах зазора в направляющих и при этом увлекают за собой заготовку. Заготовку закрепляют каждый раз в новом положении.

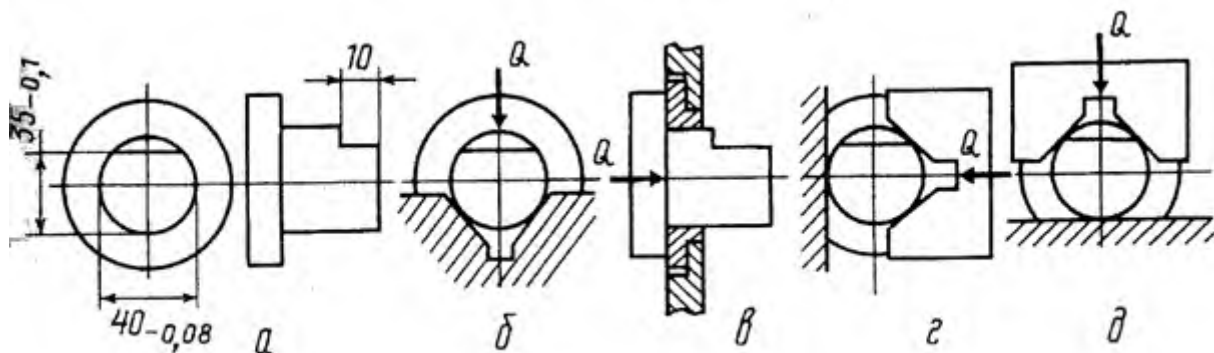


Рисунок 33 - Варианты выбора рациональной схемы базирования и закрепления заготовки [2]

Износ приспособлений и, прежде всего, их установочных элементов может оказать существенное влияние на точность установок. Элементы изнашиваются неравномерно.

Каждая из причин возникновения погрешностей, связанных с применением приспособлений, должна быть рассмотрена особо. Некоторые погрешности (например, перекос при установке приспособления) следует рассматривать как постоянные, действие которых одинаково для всех заготовок в партии, другие же имеют случайный характер (например, погрешность положения заготовок в процессе их закрепления).

Рассмотренные погрешности, как составные части погрешности установки, необходимо суммировать, так как все они имеют случайный характер, то суммировать их следует по законам теории вероятностей. Погрешности необходимо рассматривать как поля рассеяния случайных величин, распределение которых в первом приближении подчиняется закону Гаусса. Тогда

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{II}^2}. \quad (26)$$

При изготовлении деталей особое внимание обращают на необходимость одновременного сокращения всех погрешностей, стоящих под знаком корня.

Для практических целей часто необходимо знать лишь суммарное значение погрешности установки, не рассматривая ее по элементам (эти значения приведены в справочной литературе).

В единичном производстве понятие "погрешность установки" отсутствует, так как обработку проводят методом пробных ходов и измерений. Для этого случая характерна погрешность выверки. Допустим, что необходимо расточить на токарном станке предварительно обработанное отверстие в корпусной детали. Заготовку 3 (рисунок 34) устанавливают на планшайбе 1, связанной со шпинделем станка. Однако центр отверстия заготовки O_1 не совпадает с центром O вращения планшайбы (шпинделя). Поэтому необходимо выверкой (перемещением заготовки по осям OX и OY) совместить оба центра. Установку по оси OX производят сдвигом заготовки, а установку по оси OY - подбором планок 2 высотой b . Точность совмещения осей O и O_1 устанавливают различными измерительными средствами как до, так и после закрепления заготовки. При этом определяют *погрешность выверки*. Эта погрешность в наибольшей степени зависит от квалификации рабочего.

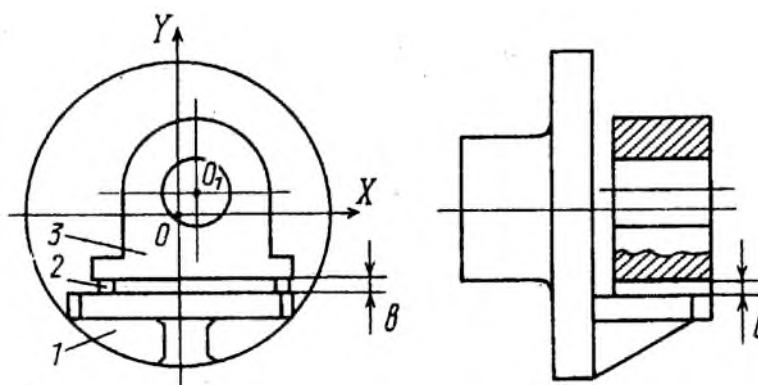


Рисунок 34 - Схема выверки заготовки [2]

Выверку проводят по рискам предварительно размеченной заготовки либо непосредственно по обрабатываемым поверхностям. Риски могут играть роль измерительных, а в отдельных случаях - технологических баз.

11 Погрешности, связанные с инструментом

Процесс резания материалов происходит в условиях повышенных температур и существенных давлений в зоне резания. При этом инструмент изнашивается, а его режущая кромка занимает новое положение, вызывая погрешность обработки. В зависимости от конкретных условий режущая кромка может округляться, выкрашиваться, скалываться. Этот процесс протекает непрерывно в течение всего периода стойкости инструмента.

В очень многих случаях зависимость износа I от пути l резания представляется кривой, показанной на рисунке 35. Такая кривая имеет три участка. При прохождении в относительном движении сравнительно небольшого пути l_1 инструмент изнашивается наиболее интенсивно (зона I). Это происходит в связи с быстрым износом микронеровностей инструмента, оставшихся после затачивания. На пути резания l_2 износ изменяется по линейному закону (зона II), а по истечению некоторого времени режущая кромка накапливает очень много повреждений, что приводит к катастрофическому изнашиванию (зона III), если продолжить процесс резания (путь l_3).

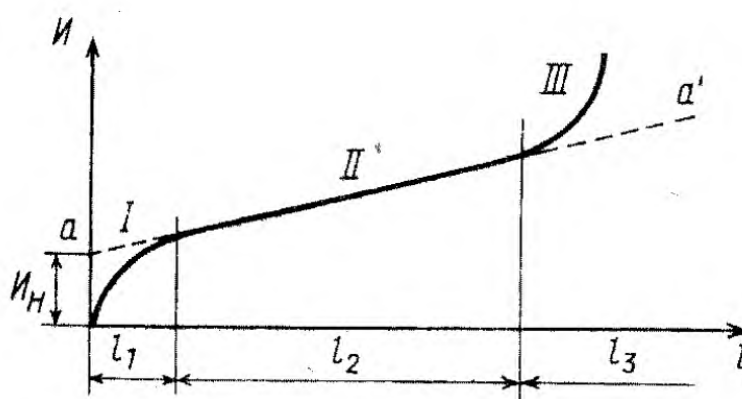


Рисунок 35 – Кривая изнашивания режущего инструмента [2]

Интенсивность размерного износа I_0 определяют на линейном участке пути резания:

$$I_0 = I_2 / l_2, \quad (27)$$

где I_2 - износ инструмента на участке l_2 .

Интенсивность размерного износа называют *относительным износом*.

Для того чтобы учесть износ инструмента в зоне I, принимают следующее положение. Линейный участок кривой изнашивания (зона II) условно увеличивают, проводя линию aa' . Тогда на оси ординат отсекается участок I_n , называемый начальным износом, который также оценивается в микро-

метрах. Размерный износ с достаточной степенью точности для пути резания l можно определить по формуле:

$$\Delta I = I_n + \frac{I_0 l}{10^6}. \quad (28)$$

Формула (28) может быть трансформирована для различных методов обработки. Для продольного точения

$$\Delta_{\text{и}} = I_n + \frac{I_0 \pi d l}{10^6 S}, \quad (29)$$

где d - диаметр заготовки;

l - длина обрабатываемой поверхности;

S - подача.

Для строгания:

$$\Delta_{\text{и}} = I_n + \frac{I_0 L B}{10^6 S}, \quad (30)$$

где L и B - соответственно длина и ширина обрабатываемой прямоугольной поверхности.

Для протягивания:

$$\Delta_{\text{и}} = I_n + \frac{I_0 L n}{10^6}, \quad (31)$$

где L - длина протягиваемого отверстия;

n - число обработанных заготовок.

Чтобы можно было пользоваться данными формулами, необходимо иметь значения I_n и I_0 для различных инструментов и обрабатываемых материалов. Эти данные приведены в справочной литературе. Относительный износ определяют для пути резания 1000 м. Для каждого метода обработки характерны свои значения износа режущего инструмента. Он также существенно зависит от жесткости технологической системы.

Постоянное изменение положения режущей кромки инструментов в ходе механической обработки приводит к появлению отклонений формы. Так, если обтачивается длинная деталь и путь резания оказывается достаточно большим, износ инструмента приводит к образованию конусности. Если этот износ равномерно распределяется на размеры деталей в партии, то диаметры деталей будут постоянно и равномерно увеличиваться. Эти же положения следует отнести и к операции растачивания. При фрезеровании процесс определения погрешностей формы несколько затрудняется, так как ин-

струмент изнашивается по более сложным законам, определяемым условиями входа и выхода инструмента из заготовки.

Износ режущего инструмента влияет на точность обработки более существенно, чем другие составляющие суммарную погрешность на основе функциональной зависимости. Поэтому во многих случаях инструмент регулируют в ходе его эксплуатации за период. Регулировку применяют для резцов, фрез, разверток и других инструментов, допускающих перемещение режущей кромки относительно заготовки.

При работе на предварительно настроенных станках компенсация износа полнее всего обеспечивается с помощью специальных подналадчиков, схема работы которых представлена на рисунке 36.

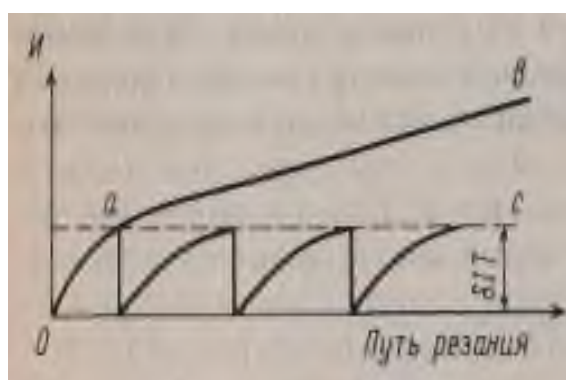


Рисунок 36 – График подналадки режущего инструмента [2]

Инструмент изнашивается по закону, выражаемому известной кривой Oab . Однако в точке a происходит подналадка инструмента и его режущая кромка переходит в положение, соответствующее начальному. Затем это процесс может быть автоматически многократно повторен. Подналадчик настраивает так, чтобы линия ac отстояла от оси абсцисс на величину, соответствующую части допуска IT (коэффициент $\delta < 1$).

При шлифовании абразивный инструмент постоянно изменяет свои свойства, так как часть режущих зерен удаляется. Шлифовальные круги периодически правят исходя из условий восстановления их режущих свойств. Круги малого диаметра изнашиваются более интенсивно. Их автоматически правят перед каждым чистовым ходом.

Рассеивание показателей свойств режущих инструментов всегда имеет место и учитывается специальными методиками.

12 Погрешности от температурных деформаций

Известно, что при нагреве тела его размеры увеличиваются. Так изменение линейного размера определяется по формуле

$$\Delta L = \alpha L(\Delta t), \quad (32)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения, град⁻¹;

L – линейный размер до нагрева;

Δt – разность температуры до и после нагрева.

При механической обработке выделяется значительное количество тепла. Основным его источником является процесс резания металла. Температура в зоне резания может превышать 1000°C. Кроме того, тепло выделяется в узлах трения механизмов станка. Поток тепла, которое выделяется при резании, распределяется между стружкой, деталью и инструментом. В количественном отношении это распределение зависит от метода обработки. При наружном точении поток тепла распределяется следующим образом: в стружку – 50-85%, в резец – 10-40%, в заготовку – 3-4%, в окружающую среду – 1%. При сверлении в стружку уходит до 28% тепла, в заготовку – 55%, в сверло – 14%, в окружающую среду – остальное. При выделении тепла система ДИПС (деталь - инструмент – приспособление - станок) нагревается и под воздействием температуры деформируется. Температурные деформации могут оказывать значительное влияние на точность обработки деталей, особенно по 5-6 качеству. Источниками погрешностей являются температурные деформации системы ДИПС. При токарной обработке наружной поверхности удлинение резца за счет нагрева может достигать 0,05 – 0,06 мм. Диаметр обработанной поверхности уменьшается при этом на 0,1 – 0,12 мм. Смещение оси шпинделя станка за счет нагрева передней бабки – узла, в котором сосредоточена почти вся механическая часть станка – по экспериментальным данным, составляет 0,1 мм. Чтобы уменьшить влияние нагрева заготовки на точность применяют СОЖ – смазочно-охлаждающую жидкость. Это снижает температуру в зоне резания в 3-3,5 раза. Кроме того, не рекомендуется производить измерения сразу после обработки в нагретом состоянии, а также препятствовать зажимами развитию температурных деформаций при обработке.

13 Погрешность обработки, обусловленные упругими деформациями технологической системы от сил резания

При функционировании технологической системы всегда возникают силовые факторы - силы и моменты сил, которые постоянно изменяются. Это характерно как для лезвийного, так и для абразивного инструмента.

Причин, вызывающих изменение силовых факторов, много. Но наиболее существенными являются три (рисунок 37). При обработке партии заготовок предварительно настроенному на размер инструменту приходится снимать слои материала различной глубины t (рисунок 37, а), так как поверхность АВ у каждой заготовки занимает новое положение. Поэтому колебание глубин от t_{\max} до t_{\min} , подчиняющееся определенному закону распределения, вызывает колебание силы резания. Это первая причина. Кроме того, режущий инструмент при своем движении D_r , встречает участки материала с различной твердостью, например, зоны А и В (рисунок 37, б). Такая картина характерна практически для любой заготовки. Неодинаковая твердость материала вызывает разные силы резания. Одновременно с действием первых двух причин действует и третья, связанная с затуплением режущего инструмента (рисунок 37, в). Инструмент, например, резец, из острозаточенного превращается в конце периода стойкости в затупившийся.

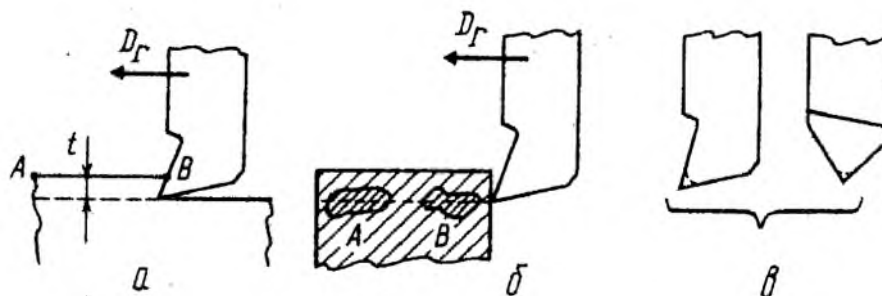


Рисунок 37 – Причины изменения силы резания [2]

Сила резания вызывает упругие отжатия (деформации) элементов технологической системы, а колебания сил резания приводят к постоянному изменению упругих отжатий. Общая картина деформирования системы дана на рисунке 38. Режущий инструмент настроен на выполнение размера D (рисунок 38, а). Но как только начинается процесс резания и появляется сила P_y , технологическая система деформируется, центр O заготовки упруго перемещается в положение O_1 , на расстояние y_1 , а инструмент - на расстояние y_2 . Поэтому система будет обтачивать заготовку диаметром D_1 . Такая ситуация характерна для определенного момента времени. В следующий момент силовая картина изменится, так как постоянно меняется сила резания. Поэтому ни

упругое перемещение y_1 , ни перемещение y_2 нельзя компенсировать предварительной настройкой технологической системы. Необходимо для партии заготовок определять $\Delta y = y_{\max} - y_{\min}$ как составную часть ожидаемой точности обработки.

До начала процесса резания настройкой инструмента устанавливают заданную глубину резания (рисунок 38, б) $t_{\text{зад}}$. Под действием силы P_y возникают упругие перемещения y_1 и y_2 . Заданная глубина резания уменьшается до фактического значения $t_{\text{факт}}$.

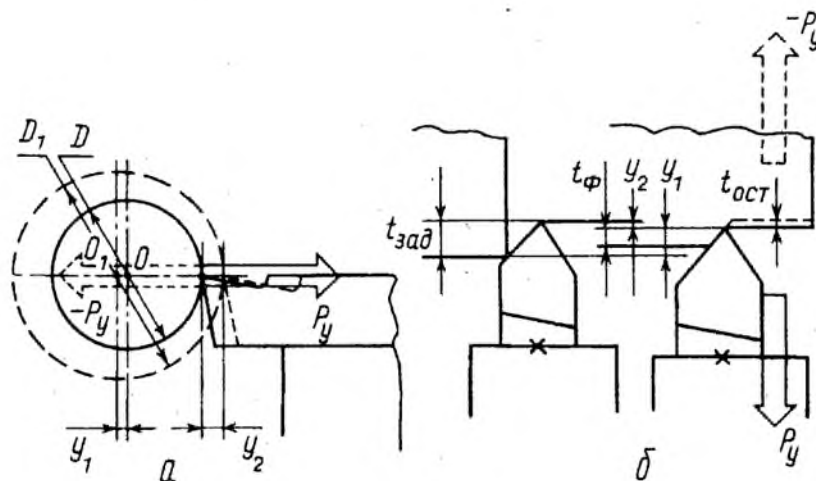


Рисунок 38 – Схемы определения упругих деформаций системы [2]

Для каждого сечения заготовки можно считать:

$$y_1 + y_2 = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}}. \quad (33)$$

Упругие перемещения определяют по формулам:

$$y_1 = P_y / J_{\text{заг}}; \quad y_2 = P_y / J_{\text{ин}}, \quad (34)$$

где $J_{\text{заг}}$ и $J_{\text{ин}}$ - соответственно жесткости цепи элементов системы, связанных с заготовкой и инструментом.

Жесткостью называют способность элементов конструкции сопротивляться действию силовых факторов. Единица измерения жесткости - ньютон на миллиметр.

Силу P_y определяют расчетным путем, исходя из условий обработки. Чаще всего для этого используют эмпирические формулы вида:

$$P_y = CS^y vt_{\text{факт}}^x (\text{HB})^n, \quad (35)$$

где C - коэффициент, характеризующий условия обработки;

S - подача;

v - скорость резания;
 HB - твердость обрабатываемого материала по Бринеллю;
 u, x, n - показатели степеней, выбираемые в соответствии с конкретными условиями резания.

Обозначим

$$CS^y v (HB)^n = C_1. \quad (36)$$

Тогда $P_y = Ct^x_{\text{факт}}$. После подстановки и преобразования получим:

$$\left(\frac{C_1}{J_{\text{заг}}} + \frac{C_1}{J_{\text{ин}}} \right) t_{\text{факт}}^x + t_{\text{факт}} = t_{\text{зад}}. \quad (37)$$

Для дробного значения показателя степени x решения данного уравнения относительно $t_{\text{факт}}$ нет. Сделав ряд допущений, можно ввести понятие остаточной глубины резания $t_{\text{ост}} = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}}$ (рисунок 38, б). Тогда приближенное решение будет иметь вид:

$$t_{\text{ост}} = C_1 t_{\text{зад}}^x \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right). \quad (38)$$

Выражение, взятое в скобки, характеризует податливость технологической системы. Формула (39) оказывается удобной для определения Δy .

Для партии деталей всегда известен допуск IT, который является разностью наибольшего и наименьшего размеров. Допуск не должен быть меньше разности наибольшего и наименьшего значений $t_{\text{ост}}$. Если Δy - поле рассеяния этой величины, то

$$\Delta y = t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}. \quad (39)$$

При обработке партии заготовок их твердость меняется от HB_{max} до HB_{min} , а сила резания возрастает к концу периода стойкости из-за затупления инструмента. В результате имеем колебание значений от $C_{1\text{max}} = C_{\text{max}}^x (HB)_{\text{max}}^n$ до $C_{1\text{min}} = C_{\text{min}}^x (HB)_{\text{min}}^n$. С учетом отмеченного формула принимает вид:

$$\Delta y = (C_{1\text{max}} t_{\text{зад max}}^x - C_{1\text{min}} t_{\text{зад min}}^x) \left(\frac{1}{J_{\text{заг}}} + \frac{1}{J_{\text{ин}}} \right) \quad (40)$$

Величину Δy следует определять в тех сечениях заготовки, где жесткость минимальна.

Для нахождения разности упругих перемещений используют значения жесткости элементов технологической системы. Жесткость системы определяют экспериментальным путем, моделируя систему на конкретных металло-режущих станках. Силу P создают различными динамометрическими устройствами, а упругое перемещение y определяют измерительными устройствами. Графики упругих перемещений от действия сил могут иметь различный вид (рисунок 39).

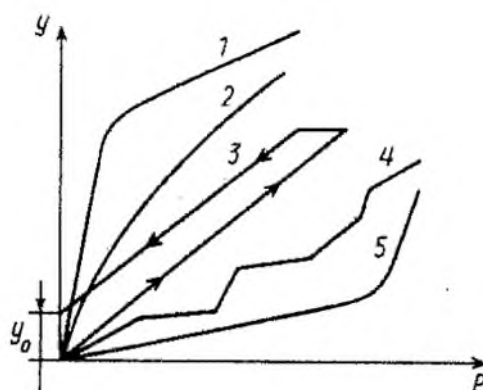


Рисунок 39 – Графики упругих деформаций [2]

Зависимость 1 имеет место в случаях, когда в системе содержится слабо закрепленный элемент. После его сравнительно большого перемещения под действием малой силы зазоры выбираются и возникает контактирование рабочих поверхностей всей нагруженной цепи элементов. Кривая 2 встречается сравнительно часто и характеризует отсутствие линейности при сложном контактном взаимодействии нагруженных элементов. Линейная зависимость 3 также часто встречается на практике. О жесткости можно судить по углу наклона прямой на графике относительно оси абсцисс. После нагружения элементов и затем их разгрузки (показано стрелками) технологическая система не возвращается в исходное положение, а создается некоторое остаточное перемещение y_0 . Петля гистерезиса характеризует работу, затраченную на деформирование элементов системы. В расчетах чаще всего ориентируются на зависимость 3, как на наиболее типичную. Зависимость 4 свидетельствует о неравномерности упругих перемещений, что бывает в случаях, когда подвижные элементы системы слишком сильно затянуты в своих направляющих. График 5 показывает, что жесткость системы до определенных значений P была достаточно высокой, а затем в системе начал проявляться элемент с относительно низкой жесткостью. Следует иметь в виду, что при разгрузке систем все зависимости будут характеризоваться петлей гистерезиса по типу графика 3.

Силы в расчетах определяют по формулам, предложенным для различных методов обработки (точения, сверления, фрезерования, шлифования и пр.).

Погрешности предыдущих переходов из-за упругих деформаций не могут быть полностью устранены на последующих переходах, однако они должны постоянно уменьшаться. Предположим, что заготовка имеет конусообразность (рисунок 40, а). Из-за переменной глубины резания обточенная деталь также будет иметь конусообразность.

На заготовке длиной l исходная конусообразность:

$$i_{\text{заг}} = \frac{2}{l} (t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}), \quad (41)$$

а после обтачивания:

$$i_{\text{д}} = \frac{2}{l} (t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}), \quad (42)$$

Коэффициент уменьшения погрешности:

$$K' = \frac{i_{\text{д}}}{i_{\text{заг}}} = \frac{t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}}{t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}} \quad (43)$$

Аналогично рассмотренному случаю в определенной мере сохраняются погрешности взаимного положения поверхностей, в частности отклонение от перпендикулярности торца заготовки к ее оси (рисунок 40, б). Торцевое биение до обработки равно $t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}$, после обработки $t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}$. Коэффициент уменьшения погрешности определяют по той же формуле.

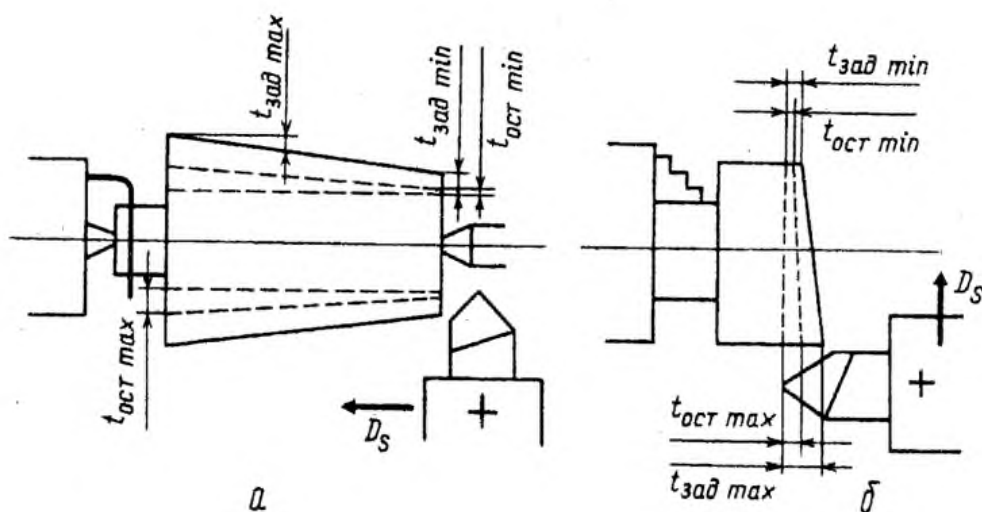


Рисунок 40 – Схемы расчета погрешностей от упругих деформаций [2]

При решении задач о разности упругих деформаций каждый раз предварительно следует оценивать количественно их значение с тем, чтобы без необходимости не делать расчеты.

Предположим, требуется расточить отверстие в тяжелой корпусной заготовке (рисунок 41, а). Под действием силы P заготовка - стол станка - направляющие станка будут деформироваться существенно меньше, чем оправка с резцом под действием той же силы, но направленной в другую сторону. Поэтому все расчеты целесообразно свести к расчету деформаций оправки, а деформации заготовки и элементов станка определять лишь в особых случаях, вызванных необходимостью точного расчета. Аналогично существенное смещение z резца относительно оси заготовки (рисунок 41, б) вызовет весьма малое приращение диаметра. Часто этой величиной можно пренебречь. Однако каждый раз особенности расчета следует тщательно анализировать.

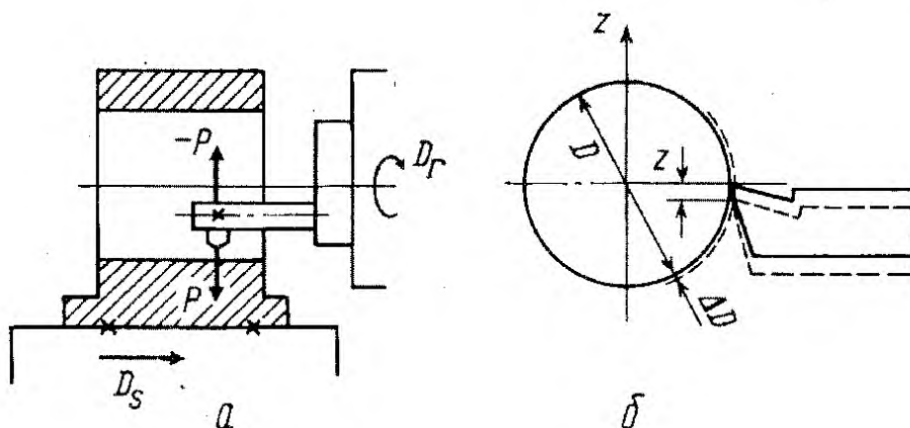


Рисунок 41. – Схемы для оценки упругих деформаций [2]

В ходе анализа встречаются случаи, когда необходимо учитывать переменную жесткость технологической системы при различных положениях инструмента. Так, при обтачивании заготовок на токарных станках (рисунок 42, а) режущий инструмент обычно перемещается на длину l от правого торца к левому.

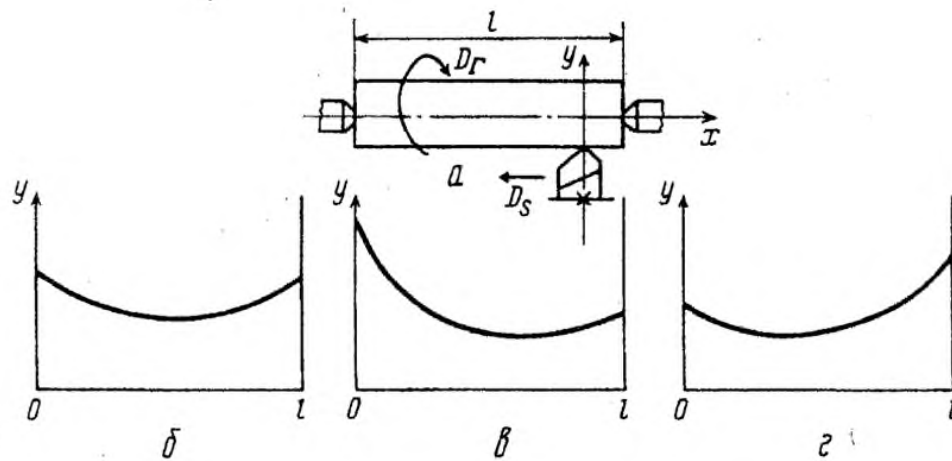


Рисунок 42 – Схема обтачивания заготовок (а) и графики упругих деформаций при различных соотношениях жесткостей элементов токарного станка (б-г) [2]

При крайнем правом положении инструмента упругая деформация y определяется жесткостью задней бабки, а передняя бабка не оказывает сопротивления действию силы резания. При крайнем левом положении инструмента - наоборот. Когда инструмент находится в средней зоне заготовки, на ее упругую деформацию влияют жесткости как передней $J_{п.б}$, так и задней $J_{з.б}$ бабок. Поскольку жесткости бабок различны, графики деформаций при различных соотношениях жесткостей будут также отличаться. Если принять заготовку абсолютно жесткой, а $J_{п.б} = J_{з.б}$, то график деформаций имеет вид, приведенный на рисунке 42, б. Для случаев $J_{п.б} < J_{з.б}$ и $J_{п.б} > J_{з.б}$ графики деформаций показаны на рисунке 42, в и г соответственно.

Заготовки практически всегда имеют конечную жесткость, и их деформациями пренебрегать нельзя. Кроме того, следует учитывать, что они имеют, как правило, ступенчатую форму. Поэтому деформации таких валов следует рассматривать как деформации ступенчатых балок и рассчитывать с использованием формул из курса сопротивления материалов. Для упрощения расчетов воспользуемся приведенным диаметром $d_{пр}$. Для деталей типа валов с односторонним расположением ступеней (рисунке 43, а):

$$d_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (44)$$

А для валов с двухсторонним расположением шпинделей (рисунке 43, б):

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}} \quad (45)$$

где n - число ступеней вала.

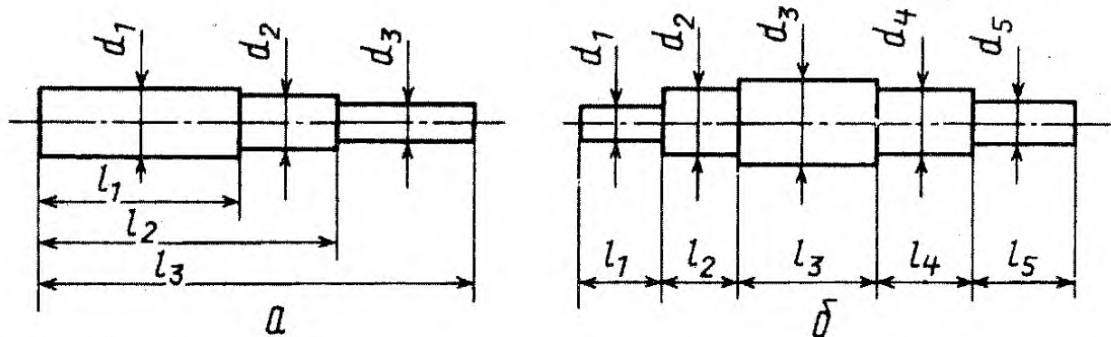


Рисунок 43 – Виды ступенчатых валов [2]

В правильно построенном ТП, несмотря на упругие отжатия технологической системы, каждый последующий переход должен обеспечивать более высокую точность, чем предыдущий. Но это условие может быть обеспечено лишь при соблюдении определенных требований к жесткости технологической системы. Эти требования можно установить на основе следующих рассуждений.

Коэффициент уточнения $K_{\text{ут}} = \Delta y / \Delta a$, где Δa - погрешность, оставшаяся от предшествующего перехода. Очевидно, что $K_{\text{ут}} < 1$. Введем понятие податливости W технологической системы

$$y = P/J = PW. \quad (46)$$

Податливость - это величина, обратная жесткости.

Разность упругих деформаций можно представить как:

$$\Delta y = P_{y \max} W_{\max} - P_{y \min} W_{\min} \quad (47)$$

Эта формула пригодна как для единичной детали, так и для партии деталей. Для конкретного сечения детали податливость $W = \text{const}$, а сила P_y , изменяется в основном из-за колебаний глубины резания t . Для такого сечения:

$$\Delta y = W(P_{y \max} - P_{y \min}) \quad (48)$$

Учитывая, что $CS^y v (\text{HB})^n = C_1$, имеем

$$P_{y \max} = C_1 t^x; P_{y \min} = C_1 (t - \Delta_a)^x \quad . \quad (49)$$

Тогда:

$$K_{\text{ут}} = \frac{W[C_1 t^x - C_1 (t - \Delta_a)^x]}{\Delta_a} < 1. \quad (50)$$

Для того чтобы происходило уточнение, необходимо выполнение условия:

$$C_1 W[t^x - (t - \Delta_a)^x] < \Delta_a. \quad (51)$$

Поэтому и для технологической системы необходимо, чтобы:

$$W < \frac{\Delta_a}{[t^x - (t - \Delta_a)^x]}. \quad (52)$$

Если это условие соблюдаться не будет, точность заготовки на каждом переходе будет снижаться.

Приведенные выше формулы позволяют определить ту составляющую ожидаемой точности Δ , которая зависит от разности упругих деформаций технологической системы.

14 Погрешности, обусловленные геометрической неточностью станка

При изготовлении станков, их установке и эксплуатации (из-за износа в парах трения) возникает геометрическая неточность. Особенность геометрической неточности станка – ее наличие в ненагруженном состоянии. Поэтому все проверки на геометрическую точность станков проводят вне их работы. По геометрической точности станки подразделяются на классы: 1) нормальной точности (Н); 2) повышенной точности (П); 3) высокой точности (В); 4) особо высокой точности (К); 5) особо точные станки (С).

Геометрическая погрешность отдельных элементов станков общего назначения средних размеров нормальной точности имеет следующие значения:

радиальное биение на конце шпинделей токарных и фрезерных станков – $0,01 \div 0,015$ мм; торцевое (осевое) биение шпинделей - $0,01 \div 0,02$ мм; непараллельность осей шпинделей токарных станков профильным направляющим на длине 300 мм - $0,01 \dots 0,13$ мм; неперпендикулярность оси шпинделя сверлильного станка плоскости стола на длине 300 мм - $0,06 \dots 0,1$ мм.

Все эти геометрические погрешности станков частично или полностью переносятся на изготавливаемые детали. Так, радиальное биение шпинделей токарных и круглошлифовальных станков, обусловленное овальностью подшипников и опорных шеек шпинделей, приводит к непараллельности образующих наружной поверхности относительно оси детали. Непараллельность оси шпинделя токарного станка к продольным направляющим приводит к конусности обрабатываемой детали. Неперпендикулярность оси шпинделя сверлильного станка плоскости стола приводит к неперпендикулярности оси просверленных отверстий базовой поверхности заготовки. Деформации станков при их монтаже под действием веса и при их эксплуатации под действием остаточных напряжений вызывают дополнительные систематические погрешности при обработке заготовки. Прогиб направляющих в продольном направлении при установке приводит к погрешности формы обработанных поверхностей (конусность, бочкообразность и т.д.). Износ поверхностей трения станков при эксплуатации приводит к увеличению систематической погрешности обрабатываемой заготовки. Причем износ рабочих поверхностей происходит неравномерно, что приводит к изменению взаимного расположения отдельных узлов станков.

15 Случайные погрешности обработки и законы рассеивания действительных размеров деталей

Колебания твердости обрабатываемого материала и величины припуска заготовок одной партии, усилий закрепления приводят к появлению случайных погрешностей, обусловленных изменением сил резания, температуры, износа инструмента и положения заготовки. В результате при обработке партии деталей на настроенном станке действительный размер детали является случайной величиной. Совокупность значений действительных размеров деталей, обработанных при неизменных условиях и расположенных в возрастающем порядке с указанием частоты или относительной частоты повторения этих размеров, называется распределением размеров деталей, которое может быть представлено в виде таблиц, гистограмм, графиков. При разных условиях обработки деталей рассеивание их действительных размеров подчиняется закону нормального распределения, закону равной вероятности, закону Симпсона, закону Релея, композиции этих законов.

Закон нормального распределения имеет место, если на рассеивание размеров влияет большое число взаимно независимых случайных величин и влияние каждого фактора на размер детали мало и примерно одинаково по своей величине. Этот закон в большинстве случаев оказывается справедлив при обработке деталей резанием с точностью 8, 9, 10 квалитетов.

Рассеивание действительных размеров партии обработанных деталей подчиняется закону равной вероятности, если рассеивание размеров зависит только от одного доминирующего фактора, например, износа режущего инструмента. Распределение размеров обработанных деталей, как правило, подчиняется этому закону при их изготовлении с особо высокой точностью < 5 квалитета.

При совместных погрешностях обработки, связанных с недостаточной жесткостью технологической системы, другими причинами, фактическое распределение размеров может подчиняться закону Симпсона. Распределение действительных размеров деталей по этому закону встречается при обработке по 6, 7, 8 квалитетам.

Закону Релея, как правило, подчиняется распределение таких погрешностей, как биение, эксцентриситет, эллиптичность, ошибка в шаге резьбы.

При обработке деталей на станках на точность их размеров часто одновременно воздействуют различные причины, вызывающие появление как случайных, так и систематических или переменных систематических погрешностей. В этих случаях закон распределения размеров обработанных деталей – композиция нескольких законов распределения.

16 Суммирование погрешностей обработки и точностной анализ технологических операций

Для определения ожидаемой точности необходимо суммировать первичные погрешности (особо для каждого случая обработки и в зависимости от сущности каждой погрешности в процессе). В большинстве случаев суммирование можно проводить по первичным погрешностям. Первичные погрешности отражены в структурной формуле:

$$\Delta = f(\varepsilon, \Delta y, \Delta_{\text{и}}, \Delta_{\text{н}}, \Delta_{\text{т}}, \Sigma\Delta\phi),$$

где ε – погрешность, связанная с установкой заготовки на металлорежущий станок или в приспособление;

Δy – погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы;

$\Delta_{\text{и}}$ – погрешность, возникающая в результате размерного износа режущих инструментов;

$\Delta_{\text{н}}$ – погрешность, связанная с настройкой режущих инструментов;

$\Delta_{\text{т}}$ – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы;

$\Sigma\Delta\phi$ – погрешность, связанная с геометрическим отклонением оборудования.

При обработке заготовок на предварительно настроенных станках с использованием приспособлений, когда каждая из первичных погрешностей является звеном размерной цепи, ожидаемую точность Δ можно представить, как замыкающее звено размерной цепи. Тогда ожидаемую точность Δ можно представить, как замыкающее звено цепи и суммирование первичных погрешностей производить алгебраически

$$\Delta = \varepsilon + \Delta y + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{н}} + \Delta_{\text{т}} + \Sigma\Delta\phi. \quad (53)$$

Задачу следует решать методом «максимума-минимума». При этом все первичные погрешности здесь отнесены к направлению выдерживаемого размера. Значение $\Sigma\Delta\phi$ необходимо определять с учетом взаимной компенсации погрешностей технологической системы. При обработке тел вращения Δ для диаметральных размеров нужно определять без учета ε , равно как и для случая двухсторонней обработки элементов изделия набором режущих инструментов.

Анализ конкретного технологического процесса может привести к выводу, что в отдельных случаях следует пренебречь и другими слагаемыми. Но для этого нужны научные обоснования.

17 Погрешности сборки

Под *погрешностью сборки* понимается несовпадение материальных осей и сопрягаемых поверхностей деталей после сборки с их положением, определяемым чертежом и техническими требованиями. На погрешность сборки оказывают влияние следующие факторы: неточная установка и фиксация элементов машины в процессе ее сборки; некачественная пригонка и регулировка сопрягаемых элементов машины; неравномерная затяжка резьбовых соединений, вызывающая перекосы и деформации собираемых элементов, перекосы и деформации при запрессовке и других видах соединений, деформация при закреплении деталей в сборочных приспособлениях; невыполнение режима нагрева и охлаждения деталей; геометрические неточности сборочного оборудования и инструментов; неточность настройки сборочного оборудования; тепловые и упругие деформации элементов технологической системы (сборочное оборудование-приспособление-инструмент-собираемый объект); деформации сопрягаемых деталей от остаточных напряжений. В основном при сборке изделий возникают погрешности, связанные с изменением взаимного положения собираемых деталей, обусловленного отклонением формы сопрягаемых поверхностей, и с деформацией соединяемых деталей. Все эти погрешности сборки ухудшают функциональные характеристики машин. Так, неправильное взаимное расположение сопрягаемых деталей металлорежущих станков снижает их геометрическую и кинематическую точность. Неправильная сборка вращающихся частей изделий, например, шпинделя, вызывает осевое и радиальное биение, а, следовательно, погрешность обработки. Некачественное сопряжение стыков направляющих уменьшает их контактную жесткость и износостойкость. Неправильная сборка гидравлических узлов и машин может вызвать нарушение зазоров в основных сопряжениях и, как следствие этого, уменьшение их усилия и коэффициента полезного действия. Перекосы деталей в сопряжениях трения скольжения вызывают уменьшение их контактной жесткости, неравномерный и интенсивный износ, нагрев, а также возможность задиров контактирующих поверхностей.

Уменьшение натяга в неподвижном цилиндрическом или коническом соединении значительно снижает передаваемый соединением крутящий момент. Увеличенные зазоры в коренных и шатунных подшипниках коленчатого вала вызывают стук при работе двигателей внутреннего сгорания и значительно сокращают срок их службы.

18 Понятие о качестве поверхностного слоя деталей

Наружный слой детали, имеющий макро- и микроотклонения от идеальной геометрической формы и измененные физико-химические свойства по сравнению со свойствами основного материала, называется *поверхностным слоем*. Он формируется при изготовлении деталей, изменяется при эксплуатации машины и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой определяется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами.

Под геометрическими характеристиками понимают макроотклонение, волнистость, шероховатость и субшероховатость. *Макроотклонение* поверхности - это неровность высотой $10^{-2} \dots 10^3$ мкм на всей ее длине или ширине. *Волнистость* поверхности - совокупность неровностей высотой примерно $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом большим, чем базовая длина l , используемая для измерения параметров шероховатости. *Шероховатость* поверхности – совокупность неровностей высотой около $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом меньшим, чем базовая длина l , используемая для ее измерения. *Субшероховатость* – субмикронеровности высотой примерно $10^{-3} \dots 10^{-2}$ мкм, накладываемые на шероховатость поверхности.

Под физико-химическими свойствами поверхностного слоя понимают остаточные напряжения, наклеп и структуру. Оценка геометрических характеристик и физико-химических свойств может быть непараметрической и параметрической. *Непараметрическая оценка* заключается в графическом изображении макроотклонения, волнистости, шероховатости, субшероховатости, структуры, распределения остаточных напряжений и наклепа поверхностного слоя для визуального сравнения. Для непараметрической оценки используют профилограммы, кривые опорных длин профиля, кривые распределения ординат или вершин профиля, спектрограммы профиля, топограммы и т.п.

При *параметрической оценке* характеристик поверхностного слоя деталей машин используются макроотклонение, волнистость и шероховатость.

Шероховатость характеризуют следующие параметры (ГОСТ 2789-73): среднее арифметическое отклонение профиля в мкм (R_a); высота неровностей профиля по десяти точкам в мкм (R_z); наибольшая высота профиля в мкм (R_{max}); средний шаг неровностей профиля в мм (S_m); средний шаг местных выступов профиля в мм (S); относительная опорная длина профиля в % (t_p);

Существуют также нестандартизованные параметры шероховатости.

19 Припуски на обработку

Отличием чертежа исходной заготовки от чертежа готовой детали прежде всего является то, что на всех обрабатываемых поверхностях предусматриваются припуски, соответственно изменяющие размеры, а иногда и форму заготовок. Исходная заготовка - заготовка перед первой технологической операцией. Форма ее отдельных поверхностей определяется с учетом технологии получения заготовок, требующей в ряде случаев определенных уклонов, радиусов закругления и т.п.

Припуск согласно ГОСТ 3.1109-82 – это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для получения заданных размеров изделия. *Напуск* – объем материала удаление которого приводит к уменьшению формы изделия с образованием у него новых поверхностей. Напуском, например, является объем металла, который удаляется в сплошном материале при сверлении отверстий.

Установление правильных размеров припусков на обработку – ответственная технико-экономическая задача, так как назначение чрезмерно больших припусков приводит к повышенному расходу материала, превращаемого в стружку, к увеличению трудовых затрат, к повышению расхода электрической энергии и режущего инструмента; к увеличению потребности в оборудовании и рабочей силе. Это увеличивает себестоимость изделия. В случае назначения малых припусков с поверхности заготовки дефектный слой материала удаляется не полностью, усложняется выверка заготовки при установке ее на станке, повышаются требования к точности размеров заготовки.

Общим припуском на обработку называется слой материала, который удаляется с поверхности исходной заготовки для получения заданных размеров готового изделия. Общий припуск на обработку определяется по формуле:

$$Z_o = |A_{\text{заг}} - A_{\text{изд}}|, \quad (54)$$

где Z_o - общий припуск;

$A_{\text{заг}}$ - размер заготовки;

$A_{\text{изд}}$ – размер готового изделия.

Для поверхностей вращения различают припуск на диаметр и припуск на сторону. Для этих поверхностей формулой (52) определяется припуск на диаметр и соответственно, припуск на сторону будет в два раза меньше. Для использования этой формулы как для наружных, так и для внутренних поверхностей вращения, берется разность размеров по абсолютной величине.

Припуски на обработку могут быть симметричными, асимметричными, односторонними. *Симметричные припуски* имеют место при обработке наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, а также, если противоположные поверхности, например, плоские, имеют одинаковые припуски. *Асимметричные припуски* будут в случаях, когда противоположные поверхности имеют неодинаковые припуски. Припуск на обрабатываемую поверхность называется односторонним в случае, когда противоположная поверхность не обрабатывается. Величина назначения припуска зависит от размера поврежденного поверхностного слоя: для литых заготовок от толщины корок, для заготовок из проката – от глубины обезуглероженного слоя, от неизбежных технологических погрешностей, возникающих при обработке заготовки (погрешности установки заготовки, отклонение геометрической точности станка и др.).

Технологические погрешности определяют отклонения размеров, отклонения геометрической формы, поверхностные микронеровности, глубину дефектного поверхностного слоя, отклонение взаимосвязанных поверхностей. Глубина дефектного поверхностного слоя h зависит от способа изготовления заготовок. Дефектным считается слой металла, у которого структура, химический состав, механические свойства отличаются от аналогичных параметров основного материала. Так, в отливках из серого чугуна дефектный поверхностный слой представляет собой перлитную корку, которую удаляют при зачистке заготовки абразивным инструментом, что обеспечивает сохранение стойкости лезвийного инструмента на операциях последующей механической обработки. У проката поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, снижающей предел прочности металла. Удаление этого слоя повышает прочностные свойства обрабатываемой заготовки. Наряду с этим при обработке заготовок из проката в поверхностном слое имеет место наклеп. Зону резко выраженной деформации, то есть верхнюю часть наклепанного слоя, в которой наблюдаются изменения структуры металла, при обработке целесообразно удалять.

Отклонения взаимосвязанных поверхностей - отклонения от параллельности, отклонения от перпендикулярности поверхностей или осей, эксцентриситет отверстий, смещение осей и другие – также необходимо учитывать при расчете припуска. Эти отклонения определяют дополнительные погрешности на размерах обрабатываемых поверхностей, поэтому их учитывают отдельными составляющими.

Наряду с перечисленными отклонениями в процессе обработки возникают погрешности установки, которые также должны быть компенсированы соответствующим увеличением припуска.

Таким образом, наименьший межоперационный припуск на обработку Z_{\min} , при котором формируется наименьший предельный размер заготовки по внутренним поверхностям, должен учитывать все эти факторы.

20 Выбор заготовок для изготовления деталей машин

Заготовка – предмет производства, из которого изменением формы и размеров, свойств материала и шероховатости поверхности изготавливают деталь.

По виду, отражающему характерные особенности базового технологического метода изготовления заготовок различают следующие виды заготовок:

- 1) получаемые литьем (отливки);
- 2) получаемые обработкой давлением (кованые и штампованные заготовки);
- 3) заготовки из проката;
- 4) сварные и комбинированные заготовки;
- 5) получаемые методом порошковой металлургии;
- 6) заготовки, получаемые из конструкционной керамики.

Заготовка может быть штучной (мерной) или непрерывной, например, прутки горячекатаного проката, из которого путем его разрезки могут быть получены отдельные штучные заготовки.

Заготовка каждого вида может быть получена одним или несколькими способами, родственному базовому. Например, отливку можно получить литьем в песчаные, оболочковые формы, в кокиль и т.д.

Литьем получают заготовки прокатки любых размеров простой и сложной конфигурации практически из всех металлов и сплавов. Качество отливки зависит от условий кристаллизации металла в форме определяемых способом литья. В некоторых случаях внутри стенок отливок возможно образование дефектов (усадочные рыхлоты, пористость, горячие и холодные трещины), обнаруживаемых только после механической обработки.

Метод литья в песчано-глинистые формы применяют для всех литейных сплавов, заготовок любых масс, конфигураций и габаритов на производствах всех типов. Этим методом получают 80 % всех отливок. Метод отличается универсальностью и дешевизной. Изменяя способы формовки, материалы моделей, составы формовочных смесей управляют 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 разовые формы получают заготовки сложной конфигурации: коленчатые и кулачковые валы, ребристые цилиндры, корпуса насосов, крыльчатки. После затвердевания металла форма легко разрушается, не препятствуя усадке металла, остаточные напряжения в отливке не-

значительны. Часть поверхностей заготовок не требует механической обработки. Расход формовочных материалов в 10-20 раз меньше, чем при литье в песчано-глинистые формы. В то же время работа с горячими металлическими моделями представляет определенную сложность, является дорогостоящей.

Литье по выплавляемым моделям также является методом литья в разовые формы. Его используют для изготовления сложных и точных заготовок из труднодеформируемых и труднообрабатываемых сплавов с высокой температурой плавления. Среди всех методов литья этот метод отличается самым длительным и трудоемким технологическим процессом. Экономичность метода достигается правильным выбором номенклатуры выплавляемых деталей, у которых шероховатость поверхности и точность размеров отливок могут быть обеспечены в литом состоянии и требуется механическая обработка только отдельных поверхностей. При получении заготовок литьем по выплавляемым моделям расход металла снижается до 55...75 %, трудоемкость механической обработки – до 60 % и себестоимость детали – до 20 %.

Литье в металлическую форму (кокиль) относится к методам литья в многократные формы. Стойкость кокилей зависит от температуры заливки металла, материала кокиля, размеров, массы и конфигурации отливки. Особенность формирования отливок в кокиль – большая интенсивность теплообмена между отливкой и формой. Быстрое охлаждение расплава при литье в кокиль вызывает снижение жидкотекучести. Это приводит к росту толщины стенок заготовки. Для магниевых и алюминиевых сплавов она составляет 3...4 мм, для стали – 8...10 мм. Металл отливки имеет мелкозернистую структуру, его физико-механические свойства на 15...20 % выше, чем у песчаных отливок. При литье в кокиль исключаются трудоемкие операции формовки, сборки и выбивки форм, процесс легче автоматизируется. Метод позволяет полностью устранить пригар, увеличивает выход годных заготовок до 75...95 %. Однако при литье в кокиль в отливках имеются дефекты: деформации, трещины, газовая пористость.

Литьем под давлением в многократно используемые формы получают заготовки, близкие по форме к готовой детали, имеющие высокую точность и низкую шероховатость поверхности. Методом производят сложные тонкостенные отливки из цветных сплавов (алюминия, магния, цинка, меди). Сочетание в процессе литья металлической формы и воздействия давления на жидкий металл позволяет получать отливки на 15...20 % прочнее, чем при литье в песчано-глинистые формы. У полученных деталей механической обработке подвергают только посадочные места и поверхности сопряжения. Основные преимущества метода: получение отливок с толщиной стенок <1 мм и возможность автоматизации процесса. Для метода требуется применение дорогих пресс-форм, изготавливаемых по 6-8-му качеству.

При центробежном литье используются центробежные силы, действующие на частицы расплавленного металла при заливке его в многократную форму и затвердевании, что утяжеляет частицы, улучшает питание отливок. Однако у таких заготовок более ярко, чем у заготовок, полученных другими методами литья, выражена химическая неоднородность (ликвация). Это пока единственный метод получения качественных заготовок для литья из титановых сплавов. Методом получают заготовки типа тел вращения: втулки, диски, гильзы цилиндров, трубы из чугуна, стали, твердых сплавов и цветных металлов. Преимущество метода – относительно высокая плотность отливок вследствие малого количества межкристаллических пустот, что улучшает заполнение отливок металлом. Недостатком центробежного литья является сложность получения качественных отливок из сплавов, склонных к ликвации, что требует увеличения припусков на механическую обработку поверхностей на 25 %.

Штамповка жидкого металла – разновидность литья под давлением при применении которой жидкий металл подается в металлическую форму, где уплотняется под давлением пуансона. Штамповкой жидкого металла получают тонкостенные заготовки корпусов, фланцев, тройников из цветных и черных металлов. При этом благодаря кристаллизации в условиях всестороннего сжатия устраняются газовые и усадочные раковины, а коэффициент использования металла достигает 0,90...0,93.

Обработкой металлов давлением получают кованные и штампованные заготовки.

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 (поковка на молотах) и от 10 ± 3 мм до 80 ± 30 мм (ковка на прессах). Для уменьшения расхода металла при ковке заготовок партиями 30...50 шт. применяют кольца и подкладные штампы. Это делает возможным сократить расход металла на 15...20 % по сравнению с ковкой на универсальном инструменте. Ковка позволяет получать крупногабаритные заготовки последовательным деформированием отдельных их участков. В процессековки улучшаются физико-механические свойства материала, особенно ударная вязкость, поэтому из поковок производят ответственные детали машин: диски турбин, роторы, валки прокатных станов, коленчатые валы судовых двигателей, детали крупных штампов. Основными операциямиковки являются: осадка, протяжка, прошивка, рубка, гибка, закручивание и др.

Заготовки толстостенных деталей получают с помощью технологических операций объемной штамповки.

Горячая объемная штамповка – основной способ получения заготовок для ответственных деталей массой от 0,5 до 20...30 кг. Поковки массой в 100 кг для объемной штамповки считаются крупными. Масса заготовки, полученной горячей штамповкой, превышает массу детали на величину отхода металла на угар при нагреве и на последующую размерную обработку. В зависимости от типа применяемого штампа различают штамповку в открытых или закрытых штампах, а также в штампах для выдавливания. В зависимости от применяемого оборудования штамповку подразделяют на штамповку на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах. Так как штамп определяет течение металла, то подразделение штамповки по типу применяемого штампа считают основным.

При штамповке в открытых штампах исходными служат катаные и кованые заготовки. Для первых применяют многоручьевые штампы, имеющие заготовительные ручки для придания заготовке переходных форм и окончательный ручей, для вторых – штамп имеет только окончательный ручей, а заготовку предварительно отковывают на другом оборудовании.

При штамповке на молотах используют штучную заготовку, равную объему металла штампуемой заготовки с учетом отхода на угар при нагреве. Формообразование металла происходит в закрытом пространстве. Замок штампа обеспечивает смыкание половин штампа и закрывает полость при штамповке. Зазор в замке составляет 0,1...0,15 мм, и вытекающий в него заусенец мал. При использовании закрытых штампов энергетические параметры молота или пресса почти целиком расходуются на деформирование поковки, в то время как при штамповке в открытых штампах значительная часть энергии идет на деформирование заусенца. Качество макроструктуры штамповок, полученных в закрытых штампах, очень высокое из-за благоприятной схемы деформации металла, особенно вблизи замка. Отсутствует и расслоение металла в месте образования заусенца, имеющее место при штамповке в открытых штампах. Штамповка в закрытых штампах осложняется прежде всего их низкой стойкостью, объясняемой очень тяжелыми условиями работы. В процессе заполнения полости штампа, особенно в конце процесса формообразования, часть энергии расходуется на упругую деформацию поковки, соударение половин штампа и жесткое замыкание технологической системы, что часто является причиной поломок штампа, а не его износа. Поэтому вопрос о целесообразности применения штамповки в закрытых штампах надо решать с учетом требований экономии металла и энергии, стоимости штампов и других факторов.

Штамповка выдавливанием – прогрессивный процесс объемной штамповки, применяемый для получения поволоков в виде стержней с фланцем, клапанов, полых стаканов и др. Метод обеспечивает снижение расхода ме-

талла на 30 %, точность размеров поковок, соответствующую 12 качеству, высокое качество поверхностного слоя, низкую шероховатость поковок, плотную микроструктуру поковок. Штамповку выдавливанием часто ведут на горизонтально-ковочных машинах, при этом материал заготовок может находиться как в горячем, так и в холодном состоянии. Недостатки штамповки выдавливанием: высокая энергоемкость и низкая стойкость штампов.

Холодной объемной штамповкой получают заготовки с высокими физико-химическими показателями свойств. При холодном течении металла обеспечиваются лучшие микро- и макроструктуры металла, поэтому этим способом получают заготовки деталей, работающих в тяжелых условиях абразивного износа, при ударных и знакопеременных нагрузках под воздействием тепловых и других вредных факторов (шаровые пальцы рулевой тяги, поршневые пальцы, седла клапанов, корпуса свечей и др.). Точность размеров заготовок, получаемых этим методом соответствует 12-15 качеству и выше, шероховатость поверхности $Ra = 5 \dots 10$ мкм достигается высадкой на прессах-автоматах производительностью сотни заготовок в час.

Прокаткой получают заготовки, которые непосредственно используют для изготовления деталей на металлорежущих станках. Штучные заготовки из проката используют для производства поковок и штампов. Товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения, трубный и листовой прокат, гнутые и периодические профили, специальный прокат представляют собой широкий выбор исходных заготовок, обеспечивая экономию металлов и энергии на этапе заготовительных процессов. Блюмы квадратные применяют в качестве исходных заготовок под ковку крупных валов энергетических, металлургических, транспортных машин. Сортовые профили круглые, квадратные, шестигранные используют для изготовления гладких и ступенчатых валов, дисков, втулок, фланцев, рычагов, клиньев. Трубный прокат стальной, бесшовный, горячекатаный, холоднокатаный, холоднокатаный применяют для изготовления цилиндров, барабанов, роликов, стаканов, шпинделей, пустотелых валов. Гнутые профили разной формы используют для изготовления деталей несущих конструкций, кронштейнов, опор, ребер жесткости. Периодические профили проката применяют для изготовления многих деталей, обеспечивая снижение расхода металла на 30...40 % и сокращение цикла обработки на 20...40 %. Специальные виды проката используют в массовом и крупносерийном производствах, когда обработка резанием практически отсутствует и требуется только обрезка, сверление отверстий, зачистка кромок.

Сварные и комбинированные заготовки изготавливают из отдельных составных элементов, соединенных с помощью различных способов сварки. В комбинированной заготовке, кроме того каждый составной элемент пред-

ставляет собой самостоятельную заготовку соответствующего вида (отливка, штамповка и т.д.), изготовленную выбранным способом по самостоятельно-му технологическому процессу. Такие заготовки разделяют на отдельные простые элементы, которые отливают, штампуют, вырезают газовой резкой или другими методами, обрабатывают по сопрягаемым поверхностям и соединяют сваркой в одну крупную и сложную заготовку. Иногда предварительно обработанные резанием заготовки устанавливают в форму и заливают расплавом металла, получая заготовки средних размеров. Это позволяет изготавливать отдельные элементы конструкции из материалов с заданными свойствами. Сварные и комбинированные заготовки значительно упрощают создание конструкций сложной конфигурации. Применение многосварных, штампованных, предварительно обработанных элементов и залитых в одной форме заготовок позволяет снизить трудоемкость механической обработки на 20...40 % и уменьшить расход металла на 30 %.

Методом порошковой металлургии изготавливают заготовки различных составов со специальными свойствами. Применение метода для производства заготовок конструкционного назначения оправдано лишь значительным эффектом. Технология получения заготовок методом порошковой металлургии включает подготовку порошковых исходных материалов; прессование заготовки из подготовленной шихты в специальных пресс-формах; термическую обработку, обеспечивающие окончательные физико-механические свойства материала. Достоинство порошковой металлургии – возможность изготовления заготовок из тугоплавких материалов, псевдосплавов (медь-вольфрам, железо-графит), пористых материалов для подшипников скольжения. Метод порошковой металлургии позволяет изготавливать заготовки по форме и размерам соответствующие готовым деталям и требующим только отделочной механической обработки.

Выбор заготовки для дальнейшей механической обработки – один из важнейших этапов проектирования технологического процесса изготовления детали. Выбрать заготовку – это значит установить ее рациональный вид, определяющий конфигурацию заготовки; определить напуски, уклоны, толщину стенок, размеры отверстий, припуски на обработку, размеры заготовки, допуски на точность их выполнения; установить способ получения заготовки, назначить технические условия на выполнение заготовки и выбрать оборудование [2]. От правильного выбора заготовки, установления ее форм, размеров, припусков на обработку, точности размеров и твердости материала в значительной степени зависит характер и число операций или переходов, трудоемкость изготовления детали, величина расхода материала и инструмента, что в итоге определяет стоимость изготовления детали. На выбор процесса и метода изготовления заготовки влияют следующие факторы [2]:

1. Конструктивные формы, размеры детали, ее масса.

При обработке детали на технологичность, конструктивные формы упрощают для реализации выбранного метода изготовления исходной заготовки; проверяют соответствие напусков, уклонов, сопряжений, толщин стенок, правильность выбора разъемов штампов и форм. Основной целью при этом является возможность беспрепятственного заполнения металлом формы или штампа с последующим легким извлечением заготовки. При этом руководствуются ГОСТ 2665-85 для отливок и ГОСТ 7505-89 для поковок. Размеры детали, ее масса оказывают решающее значение при выборе ряда прогрессивных методов, таких, как литье под давлением, в кокиль, по выплавляемым моделям, горячая объемная штамповка. Их применение ограничено техническими возможностями метода.

2. Точность формы, размеров и качество поверхностного слоя заготовок.

Требуемая точность геометрических форм и размеров заготовок существенно влияет на их себестоимость. Чем выше требования к точности отливок, штамповок и других заготовок, тем выше стоимость их изготовления. Это определяется большей частью увеличением стоимости формообразующей оснастки (модели, штампы, пресс-формы), уменьшением допуска на ее износ, применением оборудования с более высокими параметрами точности и, следовательно, более дорогого, увеличением расходов на его содержание и эксплуатацию. Качество поверхностного слоя заготовки сказывается на возможности ее последующей обработки и на эксплуатационных свойствах детали, таких как усталостная прочность, износостойкость и др. Оно формируется практически на всех стадиях изготовления заготовки. Технологический процесс определяет не только микрогеометрию поверхности, но и физико-химические свойства поверхностного слоя.

3. Технологическая характеристика материала, его свойства, определяющие возможность применения литья, пластической деформации, сварки, порошковой металлургии. Методы получения заготовок накладывают вполне определенные ограничения на использование тех или иных конструкционных материалов, которые определяются по достаточности литейных свойств, пластичности, свариваемости и других характеристик. При наличии достаточного комплекса всех этих свойств у материала его выходные механические характеристики могут сильно различаться у заготовок, полученных всеми возможными методами. Так, низкая жидкотекучесть и высокая склонность материала к усадке исключают его применение для литья в кокиль или литья под давлением из-за низкой податливости металлических форм. Сплавы, склонные к ликвации не применяют для литья под давлением и центробежного литья. Склонность к поглощению газов вызывает пористость на поверхности

отливок, что исключает изготовление отливки с гладкой, чистой поверхностью. Пластически деформированный металл обладает ярко выраженной текстурой в виде волокнистого строения мелких зерен; анизотропией механических свойств в зависимости от направления волокон; наклепом. В целом же, пластически деформированные заготовки обладают более высокими прочностными свойствами по сравнению с литыми. Для деформируемых материалов технологической характеристикой является пластичность, а для заготовок, получаемых сваркой или порошковой металлургией, - свариваемость материалов.

4. Объем выпуска продукции.

Количество предполагаемых к изготовлению изделий определяет выбор способа изготовления заготовок, поскольку наиболее технически и экономически совершенные способы требуют больших начальных затрат на приобретение оборудования и технологической оснастки. В единичном и мелкосерийном производствах в качестве заготовок применяют отливки, изготовленные в песчано-глинистых формах, поковки, полученные ковкой, и заготовки из горячекатанного проката. Все они имеют большие припуски и напуски. Стоимость материала заготовки составляет до 50 % себестоимости детали. В крупносерийном и массовом производствах применяют заготовки, изготовленные специальными методами, которые уменьшают припуски на механическую обработку в среднем на 25...30 %. С увеличением количества выпускаемых изделий удельные затраты на единицу продукции снижаются и возможно использование более прогрессивных способов получения заготовок.

5. Производственные возможности предприятия.

Наличие технологического оборудования, литейного, кузнечного, сварочного и других производств, возможность получения заготовок от специализированных заводов по кооперации позволяет организовать выпуск новой продукции с минимальными затратами времени на подготовку и освоение производства. Поэтому, проектирование нового технологического процесса необходимо увязывать с возможностями действующего производства, загрузкой его оборудования. В то же время, при ориентации на использование новых способов получения заготовок необходима тщательная технологическая подготовка производства, приобретение и изготовление нового оборудования и оснастки, что существенно удлиняет сроки подготовки производства.

6. Сроки освоения производства.

Данный критерий характеризует промежуток времени, необходимый предприятию на освоение нового для себя способа получения заготовок. Сроки освоения производства определяются сложностью изготавливаемого изделия, характером применяемых технологических процессов и типом производства.

Чем больше количество и сложность используемого оборудования и оснастки, тем больше сроки освоения производства.

Предварительный выбор заготовки может быть осуществлен на основе комплексного анализа указанных выше факторов с помощью матрицы их влияния (таблица 8).

Оценка осуществляется суммированием баллов, присвоенных каждому из возможных способов получения заготовки по перечисленным выше факторам. Возможность использования того или иного способа по конкретному фактору оценивается знаками плюс «+» или «-». Лучшим является способ, набравший наибольшее число баллов.

Таблица 8 – Матрица влияния факторов (пример) [2, 6]

Методы и способы получения заготовки	Факторы выбора метода и способа получения заготовки					Сумма факторов
	Форма и размеры заготовки	Точность формы, размеров и качество поверхностного слоя заготовок	Технологические свойства материала	Объем выпуска продукции	Сроки освоения производства	
<i>Литье:</i>						
под давлением	+	+	-	-	-	2
по выплавляемым моделям	+	+	-	+	+	4
в кокиль	+	+	-	-	+	3
<i>Ковка</i>		-	+	-	+	3
<i>Штамповка:</i>						
на молотах	+	-	+	+	+	4
на ГKM	+	+	+	+	-	4

Анализ матрицы, представленной в таблице 8, показывает, что три способа получения заготовок набрали равное наибольшее количество баллов (4). Однако отсутствие необходимых технологических свойств материала для использования метода литья ограничивает этот выбор до двух способов штамповки. Качественное сравнение этих вариантов не дает явного преимущества тому или иному способу, поэтому необходимо укрупненное проектирование обеих заготовок и технологических маршрутов их обработки.

На втором этапе выбора способа получения заготовки следует произвести расчет себестоимости способов, набравших наибольшее количество баллов при качественном сравнении.

Себестоимость заготовки из проката упрощенно можно определить по затратам на материал, необходимый для ее получения.

Затраты на материал определяются по массе проката, требующегося на изготовление детали, и массе сдаваемой стружки. При этом необходимо учитывать стандартную длину прутков и отходы в результате некратности длины заготовок этой стандартной длине:

$$M = \left[Q \cdot S - (Q - q) \frac{S_{отх}}{1000} \right] \cdot k_{инф}, \quad (55)$$

где Q – масса заготовки, кг;

S – цена 1 кг материала заготовки, руб;

Q – масса готовой детали, кг;

$S_{отх}$ – цена 1 т отходов, руб;

$k_{инф}$ – инфляционный коэффициент, необходимый для приведения уровня цен к современным условиям (его величина может корректироваться руководителем работы).

Стоимость заготовок, получаемых такими способами, как литье в обычные земляные формы и кокиль, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением; горячая штамповка на молотах, прессах, ГКМ, КГШП, а также электровысадкой, можно с достаточной для курсовой работы точностью определить по формуле:

$$S_{заг} = \left[\left(\frac{C_i}{1000} Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \frac{S_{отх}}{1000} \right] \cdot k_{инф}, \quad (56)$$

где C_i – базовая стоимость 1 т заготовок, руб;

k_T – коэффициент, зависящий от класса точности заготовок;

k_c – коэффициент, зависящий от группы сложности заготовок;

k_b – коэффициент, зависящий от массы заготовок;

k_m – коэффициент, зависящий от марки материала заготовок;

k_n – коэффициент, зависящий от объема производства заготовок.

Для отливок, полученных литьем в песчано-глинистые формы и кокили, рекомендуется пользоваться нижеприведенными данными [6].

Базовая стоимость 1 т отливок $C_1 = 360$ руб (отливки из серого чугуна марок СЧ10; СЧ15; СЧ18 массой 1-3 кг, 3-го класса точности по ГОСТ 26645-85, 3-й группы сложности и 3-й группы серийности).

Коэффициенты выбираются по следующим данным [6].

В зависимости от точности отливок значения коэффициента k_m равны:

- для отливок из черных металлов:

1-го класса точности $k_m = 1,1$;

2-го класса точности $k_m = 1,05$;

3-го класса точности $k_m = 1,0$;

- для отливок из цветных металлов:

4-го класса точности $k_m = 1,1$;

5-го класса точности $k_m = 1,05$;

6-го класса точности $k_m = 1,1$.

В зависимости от марки материала значения коэффициента k_m следующие:

- для чугуна:

СЧ10, СЧ15, СЧ18-1, СЧ20, СЧ25, СЧ30 $k_m = 1,04$;

СЧ35, СЧ40, СЧ45 $k_m = 1,08$;

ВЧ45-5, ВЧ50-2 $k_m = 1,19$;

КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10 $k_m = 1,12$;

- для стали:

углеродистой $k_m = 1,22$;

низколегированной $k_m = 1,26$;

легированной $k_m = 1,93$;

- для сплавов цветных металлов:

алюминиевых $k_m = 5,94$;

медноцинковых $k_m = 5,53$;

- для бронзы оловянисто-свинцовой $k_m = 1,04$.

Коэффициенты, зависящие от группы сложности отливок k_s , массы отливок k_v и объема производства k_n определяются по таблице 3. Для определения коэффициента k_n необходимо сначала установить группу серийности по таблице 4, затем на основании группы серийности по таблице 3 найти значение k_n .

Для отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям, за базовую принята стоимость 1 т $C_2 = 1985$ руб. (отливки из углеродистой стали массой 0,1-0,2 кг, 3-й группы сложности, 2-й группы серийности) [6].

Таблица 9 – Определение коэффициента k_s для отливок, полученных литьем в песчано-глинистые формы и кокили [6]

Материал отливки	Группы сложности				
	1	2	3	4	5
Чугун, сталь	0,7	0,83	1	2,2	1,45
Алюминиевые сплавы	0,82	0,89	1	1,1	1,22
Медные сплавы и бронза	0,97	0,98	1	1,02	1,04

Таблица 10 – Группы серийности отливок в зависимости от способа получения и объема производства [6]

Масса отливки, кг	Объем производства (тыс. шт./год) при группах серийности		
	1	2	3
<i>Литье в песчано-глинистые формы и кокиль</i>			
до 1	свыше 500	от 100 до 500	менее 100
св. 1 до 3	свыше 350	от 75 до 350	менее 75
св. 3 до 10	свыше 200	от 30 до 200	менее 30
св. 10 до 20	свыше 100	от 15 до 100	менее 15
св. 20 до 50	свыше 60	от 10 до 60	менее 10
св. 50 до 200	свыше 40	от 7,5 до 40	менее 7,5
св. 200 до 500	свыше 25	от 4,5 до 25	менее 4,5
<i>Литье по выплавляемым моделям</i>			
от 0,1 до 0,2	свыше 400	от 300 до 400	менее 300
от 0,2 до 0,5	свыше 300	от 225 до 300	менее 225
от 0,5 до 1	свыше 15	от 11 до 15	менее 11
от 1 до 2	свыше 12	от 9 до 12	менее 9
от 2 до 5	свыше 10	от 7 до 10	менее 7
от 5 до 10	свыше 4	от 3 до 4	менее 3
свыше 10	свыше 3	от 2 до 3	менее 2
<i>Литье под давлением</i>			
от 0,1 до 0,2	свыше 600	от 450 до 600	менее 450
от 0,2 до 0,5	свыше 500	от 375 до 500	менее 375
от 0,5 до 1	свыше 400	от 300 до 400	менее 300
от 1 до 2	свыше 300	от 225 до 300	менее 225
от 2 до 5	свыше 200	от 150 до 200	менее 150
от 5 до 10	свыше 100	от 75 до 100	менее 75
свыше 10	свыше 50	от 35 до 50	менее 35

Коэффициенты выбираются по следующим данным [6]:

а) независимо от точности отливок коэффициента k_m равен 1.

б) в зависимости от материала отливок значения коэффициента k_m следующие:

- для стали:

углеродистой – 1,

низколегированной - 1,08,

высоколегированной – 1,1;

- медных сплавов – 2,44;

- бронзы:

безоловянистой – 2,11,

оловянистой – 2,4.

Коэффициенты, зависящие от группы сложности отливок k_c и массы k_B , принимаются по таблице 5 и 6 [6].

Таблица 11 - Определение коэффициента k_c для отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям [6]

Материал отливки	Группы сложности				
	1	2	3	4	5
Сталь углеродистая	0,86	0,92	1	1,12	1,24
Сталь низколегированная	0,86	0,93	1	1,11	1,23
Сталь высоколегированная	0,85	0,90	1	1,12	1,26
Медные сплавы	0,865	0,925	1	1,15	1,26
Бронза безоловянистая	0,9	0,95	1	1,08	1,19
Бронза оловянистая	0,92	0,95	1	1,10	1,15

Таблица 12 - Определение коэффициента k_b для отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям [6]

Масса отливки	Материал отливки				
	сталь высокоуглеродистая	сталь высоколегированная	медный сплав	бронза безоловянистая	бронза оловянистая
от 0,05 до 0,1	1,37	1,31	1,20	1,30	1,30
от 0,1 до 0,2	1	1	1	1	1
от 0,20 до 0,5	0,75	0,78	0,95	0,79	0,83
от 0,5 до 1	0,70	0,74	0,89	0,76	0,80
от 1 до 2	0,62	0,63	0,86	0,71	0,76
от 2 до 5	0,50	0,53	0,82	0,54	0,70
от 5 до 10	0,45	0,48	0,78	0,61	0,67
свыше 10	0,38	0,40	0,72	0,57	0,64

Коэффициент k_n для отливок, получаемых по выплавляемым моделям, определяется независимо от марки материала отливки. Группа серийности, на основании которой выбираются значения коэффициента k_n приведена в таблице 10.

Значения коэффициента k_n в зависимости от группы серийности составляют:

- 1-я группа серийности – 0,83;
- 2-я группа серийности -1;
- 3-я группа серийности – 1,23.

Для отливок, полученных литьем под давлением, в качестве базовой принята стоимость 1 т отливок $C_3 = 1265$ руб. (отливки из алюминиевых сплавов массой 0,1 – 0,2 кг, 3-й группы сложности, 2-й группы серийности) [6].

Коэффициенты выбираются по следующим данным [6]:

- а) независимо от класса точности значения коэффициента k_m принимают равными 1;

б) в зависимости от материала отливок коэффициент k_m принимается: для алюминиевых сплавов – 1; медных – 1,11; цинковых – 1,29.

Значения коэффициентов k_c , k_b , k_n для отливок, полученных литьем под давлением, приведены в таблицах 7-9. Группа серийности принимается по таблице 10.

Таблица 13 - Определение коэффициента k_c для отливок, полученных литьем под давлением [6]

Материал отливки	Группы сложности			
	1	2	3	4
Алюминиевые сплавы	0,88	0,94	1	1,07
Медные сплавы	0,90	0,95	1	1,07
Цинковые сплавы	0,88	0,93	1	1,07

Таблица 14 - Определение коэффициента k_b для отливок, полученных литьем под давлением [6]

Масса отливки, кг	Материал отливки		
	Алюминиевые сплавы	Медные сплавы	Цинковые сплавы
от 0,1 до 0,20	1	1	1
от 0,20 до 0,50	0,90	0,89	0,91
от 0,5 до 1	0,81	0,81	0,82
от 1 до 2	0,75	0,75	0,75
от 2 до 5	0,69	0,71	0,70
от 5 до 10	0,64	0,67	0,63
свыше 10	0,62	0,65	0,61

Таблица 15 - Определение коэффициента k_n для отливок, полученных литьем под давлением [6]

Материал отливки	Группы сложности		
	1	2	3
Алюминиевые сплавы	0,92	1	1,09
Медные сплавы	0,93	1	1,07
Цинковые сплавы	0,93	1	1,07

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

I группа – удлинённые 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.

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

III группа – простые по конфигурации коробчатые плоские детали, для формовки которых не требуется большого 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.

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

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.

Стоимость горячештампованных заготовок (полученных на молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах (ГКМ), кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) и электровысадкой) определяется следующим образом. За базу принимается стоимость 1 т штамповок $C_4 = 373$ руб. (штамповки из конструкционной углеродистой стали массой 2,5 – 4 кг, класса точности Т4 по ГОСТ 7505-89, 3 – группы (степени) сложности, 2-й группы серийности) [6]. Коэффициенты определяются по следующим данным [6]:

а) в зависимости от класса точности штамповок по ГОСТ 7505-89 значения коэффициента k_m принимаются:

классы точности Т₁, Т₂ – 1,1;

класс точности Т₃ – 1,05;

класс точности Т₄, Т₅ – 1,0;

б) в зависимости от марки материала штамповки значения коэффициента k_m составляют:

для углеродистых сталей 08...85 – 1;

сталей 15Х...50Х – 1,13;

сталей 18 ХГТ...30ХГТ – 1,21;

стали ШХ15 – 1,77;

сталей 12ХНЗА...30ХНЗА – 1,79.

Значения коэффициентов k_c и k_b приведены в таблицах 16, 17.

Таблица 16 - Определение коэффициента k_c для заготовок, полученных способами горячей штамповки

Материал штамповки	Группы сложности			
	1	2	3	4
Сталь углеродистая 08...85	0,75	0,84	1	1,15
Сталь 15X...50X	0,77	0,87	1	1,15
Сталь 18ХГТ...30ХГТ	0,78	0,88	1	1,14
Сталь ШХ15	0,77	0,89	1	1,13
Сталь 12ХНЗА...30ХНЗА	0,81	0,90	1	1,1

Таблица 17 - Определение коэффициента k_b для заготовок, полученных способами горячей штамповки [6]

Масса штамповки, кг	Группа сложности				
	сталь 08...85	сталь 15X...50X	сталь 18ХГТ...30ХГТ	сталь ШХ15	сталь 12ХНЗА...30ХНЗА
до 0,25	2	2	1,94	1,82	1,62
от 0,25 до 0,63	1,85	1,64	1,61	1,52	1,42
от 0,63 до 1,6	1,33	1,29	1,29	1,3	1,25
от 1,6 до 2,5	1,14	1,14	1,15	1,14	1,11
от 2,5 до 4,0	1	1	1	1	1
от 4,0 до 10	0,87	0,89	0,89	0,88	0,9
от 10 до 25	0,8	0,8	0,79	0,76	0,8
от 25 до 63	0,73	0,73	0,74	0,71	0,75
от 63 до 160	0,70	0,70	0,72	0,65	0,7

Коэффициент k_n определяется из условия: если объем производства заготовок больше значений, указанных в таблице 12, принимают $k_n = 0,8$, остальных случаях $k_n = 1,0$. Группа (степень) сложности определяется по ГОСТ 7505-89.

Таблица 18 – Объем производства штамповок, соответствующий 2-ой группе серийности [6]

Масса штамповки, кг	Объем производств, тыс.шт./год
до 0,25	от 15 до 500
от 0,25 до 0,63	от 8 до 300
от 0,63 до 1,6	от 5 до 150
от 1,6 до 2,5	от 4,5 до 120
от 2,5 до 4,0	от 4 до 100
от 4,0 до 10	от 3,5 до 75
от 10 до 25	от 3 до 50
от 25 до 63	от 2 до 30
от 63 до 160	От 0,6 до 1

После выбора вида выбирают способ изготовления заготовки. По мере усложнения конфигурации заготовки, уменьшения напусков и припусков, повышения точности размеров и параметров расположения поверхностей

усложняется и удорожается технологическая оснастка заготовительного цеха и возрастает себестоимость заготовки, но при этом снижается трудоемкость и себестоимость последующей механической обработки заготовки, повышается коэффициент использования материала. Заготовки простой конфигурации дешевле, так как при их изготовлении не требуется сложная и дорогая технологическая оснастка, однако при изготовлении таких заготовок необходима последующая трудоемкая обработка и повышенный расход материала.

При выборе способа изготовления заготовка еще не спроектирована, поэтому используют данные о конструктивно-технологических параметрах детали, при необходимости округляя их.

Выбирая способ литья, учитывают марку материала, массу, габариты детали (заготовки), минимальную толщину стенки отливки, площадь или минимальную протяженность стенки, минимальный диаметр и максимальную глубину как сквозных, так и глухих отверстий, заданные значения показателей качества отливки.

При выборе способа обработки давлением исходят из класса детали, массы детали (заготовки), габаритов, наличия отверстий в боковых стенках, наличия внутренних полостей и фланцев, заданных значений показателей качества заготовки.

При выборе заготовок необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

1. В единичном серийном производстве стальные валы при разнице диаметров ступеней до 10 мм целесообразно изготавливать из круглого горячекатанного проката. При большей разнице заготовку следует выполнять ковкой в подкладных открытых штампах или горячей объемной штамповкой в закрепленных открытых штампах.

2. Заготовки чугунных втулок, фланцев, шестерен и других деталей, имеющих форму тел вращения с осевыми отверстиями, целесообразно получать литьем в песчаные формы по деревянным или металлическим моделям при машинной формовке, а также литьем в кокиль. С увеличением объемов выпуска становится оправданным применение центробежного литья. Отверстие проливают, если его диаметр у детали более 30 мм.

3. При наружном диаметре тех же деталей до 60-70 мм, но стальных, их изготавливают из горячекатаных прутков.

4. При наружном диаметре тех же деталей более 60-70 мм заготовку целесообразно получать ковкой в подкладных открытых штампах или горячей объемной штамповкой в закрепленных открытых штампах. При этом отверстия прошивают, если его диаметр у детали более 30 мм, а длина не превышает двух диаметров.

5. Заготовки чугуновых рычагов, вилок, кронштейнов получают литьем в песчаные формы при машинной или ручной формовке, в большинстве случаев по деревянным моделям. Отверстия в бобышках проливают, если их диаметры у деталей более 30 мм.

6. Заготовки стальных рычагов, вилок, кронштейнов обычно получают свободной ковкой с напусками, упрощающими их форму, но увеличивающими их объем механической обработки.

7. Заготовки чугуновых корпусных деталей получают чаще всего литьем в песчаные формы по деревянным моделям при ручной или машинной формовке.

Даже внутри одного вида заготовок число конкурирующих альтернативных способов изготовления может быть значительным. Наиболее целесообразно выполнять селекцию альтернативных решений о способе изготовления заготовки по результатам технико-экономического анализа.

Предварительный выбор вида и способа получения заготовок может и не привести к единственному варианту. В таком случае целесообразно наметить для альтернативных вариантов типовые процессы изготовления исходной заготовки и детали, а затем выполнить экономическое сравнение вариантов, по результатам которого принять окончательное решение.

При принятии окончательного решения экономическое сравнение вариантов заготовок можно выполнять:

- 1) по технологической себестоимости заготовки;
- 2) по цеховой себестоимости заготовки;
- 3) по себестоимости изготовления детали;
- 4) по приведенным затратам на изготовление заготовки;
- 5) по приведенным затратам на изготовление детали.

21 Установление последовательности и выбор методов обработки поверхностей заготовок

Разработке технологического процесса предшествует подробное изучение рабочего чертежа детали и условий ее работы в изделии сборочной единицы. Деталь входит в изделие составной частью. Ее размеры являются звеньями сборочных размерных цепей или оказывают влияние на характеристики качества сборочных сопряжений. Рабочий чертеж, оформленный в соответствии со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), должен давать полное представление о детали, иметь достаточное количество проекций, видов и разрезов; размеры всех поверхностей с допусками на их выполнение; технические требования по форме и расположению поверхностей, а также по их специфическим свойствам.

Технические требования на изготовление детали обычно содержат: предельные отклонения размеров; шероховатости поверхностей; допуски формы, плоскостности, некруглости и профиля сечения; допуски расположения, параллельности плоскостей, соосности шеек вала, симметричности профиля сечений; вид термической обработки и твердости рабочих поверхностей, вид покрытия; специфические свойства (необходимость балансировки, допустимую неуравновешенность).

Анализ качества поверхностного слоя и точности размеров формы и расположения поверхностей, а также других требований к детали предлагает рассмотрение их со следующих позиций:

- обоснованность назначения требований, исходя из эксплуатационных условий, характеристик машины или сборочной единицы (то есть устанавливаются, не завышены ли эти требования при создании конструкции детали);
- возможность достижения заданных точности и качества, других технических требований известными и имеющимися на предприятии технологическими методами механической обработки;
- возможность проверки выполнения назначенных рабочим чертежом требований к поверхностям известными методами контроля.

При рассмотрении технических требований выявляют технологические задачи получения данной детали. Для этого выявляют наиболее ответственные поверхности, совокупность требований к которым определяет заключительные методы и маршруты обработки, необходимое технологическое оборудование. Анализ технических требований по расположению осей отверстий, плоскостей и других поверхностей деталей устанавливаем технологические задачи по выбору поверхностей заготовки для базирования и закрепления заготовок в операциях, схем выполнения обработки заданного профиля детали, а также типов приспособлений и режущих инструментов.

Выявление необходимого набора методов обработки по каждой поверхности детали относится к многовариантным задачам и предшествует этапу проектирования маршрутного технологического процесса изготовления детали. На выбор методов обработки влияют следующие факторы: требования к качеству, которым должна отвечать готовая деталь; качество заготовки; количество деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени и по неизменяемому чертежу; технико-экономические показатели, характеризующие каждый метод обработки.

Выбор методов обработки производится по направлению от детали к заготовке. Изготавливаемая деталь – комплекс взаимосвязанных поверхностей, из которых основными считают те, качество изготовления которых в наибольшей степени влияет на эксплуатационные свойства детали. Для большинства изделий это поверхности, для которых квалитет выдерживаемого размера менее 9-10, а параметр шероховатости менее $Ra\ 2,5$. У плоскостных деталей, например, класса планки, эксплуатационные свойства обуславливаются взаимным расположением (параллельностью) противоположащих плоскостей, допуск расстояния между которыми может быть задан по 12 квалитету ($h12$), а допуск плоскостности – 8-й или даже 5-ой степени точности по ГОСТ 24643-81. Общим для основных поверхностей является то, что при изготовлении они должны быть подвергнуты многократному технологическому воздействию. Ряд операций обработки (или технологических переходов), необходимых для изготовления указанных поверхностей детали и расположенных в порядке повышения точности, образуют маршруты изготовления основных поверхностей заготовки. Эти маршруты могут включать операции, базирующиеся на использовании технологических методов разной физической природы, например, методов механической и химико-термической обработки, нанесения покрытия и т.д.

Некоторые поверхности детали (в силу невысоких требований к их качеству) могут быть изготовлены в результате однократной обработки. Маршруты обработки, включающие одну операцию (переход), обычно не составляют. Так плоскость 14-го квалитета и заданными параметрами по шероховатости $Rz\ 40$ мкм может быть получена однократной обработкой фрезерованием. В каждой операции (переходе) рассматриваемого маршрута используют определенный технологический метод. Целью применения любого технологического метода является достижение желаемого множества значений показателей качества обработанной поверхности заготовки (результата), например, квалитета точности (IT) и параметра шероховатости (Ra):

$$\begin{aligned} (IT_{\min})_p &\leq IT_z \leq (IT_{\max})_p; \\ (Ra_{\min})_p &\leq Ra_z \leq (Ra_{\max})_p, \end{aligned} \tag{57}$$

где $(IT_{\min})_p$, $(IT_{\max})_p$ – границы диапазона значений IT в результате применения технологического метода;

$(Ra_{\min})_p$, $(Ra_{\max})_p$ – границы диапазона значений Ra в результате применения технологического метода;

IT_3 , Ra_3 заданные значения IT и Ra .

Результат применения любого технологического метода может быть достигнут лишь при выполнении необходимых условий его реализации, в частности, если исходные значения показателей качества заготовки находятся в определенных границах:

$$\begin{aligned}(IT_{\min})_y \leq IT_{и} \leq (IT_{\max})_y; \\ (Ra_{\max})_y \leq Ra_{и} \leq (Ra_{\min})_y,\end{aligned}\tag{58}$$

где $(IT_{\min})_y$, $(IT_{\max})_y$ – границы диапазона значений IT , при которых технологический метод может быть реализован;

$(Ra_{\min})_y$, $(Ra_{\max})_y$ – границы диапазона значений Ra , при которых технологический метод может быть реализован;

$IT_{и}$, Ra_3 исходные значения IT и Ra .

Маршрут обработки основной поверхности включает все операции (переходы) ее изготовления от заготовки и до готовой поверхности детали.

Целесообразно строить такие маршруты с конца, «двигаясь» от готовой поверхности к заготовке, используя сведения о типовых маршрутах обработки поверхностей и о технологических возможностях методов обработки. Условия производственной реализации каждого технологического метода варьируются широко. Так любой из методов фрезерования может выполняться на станках разных групп и типов (вертикально-фрезерных, горизонтально-фрезерных, карусельно-фрезерных, продольно-фрезерных и т.д.) Станки могут иметь разные классы точности и находиться в разных состояниях по степени износа, следовательно, жесткости соответствующих технологических систем будут различны. Это определяет широкий разброс значений показателей качества, полученных при применении метода в конкретных условиях.

На рассматриваемом этапе разработки техпроцесса технолог не располагает конкретными данными об условиях реализации каждого технологического метода, поэтому часто пользуется апробированными усредненными значениями показателей качества, достигаемыми в обобщенных условиях его применения. Эти значения получают при обобщении и математической обработке справочного и экспериментального материала. Неточности в оценке значений показателей качества при пользовании подобными таблицами неизбежны, но они не имеют большого значения, так как на данном этапе проек-

тирования важно лишь правильное определение совокупности выбранных методов и последовательности их применения. При построении маршрутов обработки поверхностей часто оперируют не множествами, а конкретными значениями показателей качества для условий и результатов. В этом случае целесообразно использование средних значений элементов множеств. Возможно согласованное применение значений показателей, соответствующих границам множеств условий и результатов: при выборе минимальных значений маршрут будет «оптимистическим», а при выборе максимальных – «пессимистическим».

Таблица 19 – Условия и результаты реализации технологических методов обработки плоскостей [6]

№ п/п	Технологический метод	Условие				Результат			
		IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}	IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}
1	Фрезерование черновое	14	17	20	80	11	13	4,0	15,5
2	Фрезерование чистовое	11	13	3,2	12,5	9	11	0,85	3,2
3	Фрезерование понкое	10	12	1,0	4,0	8	9	0,4	1,25
4	Строгание черновое	14	17	20	80	11	13	6,4	36,0
5	Строгание чистовое	12	14	6,3	28	9	12	1,0	5,4
6	Строгание тонкое	10	12	1,0	4,0	8	10	0,5	1,7
7	Протягивание черновое	14	17	20	80	8	10	0,9	3,0
8	Протягивание чистовое	9	11	1,0	3,2	7	8	0,2	0,8
9	Шлифование предварительное	8	10	1,6	6,3	7	9	1,5	3,4
10	Шлифование чистовое (окончательное)	7	9	1,4	4,0	6	7	0,5	1,5
11	Шлифование тонкое	6	7	0,6	2,0	5	6	0,2	0,5
12	Шабрение обычное	-	-	0,32	3,2	-	-	0,25	1,6
13	Шабрение тонкое	-	-	0,25	1,25	-	-	0,09	0,45
14	Накатывание	-	-	0,32	3,6	-	-	0,16	2,0
15	Виброполирование	-	-	0,32	2,5	-	-	0,04	0,32
16	Полирование обычное	6	7	0,32	1,0	6	6	0,2	0,63
17	Полирование тонкое	-	5	0,08	0,63	-	5	0,02	0,09
18	Протирка чистовая	7	8	0,32	5,0	6	7	0,05	0,4

Примечания: 1. Ra – среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости, мкм.

2. Квалитетная шкала использована лишь как мера допуска выдерживаемого размера (обычно перпендикулярного к плоскости).

Таблица 20 – Условия и результаты реализации технологических методов обработки наружных цилиндрических поверхностей [6]

№ п/п	Технологический метод	Условие				Результат			
		IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}	IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}
1	Точение черновое	14	17	40	160	12	13	12,5	36
2	Точение полуступовое однократное	12	14	12,5	50	11	12	3,2	12,5
3	Точение чистовое	11	13	3,2	12,5	8	9	1,4	4,6
4	Точение тонкое	8	10	1,0	3,8	6	7	0,32	1,0
5	Шлифование предварительное	8	10	1,2	2,5	7	9	1,0	2,0
6	Шлифование окончательное	7	8	0,9	1,8	6	7	0,5	1,2
7	Шлифование тонкое	6	7	0,3	1,2	5	6	0,1	0,5
8	Протирка чистовая	6	7	0,32	5,0	5	6	0,07	0,7
9	Протирка тонкая	5	6	0,08	0,63	5	5	0,01	0,14
10	Суперфиниширование обычное	6	7	0,32	5,0	5	6	0,06	0,5
11	Суперфиниширование тонкое	5	6	0,08	0,32	4	5	0,04	0,16
12	Обкатывание	6	9	0,32	1,0	6	9	0,09	0,32
13	Алмазное выглаживание	5	10	0,32	1,0	5	10	0,04	0,32
14	Полирование абразивной лентой	5	10	0,32	2,5	5	10	0,1	0,74
15	Полирование обычное	6	7	0,32	1,0	6	7	0,16	0,9
16	Полирование тонкое	5	5	0,08	0,63	5	5	0,02	0,09

Некоторые технологические методы альтернативны: множества условий и результатов их реализации в значительной мере совпадают. Альтернативность методов вызывает альтернативность (вариантность) построения на их основе маршрутов обработки поверхностей.

Число вариантов маршрута обработки поверхности может быть большим (например, 3-5), его можно конкретно уменьшить:

- применяя типовые маршруты;
- обеспечивая возможность обработки данной поверхности на оборудовании одной группы (например, токарной);
- ограничивая применение тех или иных методов из-за недостаточной жесткости заготовки;
- обеспечивая возможность обработки данной поверхности совместно с другими поверхностями;
- учитывая различную стабильность технологических методов по обеспечению показателей качества, например, точности размера (расточивание отверстий более стабильно обеспечивает точность диаметральных размеров,

чем внутреннее шлифование, развертывание отверстий превосходит по этому показателю растачивание резцом и т.д.);

- стремясь обеспечить заданную производительность, что ограничивает использование некоторых методов;

- ограничивая применение некоторых методов вследствие предшествующей им термической обработки; например, предшествующая закалка поверхности практически исключает лезвийную обработку.

Таблица 21 – Условия и результаты реализации технологических методов обработки внутренних цилиндрических поверхностей [6]

№ п/п	Технологический метод	Условие				Результат			
		IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}	IT _{min}	IT _{max}	Ra _{min}	Ra _{max}
1	Сверление	17	17	-	-	11	14	20	20
2	Рассверливание	12	17	20	80	9	11	3,6	14
3	Зенкерование черновое	12	14	12	18	11	13	5	10
4	Зенкерование литого (прошито) отверстия	14	17	40	160	10	12	3	9
5	Зенкерование чистовое	12	13	3,2	6,3	9	11	2,1	5,8
6	Развертывание нормальное черновое	10	13	2,5	6,3	9	10	1,25	3,0
7	Развертывание точное чистовое	10	11	1,2	2,4	7	9	0,63	1,2
8	Развертывание тонкое	7	9	0,63	1,25	6	7	0,3	0,68
9	Протягивание черновое	14	17	40	160	9	10	1,1	3,5
10	Протягивание чистовое	9	11	1,25	3,2	7	9	0,3	0,9
11	Растачивание черновое	14	17	40	160	11	13	3,0	17,5
12	Растачивание чистовое	11	13	3,2	8	8	10	1,6	3,8
13	Растачивание тонкое	8	10	1,25	5,0	7	8	0,3	1,1
14	Шлифование предварительное	8	10	1,5	3,0	7	9	1,1	2,5
15	Шлифование чистовое	7	8	0,6	1,8	6	7	0,32	1,4
16	Шлифование тонкое	6	7	0,3	1,0	6	7	0,1	0,4
17	Протирка чистовая	6	7	0,32	2,0	5	6	0,08	0,48
18	Протирка тонкая	6	7	0,08	0,63	5	5	0,02	0,12
19	Хонингование обычное	-	5	0,32	1,0	5	10	0,05	0,32
20	Хонингование тонкое	-	5	0,32	0,63	-	5	0,1	0,25
21	Раскатывание	5	10	0,32	1,0	5	10	0,05	0,32
22	Алмазное выглаживание	5	10	0,32	1,0	5	10	0,05	0,32

Проводить отбор вариантов маршрутов следует на основе многостороннего анализа.

После сравнения и отбора вариантов маршрутов каждой основной поверхности ставится в соответствие как минимум один вариант маршрута с конкретными значениями достигаемых показателей качества.

При формировании маршрута придерживаются следующей рекомендации: каждый последующий метод механической обработки повышает точность размера поверхности на 1-2 качества и уменьшает значение параметра шероховатости поверхности приблизительно в 2 раза. Начиная с чистовой обработки, повышение точности обработки происходит не более чем на 1 качество. Исключение составляет метод протягивания, применив который можно увеличить точность размера поверхности за одну операцию с 14-го до 7-го качества.

22 Разработка технологических процессов изготовления деталей

Разработка технологических процессов для существующих производств предполагает тщательное изучение условий работы предприятия. Устанавливают наличие производственных площадей, на которых размещено оборудование, необходимое для изготовления изделия; определяют возможности модернизации технологического оборудования и расширения производственных площадей для увеличения объемов выпуска изделий; выясняют возможности действующего предприятия по применению новых технологических методов получения заготовок и механической обработки поверхностей заготовок, прогрессивного вспомогательного и режущего инструмента, а также средств технологического оснащения.

Основой технологического процесса изготовления детали из заготовки является последовательность обработки отдельных ее поверхностей, которую выбирают исходя из требований чертежа к точности и состоянию поверхностного слоя. Учитывая конфигурацию обрабатываемой поверхности, материал, массу заготовки, другие факторы для этой поверхности устанавливают метод обработки и оборудование, ориентируясь при этом на таблицы точности и качества поверхностного слоя при обработке разными технологическими методами. Возможно применение нескольких методов обработки, обладающих примерно одинаковыми технологическими показателями.

Каждому методу окончательной обработки элемента поверхности детали может предшествовать один или несколько возможных методов предварительной обработки. При проектировании маршрута руководствуются тем, что каждый последующий метод обработки должен быть точнее предыдущего. Например, тонкому растачиванию отверстия предшествует чистовое растачивание, а чистовому – черновое растачивание литого отверстия.

На основании выбранных ранее экономически целесообразных методов обработки определяют необходимое число этапов (ступеней) обработки по каждой поверхности заготовки.

Рассмотрим основное назначение каждого из этапов обработки детали.

Черновой этап – уменьшение и равномерное распределение припуска на последующую обработку; удаление поверхностных дефектов с заготовки; сравнительно невысокая точность обработки; высокопроизводительное оборудование.

Чистовой этап – обеспечение минимальных припусков под окончательные операции; режимы резания менее напряженные, чем при черновом этапе, оборудование более точное.

Окончательный этап – получение требуемой точности детали и качества поверхностного слоя; режимы резания, технологическое оборудование и

оснастка назначаются с учетом обеспечения требований конструкторской документации.

Отделочный этап – обеспечение требуемого качества поверхностного слоя детали, если оно не было достигнуто на окончательном этапе из-за невозможности или экономической нецелесообразности; например, такие методы обработки как суперфиниш, притирка, хонингование.

Набор этапов обработки и их совместное применение не является строго обязательным, и определяется в каждом конкретном случае техническими требованиями к показателям качества изготавливаемой детали, способом получения заготовки, материалом детали, программой выпуска, типом производства.

На основании выбранных ранее методов обработки, а также ее этапов (стадий) и последовательности составляется принципиальная схема обработки заготовки. Данная схема является основанием для разработки эскизного технологического маршрута и включает в себя последовательность операций в направлении от заготовки к готовой детали.

Схема начинается с заготовки (с указанием метода и способа ее получения) и заканчивается деталью; даются пояснения к схеме, разъясняющие ее элементы.

Построение технологического маршрута обработки во многом определяется конструктивно-технологическими особенностями детали, в том числе требованиями, предъявляемыми к точности ее основных и вспомогательных конструкторских баз. Выбор маршрута обработки зависит от типа производства, уровня автоматизации и применяемого оборудования.

При проектировании технологических процессов используют два взаимоисключающих принципа: принцип концентраций технологических переходов, принцип дифференциации переходов.

Принцип концентрации технологических переходов – сосредоточении в одной операции выполнения большого числа технологических переходов по обработке разных поверхностей детали (единичное и серийное производство).

Принцип дифференциации – разукрупнение переходов вплоть до соответствия одной операции одному технологическому переходу (массовое производство).

На построение технологического процесса изготовления детали помимо выше названных факторов оказывают влияние: цель и место проведения термической и химико-термической обработки, гальванические и лакокрасочные покрытия и правила подготовки поверхностей к их проведению, электрофизические и электрохимические методы обработки и др.

При разработке технологического маршрута необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

1. На первых операциях целесообразно обрабатывать поверхности, которые в дальнейшем будут базовыми.

2. Последовательность обработки определяется выявленными ранее стадиями обработки.

3. При невысокой точности исходной заготовки технологический процесс следует начинать с предварительной обработки поверхностей, имеющих наибольшие припуски, что необходимо для выявления на ранних стадиях литейных и других дефектов (раковины, трещины) и отбраковки. Далее обрабатывают менее точные, а затем и более точные поверхности.

4. Операции обработки поверхностей, имеющих второстепенное значение и не влияющих на точность основных размеров изделия, обычно выполняют в конце технологического процесса до операций окончательной обработки ответственных поверхностей.

5. Легко повреждаемые поверхности (шлифованные поверхности, наружные резьбы) обрабатывают на заключительном этапе технологического процесса.

6. В наиболее ответственных случаях после предварительных операций проводят естественное или искусственное старение, во время которого происходит релаксация остаточных напряжений.

7. На стадиях окончательной обработки устраняют погрешности, возникающие при предварительной обработке, и обеспечивают требуемые точность и качество поверхностного слоя изделия.

8. В условиях единичного производства, как правило, используют универсальные станки. При серийном производстве применяют универсальные станки, станки с ЧПУ, агрегатные станки, гибкие производственные системы. В массовом производстве используют специальное и специализированное технологическое оборудование, а также автоматические линии.

23 Разработка технологических процессов сборки изделий

Сборка органически связана с предшествующими процессами, при создании машин высокого качества ей принадлежит решающая роль.

В машиностроении трудоемкость сборочных операций составляет около 30% всей трудоемкости изготовления изделий. С ростом точности изделий, особенно в мелкосерийном и единичном производствах, где выполняется большой объем пригоночных работ, используются специальная оснастка и измерительные средства, трудоемкость и себестоимость возрастают.

Технологический процесс сборки является частью производственного процесса, непосредственно связанной с последовательным соединением, взаимной ориентировкой и фиксацией деталей и узлов для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям.

В состав технологического процесса сборки в качестве технологических операций или переходов включаются разнообразные сборочные работы, например: соединение сопрягаемых деталей посредством приведения в соприкосновение их сборочных баз; проверку точности взаимного расположения собираемых деталей и узлов и внесение, если это необходимо, соответствующих исправлений путем регулировки, пригонки или подбора; фиксация положения деталей и узлов, обеспечивающего правильность выполнения ими целевого назначения при работе машины. К технологическому процессу относятся также операции, связанные с проверкой правильности действия отдельных механизмов и узлов машины в целом (точность, плавность движения, бесшумность, надежность функционирования смазочной системы и т.п.). Сюда же относятся все необходимые по содержанию работы операции по очистке, промывке, окраске, отделке изделия или составляющих его сборочных соединений и деталей.

Технологическая операция сборки представляет собой законченную часть этого процесса, выполняемую непрерывно над одной сборочной единицей или над совокупностью одновременно собираемых единиц (узлов, деталей), одним или группой (бригадой) рабочих на одном рабочем месте. Сборочная операция – это технологическая операция установки и образования соединений составных частей заготовки или изделия.

Исходными данными для проектирования технологического процесса сборки являются:

- чертежи сборочных узлов и изделий;
- технологические условия на приемку и испытание изделий;
- производственная программа сборки (программа сборочного цеха), составленная по производственной программе завода;
- спецификация поступающих на сборку узлов и деталей.

В спецификациях указывают наименование, номер, количество на одно изделие и из какого цеха оно поступило на сборку.

На основе изучения конструкций собираемых узлов и целой машины составляется схема сборки соединений, определяющая взаимосвязь и последовательность соединений отдельных элементов, узлов и целого изделия. Затем разрабатывается технологический процесс сборки.

Под *технологическим процессом сборки* понимается соединение деталей в сборочные единицы n -го порядка, отдельных деталей и единицы n -го порядка в единицы $(n-1)$ -го порядка и деталей сборочных единиц n -го и $(n-1)$ -го порядков и т.д. в машину.

В связи с этим все работы сборочного процесса разбивают на отдельные последовательные стадии: сборка сборочных единиц различного порядка (сборка подузлов и узлов) и общая сборка, которые далее расчленяются на отдельные последовательные операции, установовы, позиции и переходы.

Под *операцией в сборочном процессе* понимают часть сборочного процесса, осуществляемую по какому-либо узлу или машине одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте.

Операция может выполняться при нескольких установках.

Под *установкой* понимают придание определенного положения собираемым деталям и соединениям.

Операция состоит из переходов.

Под *переходом* понимают часть операции, которая вполне закончена, не может быть раздроблена и выполняется без смены инструментов одним или несколькими рабочими одновременно.

Для установления последовательности общей сборки машины прежде всего необходимо произвести анализ ее конструкции для выявления всех составляющих машину сборочных единиц и отдельных деталей, которые должны поступать на общую сборку.

Анализ надо начинать с выявления номенклатуры деталей и порядка сборочных единиц, из которых состоит конструкция машины.

В каждой сборочной единице должна быть найдена базирующая деталь, определяющая положение всех составляющих данную сборочную единицу других сборочных единиц и деталей.

Последовательность общей сборки машины определяется ее конструктивными особенностями и заложенными в конструкцию методами получения требуемой точности.

Общая сборка машины должна начинаться с установки базирующей детали или базирующей сборочной единицы машины, роль которой обычно выполняют рамы, станины, основания и т.п. Базирующую деталь при этом можно установить в любом удобном для сборки положении.

Далее разрабатывают последовательность установки на нее всех сборочных единиц и деталей. При этом следует руководствоваться следующим:

1. Сборку следует начинать с тех сборочных единиц или деталей, размеры и относительные перемещения поверхностей которых являются общими звеньями, принадлежащими наибольшему количеству размерных цепей.

2. Следует постепенно переходить к сборке тех сборочных единиц и деталей, размеры и относительные повороты поверхностей которых являются общими звеньями, принадлежащими постепенно уменьшающемуся количеству размерных цепей.

3. В каждой из размерных цепей сборку следует начинать с тех сборочных единиц и деталей, размеры и относительные перемещения поверхностей которых являются звеньями основной ветви размерной цепи, т.е. ветви, не содержащей замыкающего звена.

4. При прочих равных условиях сборку следует начинать с той размерной цепи, при помощи которой решается наиболее ответственная задача.

5. В размерных цепях, где конструкцией машины намечено получить требующую точность замыкающего звена методом регулировки, находят компенсирующие звенья и детали, выполняющие роль неподвижных или подвижных компенсаторов, устанавливают их размеры, допуски и потребное количество компенсаторов каждой ступени размеров. При подвижных компенсаторах следует проверить достаточность максимальной величины компенсации и возможности перемещения на эту величину подвижного компенсатора.

6. В размерных цепях, в которых конструкцией машины намечено получить требуемую точность замыкающего звена методом пригонки, необходимо проверить правильность выбора или произвести выбор компенсирующего звена и проверить правильность его номинального размера с точки зрения обеспечения возможности пригонки за счет выбранного звена. При обнаружении ошибок следует произвести расчеты и внести изменения. Назначить методы пригонки.

7. В размерных цепях, точность замыкающего звена которых намечено получить методом групповой взаимозаменяемости, необходимо проверить правильность расчета допусков и количество намеченных групп деталей.

Эскизные разработки операций и переходов технологических процессов сборки производятся так же, как и при механической обработке. При разработке технологического процесса сборки для каждой операции, перехода и других частей сборочного процесса должно быть дано описание характера работ и способов их выполнения; должен быть указан необходимый инструмент и приспособления; определены потребное количество времени, число рабочих и их квалификация. Причем время, потребное на выполнение от-

дельных операций сборки узлов (агрегатов, механизмов) и сроки подачи их вместе с деталями к местам общей сборки, должны быть установлены так, чтобы обеспечить бесперебойный ход сборочного процесса.

Разрабатывая последовательность сборки машин, очень удобно изображать ее в виде графической схемы сборки.

Схема сборки помогает не только в разработке последовательности сборки машин, но и является основным документом, по которому персонал сборочного цеха знакомится с последовательностью сборки новой машины, организует выполнение сборочного процесса, производит комплектование машины, подачу сборочных единиц деталей в надлежащей последовательности к местам сборки, ведет учет, расставляет рабочих, планирует производство и разрешает вносить усовершенствования в конструкцию, технологический процесс сборки и организацию производства машины.

Схема сборки должна отличаться наглядностью, показывать последовательность процессов и служить оперативным документом. Для этого схему сборки машины удобнее всего строить следующим образом.

1. Условно, в виде прямоугольника, вычерчивается основная базовая деталь (корпус).

2. Этот прямоугольник делят на три зоны: наименование, номер по чертежу, количество.

3. Проводится горизонтальная линия, к которой в порядке сборки подсоединяют в виде прямоугольников детали и сборочные единицы.

4. Детали располагаются слева, сборочные единицы справа относительно соответствующей базовой детали.

В качестве примера на рисунке 44 приведена схема сборки предохранительного гидроклапана, изображенного на рисунке 45.

По схеме сборки устанавливаются сборочные операции, содержание которых в значительной мере зависит от принятых организационных форм и видов производственных процессов сборки изделий (рисунок 46).

Отличительными особенностями поточного вида сборки являются сборка сборочных единиц или изделий в целом с соблюдением заданного такта.

Сборка, осуществляемая без соблюдения этого условия, относится к непоточному виду.

Собираемый объект может оставаться на одном месте (стационарная сборка) или перемещаться непрерывно или периодически в продолжение всего процесса сборки (подвижная сборка).

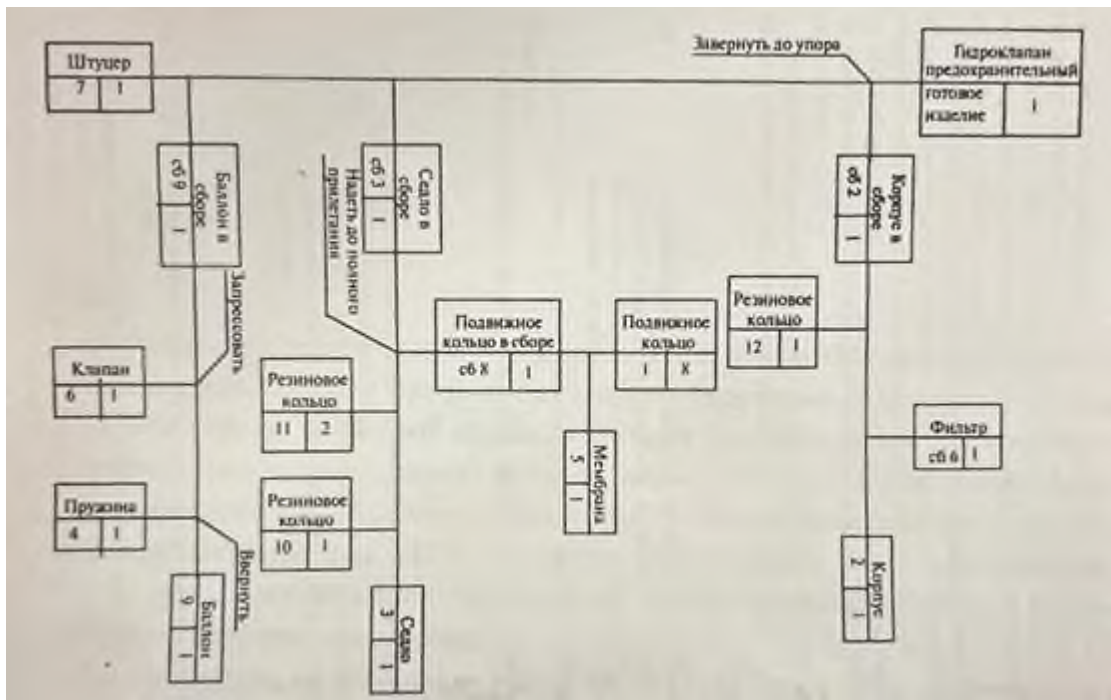


Рисунок 44 - Технологическая схема сборки гидроклапана предохранительного [2]

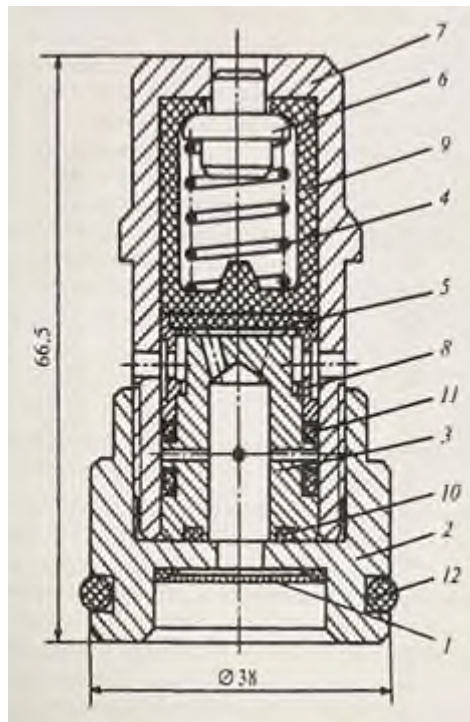


Рисунок 45 – Гидроклапан предохранительный [2]

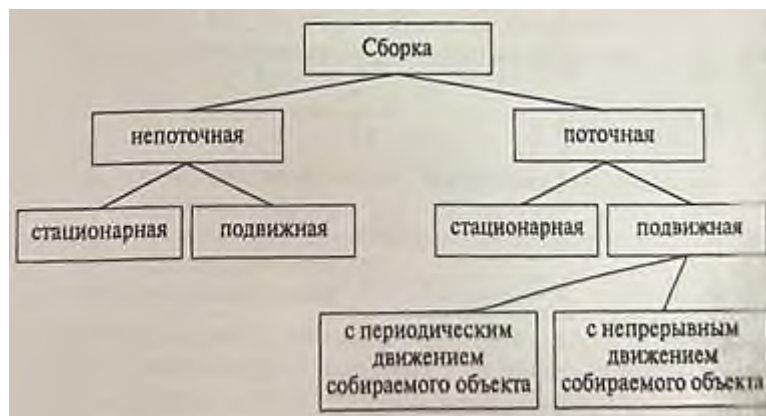


Рисунок 46 – Организационные формы и виды сборки [2]

Стационарная сборка отличается от подвижной возможностью сохранения неизменности положения базирующей детали собираемого объекта в продолжение всего процесса сборки. Этим зачастую исключают влияние упругих деформаций недостаточно жесткой базирующей детали на точность собираемого объекта.

Непоточная стационарная сборка характеризуется тем, что собираемый объект остается в продолжение всего процесса сборки на одном рабочем месте или сборочном стенде. Все сборочные единицы и детали подаются на место сборки. Рабочие приходят на рабочее место к собираемому объекту и ведут сборку.

Места сборки или стенды обычно оборудуются универсальными приспособлениями и подъемно-транспортными средствами. Выполнение отдельных переходов на сборке распределяется между рабочими.

Цикл сборки при этом методе увеличивается, так как одновременно не могут выполняться все переходы. Техничко-экономические показатели низкие.

Расчетное количество рабочих мест или стендов для параллельной сборки одинаковых объектов подсчитывается по формуле:

$$\gamma_0 = \frac{T_0 - T_c}{T}, \quad (59)$$

где T_0 - расчетная трудоемкость всех переходов сборки одного объекта;

T_c - расчетная трудоемкость переходов, выполнение которых совмещено во времени с выполнением других переходов;

T - расчетный такт сборки.

Непоточная стационарная сборка применяется в единичном производстве.

Количество рабочих мест или позиций определяется по формуле:

$$q_1 = \frac{T_0 - T_c}{(T - t_\pi^*)\gamma_1}, \quad (60)$$

где t_π^* - расчетное время на перемещение собираемого объекта с одной рабочей позиции во вторую;

γ_1 - количество параллельных потоков, необходимых для сборки одинаковых объектов, в зависимости от производственной программы.

24 Выбор технологического оборудования, оснастки и средств контроля при разработке технологического процесса

Используемые в разрабатываемом технологическом процессе модели и технические характеристики станков, выпускаемых серийно, выбираются по каталогам и справочной литературе. Наименование технологической операции строго соответствует группе и типу применяемого технологического оборудования независимо от конкретного содержания выполняемых технологических переходов. Уточнение наименования и содержания операции механической обработки позволяет правильно выбрать оборудование по паспорту из имеющегося парка, справочникам или каталогам, в которых приводятся сведения о моделях и технических характеристиках станков, выпускаемых серийно.

При выборе станков для каждой операции необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1. Станок должен соответствовать выбранному методу обработки.

По выбранному методу обработки, представленному в маршруте обработки основных поверхностей, устанавливают группу станков (всего их 9): 1 – токарные; 2 – сверлильные и расточные; 3 – шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные; 4 – электрофизические и электрохимические; 5 – зубо- и резьбообрабатывающие; 6 – фрезерные; 7 – строгальные, долбежные, протяжные; 8 – разрезные; 9 – разные [6].

Тип станка определяет его назначение, компоновку, степень его автоматизации, вид применяемого оборудования, инструмента, например, для токарной группы – винторезный, револьверный, карусельный, гидрокопировальный и т.д.

Соответствующие операции будут иметь наименование: «токарно-винторезная», «токарно-револьверная», «токарно-карусельная» и т.д.

В значительной мере тип станка определяется типом производства. В единичном производстве используют станки, отличающиеся гибкостью и универсального формообразования поверхностей, большим диапазоном габаритов обрабатываемых поверхностей, отсутствием автоматизации (токарно-винторезные, токарно-карусельные, вертикально- и радиально-сверлильные, горизонтально-фрезерные консольные, круглошлифовальные и т.п.). В мелкосерийном и серийном производствах используют станки с меньшей универсальностью, но с большей производительностью и автоматизацией управления (токарно-револьверные полуавтоматы, сверлильные одно- и многошпиндельные полуавтоматы, барабанно-сверлильные, с ЧПУ и др.). В крупносерийном и массовом производствах применяют станки с узкой специализацией, высокой производительностью и высоким уровнем автома-

тизации (агрегатные станки, гибкие автоматические линии из станков с ЧПУ, жесткие автоматические линии из агрегатных и специальных станков). Применение станков с ЧПУ, используемых на токарных, сверлильных, фрезерных, расточных и других операциях, целесообразно для трудоемких операций, в случаях, когда время обработки существенно меньше вспомогательного времени; при производстве сложных деталей мелкими партиями, при обработке деталей с большим количеством размеров, имеющих высокие требования по точности.

2. Станок должен обеспечить возможность обработки деталей заданного качества (точность размеров, относительного положения поверхностей, форм поверхностей, шероховатость поверхностей).

3. Станок должен обеспечить наименьшую стоимость станко-минуты (минимизация коэффициента машино-часа).

Значения удельных затрат на содержание и эксплуатацию за 1 машино-час или 1 станко-минуту определены для оборудования каждого типа. Значения коэффициента машино-часа $K_{мч}$ для станков различных групп и типов приведены в таблице 22.

Выбор станков определяется: методом обработки; возможностью обеспечить точность размеров и формы, а также качество поверхности изготавливаемой детали, габаритными размерами заготовок и размерами обработки; производительностью и себестоимостью обработки в соответствии с типом производства.

При выборе станка обычно рассматривают альтернативные варианты, для уменьшения числа которых или выбора единственного варианта следует использовать следующие критерии:

4. Технологические возможности станка должны использоваться в полном объеме.

Каждый тип оборудования обладает определенными технологическими возможностями, характеризующимися:

- множеством применяемых технологических методов;
- предельными размерами поверхностей, которые могут быть обработаны указанными технологическими методами;
- возможностью применения указанных технологических методов в автоматическом режиме.

Так, например, токарно-винторезный станок 16К30 при автоматическом получении размеров обработанных поверхностей может использовать лишь четыре инструмента (резца), установленных в суппорте. В случае необходимости применения большего числа резцов нужно выбрать станки других типов.

Размеры рабочей зоны станка должны соответствовать габаритным размерам обрабатываемой заготовки или нескольким одновременно обрабатываемым заготовкам, то есть размеры рабочей зоны станка должны превышать габаритные размеры деталей. Например, диски больших размеров целесообразно обрабатывать на токарно-лобовых станках с короткой станиной вместо токарно-винторезных с большой длиной станины. Характерные размеры рабочей зоны определяются группой станка.

5. Класс станка должен соответствовать характеру обработки и этапу технологического процесса, на котором он используется. Допускаемые отклонения для регламентированных нормативами показателей точности станков при переходе от класса к классу составляют геометрическую прогрессию со знаменателем 1,6.

6. У станка должна быть наименьшая отпускная цена станка и его приобретение должно быть реальным.

Таблица 22 - Значения коэффициента машино-часа $K_{Мч}$ для станков различных групп и типов [6]

Группы, типы станков	$K_{Мч}$	Группы, типы станков	$K_{Мч}$
1	2	1	2
Отрезные, работающие: круглой пилой ножовочным полотном	0,5 0,4	Расточные с диаметром выдвижного шпинделя, мм: 60 100 200	1,7 2,4 4,0
Токарно-винторезные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм: 300 800 2000 4000	1,0 1,3 3,1 6,7	Сверлильные с наибольшим диаметром сверления, мм: 18 75	0,8 1,4
Токарно-револьверные при наибольшем диаметре обрабатываемого прутка, мм: 18 100	1,0 1,9	Фрезерные с размерами рабочей поверхности стола, мм: 320 x 1250 1830 x 3965 2500 x 8500	1,2 9,2 11,0
Токарные многорезцовые полуавтоматы при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм: 300 600	1,3 2,0	Продольно-строгальные с размерами рабочей поверхности стола, мм: 1250 x 6000 3600 x 12000 Поперечно-строгальные	4,2 18,0 1,0

Продолжение таблицы 22

1	2	1	2
Многошпиндельные токарные полуавтоматы: шестишпиндельные четырёхшпиндельные	2,1 2,0	Долбежные	1,1
		Протяжные: мелкие крупные	1,5 2,3
Токарно-револьверные многошпиндельные автоматы при наибольшем диаметре прутка, мм: 40 100	1,1 2,2	Зубообрабатывающие при наибольшем диаметре обрабатываемых колес, мм: 80	1,9
		600	3,6
		8000	8,3
Токарно-карусельные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм: 650 2000 5000 10000	1,5 2,4 4,5 11,0	Плоскошлифовальные	1,9
		Бесцентрово-шлифовальные	1,6
		Круглошлифовальные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм: 200 800	0,7
			3,0
			Заточные

Таблица 23 – Общая характеристика классов станка [6]

Обозначение класса	Наименование	Характеристика применения конструкций
Н	Нормальной точности	Изготовление деталей с точностью размеров 7-8 классов
П	Повышенной точности	Базовые элементы конструкции отвечают более высоким требованиям, чем у станков класса Н
В	Высокой точности	Специальная конструкция элементов и высшее качество их изготовления, особые условия эксплуатации
А	Особой точности	Изготовление прецизионных деталей
С	Сверхточные станки	Изготовление сверхпрецизионных деталей

Вместе с выбором станка устанавливают вид станочного приспособления, необходимого для установки обрабатываемой детали на металлорежущем оборудовании и выполнения намеченной операции.

С технологической точки зрения все приспособления можно разбить на две основные группы:

- универсальные приспособления;
- специальные приспособления.

Универсальными называются приспособления, применение которых не ограничивается отдельными операциями или деталями.

Специальными называются такие приспособления, которые используются только лишь на определенных конкретных деталях и операциях.

При выборе приспособлений необходимо учитывать конструкцию изготавливаемой детали, ее размеры, материал, точность, схему базирования, вид технологической операции и организационную форму процесса изготовления. При выборе ориентируются на выбранную ранее схему установки заготовки и характер черновых, промежуточных, окончательных технологических баз. Преимущество отдают универсальным приспособлениям, часто являющимся принадлежностью станка (патроны, тиски, люнеты и т.д.). В единичном и мелкосерийном производствах широко применяют обработку в универсальных приспособлениях. В крупносерийном и массовом производствах главным образом используют специальные приспособления.

Применяемый в технологии машиностроения режущий инструмент можно разбить на две группы:

- стандартный инструмент;
- специальный инструмент.

К стандартному относится такой инструмент, который имеет стандартные размеры, стандартную конструкцию и применяется вне зависимости от конструкции деталей. Например, к стандартному режущему инструменту относятся сверла, резцы, зенкеры, развертки и др., имеющие стандартные размеры. Специальный режущий инструмент проектируют для определенных деталей с учетом специфики обрабатываемых поверхностей, например, фасонные фрезы, фасонные резцы и т.д.

На выбор типа режущего инструмента влияют: группа и тип станка; характеристики метода обработки; материал обрабатываемой заготовки; размеры и конфигурация заготовки, требуемые точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей; тип производства. В маршрутной карте указывают наименование инструмента, марку материала режущей части, номер стандарта.

Выбор измерительного инструмента в значительной степени определяется типом производства, при выборе также учитывают точность измерений, достоверность, стоимость и трудоемкость контроля, требования техники безопасности и удобства работы.

Метод обработки поверхности заготовки определяет группу инструмента (например, фреза). В зависимости от обрабатываемого материала и типа заготовки устанавливают подгруппу инструмента (например, фреза торцевая с твердосплавными режущими вставками). Конфигурация обрабатываемой поверхности, принятая схема установки заготовки выявляет форму и расположение режущих лезвий, что позволяет определить вид (типоразмер) режущего инструмента. С учетом условий работы устанавливают значения конструктивных параметров режущего инструмента. Режущий инструмент

целесообразно применять одной или нескольких близких марок инструментального материала с обоснованием их выбора.

Наименование инструмента, марку материала режущей части, номер стандарта указывают в маршрутной карте.

Все измерительные инструменты, независимо от характера контролируемого параметра, делятся на две группы:

1) универсальные измерительные устройства и приборы (штангенинструменты, микрометрические инструменты, шкальные инструменты и приборы и т.д.);

2) специальные измерительные инструменты и устройства (приспособления), предназначенные для проверки правильности изготовления конкретных деталей с учетом особенностей измерений).

Выбор измерительного инструмента в значительной степени определяется типом производства, при выборе также учитывают точность измерений, достоверность, стоимость и трудоемкость контроля, требования техники безопасности и удобства работы.

В единичном и мелкосерийном производствах применяют универсальный измерительный инструмент (линейки, штангенциркули, микрометры, нутромеры, глубиномеры, штихмасы и т.п.). В серийном и массовом производствах применяют специальный измерительный инструмент (калибры, пробки, шаблоны), а также измерительные приспособления, в том числе автоматизированные. В маршрутную карту вносят наименование, тип измерительного инструмента; его размер или диапазон измерений; стандарт.

25 Технологическая производительность труда и техническое нормирование

Производительность станка можно оценивать объемом удаленного с заготовки материала или площадью обработанной поверхности, отнесенными к единице времени. Производительность станка зависит от его мощности, режимов (скорости резания, подачи), на которых можно обрабатывать заготовки, а также качества используемого инструмента.

Производительность труда рабочего измеряется количеством годной продукции, произведенной им за единицу рабочего времени. Производительность труда рабочего зависит от производительности используемого оборудования и удобства управления им, интенсивности и организации труда, условий труда рабочего.

Производительность производственного процесса оценивается объемом продукции, измеряемым в штуках, тоннах или рублях, произведенной в единицу времени.

Для отражения деятельности коллектива завода используют понятие – производительность труда работающих, показателем которой является количество продукции, выпущенной в единицу времени и приходящейся на одного работающего. Значение этого показателя, зависящее прежде всего, от производительности действующих производственных процессов, связано с численностью инженерно-технического, управленческого состава, штатов других категорий, то есть и производительностью труда всех сотрудников предприятия.

Объем продукции, приходящийся на одного работающего, чаще измеряют в рублях из-за необходимости учета разнородной продукции завода.

Производительность общественного труда оценивают путем сопоставления количества выпущенной продукции за некоторый интервал времени с трудовыми затратами, вложенными в эту продукцию. При этом учитывают затраты прошлого труда, вложенные в создание оборудования, зданий и т.п., текущие затраты овеществленного труда, затрачиваемого на основные и вспомогательные материалы, электроэнергию, инструменты, топливо, смазочные материалы и т.п., и текущие затраты живого труда.

Выпущенную годную продукцию измеряют или в физических величинах (штуках, единицах массы, объема и др.), или в стоимостном выражении (рублях). Суммарные трудовые затраты выражают или в единицах абстрактного труда (человеко-часах, человеко-днях и др.), или в денежном выражении (рублях). В соответствии с этим производительность общественного труда может иметь различную размерность: шт/чел.; ч; шт./руб. год; руб./руб. год.

Являясь показателем эффективности станка, труда рабочего, производственного процесса и т.д., производительность может выступать в одной из трех форм: номинального, действительного и измеренного значений.

Определение затрат рабочего времени, необходимого на выполнение производственного задания, сводится к установлению нормы времени. Своё назначение в производстве нормы времени могут выполнять лишь тогда, когда они установлены исходя из наиболее рационального использования средств труда и самого труда, всесторонне обоснованы с точки зрения психологии и физиологии человека, т.е. если они сами будут являться технически обоснованными нормами.

Технически обоснованная норма времени – время, необходимое для выполнения заданного объема работы (операции) при определенных организационно-технических условиях с учетом наиболее эффективного использования всех производственных средств, оборудования, приспособлений, инструмента и передового опыта новаторов производства.

Норма времени на операцию по своей структуре делится на две основные части:

- норму подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$;
- норму штучного времени $T_{от}$.

Подготовительно-заключительное время – время, которое рабочий затрачивает на подготовку к выполнению заданной работы и действия, связанные с ее окончанием. Сюда относятся получение задания на работу, получение инструментов, приспособлений, технологической документации, ознакомление с работой, технической документацией, чертежом, инструктаж о порядке выполнения работы, установка приспособления, инструмента, наладка оборудования на соответствующий режим работы, снятие приспособления и инструмента после выполнения задания; сдача приспособлений, инструмента и технологической документации.

Особенностью подготовительно-заключительного времени является то, что его величина не зависит от объема работы, выполняемой по заданию. Поэтому, когда в течение длительного времени выполняется одна и та же работа, например, при массовом производстве деталей, подготовительно-заключительное время, отнесенное к единице продукции, будет незначительным и обычно не учитывается. Таким образом, норма времени в массовом производстве будет состоять только из нормы штучного времени.

В серийном (мелкосерийном, среднесерийном и крупносерийном) производстве подготовительно-заключительное время нормируют на партию деталей, а норма времени, необходимая для изготовления одной детали (мин.), определяется по формуле

$$T = T_{шт} + (T_{пз} / n), \quad (61)$$

где n – количество деталей в партии.

Следовательно, для уменьшения подготовительно-заключительного времени, приходящегося на единицу времени, и соответственно нормы времени необходимо изготавливать крупные партии.

Норма штучного времени (мин)

$$T_{от} = t_o + t_b + t_{обс} + t_{от.л}, \quad (62)$$

где t_o – основное технологическое время;

t_b – вспомогательное непрерываемое время;

$t_{обс}$ – время обслуживания рабочего места;

$t_{от.л}$ – время на отдых и личные надобности.

Основным t_o является время, затрачиваемое рабочим на количественное или качественное изменение предмета труда: его размеров, свойств, формы и состояния поверхностей.

Оно может быть:

- машинным t_m – когда работа производится без непосредственного физического участия человека;

- машинно-ручным $t_{м.р}$ – когда работа производится механизмом с непосредственным участием рабочего (сверление с ручной подачей, подрезка торца вала с ручной подачей и т.п.);

- ручным t_r – например, опилование, шабрение поверхности или слесарные работы.

Вспомогательное время – время, затрачиваемое на различные приемы, обеспечивающие выполнение основной работы и повторяющиеся либо с каждым предметом труда, либо в определенной последовательности через некоторое число их.

Вспомогательное время складывается:

- из времени на установку и снятие обрабатываемой заготовки $t_{в.уст}$;

- из времени, связанного с переходом $t_{в.пер}$;

- из времени на измерение заготовки $t_{в.изм}$.

В комплекс приемов, связанных с установкой и снятием заготовки, включается время на установку, выверку, закрепление и снятие ее. В этот комплекс обычно включают прием «Пустить и остановить станок».

Факторами, определяющими продолжительность комплекса приемов, связанного с установкой и снятием заготовки, приняты:

- вес и габаритные размеры заготовки;

- наличие и степень сложности выверки;

- характер базовых поверхностей заготовки (обработанная или необработанная);

- способ базирования и закрепления, количество зажимов.

Вспомогательное время, связанное с переходом, включает в себя время:

- на приемы управления станком (включение, переключение подач, пуск и остановка станка в процессе выполнения операции, переключение чисел оборотов станка);

- на перемещение частей станка (подвод и отвод инструмента, установка его на размер);

- на измерение (взятие пробных стружек или снятие детали для измерения в процессе обработки на плоскошлифовальных станках);

- на смену инструмента в процессе выполнения операции.

Вспомогательное время на измерение заготовки – время, необходимое на контрольные промеры заготовки после ее обработки. Оно определяется в зависимости от периодичности контроля, вида измерительного инструмента, а также от веса и размеров заготовки.

При анализе вспомогательного времени выделяется

Неперекрываемое вспомогательное время – время выполнения вспомогательных работ при остановленном оборудовании.

Перекрываемое вспомогательное время – время выполнения вспомогательных работ в период работы оборудования, т.е. время, которое перекрывается основным временем.

В норму времени включается только неперекрываемое вспомогательное время. К перекрываемому вспомогательному времени следует отнести, например, время на установку и снятие заготовки при работе на многопозиционных агрегатных станках, токарных, фрезерных полуавтоматах и автоматах, где установка заготовок выполняется без остановки станка. Измерение заготовки очень часто может осуществляться в то время, когда производится обработка следующей заготовки.

Сумма основного и вспомогательного (неперекрываемого) времени t_0 и $t_{\text{в}}$ называется *оперативным временем* где $t_{\text{оп}}$.

Время обслуживания рабочего места $t_{\text{обс}}$. – это время, которое рабочий затрачивает на поддержание рабочего места в состоянии, обеспечивающем производительную работу.

Время обслуживания рабочего места подразделяется на время *технического и организационного обслуживания*.

Ко времени технического обслуживания относится время, используемое на уход за рабочим местом и входящим в его состав оборудованием. Это время необходимо для выполнения конкретной работы, т.е. время на уход за оборудованием и поддержанием в рабочем состоянии режущего инструмента

(подналадка станка, смена затупившегося инструмента, правка шлифовальных кругов, уборка стружки в процессе выполнения работы и т.п.).

Время организационного обслуживания – это время, затрачиваемое на поддержание рабочего места в рабочем состоянии в течение смены, т.е. не связанное с выполнением конкретной работы (смазка и протирка оборудования, осмотр и опробование оборудования, уборка станка и рабочего места в конце смены, раскладка и уборка инструмента).

Величина затрат времени на обслуживание рабочего места зависит от характера выполняемой работы, типа и размера станка и организационных условий данного производства.

Время перерывов на отдых и личные надобности $t_{от.л}$ необходимо для устранения утомляемости человека при выполнении работы, а также на личные надобности рабочего. Оно определяется в зависимости от характера подачи инструмента (ручная или механическая), массы детали, доли машинно-ручного времени в оперативном времени и общей деятельности оперативного времени.

Исходными данными, оказывающими влияние на норму времени и фактические затраты рабочего времени на операцию являются:

- материал обрабатываемой заготовки, его основная характеристика, способ получения исходной заготовки;
- размеры обрабатываемых поверхностей (с учетом допусков), размеры после обработки, требуемая точность и допустимая шероховатость обработанной поверхности;
- масса обрабатываемой заготовки;
- размер технологической партии;
- применяемое оборудование (основные сведения из паспорта станка);
- режущие и измерительные инструменты;
- предполагаемый способ базирования и закрепления заготовки;
- конструкция приспособления; способ базирования, обеспечение точности установки (с выверкой и без выверки); способ закрепления и открепления; для заготовок, устанавливаемых с помощью специальных устройств, - основная характеристика этого устройства;
- планировка рабочего места;
- порядок обслуживания рабочего места, обеспечение заготовками, необходимой документацией, инструментами и приспособлениями, обеспечение наладки, подналадки и ремонта станка и т.п.

Все перечисленные данные в той или иной степени влияют на структуру проектируемой операции и на затраты рабочего времени

Приступая к нормированию, необходимо детально представлять содержание нормируемой операции, последовательность и порядок выполне-

ния составляющих ее элементов, технологические возможности оборудования, органы управления станком, организацию рабочего места и его обслуживания, так как технически обоснованная норма времени на операцию реальна только при соблюдении наложенных на нее условий выполнения операции.

Схематично расчет нормы времени осуществляется в следующей последовательности.

Нормирование основного (машинного) времени. Определение всех параметров режущего инструмента (типоразмера, материала режущей части, геометрических параметров и т.п.); последовательное определение элементов режима резания; глубины резания (числа проходов), максимально допустимой подачи, скорости резания (с учетом нормативной или требуемой стойкости режущего инструмента), а также жесткости технологической системы; определение действующих (при установленных элементах резания) сил и моментов и сопоставление их с допустимыми силами и моментами по условиям обеспечения нормальной эксплуатации станка, требуемой точности размеров и допустимой шероховатости обрабатываемой поверхности, а иногда и по жесткости и прочности инструмента и всей технологической системы; проверка режима резания по потребной мощности в соответствии с эффективной мощностью станка, уточнение величины подачи и частоты вращения (числа двойных ходов); расчет основного (машинного) времени по формуле соответствующей содержанию операции.

Формулу расчета основного времени можно представить в виде:

$$t_0 = L \cdot h / (n \cdot S \cdot t) = (l + l_1 + l_2) i / n S \quad (63)$$

где L – величина перемещения инструмента или заготовки в направлении подачи за один рабочий ход, мм;

S – подача, мм/об или мм/дв. ход;

n – частота вращения, мин⁻¹;

h – припуск на обработку (для данного перехода), мм;

t – глубина резания за один проход, мм;

l – размер обрабатываемой поверхности в направлении подачи для конкретной операции, мм;

l_1 – величина врезания и перебега инструмента, мм;

l_2 – дополнительная длина на взятие пробной стружки, $l_2 = 12 \dots 15$ мм; при наладке станка, обеспечивающей получение требуемого размера $l_2 = 0$;

i – число рабочих ходов.

Формулы для расчета основного времени для конкретных технологических операций приведены в соответствующих разделах нормативов.

Нормирование вспомогательного времени. Вспомогательное время складывается:

- из времени на установку и снятие детали;
- из времени, связанного с переходом (комплекс приемов);
- из времени на измерение (контроль окончательных размеров).

Вспомогательное время определяется по соответствующим разделам нормативов.

Вспомогательное время на установку и снятие детали в условиях среднесерийного и крупносерийного производства определяется в зависимости от способа установки, выверки и крепления заготовки независимо от вида станков. Сюда же включается время на пуск, остановку станка и время на установку деталей свыше одной (многоместных приспособлениях), а также время на очистку приспособления от стружки.

Нормативы вспомогательного времени, связанного с переходом, разработаны с учетом типа станков и содержат время на сложный комплекс приемов, регулярно повторяющихся при выполнении перехода (или обработки одной поверхности). Подробное перечисление приемов в зависимости от способа выполнения работы дано в нормативах.

Нормативы вспомогательного времени на измерение предусматривают контрольные измерения после обработки на данной операции. Все промежуточные измерения в процессе обработки учтены во времени, связанным с переходом.

При расчете вспомогательного времени на измерение необходимо учитывать также периодичность измерений, оговоренную в отдельных картах, форму поверхности, вид обработки, качество точности и способ установки инструмента на размер.

После расчета всех составляющих вспомогательного времени его необходимо скорректировать по поправочному коэффициенту $K_{\text{тв}}$.

Заканчивается расчет вспомогательного времени анализом: выясняется, перекрывается оно целиком или частично основным временем.

В дальнейшем расчете штучного времени учитывается только неперекрываемое вспомогательное время.

Нормирование времени на обслуживание рабочего места. В условиях среднесерийного и крупносерийного производства время на обслуживание рабочего места, как правило, выражают в процентах от оперативного времени с учетом группы станка.

Нормирование времени перерывов на отдых и личные надобности. Данную категорию затрат рабочего времени определяют также в процентах от оперативного времени с учетом характера подачи инструмента, массы де-

талей и других факторов. Для станков, работающих на механической подаче, эти затраты принимаются равными 4-5% от $t_{оп}$.

После определения всех затрат рабочего времени определяют норму штучного времени $T_{от}$ (мин) по формуле (62) или по формуле

$$t_{шт} = (t_o + t_v) [1 + (\alpha_{обс} + \alpha_{отл})/100], \quad (64)$$

где $\alpha_{обс}$ – время обслуживания рабочего места в процентах к оперативному времени, включает в себя время технического обслуживания ($\alpha_{тех}$) и время организационного обслуживания ($\alpha_{орг}$);

$\alpha_{отп}$ – время на отдых и личные надобности в процентах к оперативному времени.

В некоторых случаях (например, в машинных и автоматизированных процессах в условиях массового производства) время технического обслуживания может быть выражено в процентах к основному времени. Тогда норма штучного времени (мин) рассчитывается по формуле:

$$t_{шт} = t_o(\alpha_{тех}/100) + (t_o + t_v)[1 + (\alpha_{орг} + \alpha_{отл})/100]. \quad (65)$$

При выпуске продукции отдельными сериями (партиями) устанавливается норма подготовительно-заключительного времени. Оно рассчитывается по нормативам и включает в себя следующие элементы:

- время на наладку станка, инструментов и приспособления (в зависимости от типа приспособления и количества инструментов в наладке);
- время на дополнительные приемы, связанные с содержанием операции;
- время на получение инструмента, приспособлений, техпроцесса до начала и на сдачу их после окончания обработки.

В случае необходимости рассчитывают норму времени на деталь как сумму нормы штучного времени и доли нормы подготовительно-заключительного времени, приходящейся на одну деталь.

Если одновременно обрабатывают несколько заготовок (за одну установку), рекомендуется весь расчет производить на установочную партию, то есть на операцию, а штучное время на одну деталь определять в конце расчета делением времени на операцию на количество заготовок, обрабатываемых одновременно.

26 Технологическая себестоимость изделий

Затраты на материалы, средства производства и заработную плату, связанные с изготовлением машины и выраженные в денежной форме, называют цеховой себестоимостью (себестоимостью).

Различают себестоимость машины в целом, себестоимость отдельных сборочных единиц и деталей. Можно оценивать себестоимость отдельных операций технологических процессов изготовления деталей или сборки машины, учитывая расходы, связанные только с их выполнением.

Себестоимость может быть определена по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^m \left[O + П + И + \left(1 + \frac{a_1 + a_2}{100} \right) З \right], \quad (66)$$

где M – расходы на материалы на единицу продукции за вычетом стоимости отходов, руб.;

O – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию оборудования, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

$П$ – расходы на амортизацию, содержание и эксплуатацию приспособлений, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

$И$ – расходы на амортизацию и содержание инструмента, приходящиеся на единицу продукции, руб.;

a_1 – начисления на расходы по заработной плате на социальные нужды, %;

a_2 – накладные расходы, начисляемые на расходы по заработной плате %;

p – число различных марок материалов, расходуемых на единицу продукции;

m – число операций, которые проходит единица продукции при ее изготовлении;

$З$ – расходы на заработную плату, приходящиеся на единицу продукции.

Неполная себестоимость, включающая в себя только затраты, связанные с выполнением технологического процесса, называются технологической себестоимостью.

27 Оценка экономической эффективности

Технологический процесс изготовления каждой детали можно разработать в различных вариантах, обеспечивающих выполнение заданных технологических условий. Наиболее предпочтительный вариант выбирают, сопоставляя технико-экономические показатели, характеризующие сравниваемые варианты.

Выбор показателей по степени их полноты и значимости зависит от того, на каком этапе сопоставляют варианты технологического процесса.

На первых этапах проводят предварительную оценку эффективности вариантов, позволяющую по внешним признакам эффективности, таких как снижение материалоемкости, трудоемкости обработки и т.п., отобрать наиболее приемлемый.

На этапе выбора заготовки в качестве показателей предварительной оценки используют:

1. Коэффициент использования материала:

$$K_{им} = m_d / m_z, \quad (67)$$

где m_d – масса детали;

m_z – масса заготовки.

В случае технически равнозначных методов выбирают тот, где значение коэффициента использования материала выше. Для увеличения $K_{им}$ следует приблизить форму заготовки к конфигурации готовой детали увеличивать точность ее изготовления, улучшать качество поверхностного слоя.

2. Снижение материалоемкости:

$$\Delta M = (m_{зб} - m_{зн})\beta, \quad (68)$$

где $m_{зб}$ – масса заготовки при базовом варианте;

$m_{зн}$ – масса заготовки при новом варианте;

β – объем выпуска деталей, шт.

Значимость показателя материалоемкости возрастает при значительном увеличении объема выпуска деталей при разработке нового технологического процесса.

На этапе технологической операции используют следующие показатели:

1. Коэффициент основного времени:

$$\eta_o = t_o / t_{ш}. \quad (69)$$

Чем выше значение η_o , тем производительнее используется станок. Коэффициент основного времени может быть использован и для оценки всего процесса в комплексе. Тогда он будет представлять собой отношение суммарного основного времени по всем операциям обработки к сумме штучных времен по всем операциям.

2. Трудоемкость механической обработки детали:

$$T_l = \sum_{i=1}^n t_{ш}, \quad (70)$$

где n – число операций в данном технологическом процессе.

В серийном производстве определяют трудоемкость изготовления партии деталей:

$$T_{п} = t_{пз} + t_{ш} n_d, \quad (71)$$

где $t_{пз}$ - подготовительно-заключительное время;

n_d - число деталей в партии.

Для различных заготовок или изделий, существенно отличающихся по массе, существует определенная взаимосвязь между трудоемкостью и массой:

$$T_{дн} = T_{дб} \sqrt[3]{(m_{зн}/m_{зб})^2}, \quad (72)$$

где $T_{дн}$ – трудоемкость изготовления детали по новому маршруту;

$T_{дб}$ - трудоемкость изготовления детали по базовому маршруту;

$m_{зн}$ – масса заготовки при новом варианте;

$m_{зб}$ – масса заготовки при базовом (сравниваемом) варианте.

3. Сокращение нормы времени на операцию:

$$Нвр = \frac{t_{ш1} - t_{ш2}}{t_{ш1}} 100\%; \quad (73)$$

$$Нвр = \frac{T_{парт1} - T_{парт2}}{T_{парт1}} 100\%, \quad (74)$$

где $t_{ш1}$, $t_{ш2}$ - нормы времени в сравниваемых вариантах;

$T_{парт1}$, $T_{парт2}$ – трудоемкость изготовления партий деталей в сравниваемых вариантах.

4. Рост производительности труда:

$$\Pi = 100 N_{вр} / (100 - N_{вр}). \quad (75)$$

Вышеперечисленные относительные показатели используют на первых этапах разработки технологического процесса. Самостоятельного значения для оценки технологических вариантов они не имеют.

На завершающем этапе разработки технологического процесса выполняют полную оценку вариантов посредством сравнения себестоимости обработки заготовок живого и овеществленного труда.

Известны два основных метода определения себестоимости: бухгалтерский и метод прямого калькулирования (поэлементный).

При бухгалтерском методе себестоимость изготовления детали определяют по формуле:

$$C = M_o + Z_o + Ц, \quad (76)$$

где M_o – стоимость основных материалов или исходной заготовки за вычетом стоимости реализуемых отходов;

Z_o – заработная плата основных производственных рабочих;

$Ц$ – цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, а также с затратами на силовую электроэнергию, режущий, измерительный, вспомогательный инструмент и приспособления, на заработную плату вспомогательных рабочих цеха (инструментальная группа, ремонтные рабочие и т.д.).

Цеховые расходы при калькулировании себестоимости определяют в процентах от заработной платы основных рабочих цеха. При этом себестоимость (текущие затраты) можно выразить в следующем виде:

$$C = M_o + Z_o \left(1 + \frac{Ц}{100}\right), \quad (77)$$

где $Ц$ – процент цеховых (исходных) расходов, зависящий от типа, степени автоматизации, организационной структуры производства;

M_o – стоимость основных материалов или исходной заготовки за вычетом стоимости реализуемых отходов;

Z_o – заработная плата основных производственных рабочих.

Несмотря на простоту этот метод не пригоден для сравнения вариантов, так как не позволяет выделить составляющие цеховых расходов. Его можно использовать при приближенном определении себестоимости однородной продукции цеха, изготавливаемой на оборудовании и оснастке, одинаковых по степени сложности и размерам.

Наиболее точным является метод прямого расчета всех составляющих себестоимости, в котором полную себестоимость продукции определяют по формуле:

$$C = M_o + Z_o + Z_b + A_o + И + A_{то} + Л + P_o + П + P, \quad (78)$$

где Z_o - заработная плата вспомогательных рабочих;

A_o - амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения;

$Л$ – затраты на энергию для технологических целей;

P_o - затраты на ремонт оборудования;

$П$ – затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;

P – затрат на ремонт и обслуживание управляющих устройств и программ (для станков с ЧПУ).

Метод прямого расчета себестоимости является трудоемким. При сопоставлении разных вариантов технологического процесса изготовления детали допустимы приближенные расчеты. При сопоставлении вариантов можно ограничиться учетом изменений первых пяти статей расходов, составляющих наибольшую долю в обеспечении продукции. Остальные затраты учитывают в случаях, когда применение разрабатываемого нового варианта приводит к их значительному изменению. Затем себестоимость обработки детали рассчитывают по тем статьям затрат, которые изменяются в сравниваемых вариантах, то есть по технологической себестоимости.

Трудоемкость расчета себестоимости можно сократить, применив нормативный метод расчета. В этом методе расчета используют таблицы, в которых указаны периодически корректируемые расходы по всем элементам себестоимости, приведенные к одному часу либо минуте работы станка. Расчет себестоимости сводится к выбору из этих таблиц расходов по конкретному элементу, их суммированию и умножению полученной суммы на штучное время проектируемой операции.

Сравнение вариантов на основе минимума себестоимости проводят тогда, когда сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения дополнительных капиталовложений. В этом случае экономию определяют по формуле:

$$\Delta = (C_6 - C_n)V_n, \quad (79)$$

где C_6 , C_n - себестоимость изготовления одной детали по базовой и новой технологии;

V_n - объем выпуска деталей по новой технологии, шт.

Если новый технологический процесс требует дополнительных капиталовложений, то оценку вариантов следует вести путем сопоставления суммарных затрат:

$$\Pi = C + K, \quad (80)$$

где K – капиталовложения по данному технологическому процессу.

Суммарные затраты Π определяют для каждого сравниваемого варианта. Лучшим признается вариант с минимальными затратами $\Pi_{i \min}$.

Годовой экономический эффект от внедрения лучшего варианта по сравнению со сравниваемым определяется разностью суммарных затрат этих вариантов:

$$\Delta_r = \Pi_i - \Pi_{i \min}. \quad (81)$$

При существующих вариантах сравниваемые варианты приводят в сопоставимый вид по объему выпуска и качеству продукции, а также по срокам осуществления варианта.

Так, если по новой технологии объем выпуска деталей вырос по сравнению с базовым, то по себестоимости продукции и капитальные вложения по базовому варианту нужно пересчитать на объем выпуска по новой технологии:

$$\Delta = (C_6 + K_6) \frac{V_n}{V_6} - (C_n + K_n), \quad (82)$$

где C_6 – себестоимость объема выпуска деталей по базовой технологии;

C_n - себестоимость объема выпуска деталей по новой технологии;

K_6 – капиталовложения по базовой технологии;

K_n - капиталовложения по базовой технологии;

V_6 - объем выпуска деталей по базовой технологии;

V_n - объем выпуска деталей по новой технологии.

В дополнение к годовому экономическому эффекту целесообразно определять срок окупаемости дополнительных капиталовложений на оборудование СТО по новому варианту:

$$\tau_{\text{расч}} = \frac{K_H - K_0}{C_0 - C_H} \quad (83)$$

Срок окупаемости сравнивают с тем сроком, на какой предприятие, государство, банк, какие-либо другие организации могут выделить необходимые средства для совершенствования старого или разработки нового технологического процесса.

Выбор предварительного варианта технологического процесса изготовления изделия осуществляется на основании оценки экономической эффективности.

При этом различают два показателя: абсолютный и сравнительный.

Для технологических процессов абсолютная экономическая эффективность рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_a = (Ц - С)/К, \quad (84)$$

где Ц – оптовая цена годового выпуска изделий;

С – производственная годовая себестоимость изделий;

К – капитальные вложения для различных вариантов технологических процессов.

Полученные значения \mathcal{E}_a сравнивают с соответствующими значениями норматива E_H и между собой. Для машиностроения норматив абсолютной экономической эффективности $E_H = 0,20$. Если $\mathcal{E}_a > E_H$, рассматриваемый технологический процесс является экономически эффективным. Из всех вариантов выбирают технологический процесс, имеющий максимальную абсолютную экономическую эффективность – $\mathcal{E}_{a \max}$.

Сравнительная экономическая эффективность предлагаемого (нового) варианта технологического процесса определяется по сравнению с существующим по коэффициенту сравнительной экономической эффективности E_p или по расчетному сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений T_p :

$$E_p = (C_c - C_H)/(K_H - K_c) \quad (85)$$

$$T_H = (K_H - K_c)/(C_c - C_H), \quad (86)$$

где C_c – себестоимость годовых изделий по существующему варианту технологического процесса;

C_H – себестоимость годовых изделий по новому варианту технологического процесса;

K_H – капитальные вложения по новому варианту технологического процесса;

K_c - капитальные вложения по существующему варианту технологического процесса.

Предлагаемый или новый вариант технологического процесса считается экономически эффективным, если:

$$E_p > E_n \text{ и } T_p > T_n, \quad (87)$$

где E_n – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности ($E_n = 0,20$);

T_n – нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений ($T_n = 5$ лет).

При различных вариантах технологических процессов по годовой программе и качеству изделий их приводят к сопоставимому виду по объему изделий и соответствующим пропорциональным добавлениям капитальных затрат.

Приведение вариантов в сопоставимый вид по качеству выпускаемых изделий осуществляют приведением их себестоимости к единому качеству:

$$C_c \left(1 + \frac{R}{100}\right) = C_n K \left(1 + \frac{R}{100}\right), \quad (88)$$

откуда $C_c = C_n K$,

где K – относительный комплексный показатель качества новых изделий по сравнению с существующими.

Если на реализацию нового варианта технологического процесса требуется больше года, то затраты каждого последующего года приводят с затратами первого года их умножением на коэффициент α_t (таблица 24).

Таблица 24 - Значение коэффициента α_t

Годы	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α_t	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53	0,50

При числе вариантов технологических процессов больше двух расчет сравнительной экономической эффективности проводят по приведенным затратам W_i :

$$W_i = C_i + E_n K_i, \quad (89)$$

где C_i и K_i – годовая себестоимость и капитальные затраты для i -го технологического процесса.

Технологический процесс с наименьшими приведенными затратами является экономически предпочтительным.

Приведенные выше расчеты экономической эффективности являются укрупненными и, как правило, используются на предварительной стадии разработки процессов.

Для окончательного определения годового экономического эффекта используется уравнение:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (C_c + E_n K_c) - (C_n + E_n K_n) + (\varepsilon_{\text{тр}} - 1)\Delta Z + E_n (K_f \mathcal{C}_{\text{высв}} + \mathcal{E}_{\text{соц}}), \quad (90)$$

где $\varepsilon_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий полные затраты труда;

ΔZ – экономия живого труда по предлагаемому технологическому процессу;

K_f – фондовооруженность одного производственного рабочего для существующего технологического процесса (руб./чел.);

$\mathcal{C}_{\text{высв}}$ – число высвобождаемых рабочих при реализации нового технологического процесса;

$\mathcal{E}_{\text{соц}}$ – экономия от вложений на социальную защиту высвобождаемых рабочих.

Коэффициент полных затрат труда учитывает экономию на воспроизводство освобождаемой рабочей силы, в том числе на обучение, лечение и т.д.

Таблица 25 - Значения коэффициента полных затрат труда

Отношение зарплаты к себестоимости	>0,91	0,81- 0,90	0,71- 0,80	0,61- 0,70	0,51- 0,60	0,41- 0,50	0,31- 0,40	0,21- 0,30	0,11- 0,20	0,01- 0,10
$\varepsilon_{\text{тр}}$	1,72	1,66	1,59	1,54	1,50	1,46	1,22	1,18	1,15	1,06

В среднем $\varepsilon_{\text{тр}} = 1,35$ и зависит от доли заработной платы в себестоимости изделия.

Число высвобождаемых рабочих может быть рассчитано по зависимости

$$\mathcal{C}_{\text{высв}} = \Delta T / 1850, \quad (91)$$

где ΔT – снижение годовой трудоемкости изделия по новому технологическому процессу, ч; 1850 – действительный годовой фонд времени, ч.

Число высвобождающихся вспомогательных рабочих определяется непосредственно по технологическому процессу.

Иногда в автоматизированном производстве с высокой производительностью изготовления основной части деталей изготовление некоторых деталей не поддается автоматизации. Недостаточный выпуск этих деталей сдерживает общую пропускную способность по изготовлению данного изделия в целом. В этом случае для деталей, неподдающихся автоматизации, эффективными технологическими процессами будут процессы с максимальной производительностью.

Перечень вопросов для проверки знаний

1. Что понимают под изделием в машиностроительном производстве? Приведите примеры изделий.
2. Приведите любой пример технологической схемы изделия. Что такое сборочные единицы и их классификация?
3. Что такое базирование?
4. Базирующие поверхности изделия.
5. Примеры базирования призматических и цилиндрических заготовок.
6. Классификация баз по своему назначению.
7. В чем заключается функциональное назначение изделий машиностроения.
8. Какими эксплуатационными свойствами деталей и их соединений определяется безотказность и долговечность исполнения своих функций изделиями машиностроения? Приведите примеры.
9. Что такое качество изделий машиностроения и его показатели?
10. Что такое технологичность изделий и как она оценивается?
11. Что такое производственный процесс? Типы производства, их определение и характерные особенности.
12. Дайте определение технологического процесса и его составляющих.
13. Что такое производительность труда и в чем она выражается?
14. Общая и технологическая себестоимость.
15. Что такое точность и допуск?
16. Конструкторские и технологические размерные цепи. Приведите примеры.
17. Что такое замыкающее, увеличивающие и уменьшающие звенья размерной цепи.
18. Составляющие погрешности установки.
19. Составляющие систематической погрешности.
20. Что такое систематические и случайные погрешности обработки?
21. Погрешность базирования. Приведите пример ее определения.
22. Погрешность закрепления. Приведите пример ее определения.
23. Погрешность приспособления. Приведите пример ее определения.
24. Расчет погрешности обработки от износа резца.
25. Погрешности обработки от температурных деформаций технологической системы.
26. Расчет погрешности обработки от температурных деформаций резца.
27. Составляющие погрешности обработки от упругих деформаций технологической системы.
28. Что такое жесткость и податливость технологической системы?

29. Расчет погрешности от упругих деформаций нежестких валов при различных схемах их установки.
30. Что такое геометрическая точность станков?
31. Составляющие погрешности обработки от геометрической неточности станков.
32. Чем обусловлены случайные погрешности обработки?
33. Законы распределения размеров деталей.
34. Суммирование погрешностей обработки.
35. Что такое погрешности сборки и чем они обусловлены?
36. Параметры шероховатости поверхности деталей машин.
37. Что такое припуски, для чего они необходимы?
38. Влияние режимов обработки на качество деталей.
39. Что такое нормирование труда? Методы нормирования.
40. Определение оперативного времени.
41. Расчет себестоимости изделий машиностроения.
42. Возможности снижения основного времени на обработку деталей.
43. Возможности снижения вспомогательного времени на выполнение операций.
44. Возможности снижения технологической себестоимости изделий.
45. Сравнительная экономическая эффективность технологических процессов.
46. Способы получения отливок.
47. Способы получения поковок.
48. Технологические базы.
49. Принцип единства баз.
50. Принцип постоянства баз.
51. Установление последовательности обработки поверхностей заготовок.
52. Выбор методов обработки поверхностей заготовок.
53. Классификация технологических процессов по степени организации производства.
54. Исходные данные для проектирования технологических процессов обработки заготовок.
55. Последовательность разработки технологических процессов.
56. Установление последовательности сборки изделий машиностроения.
57. Выбор технологического оборудования для реализации технологического процесса.
58. Выбор приспособлений, инструментов и средств контроля.

Список использованных источников

- 1 Суслов А.Г. Основы технологии машиностроения: учебник / А.Г. Суслов. - М.: КНОРУС, 2013. - 288 с.
- 2 Бурцев В.М. Технология машиностроения в 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский [и др.]; Под ред. А.М. Дальского. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 564 с.
- 3 Ермаков Ю.М., Фролов Б.А. Металлорежущие станки: учебное пособие для техникумов по специальности «Инструментальное производство». – М.: Машиностроение, 1985. – 320 с.
- 4 Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. Для машиностроит. спец вузов. – 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2001. – 591 с.
- 5 Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2008. – 512 с.
- 6 Кондаков А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А.И. Кондаков. - М.: КНОРУС, 2012. - 400 с.
- 7 Третьяков А.Ф. Технология конструкционных материалов. Курс лекций: учеб. пособие / А.Ф. Третьяков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 327 с.
- 8 Антимонов А.М. Основы технологии машиностроения: учебник / А.М. Антимонов, науч. ред. А.Г. Залазинский – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА; Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 176 с.
- 9 Тарасов В.А., Кашуба Л.А. Теоретические основы технологии ракетостроения: Учеб. пособие / Под ред. В.А. Тарасова. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 352 с.
- 10 Бурцев В.М. Технология машиностроения в 2 т. Т. 2. Производство машин / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев [и др.]; Под ред. Г.Н. Мельникова. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 640 с.
- 11 Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Под ред. М.А. Марасинова, А.В. Никифорова. – Ярославль, 1978. – 125 с.
- 12 Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 256 с.
- 13 ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски под механическую обработку. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 54 с.
- 14 ГОСТ 7505-85. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 36 с.
- 15 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 626 с.

ГАНИН ДМИТРИЙ РУДОЛЬФОВИЧ

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

для студентов направления подготовки

15.03.02 Технологические машины и оборудование

всех форм обучения

Подписано в печать 21.12.2022 г.		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег. № 239	Печать цифровая Тираж 100 экз.	Уч.-изд. л. 9,63

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nf@misis.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.