

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

В. А. Валетов, К. П. Помпеев

Технология приборостроения

Учебное пособие



**Санкт-Петербург
2013**

Валетов В. А., Помпеев К. П. – **Технология приборостроения**. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013 г. – 234 с.

Учебное пособие разработано в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования и предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200100 – Приборостроение.

В пособии рассматриваются основные положения и понятия, принятые в технологии приборостроения, способы производства исходных заготовок, методы обработки поверхностей и конструктивных элементов деталей приборов, теория базирования и теория размерных цепей, используемые при проектировании технологических процессов изготовления приборов и их деталей.

Все вышесказанное в полной мере относится и к области машиностроения. Таким образом, данное пособие будет полезным для студентов и преподавателей большинства технических специальностей.

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области приборостроения и оптотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавриата 200100 – Приборостроение.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009-2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОТРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ	10
1.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	10
1.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ.....	13
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ.....	23
2.1. ПРИНЦИП ВЫБОРА ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	23
2.2. ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	23
2.3. КОВКА.....	31
2.4. ШТАМПОВКА.....	38
2.5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПРОКАТА	41
2.6. ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ	42
2.7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС	44
ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ПРИБОРОВ.....	47
3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	47
3.2. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ.....	48
3.2.1. ФОРМЫ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	49
3.2.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	51
3.2.3. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ.....	51
3.2.4. СЕБЕСТОИМОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ.....	52
3.2.5. НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ	52
3.3. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ	54
3.4. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ.....	56
3.5. АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК.....	60
3.5.1. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ШЛИФОВАНИЯ.....	60
3.5.2. СХЕМЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ.....	63
3.6. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	71
3.7. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	77

3.8. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ИЗ МЕТАЛЛОВ	79
3.9. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК	80
3.10. СВЕТОЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	82
3.11. ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	84
3.12. ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	84
3.13. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК	90

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И ЕГО СТРУКТУРА..... 93

4.1. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ	93
4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	95
4.3. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ	97
4.4. КОНЦЕНТРАЦИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ОПЕРАЦИИ	98
4.5. ТИПЫ ПРОИЗВОДСТВ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	100

ГЛАВА 5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ПРИБОРОВ.... 104

5.1. МЕТОД ПРОБНЫХ ХОДОВ И ПРОМЕРОВ.....	105
5.2. МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ НА НАСТРОЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ	107
5.3. СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ.....	109
5.3.1. ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ВСЛЕДСТВИЕ НЕТОЧНОСТИ, ИЗНОСА И ДЕФОРМАЦИИ СТАНКОВ	110
5.3.2. ПОГРЕШНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С НЕТОЧНОСТЬЮ И ИЗНОСОМ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	111
5.3.3. ПОГРЕШНОСТИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ УПРУГИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАГРЕВА	112
5.3.4. ПОГРЕШНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ.....	113
5.3.5. ПОГРЕШНОСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ УПРУГИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗАГОТОВКИ	114
5.4. СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ.....	115
5.4.1. ЗАКОНЫ РАССЕЯНИЯ (РАСПРЕДЕЛЕНИЯ) РАЗМЕРОВ.....	115
5.4.2. СОСТАВЛЯЮЩИЕ ОБЩЕГО РАССЕЯНИЯ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ	120
5.5. СУММАРНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	126
5.6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ.....	128
5.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ	132

ГЛАВА 6. БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ.....	134
6.1. КЛАССИФИКАЦИЯ БАЗ ПО РАЗЛИЧНЫМ ПРИЗНАКАМ	136
6.2. РАЗНОВИДНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ	140
6.3. НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ.....	144
6.4. ПРИНЦИП СОВМЕЩЕНИЯ (ЕДИНСТВА) БАЗ	145
6.5. ПРИНЦИП ПОСТОЯНСТВА БАЗ	148
ГЛАВА 7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЕДИНИЧНЫХ ТЕХПРОЦЕССОВ	150
ГЛАВА 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ТЕХПРОЦЕССОВ	198
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	216
ПРИЛОЖЕНИЕ А	217
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	220

Введение

20-й век войдет в историю как век прорыва во многих направлениях научно-технического прогресса. К их числу относятся ядерная физика, авиация, ракетная техника, космос, генетика и, конечно, приборостроение. Развитие большинства передовых направлений науки и техники было бы немыслимо без современных систем измерения, контроля, управления, анализа и обработки информации.

В приборостроении очень быстро развивалось все: физические эффекты, используемые для измерений, и первичные преобразователи, способы получения, обработки, хранения и передачи информации, принципы конструирования, материалы массогабаритные характеристики и т.д. Самые большие изменения произошли в электронике и информатике. Путь от вакуумных ламп до больших интегральных схем позволил создавать современную электронику и вычислительную технику был пройден за какие-то тридцать лет и темпы развития сохраняются. Производству этой техники было чрезвычайно трудно успевать за изменением принципов функционирования, проектирования, за сменой материалов и комплектующих. Это было тем более трудно, что практически сохранились все традиционные задачи и технологические процессы. Предметная область технологии приборостроения за последние годы чрезвычайно расширилась и продолжает расширяться.

Совсем недавно приборостроение считалось частью машиностроения. На сегодня это огромная самостоятельная предметная область, разбитая на ряд разделов, сложно связанных между собой. К примеру: измерительные приборы и системы, приборы систем управления, электроника, радиоэлектроника, электроника СВЧ, микроэлектроника, вычислительная техника, оптика, оплотехника и т.д. – разные направления приборостроения. В каждом из этих направлений свои технологии, оборудование, методы контроля и испытаний, проблемы и способы обеспечения качества, масштабы производства. Поэтому охватить все пространство технологии приборостроения практически невозможно и необходимо ввести какие-то ограничения, какие-то принципы отбора материала.

Первый принцип определяется основным требованием к учебникам и учебным пособиям. Они должны соответствовать программам курсов ГОС. Данное учебное пособие предназначено для направления «Приборостроения». Но в этом направлении 10 специальностей с широким спектром базовых конструкций, технологий и требованиями к конструкторско-технологической подготовке. Наибольшую общность в требованиях и в объеме технологической подготовки имеют три специальности:

- 200101 – «Приборостроение»;
- 200103 – «Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы»;
- 200107 – «Технология приборостроения».

Кроме того, реализуется ряд магистерских программ в направлении «Приборостроение».

Все эти специальности и магистерские программы ориентированы, в основном, на разнообразные электромеханические приборы с электронными блоками обработки информации и имеют в учебных планах базовый курс: «Основы технологии приборостроения» или его аналогов.

Для остальных специальностей направления учебное пособие может использоваться как дополнительная литература.

Таким образом, типовыми конструкциями, вопросы производства которых необходимо рассматривать, являются механические, электромеханические конструкции и электронные блоки. Очень важным вопросом для выбора структуры материала является определение типа производства, применительно к которому выбираются процессы и оборудование. Долгое время учебные пособия по технологии приборостроения, производству электронной аппаратуры, радиоэлектронной аппаратуры, вычислительной техники ориентировались на крупносерийное и массовое производство. Однако, переход к рыночной экономике и к рынку потребителей привели к переходу промышленности во всем мире к мелкосерийному производству на современной базе ГПС, широко использующих оборудование с ЧПУ.

Российская промышленность имеет опыт создания ГПС, но, находясь слишком долго в кризисе, в настоящее время имеет очень пеструю картину обеспеченности оборудованием и технологическими процессами. Но выпадать из мировых тенденций развития нельзя и первые положительные примеры по созданию современных предприятий уже есть, поэтому мы ориентируемся на современное производство, широко использующие оборудование с ЧПУ и ГПС. Третьим вопросом, определяющим содержание пособия является степень глубины изучения оборудования и технологической оснастки (инструмент, приспособления, штампы, пресс-формы и т.д.).

Каждая из этих позиций требует отдельного курса, а может быть и целой специальности (станки и инструмент, проектирование пресс-форм и т.д.). Поэтому в основу изложения материала положено изучение метода изготовления – метода обеспечения требуемого качества, т.е. физический принцип, концептуальная схема оборудования и оснастки, требования к готовому объекту и возможности их выполнения и улучшения. Следует повторить, что огромный объем связанного с технологией приборостроения материала делает наиболее важную задачу отбора информации и определение степени глубины его

изложения, которые, в свою очередь, меняются в зависимости от поставленных перед конструкторско-технологической подготовкой задач и количества выделенных на изучения курса часов. Мы попытались это как-то усреднить.

Технология в самом широком смысле есть процесс освоения человеком материального мира посредством его социально организационной деятельности, включающей три компонента:

- научные принципы;
- орудия труда;
- людей, владеющих профессиональными навыками (профессор Волчкевич).

Современное состояние этих трех компонентов в технологии вообще и, в технологии приборостроения в частности, свидетельствует о безусловных успехах человека. Особенно интенсивно развивается первый компонент. Не вдаваясь в подробности, достаточно констатировать, что за последние три десятилетия теоретически разработана и успешно реализуется комплексная проблема автоматизации производственных процессов. Девяностые годы двадцатого века явились периодом создания и интенсивнейшего развития принципиально новых, так называемых генерированных технологий, в частности, технологий быстрых прототипов (Rapid Prototyping).

Не смотря на продолжающееся использование сравнительно старых методов и средств производства, следует отметить, что станки с ЧПУ повсеместно стали привычными орудиями труда, которые позволяют обеспечить не только настоящие, но и будущие потребности человека.

Хотя физиологические возможности человека на протяжении многих столетий остаются практически неизменными, его интеллектуальный потенциал растет фантастическими темпами. Компьютерная вооруженность человека сделала его возможности трудно предсказуемыми. Как любое здание целесообразно строить с фундамента, так и технологию приборостроения следует изучать с традиционных основ и в апробированной последовательности.

Структура подготовки производства

Рациональная организация производственного процесса невозможна без проведения тщательной технической подготовки. Техническая подготовка производства. Этот процесс включает в себя следующее.

1. Конструкторскую подготовку производства (разработку конструкции изделия, сборочных элементов и отдельных деталей изделий, запускаемых в производство с оформлением соответствующих спецификаций и других видов конструкторской документации).

2. Технологическую подготовку производства, т.е. совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий (или предприятия) к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах. К технологической подготовке производства относятся обеспечение технологичности конструкций изделия, разработка технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения, управление процессом технологической подготовки производства.

3. Календарное планирование производственного процесса изготовления изделия в установленные сроки, в необходимых объемах выпуска и затратах.

Ответственной и трудоемкой частью технической подготовки производства является технологическое проектирование, трудоемкость которого составляет 30...40% (от общей трудоемкости подготовки производства) в условия мелкосерийного производства, 40...50% при серийном производстве и 50...60% при массовом производстве.

Рост трудоемкости проектирования технологических процессов с увеличением выпуска продукции объясняется тем, что в крупносерийном производстве разработка процессов производится более тщательно, чем в серийном (увеличивается по общему объему, усложняется технологическая оснастка, подробнее разрабатывается документация). Технологической подготовке производства, ее многочисленным задачам и их решениям уделено большое внимание в этом учебном пособии.

Глава 1. Отработка конструкций деталей на технологичность

Обеспечение технологичности конструкции изделия – это взаимосвязанные решения конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, техническое обслуживание и ремонт изделия [3, 6].

1.1. Общие понятия и определения

Под технологичностью конструкции понимается совокупность ее свойств, обеспечивающая в заданных условиях производства и эксплуатации наименьшие затраты труда, средств, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и ремонте изделия.

Технологичность – понятие относительное. Она различна для разных предприятий, зависит от типа производства, зависит от оборудования предприятия. В то же время технологичность – комплексное понятие. При отработке изделия на технологичность должна осуществляться взаимосвязь между всеми этапами производства: заготовительным, механической обработкой, сборкой, контролем и настройкой. Отработка на технологичность предыдущей операции не должна усложнять следующую операцию.

При отработке конструкции изделия на технологичность каждое изделие следует рассматривать как объект проектирования, производства и эксплуатации.

Правила обеспечения технологичности конструкции изделий регламентируется ГОСТом 14.201 - 83 и методическими рекомендациями МР186 - 85.

Этими документами установлены основные задачи отработки изделия на технологичность, последовательность их решения, систему показателей технологичности конструкции и стадии их определения.

Технологичность изделия характеризуется:

- соответствием конструкции изделия современному уровню техники;
- экономичностью и удобствами в эксплуатации и при ремонте;
- в какой мере учтены возможности использовать наиболее экономичные и производительные технологические методы изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства.

Технологичность (в соответствии с ГОСТ 14.204 - 83) бывает производственная и эксплуатационная.

Производственная технологичность обеспечивает снижение

трудоемкости и себестоимости изготовления изделия. Производственная технологичность проявляется в сокращении времени и средств на:

- конструкторскую подготовку производства;
- технологическую подготовку производства;
- изготовление и сборку изделия.

Конструкторская подготовка производства предусматривает:

- разделение сборочных единиц на составные части;
- компоновку сборочных единиц стандартными и унифицированными деталями;
- правильную простановку размеров с учетом единства и постоянства баз;
- создание конфигурации деталей позволяющих применять современные технологические процессы;
- создание конструкции изделия, позволяющей производить сборку методами полной или частичной взаимозаменяемости.

В соответствии с нормами отработка конструкции на технологичность должна начинаться уже с составления технического задания на проектирование нового изделия. Эта работа продолжается на стадиях разработки эскизного и технического проектов. На стадии разработки рабочей документации проводится технологический контроль конструкторской документации на все детали, за исключением документации на стандартные крепежные изделия и покупные детали.

Технологическая подготовка производства предусматривает:

- использование расчленения конструкции;
- рациональный выбор заготовки;
- правильный выбор технологической оснастки;
- выбор оптимальной шероховатости;
- использование типовых и групповых технологических процессов.

Технологичность при изготовлении и сборке предусматривает:

- сборку без разборки;
- удобный доступ к местам регулировки и настройки.

Эксплуатационная технологичность обеспечивает снижение трудоемкости и стоимости работ по обслуживанию изделия при подготовке его к эксплуатации, профилактическому и техническому обслуживанию, а также при ремонте.

Основные пути повышения эксплуатационной технологичности:

- рациональное выполнение конструкции, обеспечивающей удобство технического обслуживания и ремонта;
- повышение надежности и ремонтпригодности конструкции.

Таким образом, технологичная конструкция изделия должна удовлетворять требованиям изготовления, эксплуатации, ремонта.

Оценка технологичности конструкции может быть качественной и

количественной. Обеспечение качественной оценки технологичности конструкции достигается опытом конструктора и технолога. Количественная оценка ведется с помощью системы показателей и применяется главным образом для сборочных единиц и специфицированных изделий. Показатели технологичности по значимости могут быть основными и вспомогательными, по способу выражения абсолютными и относительными.

Численные показатели технологичности определяются в четырех случаях.

1. Для сравнительной оценки вариантов конструкции в процессе проектирования изделия.
2. Для определения уровня технологичности конструкции изделия.
3. Для накопления статистических данных по изделиям-представителям в целях последующего использования при определении базовых показателей и в процессе разработки изделия.
4. Для построения математических моделей с целью прогнозирования технического развития конструкции изделий.

Основные численные показатели технологичности:

$T_{\text{и}}$ – трудоемкость изготовления изделия;

$K_{\text{ут}}$ – уровень технологичности конструкции по трудоемкости изделия;

$C_{\text{т}}$ – технологическая себестоимость изделия;

$K_{\text{у}}$ – уровень технологичности конструкции по себестоимости (технологической).

Разделяют требования к технологичности сборочной единицы и детали. Требования к технологичности сборочной единицы разбиты на три группы:

1. Требования к составу сборочной единицы.
2. Требования к конструкции соединения составных частей.
3. Требования к точности и методу сборки.

Количественно уровень технологичности детали можно оценить по точности обработки, шероховатости поверхностей и коэффициенту использования материала.

1) Уровень технологичности по точности обработки можно определить по среднему качеству точности по формуле

$$KB_{\text{ср.}} = \frac{\sum N_{\text{кв}} \cdot n_{\text{кв}}^n}{\sum n^n},$$

где $N_{\text{кв}}$ – номер качества;

$n_{\text{кв}}^n$ – количество поверхностей соответствующего качества;

n^n – общее количество поверхностей.

Если $KB_{\text{ср.}} \geq 11$ качества, то по показателю точности конструкция детали технологична.

2) Уровень технологичности по шероховатости поверхностей можно определить по средней шероховатости по формуле

$$Ш_{\text{ср.}} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_{\text{ши}}^n}{\sum n^n},$$

где $Ш_i$ – шероховатость поверхности, мкм;

$n_{\text{ши}}^n$ – количество поверхностей соответствующей шероховатости;

n^n – общее количество поверхностей.

Если $Ш_{\text{ср.}} \geq 2,5$ мкм, то по показателю шероховатости конструкция детали технологична.

3) Коэффициент использования материала определяется по формуле

$$K_{\text{им}} = \frac{M}{M_{\text{м}}},$$

где M – масса готовой детали, кг;

$M_{\text{м}}$ – масса материала, израсходованного на изготовление детали, кг.

Если $0,7 < K_{\text{им}} \leq 1$, то по коэффициенту использования материала конструкция детали технологична.

Требования к технологичности конструкции обуславливается технологической оснащенностью производства, которая зависит от объема выпуска и типа производства. Если тип производства, принятый при конструкторской отработке на технологичность, не соответствует расчетному для заданного объема выпуска, то технолог должен корректировать отдельные конструкторские решения.

Технологичность конструкций деталей, изготавливаемых резанием, зависит от технологичности формы детали; рационального выбора заготовки, в том числе ее материала; наличия удобных и надежных баз для установки заготовок.

Технологичность форм детали оценивается с учетом особенностей выбранного технологического метода обработки, конкретных условий и типов производства, технологических возможностей и особенностей оборудования.

1.2. Обеспечение технологичности

Технологичность обеспечивается конструктивными, технологическими и эксплуатационными мероприятиями.

Конструктивные мероприятия: простота компоновочной схемы сборочных единиц и изделия в целом; членение изделия на самостоятельные сборочные единицы, допускающие независимую сборку, контроль и испытания; выбор простейших геометрических форм деталей; рациональный выбор материала; обоснованный выбор баз, системы простановки размеров, допусков и шероховатости поверхностей деталей; обеспечение беспригоночной сборки, а при необходимости – взаимозаменяемости; унификация материалов, сборочных единиц и других элементов конструкции.

Технологические мероприятия: сокращение сроков подготовки производства; использование современных высокопроизводительных процессов; сокращение расходов материалов; применение рациональных методов контроля; обеспечение точности изготовления, рациональной организации производственного процесса; сокращение номенклатуры специальной оснастки.

Эксплуатационные мероприятия: обеспечение простоты обслуживания и ремонта; сокращение расхода запасных частей; обеспечение надежности и долговечности изделия.

Работы по обеспечению технологичности конструкций деталей выполняют в следующем порядке (общий случай): выявляют конструктивные элементы, влияющие на качество выполнения изделием рабочих функций в условиях эксплуатации, отрабатывают конструкцию детали на технологичность по главным конструктивным элементам и на технологичность по остальным конструктивным элементам, сопоставляя их с факторами будущего технологического процесса с целью выявить те элементы конструкции, которые оказывают наиболее сильное влияние на технологию изготовления изделия (в данном случае детали), в особенности на трудоемкость и себестоимость процесса.

Отработка конструкции на технологичность должна быть составной частью разработки конструкции изделия, начиная с момента разработки технического задания, и сопровождать все стадии разработки конструкторской документации и изготовления опытных образцов и серий изделий.

Технологический контроль в общем виде проводится по трем разделам: форма, размеры, допуски. Естественно, что каждый, из разделов связан с рядом параметров. Например, форма детали, как правило, определяет преимущественную технологию ее изготовления. Установленная форма нередко позволяет выполнить деталь только одним конкретным методом. Форма связана одновременно и с материалом детали: трудно изготовить сложную деталь, подвергающуюся закалке из обычной углеродистой стали, необходимо применить легированную сталь. Простановка размеров и допусков, если они не диктуются требованиями конструкции, связана с методом изготовления, шероховатостью поверхности, покрытиями и т. п. Поэтому каждый из указанных разделов должен рассматриваться во

взаимосвязи.

Следует стремиться к упрощению формы детали независимо от способа ее изготовления. В одних случаях, например, при литье по выплавляемым моделям сложность формы не является определяющим фактором, но при обработке резанием сложность формы иногда исключает возможность получения требуемой детали.

Во всех случаях при простановке размеров следует руководствоваться правилом, согласно которому в чертеже проставляют размеры от технологических и конструкторских баз, вполне удовлетворяющих конструктора и технолога, указывают допуски, максимально возможные при заданных требованиях к сборке и к работе детали, сборочной единицы и изделия в целом. Различные конструктивные решения при одних и тех же требованиях к качеству сборки позволяют значительно увеличить допуски на неточность изготовления деталей за счет уменьшения количества взаимосвязанных размеров, частичным изменением конструкции сборочной единицы.

Повышение точности удорожает производство, так как требуются более точное оборудование, сложная дорогостоящая оснастка и рабочие высокой квалификации. Кроме того, необоснованное назначение допусков на неточность изготовления деталей вызывает необходимость в пригоночных работах при сборке, которые должны быть сведены до минимума, а при крупносерийном и массовом производствах – исключены совсем.

Наиболее употребительные общие рекомендации по технологичности конструктивных форм деталей следующие:

- конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть стандартной в целом;
- детали должны изготавливаться из стандартных или унифицированных заготовок;
- размеры и поверхности детали должны иметь соответственно оптимальные точность и шероховатость (экономически и конструктивно обоснованные);
- физико-химические и механические свойства материала, жесткость детали, ее форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления (включая процессы упрочения, коррозионной защиты и пр.), хранения и транспортирования;
- показатели базовой поверхности (точность, шероховатость) детали должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля;
- заготовки должны быть получены рациональным способом с учетом заданного объема выпуска и типа производства;
- метод изготовления должен обеспечивать возможность одновременного изготовления нескольких деталей;
- сопряжения поверхностей деталей различных классов точности и чистоты должны соответствовать применяемым методам и средствам

обработки;

- конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления;

- детали, получаемые на станках токарной группы, должны иметь максимальное число поверхностей вращения и минимальное число изменений диаметра сечения;

- в зависимости от отношения длины к диаметру валы закрепляются при обработке в патроне ($l:d \leq 5$) или в центрах ($l:d \leq 10$) или в центрах с люнетом ($l:d > 10...12$);

- применение высокопроизводительных многорезцовых станков наиболее рационально при обработке валов, у которых длины ступеней кратны, а диаметры уменьшаются в одном направлении;

- конические переходы между ступенями вала и фаски следует назначать под обработку с учетом стандартных токарных проходных резцов с главным уклоном в плане φ , равным 30, 45, 60 и 90°;

- поверхности отверстий также должны соответствовать по форме стандартному инструменту, например, глухие отверстия следует проектировать с коническим дном, образуемым режущей кромкой сверла. Отверстия должны соответствовать по размерам стандартным сверлам (ГОСТ 885 - 77), не следует предусматривать сквозные отверстия с отношением длины к диаметру более 10, так как требуются специальные сверла;

- глубина глухих отверстий не должна превышать шести диаметров; для глухих отверстий, подвергаемых чистовой обработке, следует указать ее длину, так как по всей длине трудно достичь шероховатости;

- глубина резьбы в глухих отверстиях должна быть согласована с размерами рабочей части метчика, не рекомендуется назначать резьбы длиной более трех диаметров, так как при этом затрудняется свинчиваемость деталей;

- детали, изготавливаемые на протяжных станках, должны иметь равномерную жесткость по длине и достаточную прочность;

- при обработке на станках с ЧПУ к конструкции изготавливаемых деталей предъявляют менее жесткие требования (например, сложные, фасонные, контурные и объемные поверхности можно получить без особых трудностей).

Конкретные примеры конструкторских решений представлены в Приложении А.

Технологичность конструкции заготовок деталей должна иметь в виду не только максимальную рационализацию механической обработки, но и упрощение процессов изготовления самих заготовок. При технологической отработке конструкций деталей рекомендуется особое внимание обращать на следующие основные технические направления.

При использовании отливок:

- правильность выбора способа литья и возможность использования применяемых марок чугунов, сталей и других сплавов;
- правильность конструктивного решения по форме деталей с точки зрения упрощения разъемов и возможности отливки с минимальным количеством стержней;
- правильность выбора толщин стенок, соотношения толщин или площадей сечений близлежащих участков и достаточности радиусов переходов между сопрягаемыми стенками и ребрами;
- направление и достаточность формовочных уклонов;
- требуемая точность и шероховатость поверхностей, не подвергаемых последующим обработкам и соответствующих выбранному методу литья;
- выполнение особых требований к конструкции, связанных с изготовлением деталей (методами литья в кокиль, под давлением, в оболочковые формы и по выплавляемым моделям и др.);
- наличие указаний о допускаемых дефектах поверхности.

Литые заготовки из чугуна и стали в этом отношении должны удовлетворять следующим основным требованиям:

а) толщина стенок отливки должна быть по возможности одинаковой, без резких переходов тонкостенных частей в толстостенные; выполнение этого требования необходимо для получения однородной структуры отливки и уменьшения внутренних напряжений в ней;

б) форма любой заготовки должна предусматривать простой, без затруднений разъем модели;

в) поверхности отливки, расположенные перпендикулярно к плоскости разъема модели, должны иметь конструктивные литейные уклоны для того, чтобы изготовление литейных форм и стержней и удаление моделей из форм происходило без затруднений.

Уклон в направлении выхода модели из формы обозначается на чертежах линейной величиной b или отношением этой величины к высоте (длине) h данной поверхности отливки ($b : h$).

Величины литейных уклонов в зависимости от высоты (длины) h принимаются: $1 : 5$ при $h < 25$ мм; $1 : 10$ и $1 : 20$ при h в пределах 25...500 мм; $1 : 50$ при $h > 500$ мм.

При использованииковки и штамповки:

- наличие, направленность и достаточность уклонов и радиусов переходов в зависимости от намечаемых методов изготовления;
- правильность соотношения толщин взаимосопрягаемых стенок, выступов и ребер или площадей сечений близлежащих участков;
- правильность назначения марок материалов, видов термической обработки, требуемых твердостей и других механических характеристик, степеней точности и шероховатости необрабатываемых поверхностей;

- выполнение особых требований к конструкторскому оформлению деталей в зависимости от намечаемых технологических методов получения заготовок;

- возможность использования для изготовления массовых деталей параметрического проката или фасонных профилей.

В заготовках, полученных методами штамповки иковки, должно быть обозначено:

- а) отсутствие резких переходов в поперечных сечениях и усиление сечений в изгибах;

- б) выполнение переходов от одного сечения к другому по дугам относительно больших радиусов;

- в) закругление острых ребер у штамповок.

Штамповки должны иметь уклон поверхностей, расположенных перпендикулярно плоскости разъема штампа, необходимый для удаления заготовки из штампа. Величины уклонов для наружных поверхностей принимаются от 1 : 10 до 1 : 7; для внутренних – от 1 : 7 до 1 : 5. При повышенной точности штамповки величина уклона принимается меньшей.

При использовании листовой штамповки:

- правильность выбранных форм детали с точки зрения рациональности раскроя, снижения отходов металла, унификации размеров (радиусы гибки и обрезки, размеры фасок и отверстий и др.), определяющих возможность использования универсальной оснастки;

- возможность использования гнутых и фасонных профилей проката;

- наличие и достаточность радиусов переходов в местах сгибов;

- правильность назначения марок материалов в зависимости от конструктивной формы детали, например, для деталей, получаемых методом высадки, вытяжки, гибки;

- правильность расстановки линейных размеров;

- возможность выполнения заданных требований по точности изготовления экономичными методами.

При использовании обработки резанием:

- возможность соблюдения единства баз для обработки и измерений;

- правильность линейных размеров и допусков на них в зависимости от предполагаемых способов обработки;

- правильность взаиморасположения обрабатываемых поверхностей (отверстий, внутренних канавок, выточек и т. п.) с точки зрения доступности подхода и уменьшения вылета и габаритных размеров инструмента;

- правильность назначения требуемых точности и шероховатости обработки поверхностей с целью обеспечения качества поверхности детали;

- возможность использования наиболее простой, универсальной оснастки;
- применение материала, по возможности, более легкообрабатываемого и без сливной стружки.

При использовании сварки:

- правильность выбора материала деталей, входящих в сварную конструкцию;
- возможность выполнения без дополнительных обработок задаваемых допусков на линейные и угловые размеры и правильность простановки размеров;
- соответствие линейных размеров, допусков и технических требований на изготовление деталей, входящих в сварные единицы, линейным размерам, допускам и техническим требованиям на сварные конструкции;
- правильность размещения сварных швов и сварочных точек с точки зрения устранения излишних короблений, концентрации напряжений, а также доступности подхода к месту сварки;
- правильность выбора метода сварки и соответствующих материалов;
- соответствие выбранных типов сварных соединений условиям и характеру действующих на них нагрузок; возможность выполнения сварки на автоматах и полуавтоматах, контактных машинах.

При использовании термообработки:

- соответствие марок материалов заданным требованиям по твердости и другим механическим свойствам после термической обработки и правильности установленных пределов разброса по ним;
- возможность замены недостаточно экономичных методов термической обработки более экономичными (например, замена цементации поверхностной закалкой с нагревом токами высокой частоты и т. п.);
- наличие, при необходимости, указаний о размерах и твердости переходных зон;
- правильность конструктивного оформления деталей (формы и соотношение толщины стенок, наличие радиусов переходов, отсутствие подрезов и т. п.).

При использовании покрытий:

- правильность назначения видов, толщин, количества слоев покрытий и цветов покрытия;
- правильность конструктивных форм и габаритных размеров деталей и сборочных единиц с тем, чтобы устранить места скопления краски, острые углы и переходы, способствующие неравномерности слоя покрытия и т.п.;
- возможность использования различных видов покрытий, применяемых на предприятии.

В помощь студентам для ведения анализа качественной оценки технологичности конструкций и внесения корректив в чертежи деталей приведем пример (см. рис. 1.1).

В зависимости от типа производства одна и та же конструкция может выполняться в разных вариантах с выбором наиболее экономичной заготовки в данных, конкретных условиях. На рис. 1.1, а) изображена наиболее рациональная конструкция кронштейна – литая. При такой конструкции достигается наименьший расход металла (масса наименьшая), наименьший объем механической обработки.

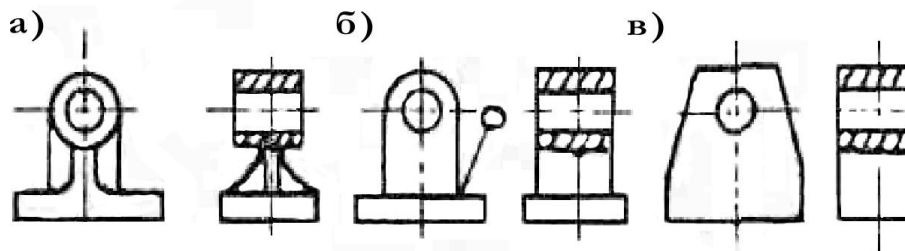


Рис.1.1. Возможные варианты конструкций кронштейнов

Однако в условиях мелкосерийного производства может оказаться, что литая конструкция детали будет менее экономичной, чем, например, сварная, рис. 1.1, б). При единичном типе производства, когда нужно изготовить всего несколько деталей, наиболее рациональной может стать конструкция, показанная на рис. 1.1, в), вырезанная непосредственно из полосовой или толстолистовой стали.

Номенклатуру показателей технологичности конструкции выбирают в зависимости от вида изделия, специфики и сложности конструкции, объема выпуска, типа производства и стадии разработки конструкторской документации. Номенклатуру показателей технологичности конструкции устанавливают с учетом экономической эффективности показателей, методики их определения и опытно-статистических (или расчетных) данных.

Отработка конструкций изделий на технологичность – весьма сложный процесс, поэтому идеальным в данной области является специалист, одинаково сильный и как технолог, и как конструктор.

Как видно из вышеизложенного, технологичность конструкции изделия является сугубо относительным понятием. Его следует рассматривать исключительно применительно к конкретному производству, его условиям и возможностям. Одно и то же изделие может быть технологичным для одного предприятия и совершенно не технологичным для другого. Отсюда следует вывод, что количественная оценка технологичности может быть сделана только для конкретного изделия и конкретного предприятия. Никаких общих количественных показателей технологичности не может быть, а в ряде случаев они оказываются просто нелепыми. Например, один из распространенных

показателей технологичности – отношение количества ранее используемых деталей к общему количеству деталей нового изделия, причем, чем выше этот показатель, тем лучше считается технологичность. Однако, с точки зрения здравого смысла это абсурд, потому что новые изделия со ста процентным составом старых деталей не может быть новым или, по меньшей мере, от него не следует ожидать существенного улучшения функциональных свойств. В связи с этим представляется целесообразным просто рассмотреть в качестве примера несколько конструкций деталей и качественно оценить их технологичность для конкретно заданных условий производства.

Пример 1. Для детали, изображенной на рис. 1.2, сделать качественную оценку технологичности, если известно, что тип производства единичный, а оборудование только универсальное, без ЧПУ, и возможности абразивной обработки отсутствуют. Из материала детали серийные прокатные профили не производятся.

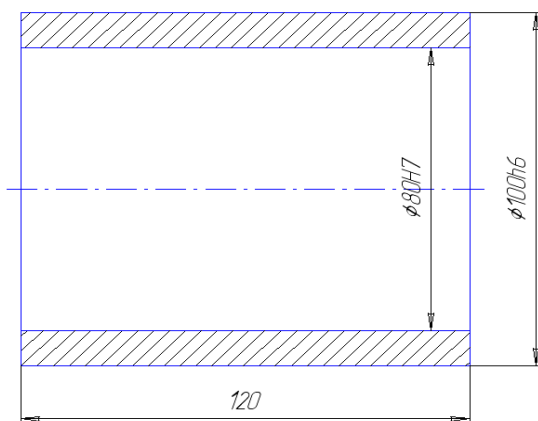


Рис.1.2. Втулка

Очевидно, что эту деталь придется делать из болванки неопределенных размеров, перегоняя большое количество материалов в стружку. При этом обеспечить столь высокую точность на токарном станке очень и очень сложно, и такая работа посильна только для станочника высокой квалификации. Значит, для вышеизложенных условий эта простейшая на вид деталь не может быть технологичной, тогда как для условий серийного и массового производства, оснащенного всем современным оборудованием, она будет, безусловно, технологичной.

Эта деталь может оказаться технологичной и для условий единичного производства, если промышленность выпускает трубы близкие по размерам из материала детали.

Пример 2. Для детали, изображенной на рис. 1.3, сделать качественную оценку технологичности, если известно, что производство единичное, оборудование без ЧПУ и оснастка универсальные,

инструмент стандартный.

Даже при наличии стандартных прутков подходящего размера эта деталь не может считаться технологичной, так как помимо малого коэффициента использования материала придется изготавливать либо специальный фасонный резец, либо копир. И то и другое дорого. Очевидно также, что для условий крупносерийного и массового производства, оснащенных современным оборудованием, или хотя бы при наличии токарного станка с ЧПУ, эта деталь будет вполне технологичной.

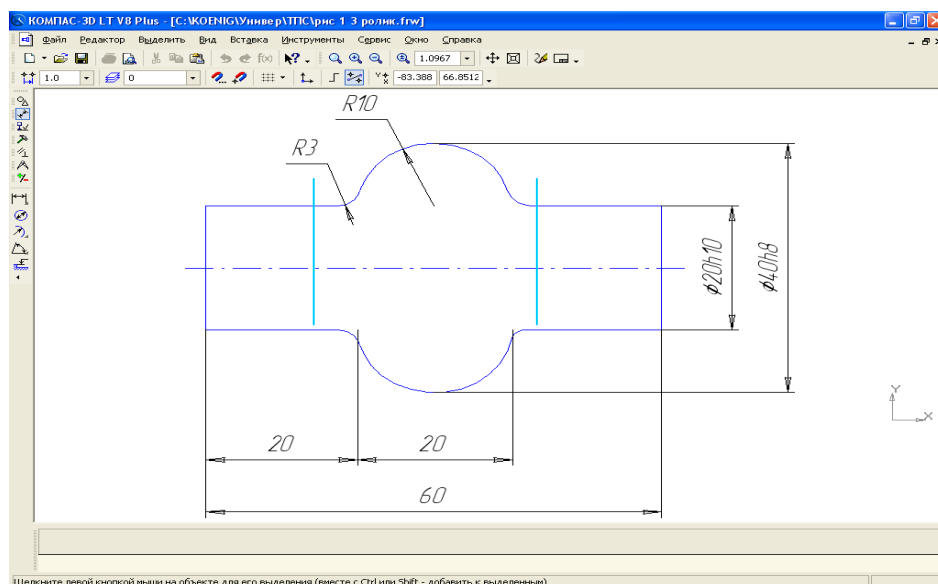


Рис.1.3. Ролик

Конечным количеством примеров невозможно осветить бесчисленное множество возможных, но и эти два простейших примера показывают, что для конкретных условий качественная оценка технологичности вполне достаточна и никаких количественных показателей придумывать не имеет смысла, потому что они не могут быть универсальными. Например, даже такой кажущийся универсальным показатель, как коэффициент использования материала для единичного и мелкосерийного производства может не иметь никакого значения.

Таким образом, технологичная конструкция изделия является одним из условий обеспечения высокой экономической эффективности технологических процессов.

Глава 2. Технологии производства заготовок деталей приборов

2.1. Принцип выбора заготовительных технологий

Детали приборов по размерам и форме, по конструкционным материалам, функциональному назначению и т.п. чрезвычайно разнообразны [2, 9, 10]. Не смотря на это, при выборе метода изготовления любой заготовки целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- форма и размеры заготовки должны быть максимально приближены к форме и размерам детали;
- необходимо учитывать технологические свойства материала изделия;
- необходимо принимать во внимание серийность производства.

Эти принципы просты и очевидны, но все они должны учитываться одновременно.

В технологии приборостроения, как и в технологии машиностроения, наибольшее распространение получили следующие технологии изготовления заготовок деталей:

- литье;
- штамповка и ковка;
- изготовление заготовок из прокатных серийных профилей;
- порошковая металлургия;
- специальные технологии изготовления заготовок из пластмасс.

Все эти технологии хорошо отработаны и описаны не только в специальной технической литературе, но и в учебниках для вузов и техникумов. Поэтому изложим лишь краткие сведения об этих технологиях и отметим их основные особенности и возможности [2].

2.2. Литейные технологии

Изготовление отливок

Отливки – это продукция литейного производства. В технологии приборостроения наибольшее распространение получили следующие виды литья:

- литье в песчано-глинистые формы (литье в землю);
- литье по выплавляемым моделям;
- литье в оболочковые формы;
- литье в металлические формы (кокили);
- литье под давлением;
- центробежное литье.

На рис. 2.1 представлен процесс заливки металла в форму.

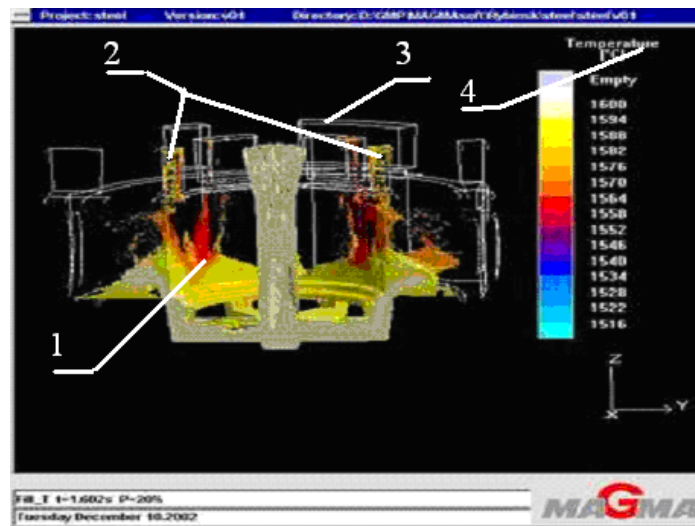


Рис.2.1 Заливка металла в форму: 1 – заливаемый разогретый металл; 2 – места заливки металла; 3 – форма, в которую заливают материал; 4 – температурная шкала процесса литья

Многообразие литейных технологий не исключает однообразия основных технологических этапов:

- изготовление литейной формы;
- расплавление конструкционного материала;
- заливка расплавленного конструкционного материала в литейную форму;
- охлаждение и отверждение конструкционного материала в литейной форме;
- извлечение отливки из литейной формы;
- отделение отливки от литниковой системы;
- контроль качества отливки.

При этом, каждая литейная технология имеет специфические особенности, которые по традиции удобно делить на достоинства и недостатки. Рассмотрим кратко особенности типичных технологических этапов для каждой литейной технологии.

Литье в песчано-глинистые формы

Это самый древний вид литья. При всей внешней простоте диапазон особенностей этой технологии настолько широк, что простирается от примитивной простоты и дешевизны до тончайшего совершенства, имя которому искусство. Изготовление литейных форм по своей физической сущности аналогично строительству «норок» ребенком в песочнице. Ребенок кладет одну ручку на песок, засыпает ее сверху песочком, желательно влажным, и утрамбовывает его второй ручкой. После утрамбовки песка ручку из него ребенок вытаскивает и там остается «норка», по размерам и форме напоминающая его засыпаемую песком ручку. В реальной технологии литья в землю вместо руки ребенка используется модель того изделия, которое будут отливать. Модели чаще всего изготавливают из дерева, реже – из пластмассы, еще реже – из металлических материалов. В подавляющем

большинстве случаев модели приходится изготавливать разъемными, при этом плоскости разъема чаще всего совпадают с плоскостями симметрии изделий. Аналогичным образом изготавливают и модели литниковой системы – системы «каналов», по которой расплавленный материал будет поступать в литейную форму. Половинки моделей, включая модели литниковой системы, укладывают плоскостями разъема на модельную плиту, на которую ставят и опоку – своеобразный «ящик» без дна и крышки и эту опоку заполняют специальной песчано-глинистой смесью (формовочной смесью). Эту смесь утрамбовывают и опоки (верхнюю и нижнюю) с утрамбованной смесью вместе с половинками моделей переворачивают. Половинки моделей осторожно извлекают из утрамбованной смеси и в опоках остаются полуформы моделей и литниковой системы. Для получения литейных форм достаточно соединить верхнюю и нижнюю опоки плоскостями, которые лежали на модельной плите.

Пример получаемой конструкции литейной формы показан на рис. 2.2.

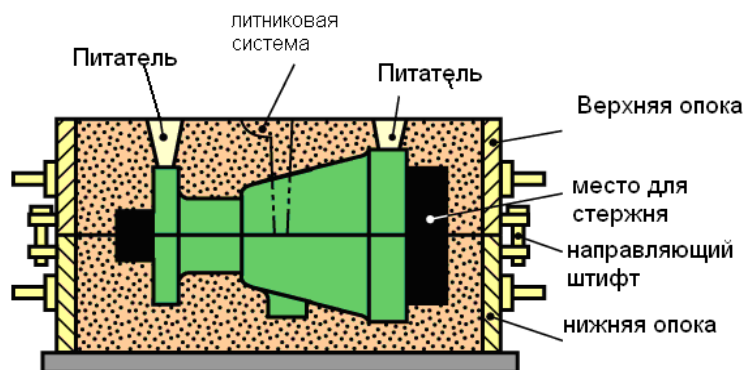


Рис.2.2. Подготовленная для заливки форма (литье в землю)

Если в отливке должны быть какие-либо полости, то в соответствующее место формы перед соединением опок вставляют так называемые стержни из специальной «стержневой» смеси (см. рис. 2.3).

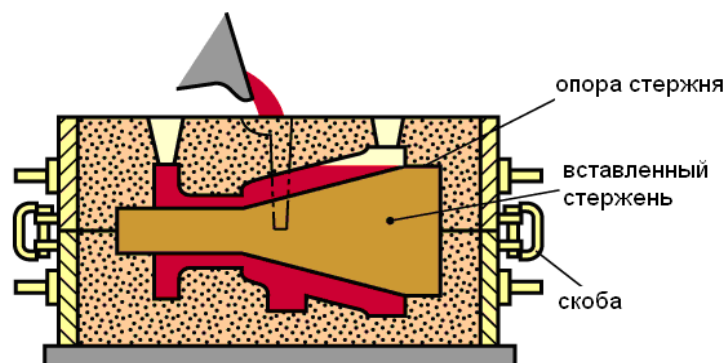


Рис.2.3. Процесс заливки металла

Эти стержни препятствуют заполнению расплавленным

материалом той части формы, где должна быть полость. Очевидно, что форма и размеры стержня должны соответствовать форме и размерам той полости, которую мы хотим получить в отливке.

После отверждения залитого в литейную форму материала и разрушения этой формы получаем изделие, показанное на рис. 2.4.

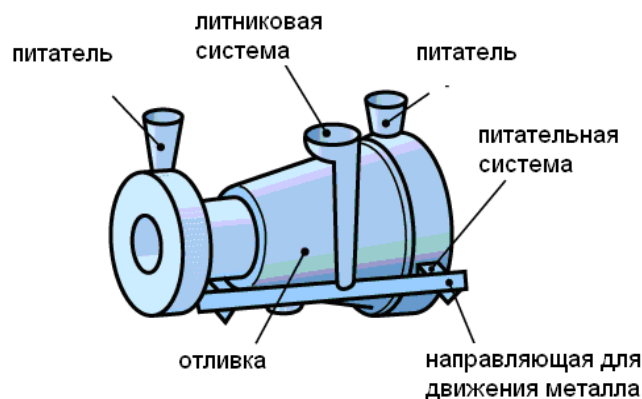


Рис.2.4. Готовая отливка

Качественные отливки можно получить из тех конструкционных материалов, которые обладают хорошими литейными свойствами: прежде всего, высокой жидкотекучестью, малой усадкой, малой склонностью к образованию трещин и т.п. Для производства отливок чаще всего используют сплав черных металлов:

- серые, высокопрочные и ковкие чугуны;
- углеродистые и легированные стали;
- медные (бронзы и латуни), цинковые, алюминиевые и магниевые сплавы;
- сплавы тугоплавких металлов (титан, молибден, вольфрам).

В расплавленном состоянии металлы и сплавы могут поглощать значительное количество различных газов как из окружающей среды, так и из материала песчано-глинистых форм и стержней, что является причиной образования раковин и пористости. Поэтому расплавленный конструкционный материал перед его заливкой в форму целесообразно подвергать дегазации путем вакуумирования, а влажность форм и стержней должна быть предельно низкой. Заполнение литейной формы расплавленным материалом производится из ковшей различного конструктивного исполнения. При этом очень важную роль играет температура расплавленного материала. Ее повышение улучшает жидкотекучесть материала и заполняемость литейной формы, но, одновременно, это повышает газонасыщенность и окисляемость материала, а также затрудняет процесс регулировки охлаждения материала в форме. В среднем рекомендуется заливать расплавленный материал при температуре на 100...150 градусов Цельсия выше температуры Ликвидуса.

Литье по выплавляемым моделям

Само название технологии раскрывает ее суть. На рис. 2.5 представлены фрагменты технологии литья по выплавляемым моделям.

Модели изготавливают в пресс-формах из легкоплавкого материала (воск или стеарин), которые попеременно погружают в клеевой состав и в «кипящий» песок, наращивая тем самым слой склеенного песка на поверхностях моделей.



Рис 2.5 Этапы получения заготовок с помощью литья по выплавляемым моделям:

- 1 – прессование моделей и литниковой системы; 2 – соединение моделей с литниковой системой; 3 – погружение заготовок в клеевой состав; 4 – погружение заготовок в «кипящий» песок; 5 – заготовки помещаются в печь для расплавления материала моделей; 6 – заготовки помещаются в печь для прокаливания литейной формы; 7 – заливка в формы расплавленного металла; 8 – разрушение формы с помощью динамической нагрузки; 9 – отрезка готовых отливок; 10 – зачистка мест отделения отливок от литниковой системы; 11 – контроль качества отливки

Затем все это помещают в печь или кипяток, где легкоплавкий материал моделей расплавляется и вытекает из форм, а они помещаются в печь для прокаливания. Получается прочная, но хрупкая оболочка, в которую заливают расплавленный материал, а после затвердевания форма легко разрушается от небольшой динамической нагрузки, например, от удара молотком или от небольшого нажатия прессом. Так как материал моделей достаточно мягок, крупногабаритные модели изготавливать не рекомендуется из-за их возможной деформации под действием собственного веса. Мелкие же модели можно «приклеивать» к литниковой системе из такого же материала в большом количестве. Получается своеобразная

«виноградная гроздь», ветки которой – литниковая система, а виноградинки – модели. Таким образом, возможно изготовление многоместных литейных форм, т.е. одновременное изготовление нескольких отливок, что обеспечивает высокую производительность процесса и возможность применения данной технологии в условиях серийного и даже массового производства. Отливают по этой технологии изделия из алюминиевых, медных сплавов, чугуна, углеродистых и легированных сталей. Габариты отливок: max – 170×120×75 мм, min – 5×5×5 мм. Вес отливок: max – 25 кг, min – 0,03...0,04 кг.

На рис. 2.6 показаны образцы отливок, получаемые этим методом.



Рис.2.6. Образцы отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям

Литье в оболочковые формы

Технология изготовления литейных форм такая же, как и по выплавляемым моделям, но сами модели делают так же, как для литья в землю. Это позволяет делать литейные формы по простой и дешевой технологии и получать крупногабаритные отливки, но производительность процесса значительно ниже, чем при литье по выплавляемым моделям.

Литье в кокиль

Кокиль – это металлическая форма многоразового использования, что обеспечивает достаточно высокую производительность процесса, но требует гораздо больших затрат на ее изготовление.

Литье под давлением

Расплавленный материал подается в литейную форму под достаточно большим давлением, что позволяет значительно снизить риск получения брака в виде раковин и пористости, но усложняет и удорожает систему подачи материала в форму, которая должна обладать, к тому же, повышенной прочностью. На рис. 2.7 и 2.8 представлены схемы литья под давлением.

Образцы отливок из алюминиевых и цинковых сплавов, полученных литьем под давлением, показаны на рис. 2.9.

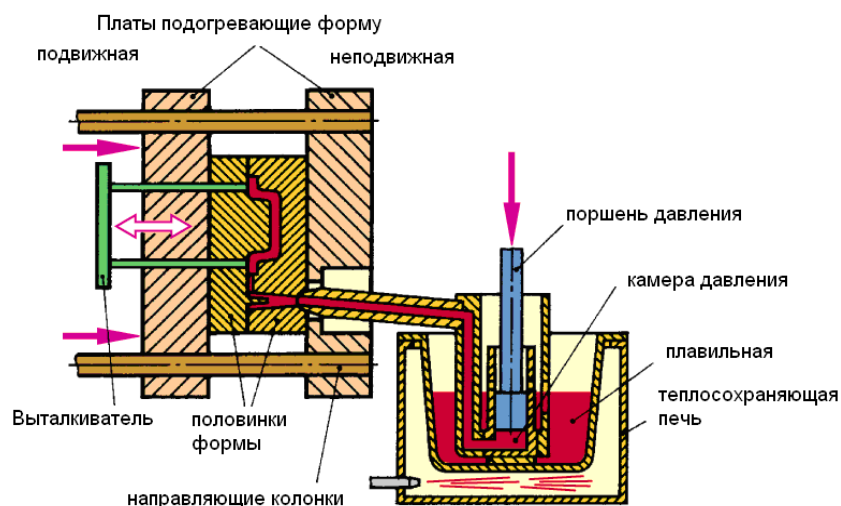


Рис.2.7. Процесс литья под давлением с вертикальной системой давления

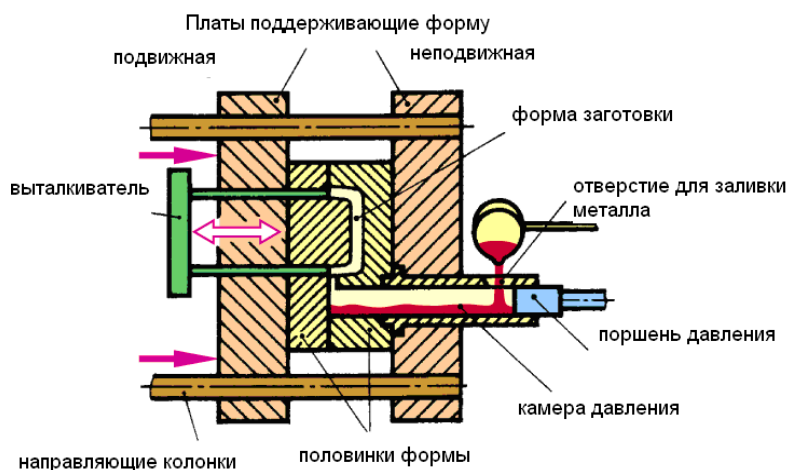


Рис.2.8. Литье под давлением с горизонтальной системой давления



Рис.2.9. Образцы отливок, полученных литьем под давлением

Габариты отливок: max – 300×400×100 мм; min – 30×50×10 мм.

Вес отливок: max – 15 кг; min – 0,1 кг.

В практике наибольшее применение нашли следующие процессы

литья под давлением: литье под низким давлением, литье под низким давлением с противодавлением, литье вакуумным всасыванием, литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением (вакуумно-компрессионное литье).

Центробежное литье

Литейная форма должна вращаться при подаче в нее расплавленного материала, который под действием центробежных сил прижимается к стенкам формы, а значит, она должна иметь ось своего вращения ось симметрии будущей отливки. Центробежные силы способствуют уплотнению материала отливки, снижая риск получения брака в виде пористости и раковин. Эта технология позволяет получать многослойные отливки из различных материалов. Существуют и другие способы литья, например, непрерывно-циклическое литье «намораживанием».

Непрерывно-циклическое литье намораживанием

Этот вид литья представлен на рис. 2.10. Данная технология предназначена для получения полых цилиндрических литых заготовок мерной длины из специальных износостойких чугунов (СЧ – серого с пластинчатым графитом; ВЧШГ – высокопрочного с шаровидным графитом; БВХЧ – белого высокохромистого с карбидами тригонального типа), а также бронз. Она позволяет в непрерывно-циклическом режиме получать отливки с заранее заданными структурой и физико-механическими свойствами за счет направленного затвердевания и термообработки, объединенных в единый технологический процесс.

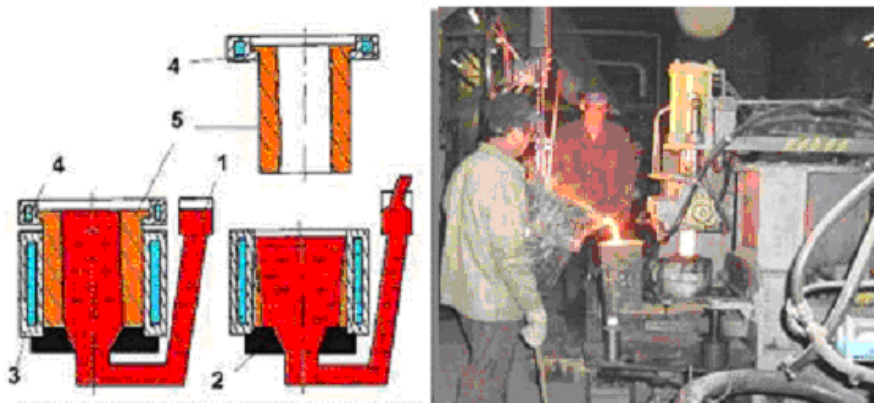


Рис.2.10. Непрерывно-циклическое литье намораживанием: 1 – заливочная чаша; 2 – соединительный элемент; 3 – неподвижный кристаллизатор; 4 – подвижный кристаллизатор

Процесс литья включает заполнение стального водоохлаждаемого кристаллизатора расплавленным металлом снизу, выдержку для формирования отливки и ее извлечение из кристаллизатора вверх с одновременным доливанием новой порции расплава. Подача металла в кристаллизатор производится с использованием разового металлопровода, футерованного огнеупорным материалом. Процесс

выполняется в непрерывно-циклическом режиме, темп которого задается скоростью затвердевания в кристаллизаторе отливки требуемой толщины. Полуавтоматическая литейная установка позволяет в непрерывном режиме разливать без переналадки до 2500 кг металла.

2.3. Ковка

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью специального инструмента. На рис. 2.11 представлена схема механическойковки.

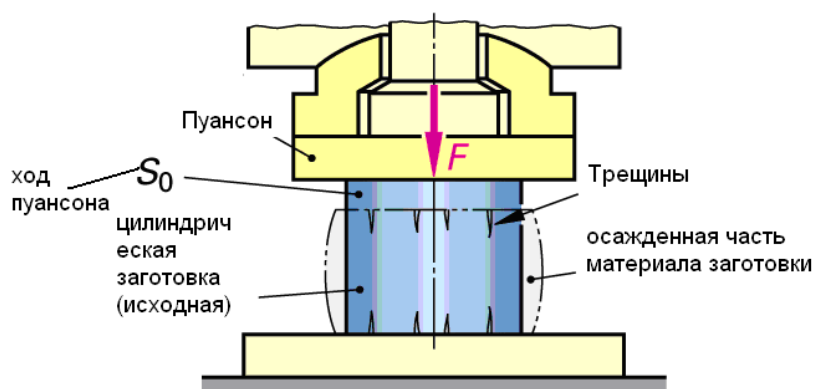


Рис.2.11. Процессковки

Ковка может быть ручной и механизированной. первая очень древняя технология, которая в современных производственных условиях не целесообразна. Вторая использует энергию прессов. На рис. 2.12 показаны примеры конструктивных схем исполнительных механизмов ковочного оборудования.

При ковке нагретую заготовку укладывают на нижнюю наковальню и верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные бойки, а также различных подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют кованными поковками, или просто поковками.

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжелых поковок до 250 т типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д., поэтому в приборостроении применяется редко. Поковки меньшей массы можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производствах ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный

для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовление специального инструмента – штампа при небольшой партии одинаковых поковок экономически не выгодно. Исходными заготовками дляковки тяжелых крупных поковок служат слитки большой массы. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечения. Процессковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций.

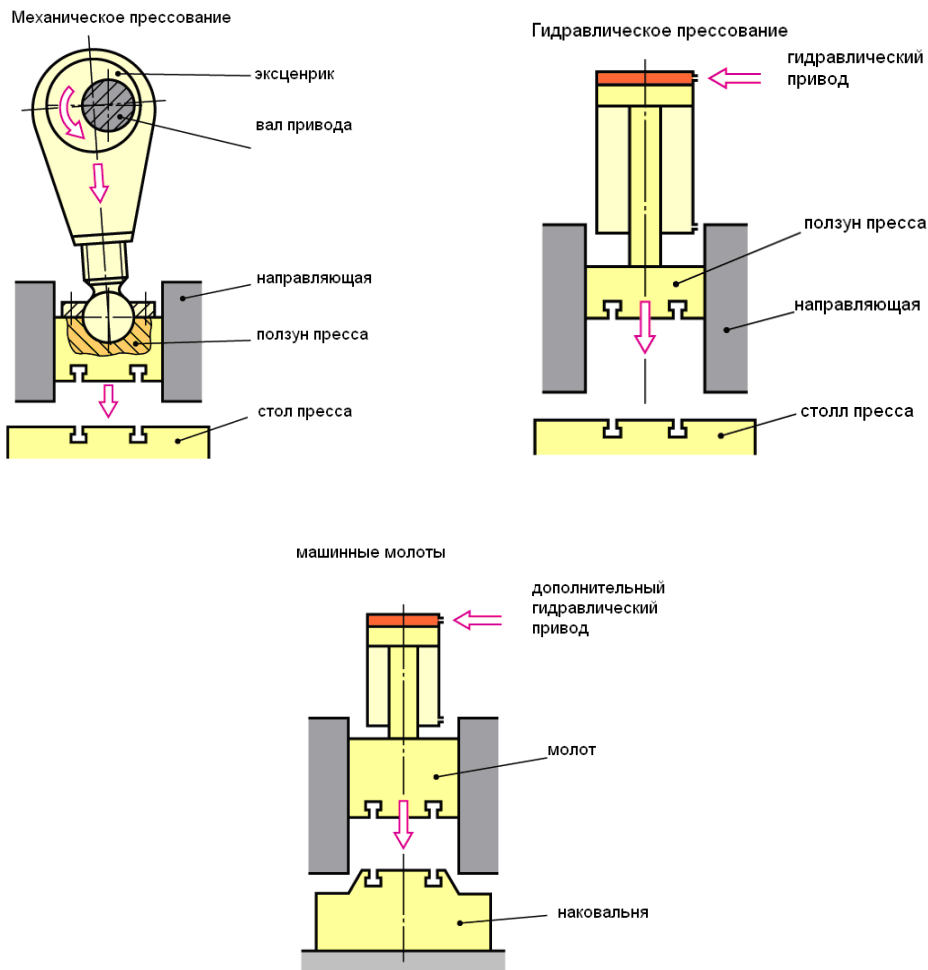


Рис.2.12. Схемы исполнительных механизмов оборудования для механизированнойковки

Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом. К основным операциямковки относятся осадка, вытяжка, прошивка, отрубка, гибка.

Осадка – операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения. Осадкой не рекомендуется деформировать заготовки, у которых отношение высоты к диаметру больше 2,5 так как в этом случае может произойти продольное искривление заготовки. Осаживают заготовки между бойками или подкладными плитами. Разновидностью осадки является высадка, при которой металл осаживают лишь на части длинны заготовки.

Вытяжка – операция удлинения заготовки или ее части за счет

уменьшения площади поперечного сечения. Вытяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные участки заготовки, примыкающие один к другому, с подачей заготовки вдоль оси вытяжки и поворотами ее на 90 градусов вокруг этой оси.

При каждом нажатии уменьшается высота сечения, увеличивается ширина и длина заготовки. Общее увеличение длины равно сумме приращений за каждое нажатие, а уширение по всей длине одинаково. Если заготовку повернуть на 90 градусов вокруг горизонтальной оси и повторить вытяжку, то уширение, полученное в предыдущем проходе, устраняется, а длина заготовки снова увеличиться. Чем меньше подача при каждом нажатии, тем интенсивнее удлинение. Однако, при слишком малой подаче могут получиться зажимы. Вытягивать можно на плоских и вырезных бойках. При вытяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть значительные растягивающие напряжения, которые приводят к образованию осевых трещин. При вытяжке с круга на круг в вырезных бойках силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности образования осевых трещин. Деформация при вытяжке может быть выражена величиной уковки:

Очевидно, чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем выше его механические свойства. Поэтому вытяжку применяют не только для получения поковок с удлиненной осью (валы, рычаги, тяги и т.п.) но и в чередовании с осадкой – для большей уковки металла заготовки.

$$Y = \frac{F_H}{F_K}$$

где F_H - начальная площадь поперечного сечения,

F_K - конечная площадь поперечного сечения

Вытяжка имеет ряд разновидностей.

1. Разгонка – операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины.

2. Вытяжка с оправкой – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. Вытяжку выполняют в вырезных бойках на слегка конической оправке. Вытягивают в одном направлении к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки. На рис. 2.13 показана классическая схема вытяжки листового материала.

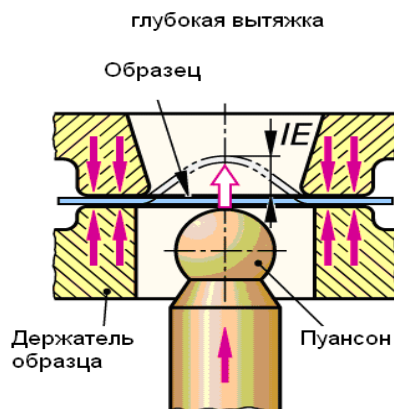


Рис.2.13. Схема вытяжки листового материала

3. Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок. После каждого нажатия заготовку поворачивают относительно оправки.

Прошивка – операция получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла. Прошивкой можно получить сквозное отверстие или углубление (глухая прошивка). Инструментом для прошивки служат прошивки сплошные и пустотелые. При сквозной прошивке сравнительно тонких поковок применяют подкладные кольца.

Отрубка – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента – топора. Отрубку применяют для получения из заготовок большой длины нескольких коротких, а также для удаления излишков металла на концах поковок.

Гибка – операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т.п. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба, называемым утяжкой. Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и трещин по наружному. Во избежание этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления (см. рис. 2.14).

На рис. 2.15 показана схема процесса гибки для получения заготовки с требуемыми геометрическими параметрами, а на рис. 2.16 показано устройство для гибки труб.

На рис. 2.17-2.22 показаны схемы гибки различных исходных материалов и образцы изделий, получаемых с помощью гибки.

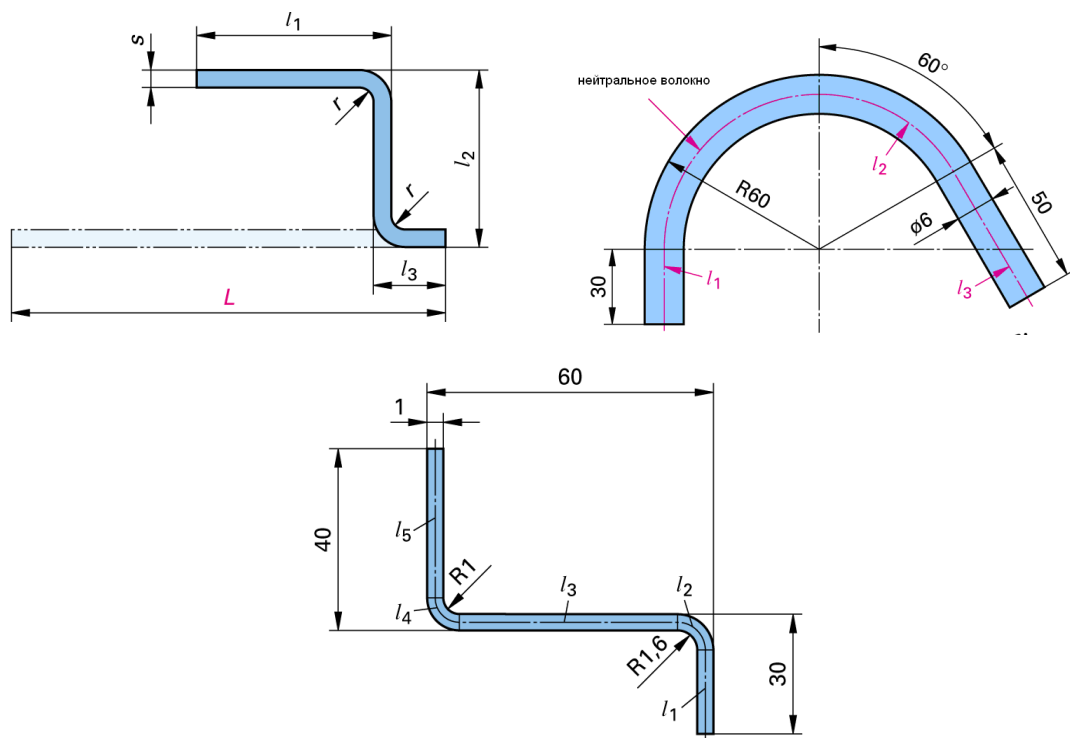


Рис.2.14. Образцы заготовок, полученных в процессе гибки

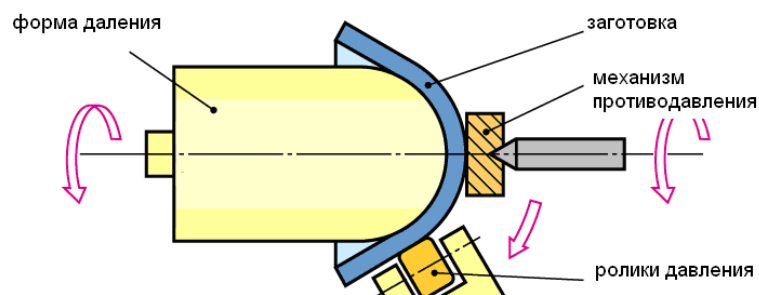


Рис.2.15. Гибка заготовки с заданными параметрами

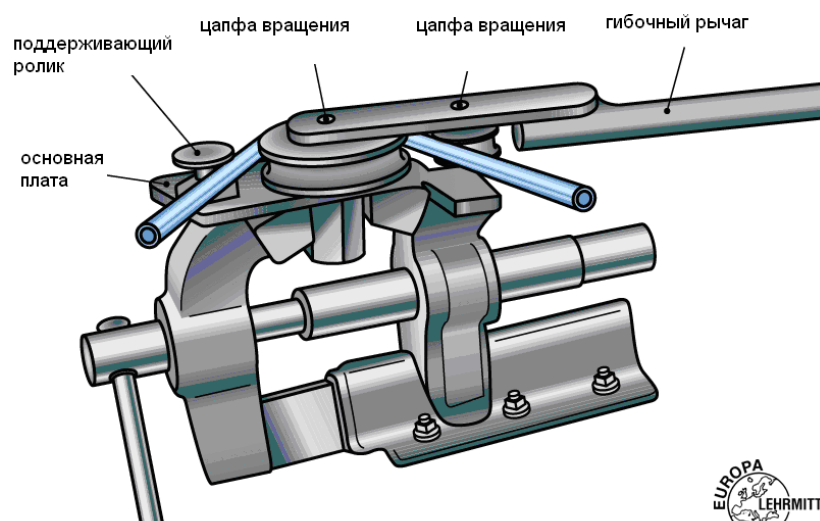


Рис.2 .16. Устройство для гибки труб

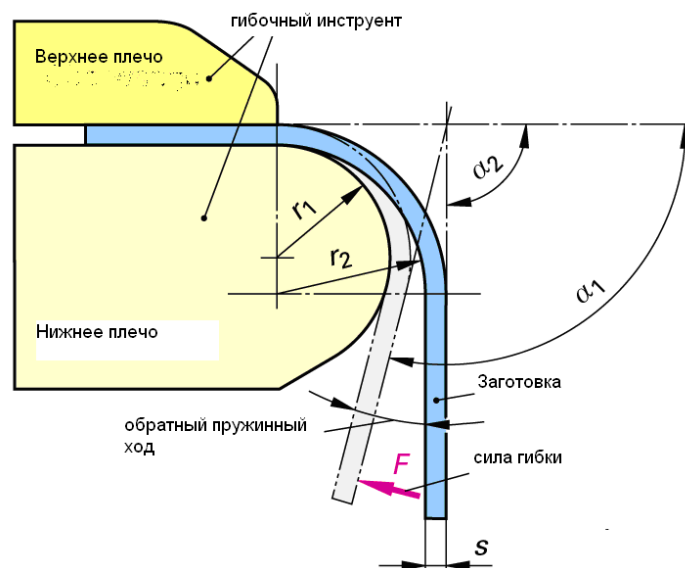


Рис.2.17. Процесс гибки прутка

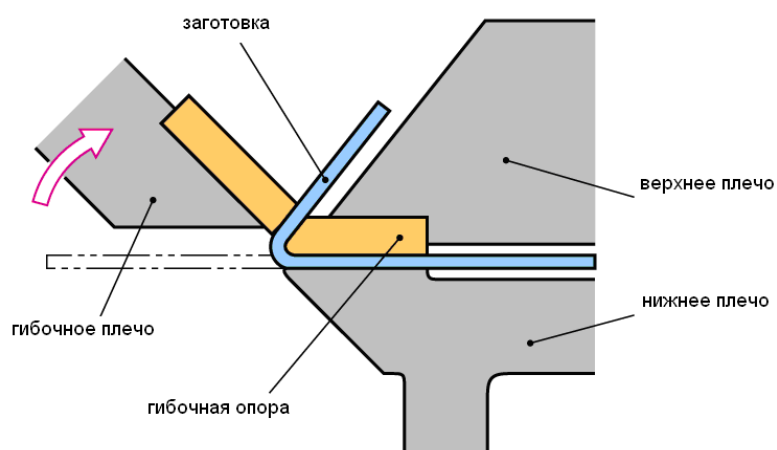


Рис.2.18. Процесс гибки листового материала

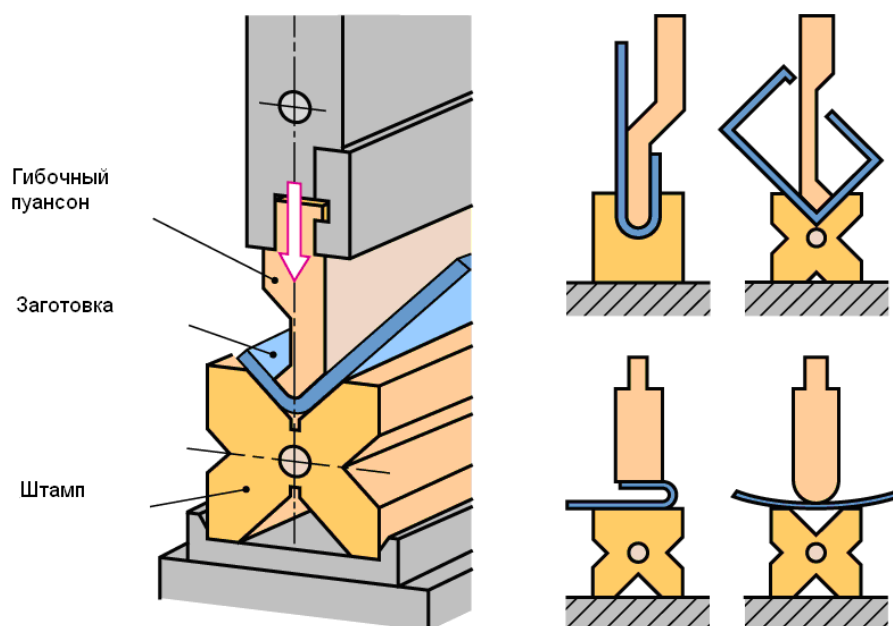


Рис.2.19. Гибка листового материала, получение изгибов различной формы

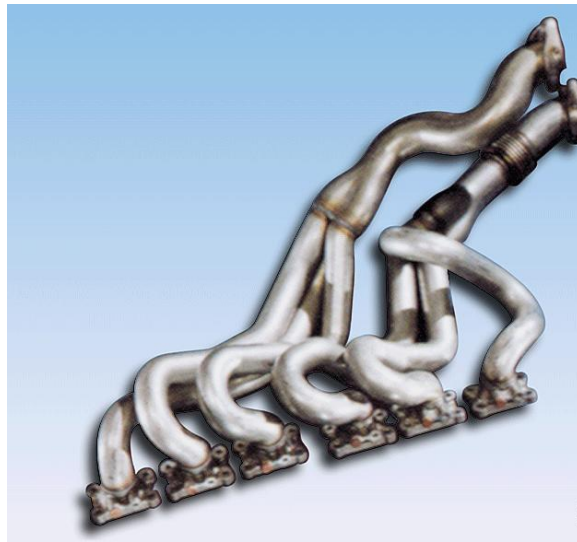


Рис.2.20. Результат гибки труб

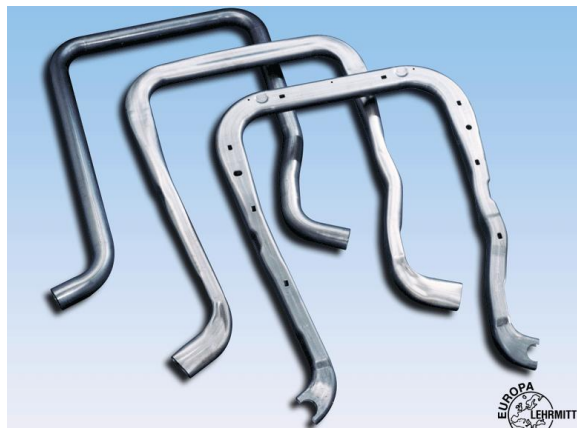


Рис.2.21. Результат гибки

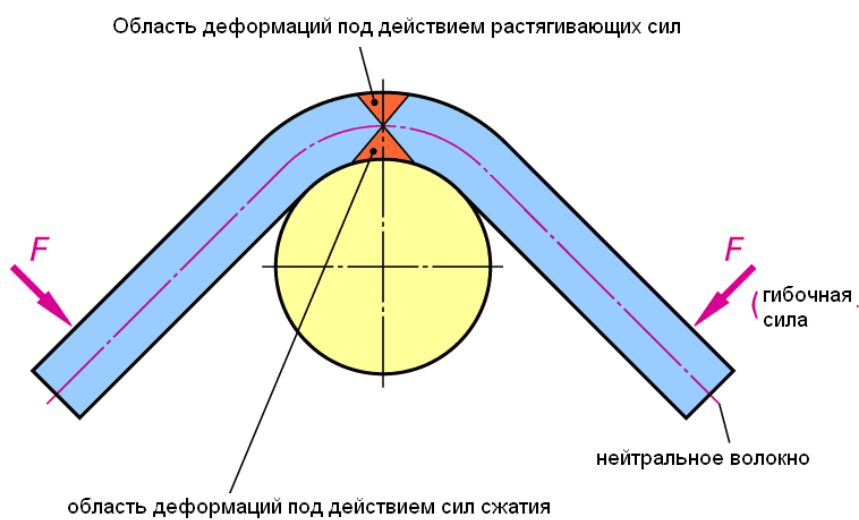


Рис.2.22. Процесс гибки цилиндрических изделий

На рис. 2.23 показаны схемы испытаний образцов конструкционных материалов на изгиб.

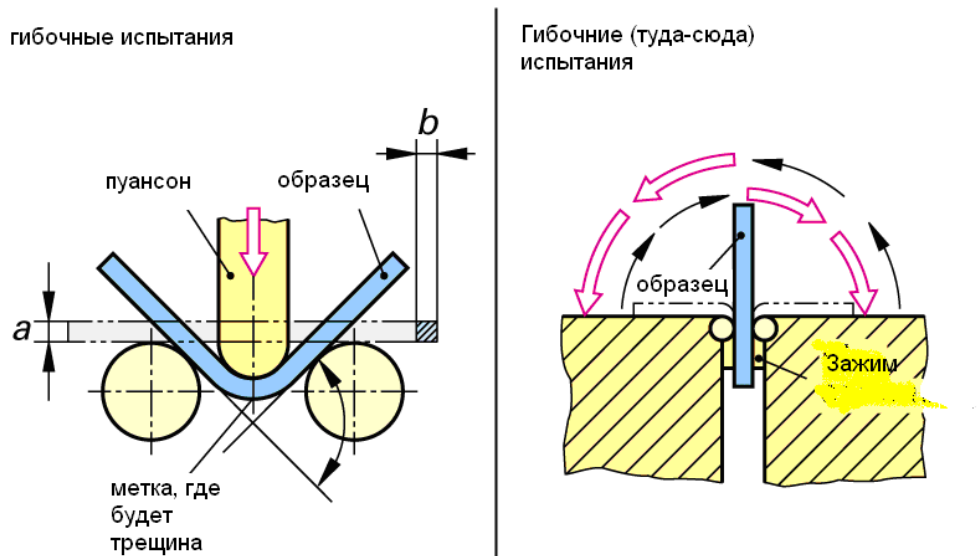


Рис.2.23. Схемы испытаний образцов на изгиб

2.4. Штамповка

Горячая объемная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование изделия из нагретой заготовки осуществляется с помощью специального инструмента штампа. При этом пластическая деформация металла должна начинаться и заканчиваться при температуре выше температуры его рекристаллизации. Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации изделия (см. рис. 2.24). В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический.

При этом прутки разрезают на отдельные заготовки, хотя иногда штампуют из прутка с последующим отделением изделия непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс-ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т.д.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ. Горячей объемной штамповкой можно получить изделие сложной конфигурации без напусков, что при ковке невозможно. Допуски на штампованную продукцию в 3...4 раза меньше, чем на кованную. Вследствие этого значительно сокращается объем последующей обработки резанием. Штампованные изделия обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями, и эта обработка может сводиться только к шлифованию.

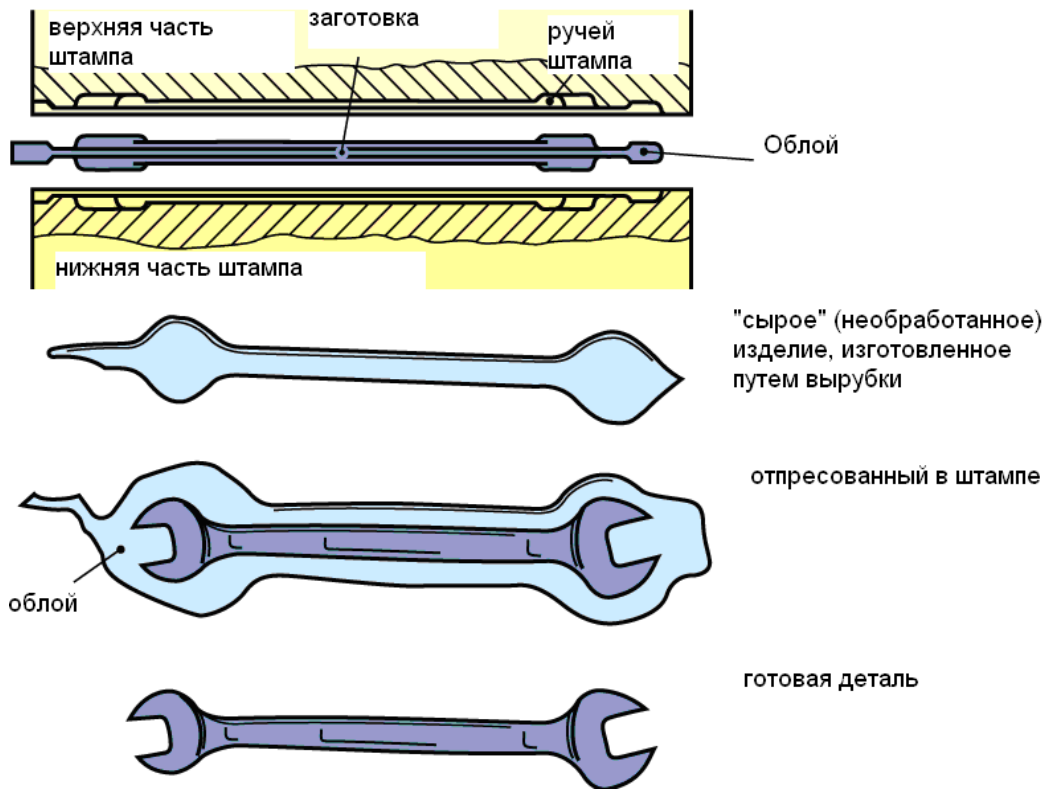


Рис.2.24. Процесс штамповки гаечного ключа

Производительность штамповки значительно выше производительностиковки.

В то же время штамп – дорогостоящий инструмент и пригоден только для изготовления какого-то одного, конкретного изделия. В связи с этим, штамповка экономически целесообразна лишь при изготовлении достаточно больших партий одинаковых изделий. Кроме того, для объемной штамповки требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же изделий.

Есть два способа горячей объемной штамповки:

- штамповка в открытых штампах;
- штамповка в закрытых штампах.

Холодная штамповка

Обычно под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки. Однако в общем случае, холодная обработка давлением – это такая обработка, при которой пластическая деформация металла начинается при любой температуре, но заканчивается обязательно при температуре, ниже температуры его рекристаллизации. Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс деформирования соответствует условиям холодного деформирования. Холодную штамповку можно разделить на объемную штамповку (сортового металла) и листовую штамповку (листового металла, см. рис. 2.25).

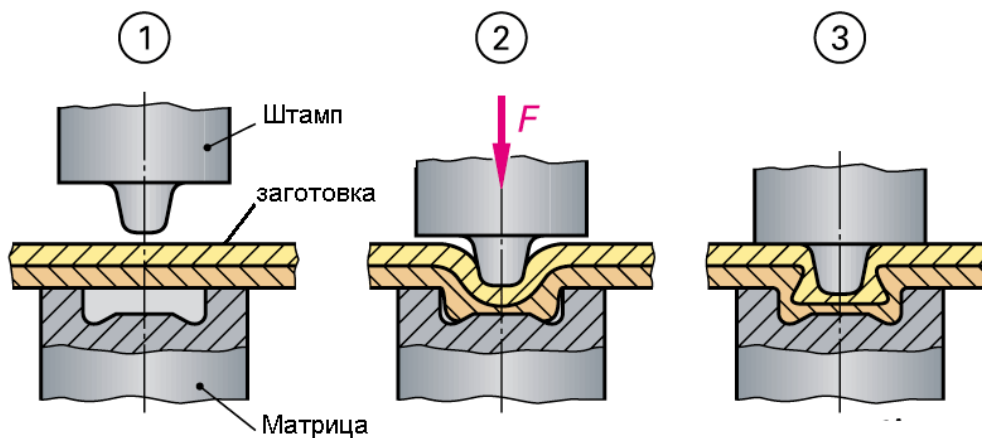


Рис.2.25. Листовая штамповка. 1, 2, 3 – стадии процесса

Такое подразделение целесообразно потому, что характер деформирования, применяемые операции и конструкции штампов для объемной и листовой штамповок значительно различаются между собой. Основные разновидности холодной объемной штамповки – холодное выдавливание, холодная высадка и холодная объемная формовка. При холодном выдавливании заготовку помещают в полость, из которой металл выдавливают в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Выдавливание обычно выполняют на кривошипных или гидравлических прессах в штампах, рабочими частями которых являются пуансон и матрица. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании металл вытекает в отверстие, расположенное в донной части матрицы, в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона относительно матрицы.

При обратном выдавливании направление течения металла противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы.

При боковом выдавливании металл вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, не совпадающем с направлением движения пуансона.

Комбинированное выдавливание характеризуется одновременным течением металла по нескольким направлениям и может быть осуществлено по нескольким из рассмотренных ранее схем холодного выдавливания. Широкое распространение получила штамповка – вырубка. В сочетании с последующей гибкой она позволяет получать большое многообразие форм изделий. На рис. 2.26, а изображена фотография гидравлического пробивного пресса, а на рис. 2.26, б, в, показаны образцы результатов работы пресса.

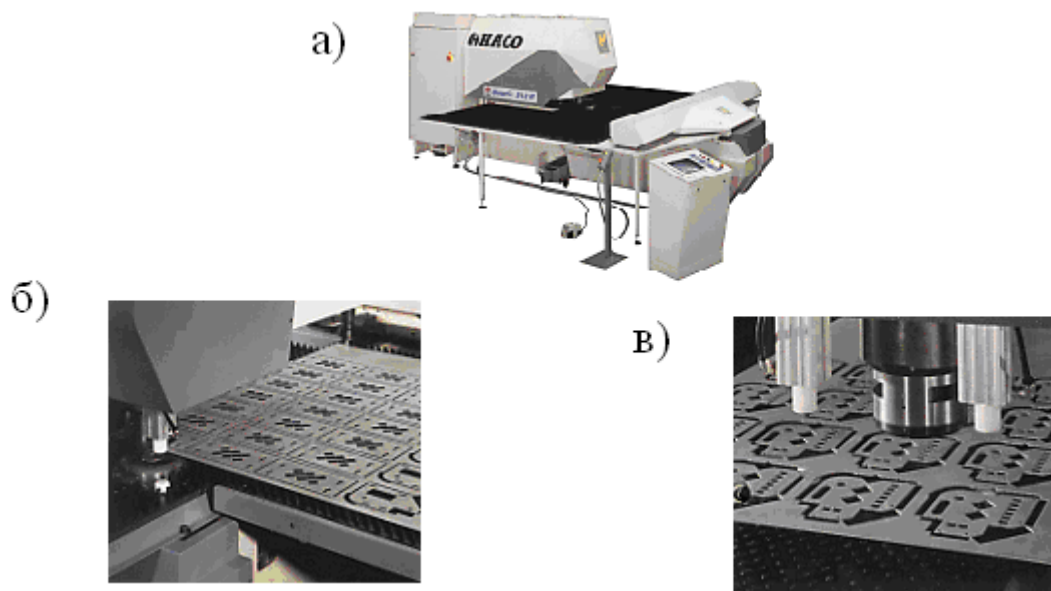


Рис.2.26. Гидравлический координатно-револьверный пробивочный пресс с ЧПУ фирмы НАСО (Бельгия) модели Omatic 212 RH и образцы пробивки на прессе

2.5. Изготовление заготовок из проката

Прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

Форму поперечного сечения прокатной полосы называют профилем. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют сортаментом.

Сортовой прокат делят на профили простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.). Круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5...250 мм; шестигранную – с диаметром вписанного круга 6...100 мм; полосовую - шириной 10...200 мм и толщиной 4...60 мм.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим, листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жечь и т.д. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовыми покрытиями.

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30...650 мм с толщиной стенки 2...160 мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные – диаметром 5...2500 мм с толщиной стенки 0,5...16 мм из углеродистых и низколегированных сталей. К специальным видам проката относятся колеса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки. Получение заготовок деталей из прокатных профилей

сводится к отрезке от подходящего проката требуемой для заготовки его длины.

2.6. Порошковая металлургия

Как известно, не только химически чистые, но и технически чистые металлы используются в промышленности чрезвычайно редко не только из-за высокой стоимости их получения, но и из-за неудовлетворенности их эксплуатационными свойствами. Например, обладая хорошей электропроводностью, металл оказывается недостаточно прочным или не достаточно твердым и т.д. Отсюда возникла необходимость в получении сплавов, которые, в зависимости от количества и соотношения компонентов обеспечивают сразу несколько необходимых эксплуатационных свойств материала. В общем случае, сплавы могут представлять собой химические соединения компонентов, механические смеси и твердые растворы замещения или внедрения. При этом каждое фазовое состояние имеет существенное ограничение как по возможности самой реализации, так и по широте диапазона изменения характеристик сплава. Кроме того, есть металлы, из которых вообще невозможно получить традиционные сплавы (медь с вольфрамом или серебро с вольфрамом). Эти обстоятельства послужили причиной создания принципиально новой технологии получения сплавов, получившей название «Порошковая металлургия». В общем случае эта технология содержит следующие типовые операции:

- изготовление порошков из различных металлов и их сортировка по размерам;
- перемешивание различных порошков в требуемой количественной пропорции;
- прессование порошковой смеси;
- спекание спрессованного материала.

Для повышения прочностных характеристик полученного материала производят повторное прессование и повторное спекание, что обеспечивает прочностные характеристики, сопоставимые с характеристиками традиционных сплавов и даже превышающими их. Каждая из перечисленных типовых операций имеет специфические особенности их реализации, но главным является то, что порошковая металлургия позволяет обеспечивать любое количество компонентов в сплаве и любое их соотношение между собой. Это позволяет в широких пределах варьировать свойства сплава. Кроме того, только порошковая металлургия позволяет получать так называемые пористые сплавы с широким диапазоном пористости. Для этого в порошковую смесь перед ее прессованием добавляют необходимое количество порошка требуемой зернистости из так называемого «летучего» материала, который при спекании испаряется, оставляя на своем месте поры. Пористые сплавы нашли широчайшее применение в технике, в

частности, для изготовления металлических фильтров.

Прессование порошковой смеси можно производить в обычных штампах, но в связи с широким распространением этой технологии на рынке появилось и специальное оборудование. В качестве примера, на рис. 2.27 показаны специальные прессы фирмы «TITANO».

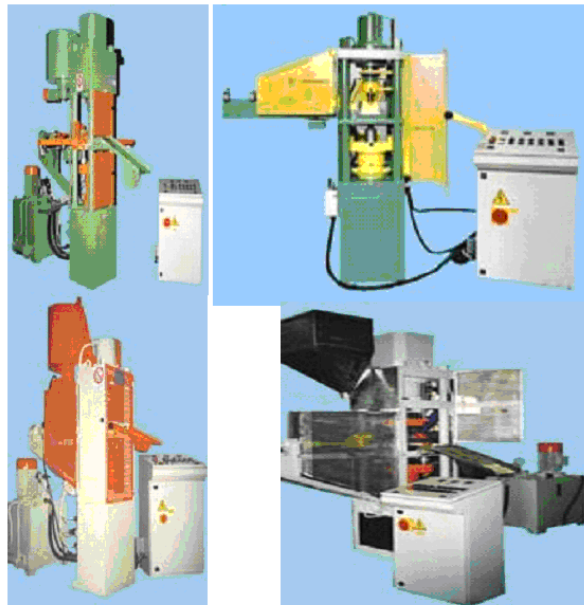


Рис.2.27. Прессы серии «TITANO» (усилие от 30 до 300 тонн)

Эти прессы применяются для таблетирования и брикетирования сухих порошков из различных материалов, например, порошков меланина, мочевины, термозатвердевающих, гидрохлорида для очистки воды, соли для опреснителей, спекающихся материалов для тормозных накладок, металлических порошков, модификаторов и добавок для металлургии, отходов в порошках и т.д. Налажено также серийное производство специального оборудования для спекания порошковой смеси, экземпляры которого показаны на рис. 2.28.



Рис.2.28. Оборудование для спекания спрессованной порошковой смеси

Это оборудование используется для получения твёрдых металлов

и металлических сплавов. На следующем рис. 2.29 показаны некоторые изделия порошковой металлургии.



Рис.2.29. Изделия, полученные прессованием порошков

2.7. Изготовление изделий из пластмасс

Пластмассы в настоящее время получили столь широкое распространение во многих областях техники и, особенно, в приборостроении, что производство самих пластмасс и изделий из них превратилось в большую специальную область науки и техники. Мы здесь не ставим задачу подробного освещения этой области, что просто не реально в рамках данного учебного пособия, однако необходимо показать принципиальные возможности использования пластмасс в приборостроении. Наиболее распространены технологии изготовления изделий из пластмассы путем их прессования в разнообразных прессформах. Типовые конструкции прессформ показаны на рис. 2.30.

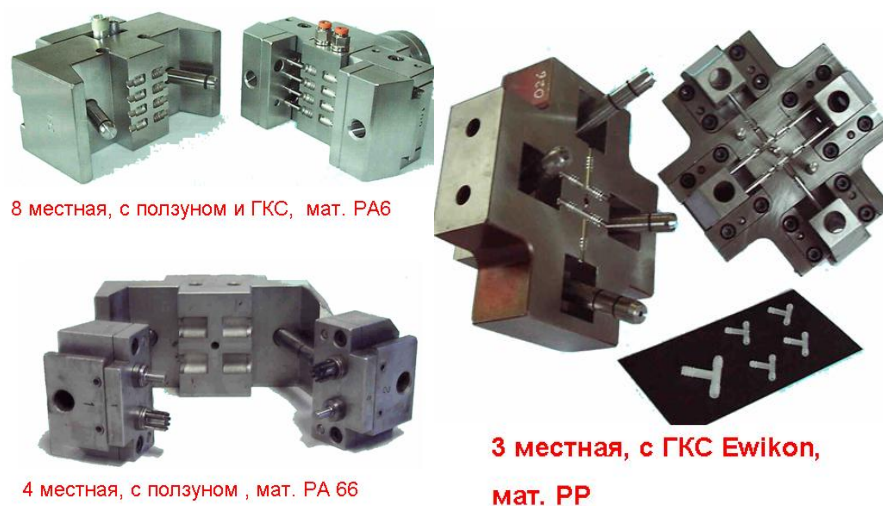


Рис.2.30. Виды пресс форм для изготовления деталей из пластмасс

Примером современного оборудования, используемого для изготовления изделий из пластмасс, является конструкция, изображенная на рис. 2.31.



Рис.2.31. Оборудование фирмы BABYPLAST для изготовления деталей из пластмасс

Это оборудование обладает следующими возможностями:

- производить детали весом от 0,01 до 15 г;
- экономически эффективно как в серийном, так и в опытном производстве изделий;
- широкий диапазон используемых материалов - от PP-PS-PE-ABS-PA до PC-POH-PBT-PPS-PPO-LCP; от резины до плотных материалов;
- от керамики до спекаемых металлов;
- эксплуатировать обычные и горячеканальные прессформы, одноместные и многоместные;
- производить детали для электроники, автомобилестроения, микромеханики, медицины, производства мебели, а также в изготовлении игрушек, косметики, бижутерии.

Производственные участки, оснащенные таким оборудованием, обеспечивают комфортные условия труда участников производства (см. рис. 2.32.).



Рис.2.32. Цех изготовления деталей из пластмасс

Огромное многообразие пластмасс принято делить на две группы: термопластические (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

Принципиальное отличие их состоит в том, что первые при нагреве размягчаются и разжижаются, позволяя получать из них в пресс-формах изделия самого разного назначения. При этом такие пластмассы можно многократно нагревать и использовать для изготовления других изделий без существенного изменения их свойств. Вторые – это многокомпонентные вещества, компоненты которых вступают в химическую реакцию, в результате которой происходит отверждение материала. При повторном нагревании эти материалы не расплавляются, а горят, т.е. являются материалами однократного использования. Изделия, изготовленные из реактопластов, после прекращения их использования необходимо утилизировать по специальным технологиям. На рис. 2.33 показаны образцы изделий, изготовленные из различных пластмасс.



Рис.2.33. Примеры деталей из пластмассы

Глава 3. Обработка заготовок деталей приборов

3.1. Общие сведения

Лезвийная обработка заготовок или обработка резанием с точки зрения формальной логики является варварским процессом. По приближенным статистическим данным в стружку перегоняется до 40 % всех выплавляемых в мире металлов и сплавов. С учетом стоимости современного оборудования инструментов, приспособлений, производственных помещений, выплачиваемых зарплат и затрат времени определение «варварский» вполне заслуженное. Однако до настоящего времени человечество не придумало технологии, которая бы позволяла лучше обеспечивать геометрическую точность и качество поверхностей деталей, чем у поверхностей, полученных с помощью обработки заготовок резанием. Конечно, не все виды обработки резанием одинаково хороши по таким важнейшим показателям как качество изготавливаемых изделий, себестоимость и производительность процесса, но там, где речь идет об особо высокой геометрической точности изделий конечный результат обеспечивается одним из методов обработки со снятием стружки [2, 9, 10].

Физическая сущность процессов резания, а также конструкции станков и инструментов изучаются в курсе «Технология конструкционных материалов», поэтому в данной главе излагается, в основном, материал, относящийся к технологическим и экономическим возможностям классических видов обработки резанием. Тем не менее, напомним, что процесс резания осуществляется с помощью движений резания, которые принято делить на главные движения и движения подачи. Главные движения – это движения, в основном определяющие скорость резания. Они могут совершаться как инструментом, так и заготовкой. При этом, главные движения чаще всего бывают вращательными, но, в ряде случаев, и возвратно поступательными. Движения подачи обеспечивают непрерывность снятия стружки и представляют собой, чаще всего, непрерывные или прерывистые перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности, или наоборот, перемещение обрабатываемой поверхности относительно инструмента. На процесс резания большое влияние оказывают процессы, которые условно можно разделить на силовые и тепловые. Кроме того, существенное влияние на процессы резания оказывает геометрия режущего клина инструмента. На рис. 3.1 показаны углы, лежащие в главной секущей плоскости.

Наибольший интерес представляют возможности лезвийной обработки в плане диапазона характеристик геометрической точности, шероховатости, форм обрабатываемых поверхностей, производительности и себестоимости процессов. Как известно, все

металлорежущие станки разделены на 10 типов, однако большинство реальных поверхностей деталей можно получить на трех видах станков: токарных, сверлильных и фрезерных. Остальные типы станков, при общности теории резания, призваны решать сравнительно узкие, специфические задачи.

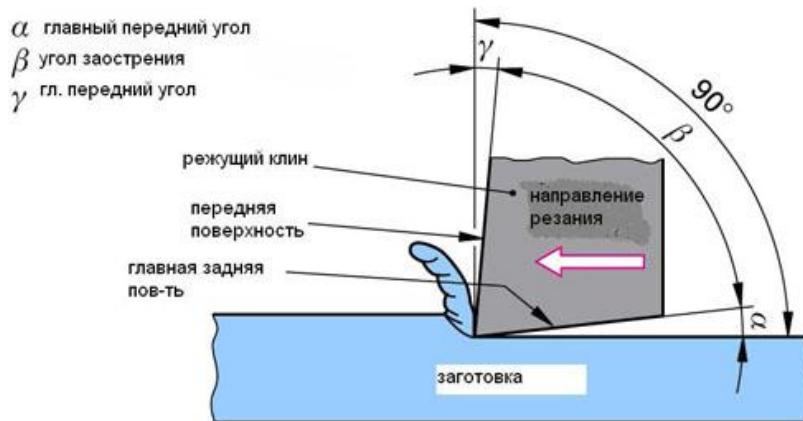


Рис.3.1. Геометрия режущего клина: углы режущего клина, лежащие в главной секущей плоскости

Вся лезвийная обработка характеризуется тремя параметрами режима резания: скоростью резания, подачей и глубиной резания. Под скоростью резания принято понимать скорость относительного перемещения точек режущего лезвия инструмента и материала заготовки. Обозначается скорость резания через V , классическая размерность – м/с, однако в технологической практике чаще используют размерность м/мин. Под подачей понимают скорость перемещения инструмента или заготовки, обеспечивающего непрерывность снятия стружки. Обозначается подача буквой S , наиболее распространенные размерности м/мин, мм/мин, мм/об, мм/зуб, мм/двойной ход. Эти размерности охватывают практически все виды классической лезвийной обработки. Под глубиной резания понимают расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренные по перпендикуляру к последней. Обозначается глубина резания буквой t и измеряется в мм.

3.2. Обработка заготовок на токарных станках

В качестве примера на рис. 3.2 показан общий вид современного токарного станка.



Рис.3.2. Токарный станок с ЧПУ

3.2.1. Формы обработанных поверхностей

Классическая токарная обработка, в основном, предназначена для получения внутренних и наружных цилиндрических и конических поверхностей, а также плоских торцевых поверхностей. Фасонные поверхности получались либо за счет фасонной режущей кромки инструмента при его поперечной подаче, либо за счет криволинейной траектории перемещения инструмента вдоль оси вращения заготовки. Современные токарные станки за счет числового программного управления движениями инструмента и заготовки, а также за счет использования дополнительных приводов инструментов, позволяют существенно расширить многообразие форм обрабатываемых поверхностей. Об этом многообразии можно судить по рис. 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 и 3.11.

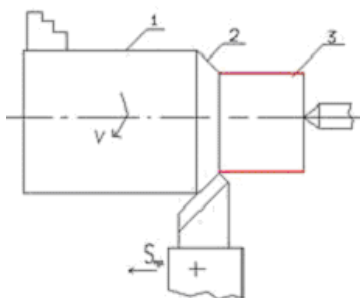


Рис.3.3. Точение цилиндрической заготовки

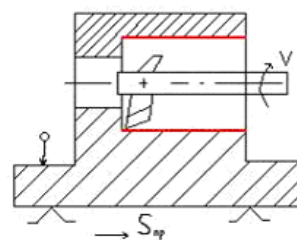


Рис.3.4. Растачивание отверстия

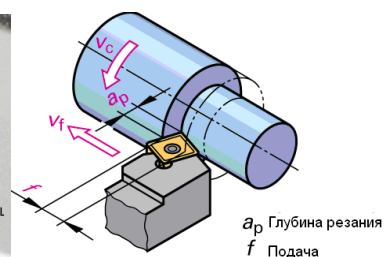
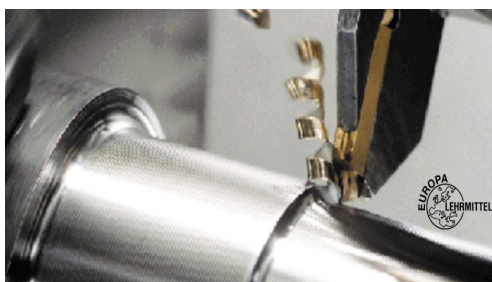


Рис.3.5. Точение цилиндрического вала

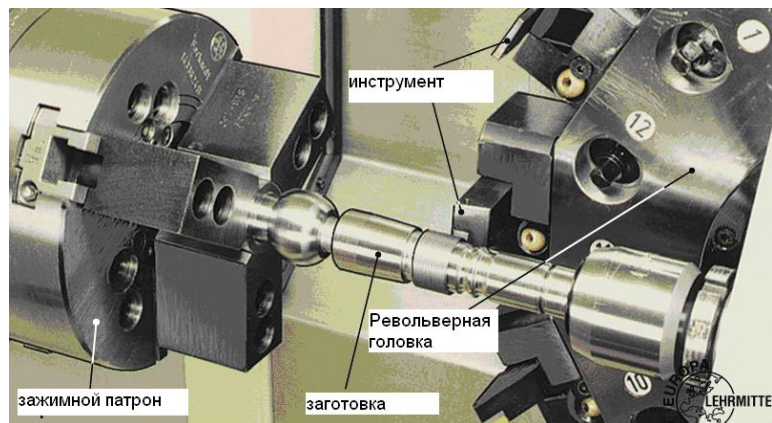


Рис.3.6. Обработка на токарном станке с использованием многоинструментального барабана

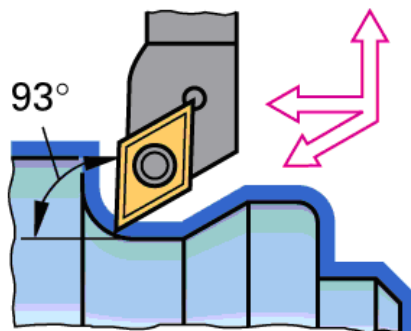


Рис.3.7. Точение скруглений за счет совмещения подач

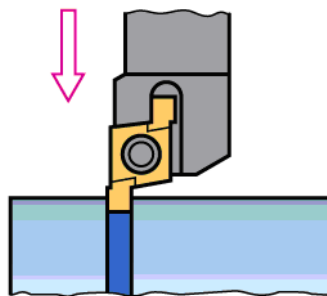


Рис.3.8. Процесс протачивания канавок

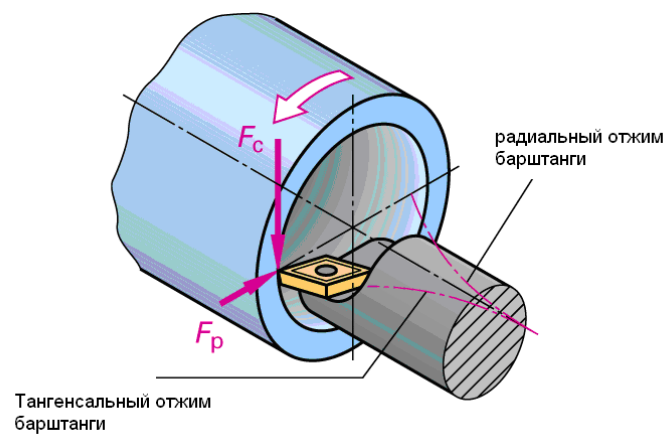


Рис.3.9. Процесс расточки отверстия

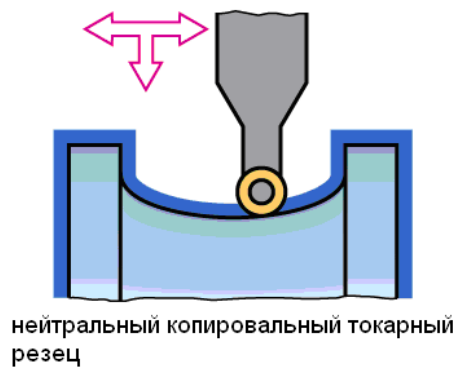


Рис.3.10. Обработка фасонных поверхностей

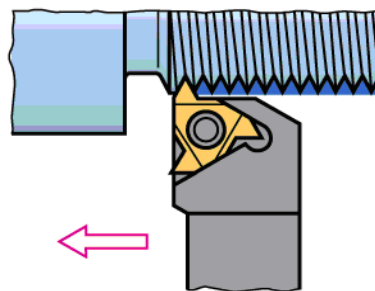


Рис.3.11. Нарезка резьбы на токарном станке

3.2.2. Геометрическая точность обработанных поверхностей

Говоря о геометрической точности обработанных поверхностей, целесообразно различать так называемую среднеэкономическую точность и максимально возможную точность. Под среднеэкономической точностью принято понимать такую точность, которая обеспечивается при использовании оборудования нормальной точности, рабочих средней квалификации, с приемлемыми производительностью и себестоимостью изготовления изделий. Возможности современных токарных станков столь многообразны, что среднеэкономическую геометрическую точность можно оценить лишь приблизительно, причем в сравнительно широком диапазоне – от 11-го до 8-го квалитетов. Предельно достижимая геометрическая точность тоже существенно зависит от модификаций токарного оборудования и ее диапазон можно обозначить от 7-го до 5-го квалитетов.

3.2.3. Шероховатость поверхности

Шероховатость обработанных поверхностей определяется параметрами режима резания, геометрией режущего клина, технологическими свойствами материалов заготовок и инструментов, а также используемыми смазывающе-охлаждающими жидкостями. Очевидно, что граница самой грубой шероховатости не имеет

практического смысла, а самая малая шероховатость, обеспечиваемая на токарных станках, соответствует сотым долям микрометра по параметру R_a . Следует также отметить, что вышеперечисленные факторы, влияющие на шероховатость обработанных на токарных станках поверхностей, позволяют в широких пределах изменять не только высотные параметры шероховатости, но и геометрическую структуру микрорельефа в целом.

3.2.4. Себестоимость и производительность токарной обработки

Очевидно, что речь может идти не о конкретных себестоимости и производительности, выраженных количественно с указанием размерности, а о сравнительной оценке этих характеристик для различных видов лезвийной обработки. С этой точки зрения токарная обработка является предпочтительной для получения цилиндрических и конических поверхностей, в основном наружных и, в известной степени, внутренних. Безусловное предпочтение следует отдавать токарной обработке фасонных поверхностей, имеющих продольную ось симметрии. Производительность и себестоимость обработки плоских поверхностей на токарных станках, в большинстве случаев, уступает не только фрезерной обработке, но и шлифовальной. Производительность и себестоимость обработки внутренних цилиндрических и конических поверхностей, в определенной степени, сопоставимы с их обработкой на сверлильных станках.

3.2.5. Направление развития токарной обработки

С точки зрения многообразия форм обработанных поверхностей, токарная обработка движется в направлении агрегатной, а именно создание многошпиндельных станков с многоинструментальными головками, снабженными автономными приводами для инструмента, обеспечивает многообразие форм обработанных поверхностей, не характерных для классической токарной обработки. С точки зрения предельно достижимой точности развитие идет в направлении достижения сверхвысоких скоростей резания и адаптивных систем управления с активным контролем геометрической точности обработанных поверхностей. В качестве примера на рис. 3.12 показан современный обрабатывающий центр, а в табл. 3.1 приведены его технические характеристики.



Рис. 3.12. Вертикальный обрабатывающий центр серии «ARROW-2», модели 750

Таблица 3.1

Основные технические характеристики ОЦ серии «ARROW-2», модели 750	
Предел перемещения по оси X, мм	762
Предел перемещения по оси Y, мм	510
Предел перемещения по оси Z, мм	510
Расстояние от переднего конца шпинделя до стола, мм	127...637
Рабочий стол	
Размеры рабочей поверхности стола(длина и ширина)	950 × 520
Максимальная загрузка стола, кг	700
Характеристики координатных осей	
Скорость быстрой подачи (X,Y и Z), м/мин	30
Максимальная скорость рабочей подачи (X,Y и Z), м/мин	15
Величина ускорения / замедления, м/с ²	6,0
Параметры шпинделя	
Конус	№40
Максимальная передаваемая мощность, кВт	13
Максимальный крутящий момент, Н х м	83
Диапазон частот вращения, об/мин	0...8000
Время разгона до максимальной частоты вращения, с	1.8
Устройство смены инструментов	
Емкость магазина	21 позиция
Максимальная масса инструмента, кг	6,8
Максимальный диаметр инструмента, устанавливаемого в магазине с пропуском гнезд, мм	160
Максимальный диаметр инструмента, устанавливаемого в магазине без пропуска гнезд, мм	80
Максимальная длина инструмента, мм	385
Время смены инструмента (от реза до реза), с	6

3.3. Обработка заготовок на сверлильных станках

Движения резания, как главное, так и движение подачи совершаются инструментом. При этом, главное движение представляет собой вращательное движение инструмента, а движение подачи – поступательное перемещение его вдоль оси вращения. На рис. 3.13, 3.14 и 3.15 показаны параметры режима резания для классического сверления, геометрические элементы режущего клина и типовые представители инструментов для обработки отверстий.

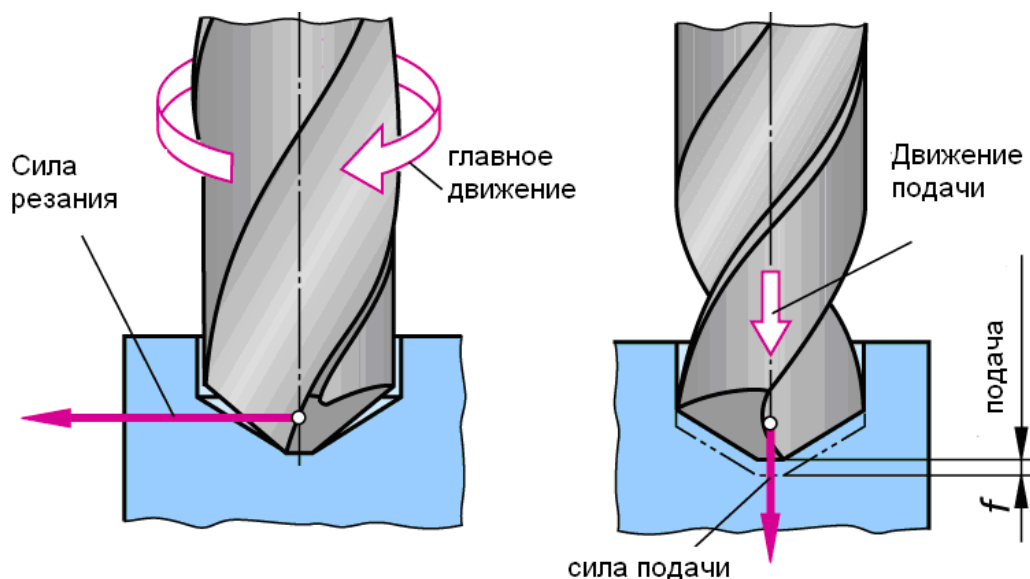
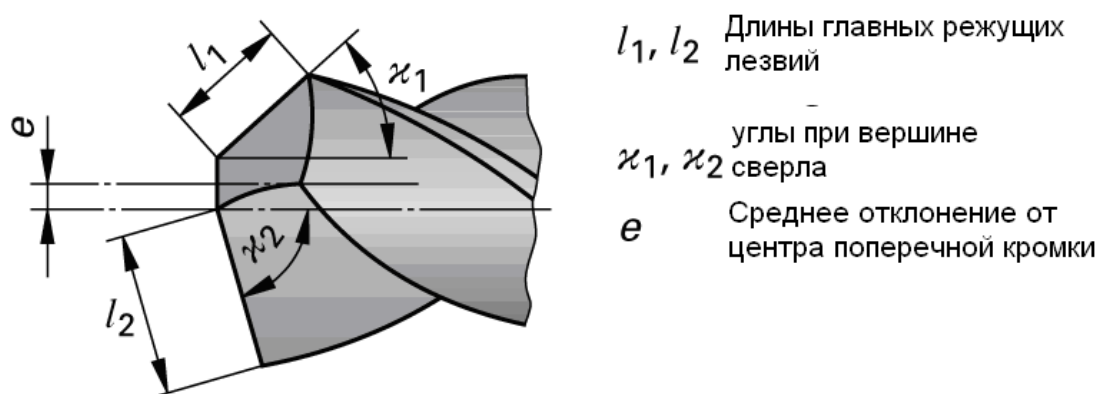


Рис.3.13. Процесс сверления



- l_1, l_2 Длины главных режущих лезвий
- κ_1, κ_2 углы при вершине сверла
- e Среднее отклонение от центра поперечной кромки

Граничные значения для $d = 10 \dots 20 \text{ mm}$: $l_1 - l_2 < \pm 0,1 \text{ mm}$
 $\kappa_1 - \kappa_2 < \pm 0,33^\circ$

Рис.3.14. Геометрические параметры сверла

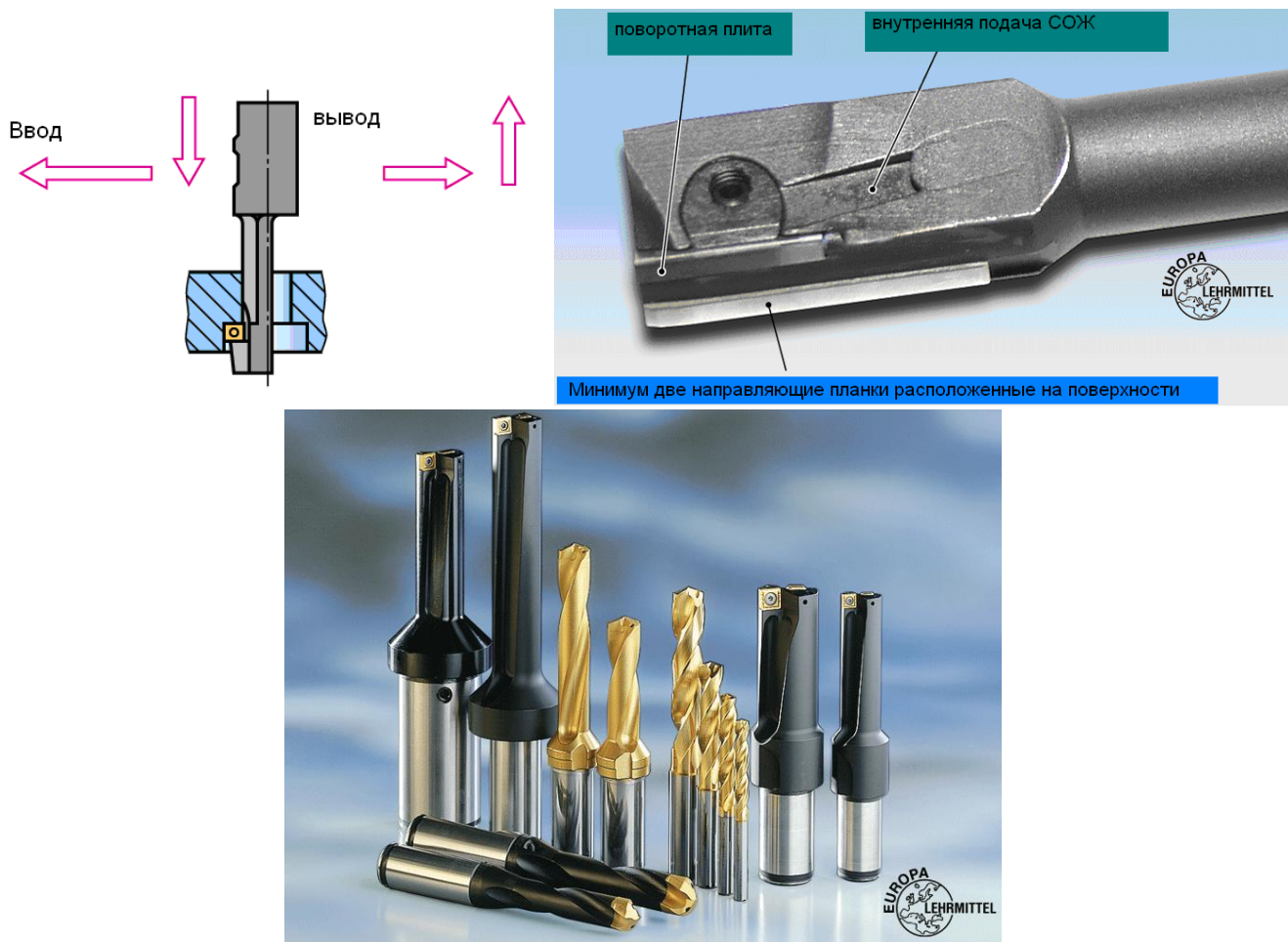


Рис.3.15. Различные виды сверл

Сверлильная обработка предназначена, в основном, для получения отверстий цилиндрической и, реже, конической формы, а также для плоских и конических торцевых поверхностей. Сверление отверстий в сплошном материале спиральными сверлами, в среднем, обеспечивает 12...14 квалитет и шероховатость поверхностей от единиц до десятков мкм по параметру R_z . Для повышения геометрической точности отверстий и снижения шероховатостей их поверхностей применяют, обычно, после сверления обработку зенкерами и развертками. Зенкерование можно рассматривать как промежуточную обработку между сверлением и развертыванием, а также как наиболее целесообразную обработку литых отверстий. Развертывание обеспечивает в качестве предельно достижимой точности 7 квалитет с одновременным достижением шероховатости поверхности в пределах десятых долей мкм по параметру R_a . Результаты, сопоставимые с развертыванием можно обеспечить с помощью специальных сверл, которые, в основном, пока демонстрируются на международных выставках и не стали пока достоянием массового потребителя. Производительность и себестоимость процесса обработки на сверлильных станках относятся, в основном, к так называемым среднеекономическим процессам, т.е. обеспечиваются оборудованием

нормальной точности с участием рабочих средней квалификации. Направление развития сверлильной обработки совпадает с аналогичным направлением токарной обработки, т.е. развивается в сторону агрегатирования оборудования.

3.4. Обработка заготовок на фрезерных станках

Главное движение при фрезеровании представляет собой вращательное движение инструмента – фрезы. Движение подачи от независимого привода совершает заготовка, закрепленная на столе станка. Основными перемещениями стола фрезерного станка являются его горизонтальные перемещения в двух взаимноперпендикулярных направлениях (продольная и поперечная подачи). В качестве дополнительного движения стола используется его дискретное вертикальное перемещение. Многообразие форм фрезерования можно свести к двум основным схемам – встречное фрезерование (рис. 3.16) и попутное фрезерование (рис. 3.17).

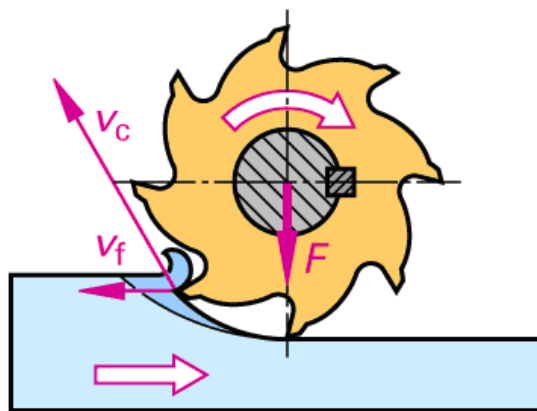


Рис.3.16. Встречное фрезерование

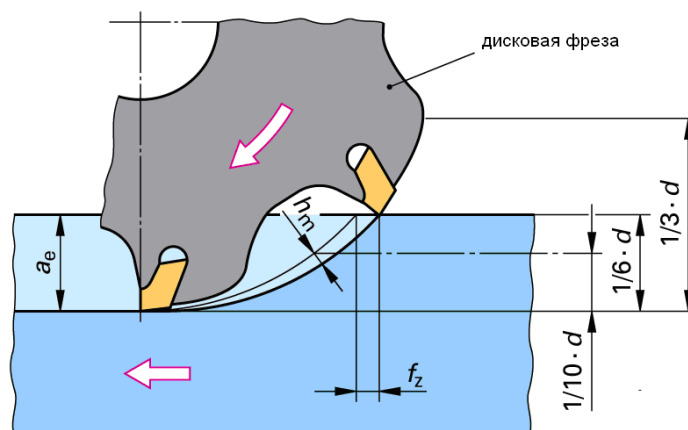


Рис.3.17. Попутное фрезерование

Типовые возможности фрезерования и типовая конструкция фрезерного станка показаны на рис. 3.18 и 3.19 соответственно.

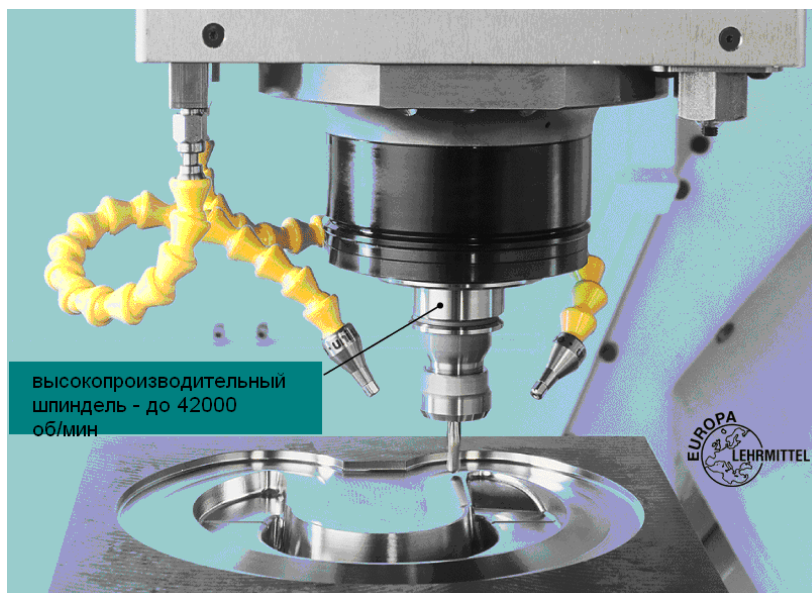


Рис.3.18. Процесс фрезерования концевой фрезой сложной поверхности

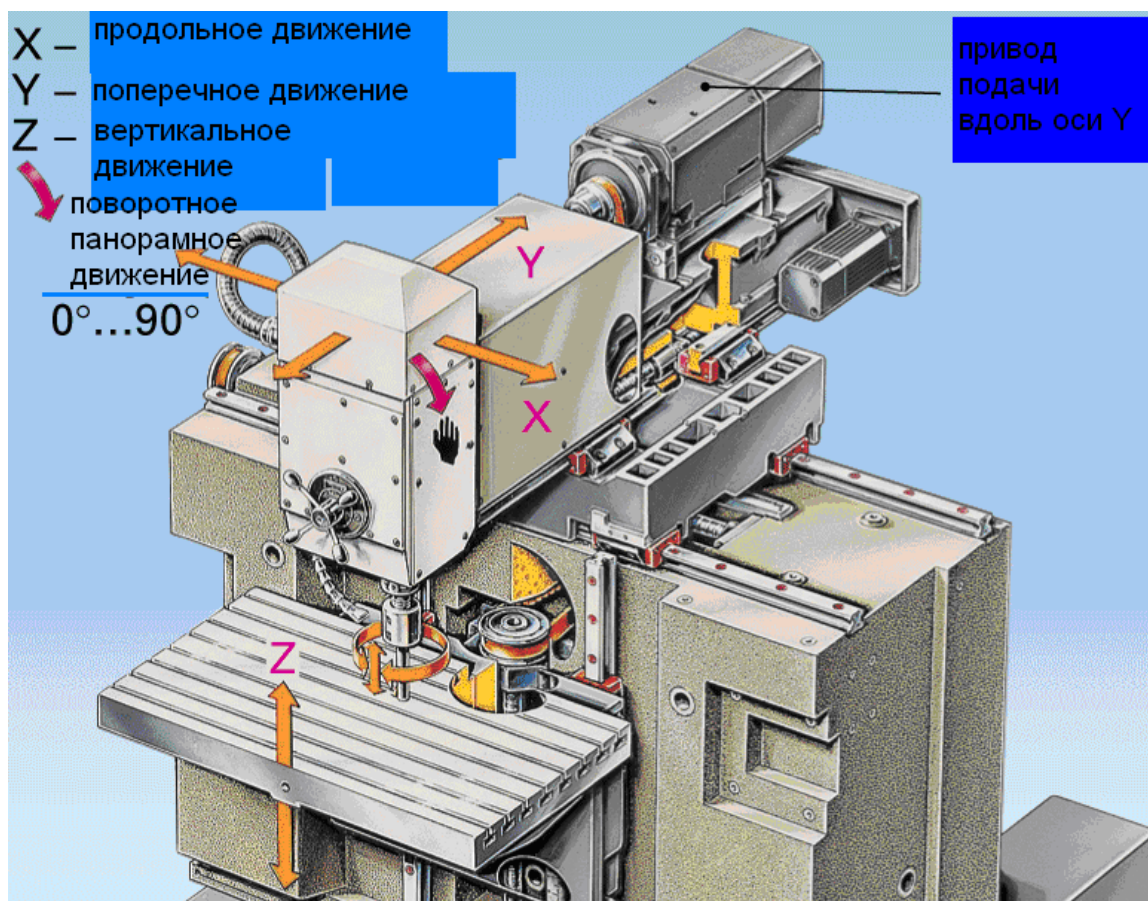


Рис.3.19. Схема вертикально фрезерного станка

Благодаря независимым приводам инструмента и стола можно совмещать вращательные движения фрезы под различными углами с одновременным перемещением стола с заготовкой по сложной траектории. Это обеспечивает многообразие форм обработанных поверхностей, что наглядно показано на рис. 3.20-3.26.

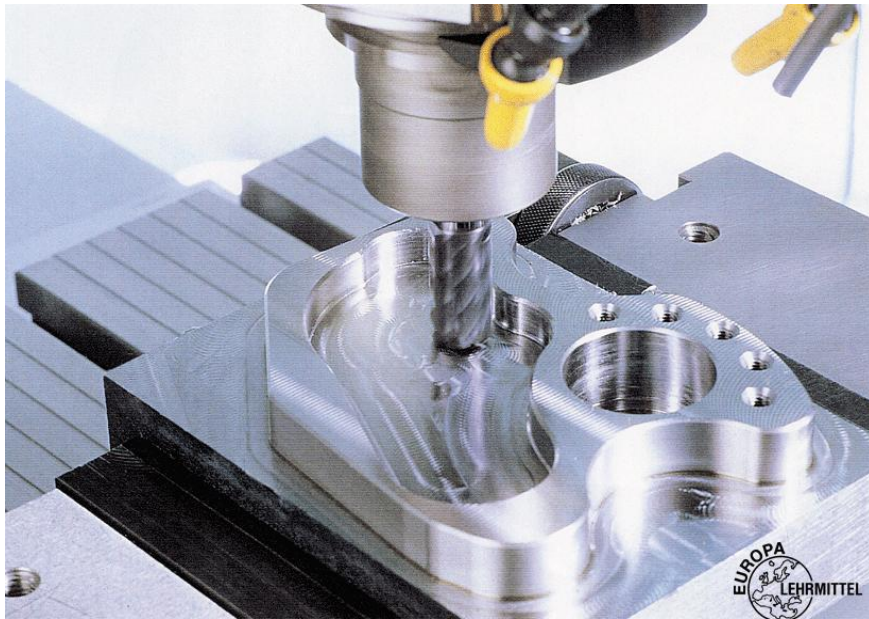


Рис.3.20. Фрезерование концевой фрезой по контуру

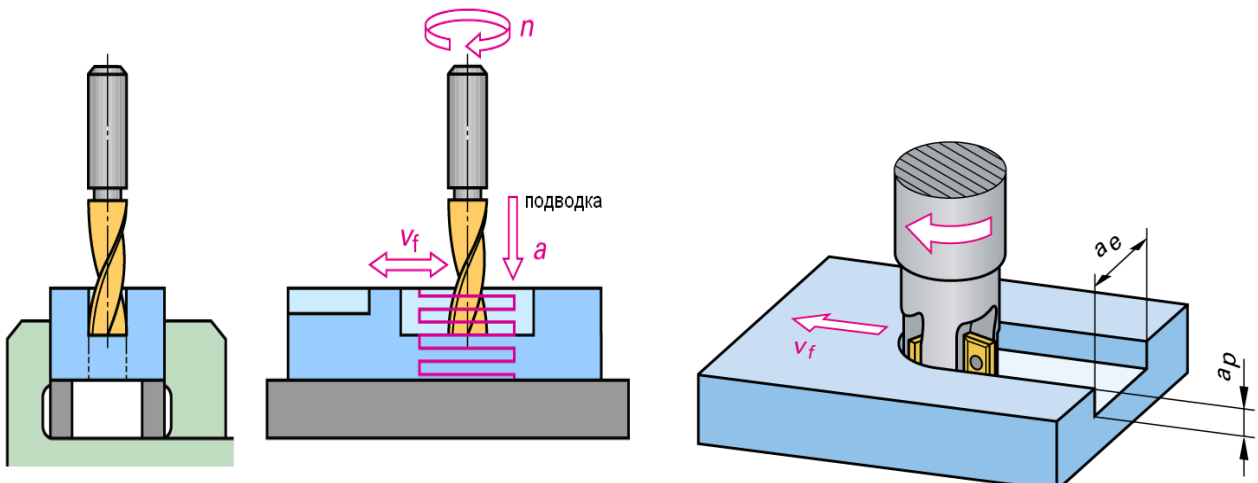
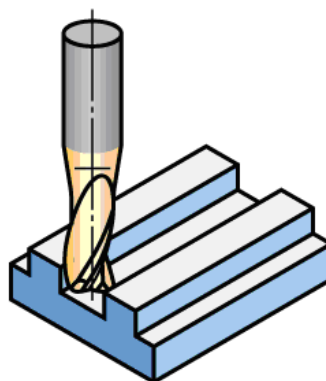


Рис.3.21. Процесс фрезерования паза



Пазовая фреза (для
фрезерования
точно расположенных
фрезеруемых пазов)

Рис.3.22. Фрезерование пазовой фрезой

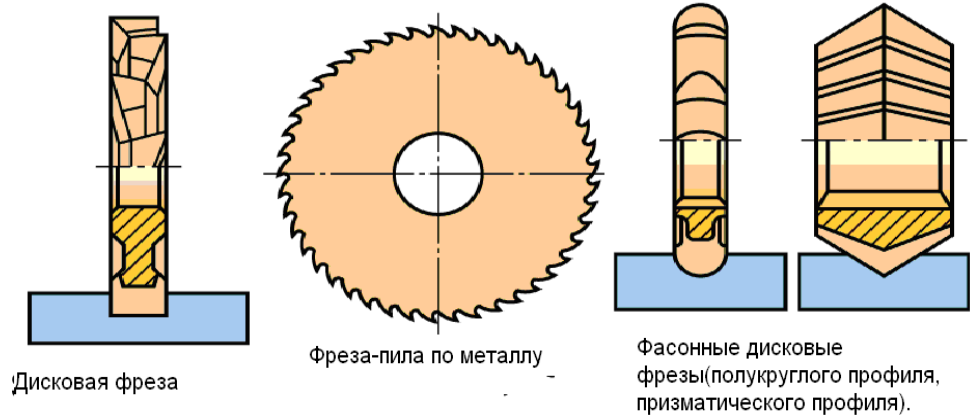
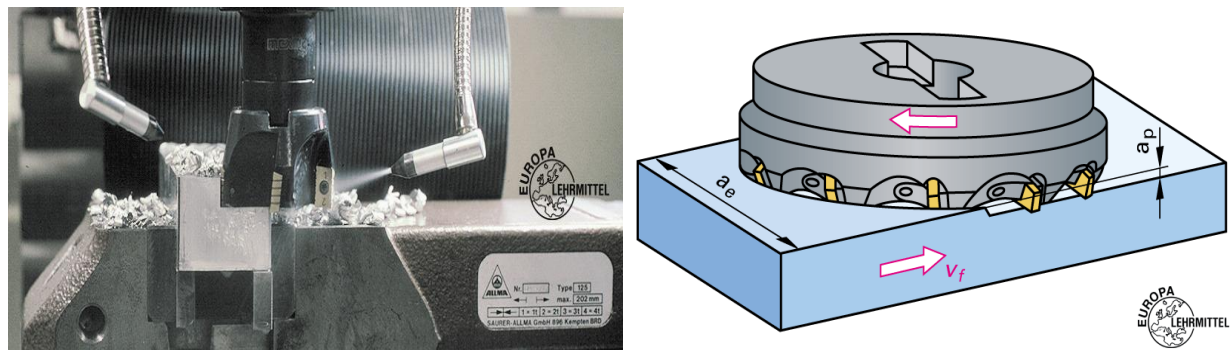
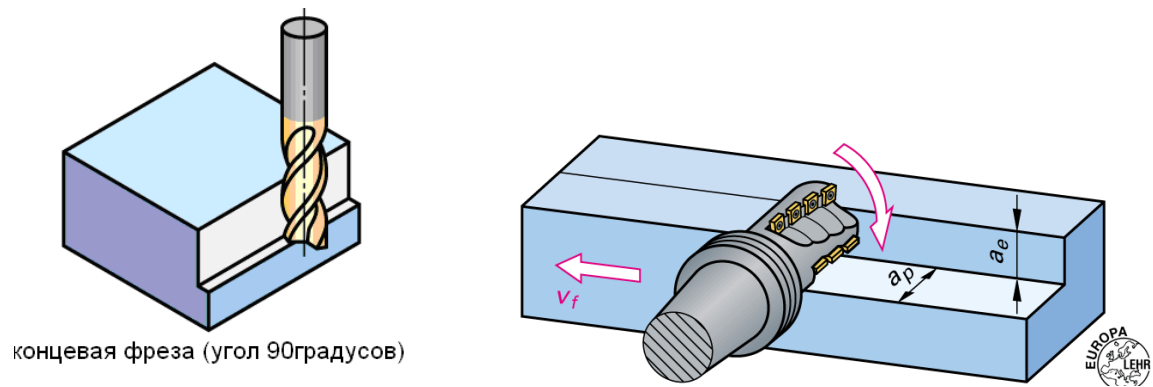


Рис.3.25. Фрезерование различными видами дисковых фрез

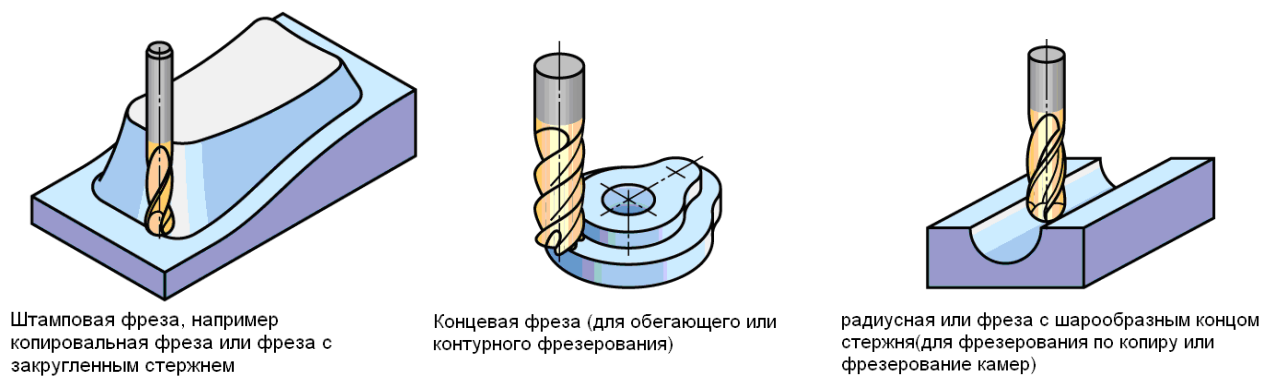


Рис.3.26. Фрезерование фасонных поверхностей

Как известно, при классическом фрезеровании поверхностей, по сравнению с точением, возникают дополнительные вибрации. Кроме того, как видно из рис. 3.16 и 3.17, большую часть рабочей траектории зуба он не срезает, а отрывает стружку. Все это вместе взятое приводит к получению достаточно грубой, шероховатой поверхности и поэтому, в основном, классическое фрезерование используется в качестве черновой или предварительной обработки. Геометрическая точность, обеспечиваемая при классическом фрезеровании, также невысока и соответствует примерно 10-му...12-му квалитетам. Главным же достоинством фрезерования, помимо многообразия форм обработанных поверхностей, является очень высокая производительность процесса резания. Основными направлениями развития процесса фрезерования являются возрастающая многоинструментальность с автоматизацией смены инструмента и увеличение количества ЧПУ управляемых координат. Так, созданные в 90-х гг. XX века пятикоординатные фрезерные станки произвели своего рода революцию во фрезеровании, обеспечивая как существенно более чистую поверхность, так и более высокую геометрическую точность. Подробные сведения о пятикоординатном фрезеровании можно получить в учебном пособии «Новые технологии в приборостроении» [1], а также в его электронной версии и в электронном учебнике по основам ТПС.

3.5. Абразивная обработка заготовок

3.5.1. Характеристика метода шлифования

Шлифование – один из видов обработки резанием, при котором припуск на обработку снимается абразивными инструментами. Шлифованием можно получить высокую точность размеров и формы, а также необходимую шероховатость поверхности. Абразивные зерна расположены в круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом. При вращательном движении круга (до 100 000 об/мин) в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек. Шлифовальные круги срезают стружку на очень больших скоростях от 30 м/с и выше. Процесс резания каждым зерном осуществляется почти мгновенно.

Несмотря на относительно высокую твердость материала абразивных зерен, они в процессе работы истираются, затупляются, выкрашиваются и вырываются. Эти стадии процесса схематично представлены на рис. 3.27.

Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зерен и имеет малую шероховатость. Часть

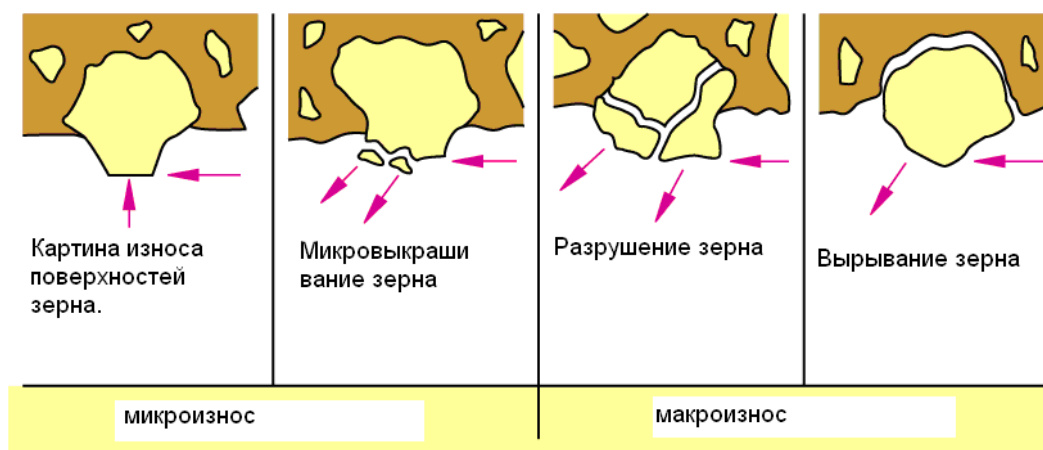


Рис.3.27. Износ абразивных инструментов

зерен ориентирована так, что резать не может. Такие зерна производят работу трения по поверхности резания. Абразивные зёрна могут также оказывать на заготовку существенное силовое воздействие. Происходит поверхностное пластическое деформирование материала, искажение его кристаллической решетки. Деформирующая сила вызывает сдвиг одного слоя атомов относительно другого. Вследствие упруго-пластического деформирования материала обработанная поверхность упрочняется. Но этот эффект оказывается менее ощутимым, чем при обработке металлическим инструментом. Тепловое и силовое воздействия на обработанную поверхность приводят к структурным превращениям, изменениям физико-механических свойств поверхностных слоев обрабатываемого материала (см. рис. 3.28).

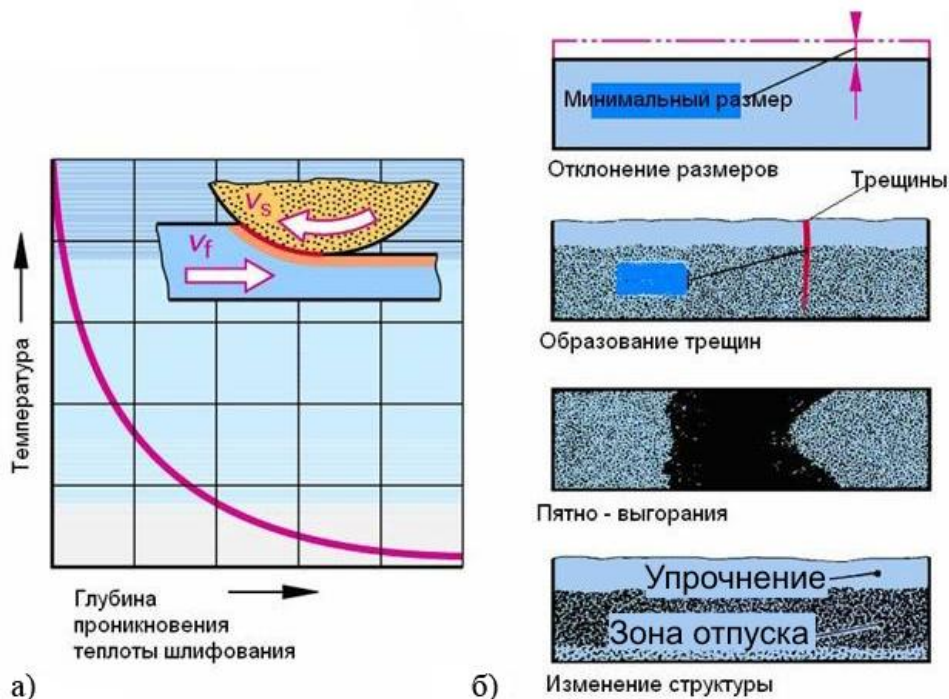


Рис.3.28. Тепловые и силовые воздействия на материал заготовки при шлифовании
 а) температурные процессы в пограничной зоне заготовок б) повреждения от шлифовального инструмента

Так образуется дефектный поверхностный слой детали. Для уменьшения теплового воздействия процесс шлифования производят при обильной подаче смазочно-охлаждающей жидкости.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработок заготовок с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования. С развитием малоотходной технологии доля обработки металлическим инструментом будет уменьшаться, а абразивным увеличиваться. Абразивный инструмент различают по геометрической форме и размерам, роду и сорту абразивного материала, зернистости или размерам абразивных зерен, связке или виду связующего вещества, твердости, структуре или строению круга. Все эти характеристики содержатся в маркировке шлифовального круга, представленной на рис. 3.29.

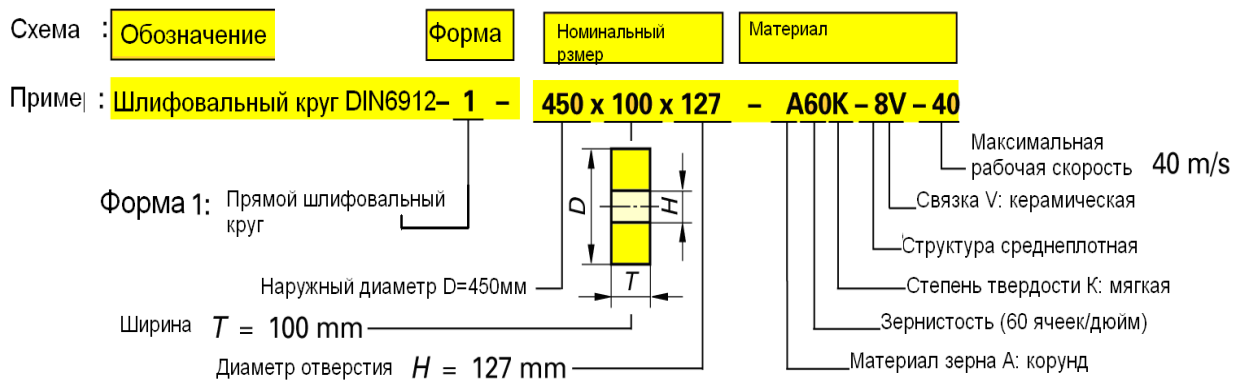


Рис.3.29. Маркировка шлифовального круга

Абразивные материалы – это твердые мелкозернистые тела с острыми гранями. Используют как естественные, например, корунд, кварц, алмазы, так и искусственные материалы, например, электрокорунд, синтетические алмазы, композиты. На рис. 3.30 представлены различные формы шлифовальных кругов.

Абразивные инструменты – это твердые тела правильной геометрической формы, состоящие из абразивных зерен, скрепленных между собою связкой. Их качество оценивается несколькими характеристиками приведенными ниже.

Зернистость – это средний размер абразивных зерен в поперечнике. В порядке убывания размеров зерен это шлифовальные зерна, шлифовальные порошки и микропорошки. В качестве связующих веществ – **связок** используют как органические (вулканитовая, бакелитовая), так и неорганические – керамические (смесь глины, полевого шпата, кварца, мела и т.д.), а также металлические.

Под **твердостью** абразивного инструмента понимают усилие, которое необходимо приложить к зерну, чтобы вырвать его из связки. Различают мягкие, средне мягкие, средне твердые, твердые, весьма твердые и чрезвычайно твердые абразивные инструменты.

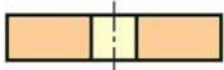
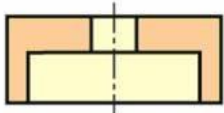
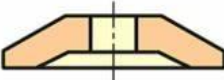
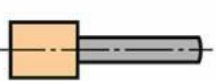
Формы шлифовальных кругов	
Форма и ее номер №.	Группа
 1	Плоскошлифовальные круги прямого профиля
 6	Цилиндрические шлифовальные круги горшкового типа
 12	Шлифовальные тарелки
 52	Шлифовальные штифты цилиндрической формы

Рис.3.30. Формы шлифовальных кругов

Под **структурой** абразивного инструмента понимают количественное соотношение зерен, связки и пор в единице объема инструмента. В порядке возрастания пористости различают плотную, средне плотную, пористую и открытую структуру.

3.5.2. Схемы абразивной обработки

В промышленности, в основном, применяются несколько видов шлифования.

Круглое наружное шлифование – процесс шлифования заготовки кругами во время ее вращения в центрах или в патроне (см. рис. 3.31).

Бесцентровое шлифование отличается от центрового тем, что обрабатываемые заготовки получают вращение и шлифуются без крепления в центрах, причем базой является обрабатываемая поверхность. При круглом бесцентровом шлифовании оба круга вращаются в одну сторону с разными скоростями, рабочий круг – со скоростью 30...35 м/с, ведущий – со скоростью, в 60...100 раз меньшей. Опорой для шлифуемой заготовки является «нож» со скошенным краем, находящийся между рабочим и ведущими кругами. Нож устанавливается так, чтобы центр заготовки находился выше или ниже центров кругов. На рис. 3.32 изображена схема бесцентрово-шлифовального станка. Схема обработки на таких станках представлена на рис. 3.33.

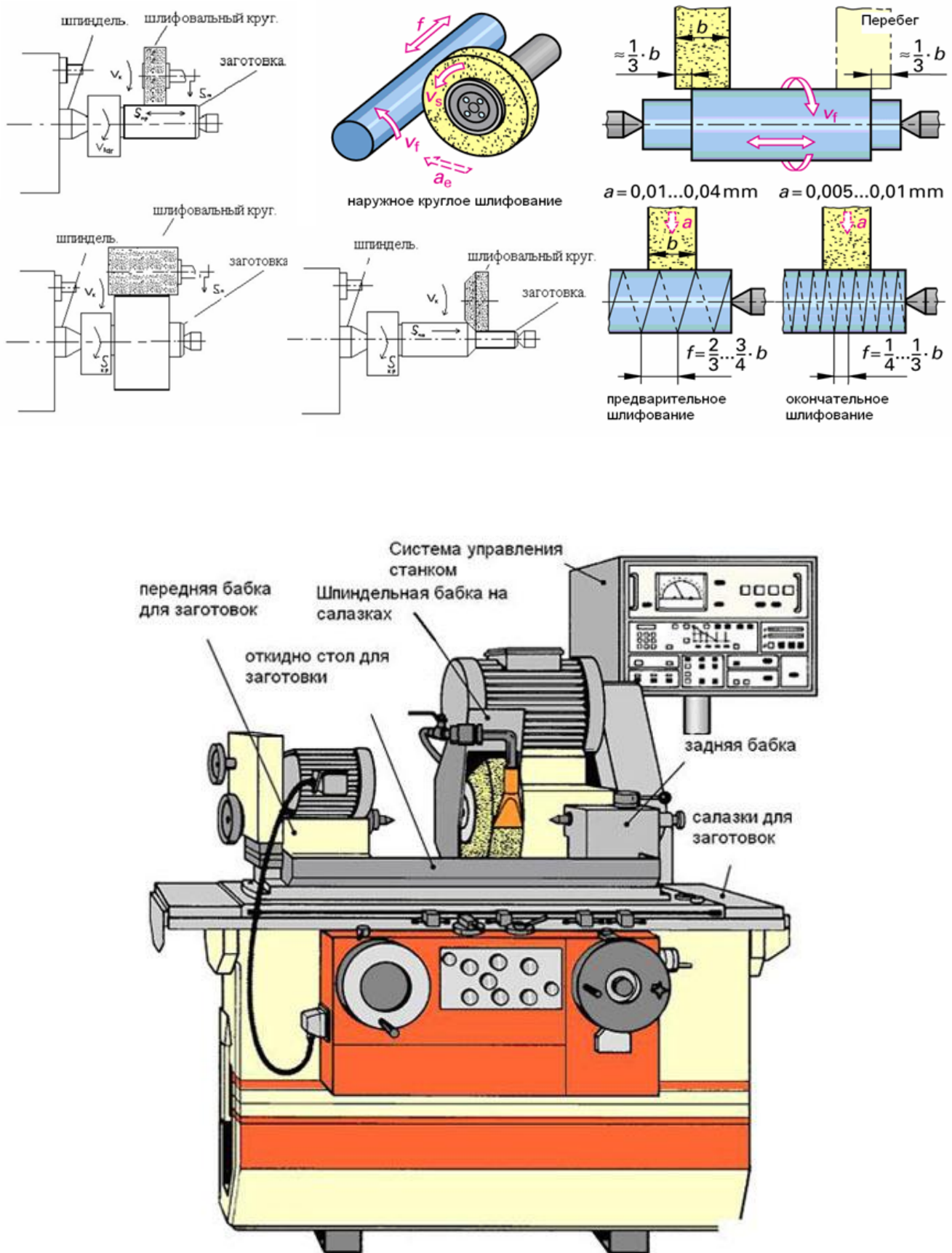


Рис.3.31. Кинематика, параметры обработки и оборудование для наружного круглого шлифования

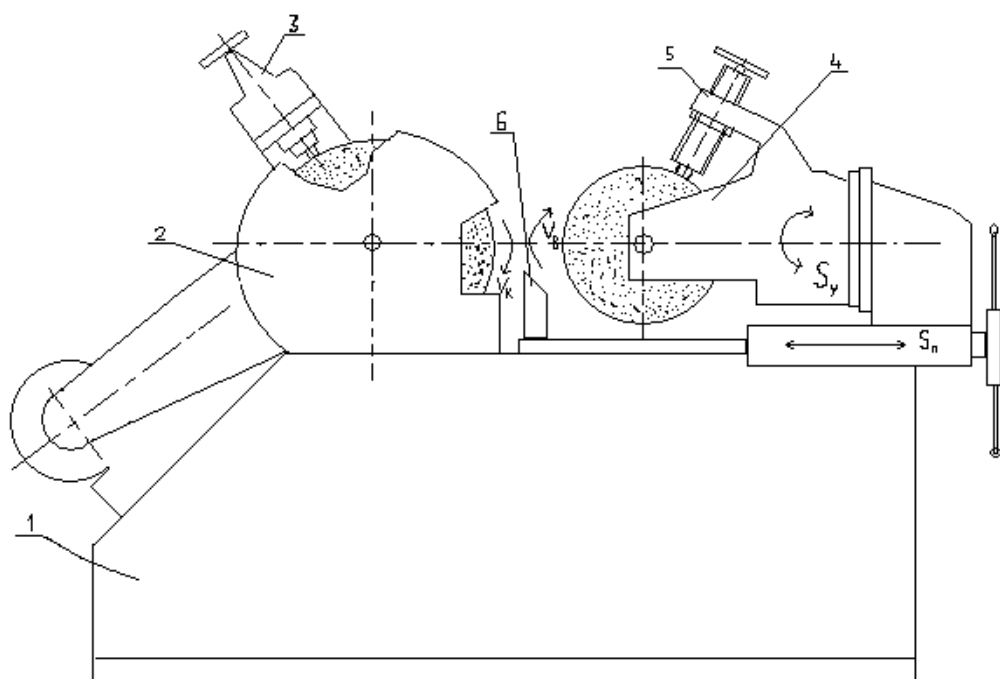


Рис.3.32. Схема бесцентрово-шлифовального станка:
1 – станина; 2 – шлифовальная бабка; 3 – правочный механизм; 4 – ведущая бабка;
5 – правочный механизм; 6 – нож.

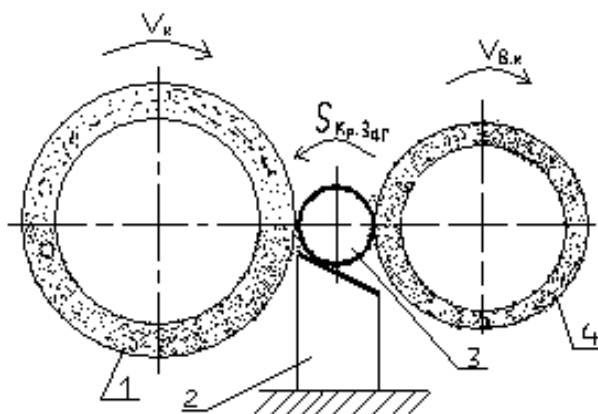


Рис.3.33. Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке

Заготовку 3 устанавливают на нож 2 между двумя кругами – рабочим 1 и ведущим 4. Эти круги вращаются в одном направлении.

Внутреннее шлифование – шлифование отверстий цилиндрической и конической формы. В зависимости от конструкции заготовки и станка шлифование осуществляется при вращении заготовки или при неподвижном ее состоянии. В этом случае шлифовальный круг при обработке вращается не только вокруг своей оси со скоростью 20...35 м/с, но и вокруг оси обрабатываемого отверстия с круговой подачей 20...30 м/мин (см. рис. 3.34 и 3.35).

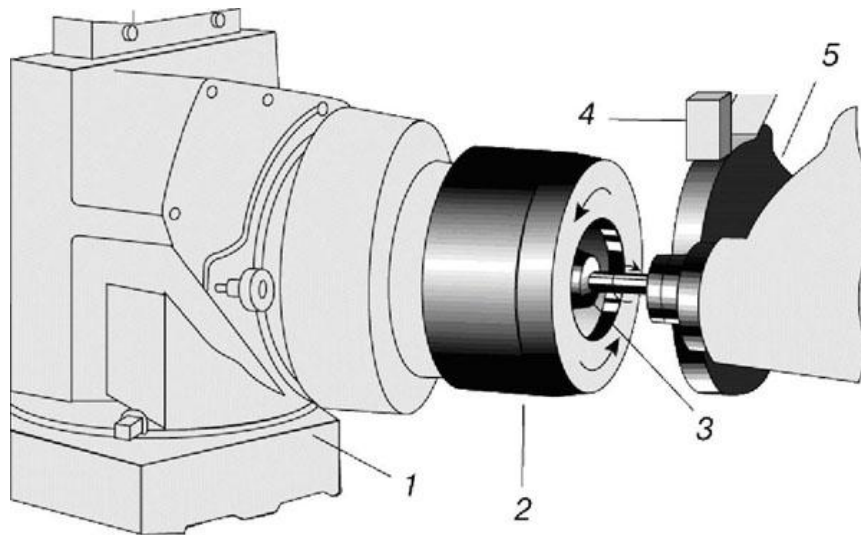


Рис.3.34. Схема шлифования отверстия в осесимметричной вращающейся заготовке
 1 – делительная бабка; 2 – деталь; 3 – внутренний шлифовальный круг; 4 – отсос пыли; 5 – наружный шлифовальный круг.

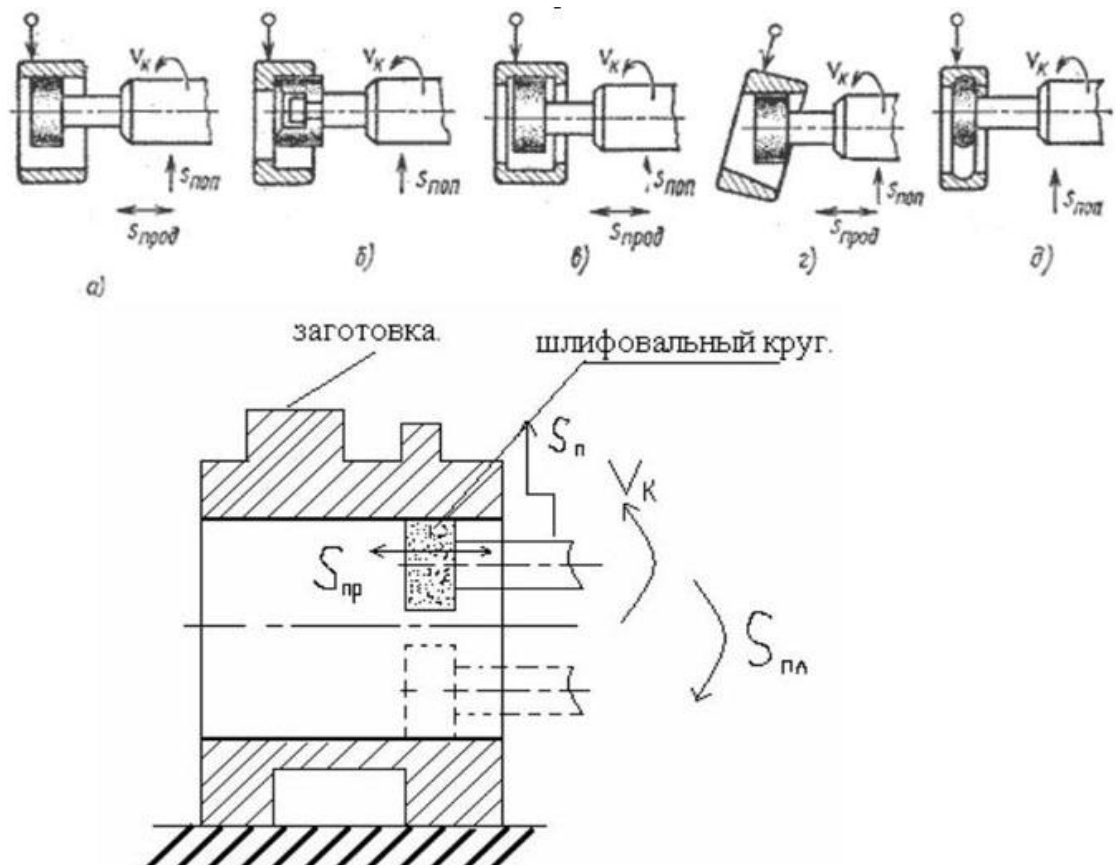


Рис.3.35. Схема шлифования отверстия в не вращающейся заготовке:
 а – гладкого цилиндрического отверстия; б – ступенчатого отверстия и торца;
 в – широкой канавки; з – конического отверстия; д – фасонного паза.

Плоское шлифование – шлифование плоскостей осуществляется периферией или торцом круга. Кинематика этого процесса показана на рис. 3.36 и 3.37.

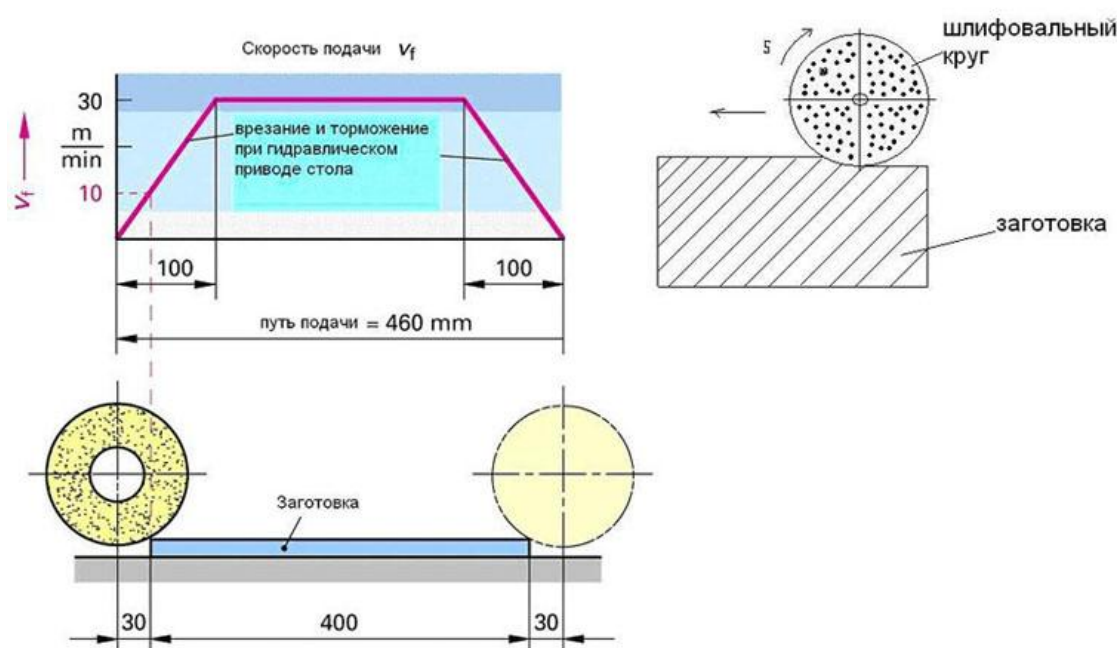


Рис.3.36. Шлифование плоской поверхности периферией круга

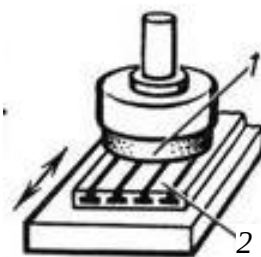


Рис.3.37. Шлифование плоской поверхности торцевой поверхностью круга:
1 – шлифовальный круг; 2 – заготовка

Заточка и доводка режущего инструмента. От заточки и доводки режущих инструментов зависят производительность и стоимость обработки заготовок, стойкость и расход инструментов. В операции заточки и доводки используются самые разнообразные типы абразивного инструмента.

Резьбошлифование – шлифование резьбы различных профилей (треугольные, трапециевидные и др.), метчиков, резьбовых калибров, накатных роликов, ходовых винтов металлорежущих станков и измерительных инструментов (см., например, рис. 3.38).

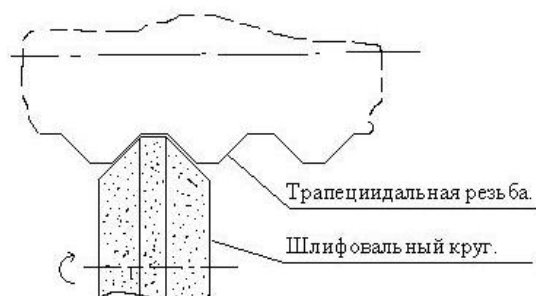


Рис. 3.38. Схема шлифования резьбы

Зубошлифование – шлифование зубчатых колес всех видов (см., например, рис. 3.39).

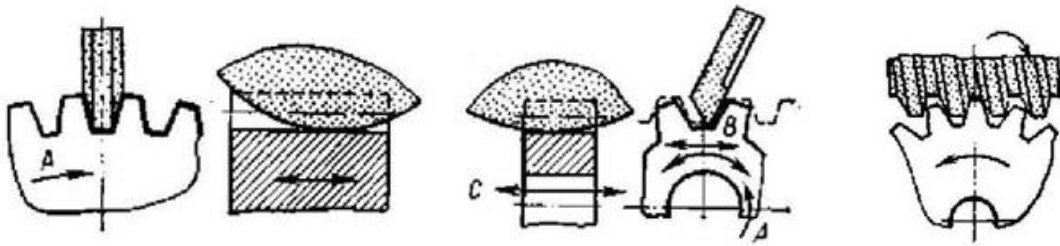


Рис.3.39. Схема шлифования зубьев колеса

Хонингование – процесс доводки отверстий специальным инструментом – хонем. Хонингование применяют для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микро профиля обработанной поверхности в виде сетки (для удержания смазочного материала на трущихся поверхностях). Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне, см. рис. 3.40).

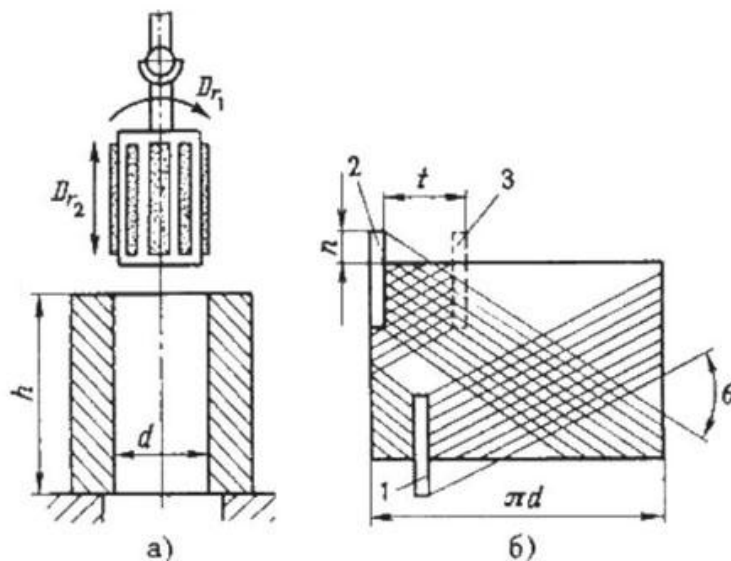


Рис.3.40. Схема хонингования отверстия

Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 3.40, а). Соотношение скоростей движений составляет 1,5...10 и определяет условия резания. При заданном сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 3.40, б). Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление брусков на обрабатываемую

поверхность осуществляется пружинами или центробежными силами вращающихся брусков. Хонингованием исправляют погрешности формы от предыдущей обработки. Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных станках.

Суперфиниширование – шлифование при малом съеме металла (10...12 мкм на диаметр) для достижения шероховатости 0,16...0,02 мкм по параметру R_a . Процесс осуществляется при малых окружных скоростях изделия (8...40 м/мин.), малых давлениях мелкозернистых брусков (1,5...3 кгс/см²) при их колебательном движении с частотой от 500...600 до 2000...3000 двойных ходов в минуту с амплитудой 2...5 мм (рис. 3.41).

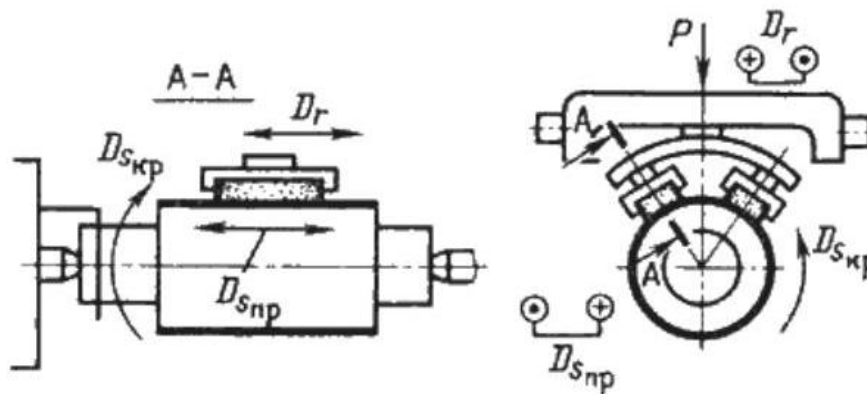


Рис.3.41. Схема суперфиниширования цилиндрической поверхности

При суперфинишировании полностью удаляется волнистость, уменьшается огранка, удаляется дефектный поверхностный слой металла. После суперфиниширования формируется упрочненный поверхностный слой без структурных изменений, что улучшает эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях трения – скольжения или качения. Рабочим инструментом является абразивная головка с одним-четырьмя абразивными брусками.

Ленточное шлифование и полирование – обработка изделия бесконечной шлифовальной лентой, изготовленной из шлифовальной шкурки на тканевой или бумажной основах. Схема ленточного шлифования упрощенно показана на рис. 3.42.

Базирование инструмента осуществляется по обрабатываемой поверхности. Этот процесс особенно эффективен при шлифовании сложнопрофильных поверхностей.

Шлифуемая заготовка 16 подается сквозь левые направляющие ролики 19 далее сквозь ось 5 в ручей правых направляющих роликов 19, предварительно, для ослабления натяжения абразивной ленты, ведомый ролик 14 отводится в сторону. Далее необходимо установить требуемое натяжение абразивной ленты 15, перемещая ведомый ролик 14 против часовой стрелки и регистрируя величину натяжения при помощи стандартного динамометра. Включение электродвигателя 2

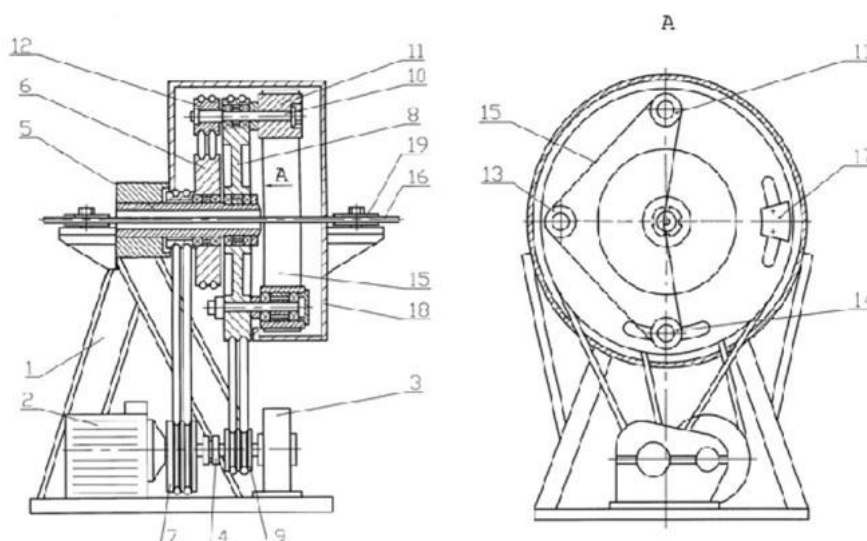


Рис.3.42. Схема ленточного шлифования

при помощи муфты 4 и редуктора 3 приводит во вращение шкив 9, который вращает шкив 8, связанный с ним ременной передачей. При этом вращение от электродвигателя 2, при помощи шкива 7 и шкива 6, передается на ведомый шкив 12 и затем, при помощи вала 10, на ведущий ролик 1. Таким образом, абразивной ленте 15 сообщается планетарное движение.

Доводка и притирка – абразивные обработки как свободным абразивным зерном в виде суспензии и паст, так и специальными доводочными кругами и шаржированными притирами, обеспечивающие шероховатость 0,160...0,08 мкм по параметру R_a и чище, а также высокую точность размеров и формы поверхностей, обеспечивая высокую плотность сопряжения. На рис. 3.43 показана схема притирки цилиндрического сопряжения.

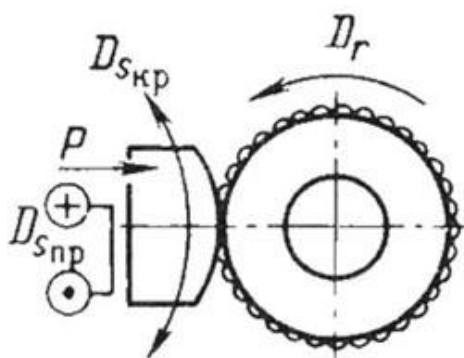


Рис.3.43. Схема притирки цилиндрического сопряжения

Ряд следующих видов обработки перечислен без поясняющих рисунков потому, во-первых, что динамику процесса на рисунке трудно отразить, а во-вторых, эти виды обработки можно посмотреть на видеокадрах электронного учебника «Основы ТПС».

Жидкостная отделка – процесс обработки, при котором жидкость,

насыщенная абразивом, со скоростью 50 м/с и более ударяется об обрабатываемую поверхность, уменьшая ее шероховатость.

Полирование – абразивная обработка с помощью полировочных паст или инструментов для уменьшения шероховатости поверхностей.

Обработка во вращающихся барабанах – удаление заусенцев, ржавчины, окалины, притупление кромок, уменьшение шероховатости. Путем вращения в барабанах различного типа (консольные, перфорированные, герметичные и т.д.) обрабатываемых заготовок и абразивных наполнителей (боя керамических кругов, галтовочных тел или, при полировке – боя фарфора, гранита, диабазы, металлических шариков и т.д.).

Галтовочные тела – специально изготовленный абразивный инструмент в виде изделий простой геометрической формы (цилиндр, призма, конус, куб и т.д.) состоящий из шлифовальных порошков, связанных керамической или органической связкой.

Обработка в вибрационных контейнерах – аналогична обработке во вращающихся барабанах, но вместо вращения используется вибрационное воздействие в 2-х или трех направлениях. Обеспечивает обработку хрупких и тонкостенных заготовок без повреждения. Частота колебаний приблизительно 1500 кач./мин. При амплитуде 1,5...3 мм. Абразивный наполнитель аналогичен обработке в барабанах.

3.6. Электроэрозионные технологии обработки заготовок

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) известна достаточно давно, ещё в 1938 году советский инженер Л.А. Юткин показал, что серия электроискровых разрядов порождает формообразующие гидравлические удары, что положило начало электроискровой штамповке металлов, и стало следующим, после электродуговой сварки, шагом по развитию технологических методов формообразования электрическими разрядами. А уже в 1943 году советские учёные – супруги Борис Романович Лазаренко и Наталия Иосафовна Лазаренко, предложили использовать свойства разрядов в воздушном промежутке для формообразования поверхностей заготовок. На изобретение было получено авторское свидетельство № 70010 от 3.04.1943 года, патент Франции № 525414 от 18.06.1946 года, патент Великобритании № 285822 от 24.09.1946 года, патент США № 6992718 от 23.08.1946 года, патент Швейцарии № 8177 от 14.07.1946 года, патент Швеции № 9992/46 от 1.11.1946 года. В 1946 году им была присуждена Сталинская премия, а 26 июня 1949 года Борису Романовичу Лазаренко была присуждена ученая степень доктора технических наук. В 1948 году советский специалист М.М. Писаревский предложил более экономичный электроимпульсный метод обработки.

Суть процесса электроэрозионной обработки достаточно широко освещена в технической литературе. Возможность проведения электроэрозионной обработки в нормальных условиях обусловлена минимальной электропроводностью материалов – заготовки и инструмента. При поддержании разности потенциалов между электродами по образовавшемуся каналу разряда течёт ток и, при этом, электрическая энергия преобразуется в тепловую. В данном канале разряда под действием высоких температур из рабочей жидкости образуется газовый пузырь. В результате охлаждения канал разряда теряет свою электропроводность. Газовый пузырь испаряется, и рабочая жидкость удаляет частицы шлама из зоны разряда.

Данные открытия положили начало применения электроэрозионной обработки в производстве. Потребовалось 20 лет, чтобы в 1969 году швейцарская фирма AGIE представила первый станок электроимпульсной обработки непрофилированным электродом с ЧПУ. В настоящее время данная фирма является лидером в производстве электроэрозионного оборудования в мире. До конца 80-х годов прошлого века данный метод обработки не пользовался особой популярностью, поскольку оборудование обладало низким КПД, было очень громоздким и энергозатратным. С развитием полупроводниковой техники КПД данного оборудования значительно увеличилось и оно стало экономически эффективным. А в настоящее время ЭЭО применяется практически на каждом современном приборостроительном предприятии.

Электроэрозионная обработка основана на физическом явлении, при котором материал одного или обоих электродов под действием происходящего между ними электрического импульсного разряда разрушается, и на поверхности электродов образуются лунки (рис. 3.44). Причина появления лунок – локальный нагрев электродов до весьма высокой температуры. При сближении двух электродов и подключении к ним напряжения, достаточного для пробоя образовавшегося межэлектродного промежутка, возникает электрический разряд в виде узкого проводящего канала (столба) с температурой, измеряемой тысячами и десятками тысяч градусов. У оснований этого канала наблюдается разрушение (оплавление, испарение) материала электродов. Жидкая среда обеспечивает возникновение динамических усилий, необходимых для удаления разрушаемого материала; охлаждая электроды, жидкость стабилизирует процесс. Наиболее часто в качестве среды применяют нефтепродукты: трансформаторное и веретенное масла, керосин. Но еще лучше применять дистиллированную воду.

Весь цикл искрового разряда наглядно представлен на рис. 3.45 в виде условных этапов этого процесса.

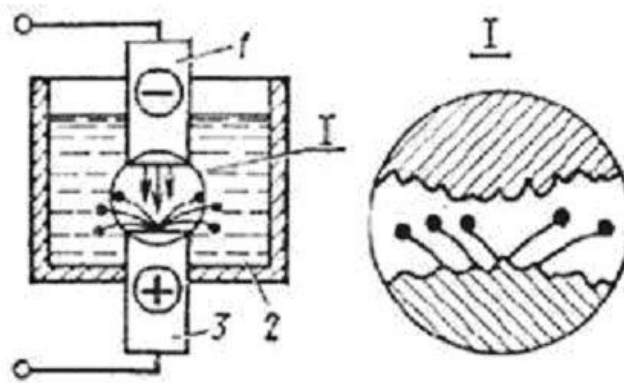


Рис.3.44. Схема разрушения электродов при электроэрозионной обработке:
1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – обрабатываемая заготовка

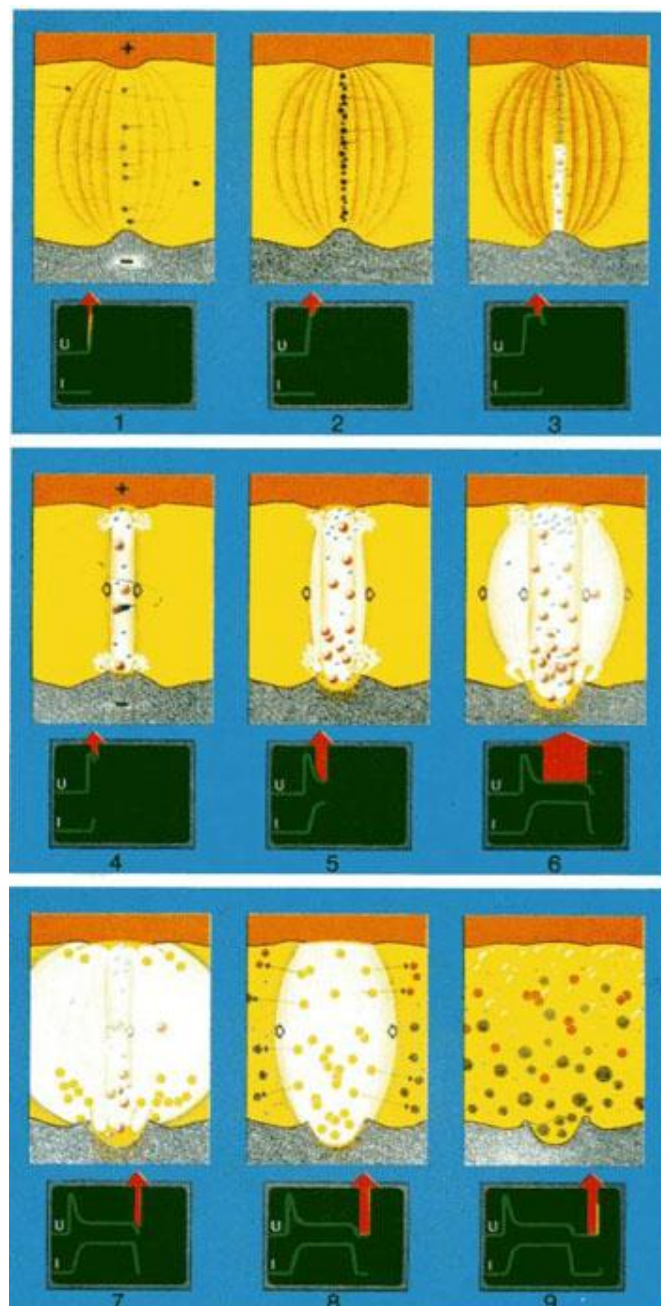


Рис.3.45. Условная схема «этапов» искрового разреза

Основными разновидностями электроэрозионного метода являются электроискровая и электроимпульсная обработка. Электроискровая обработка отличается широким диапазоном режимов обработки от черновой производительностью $1,5 \dots 10 \text{ мм}^3/\text{с}$ при шероховатости обработанной поверхности $R_z = 160 \dots 40 \text{ мкм}$, до отделочной, производительностью около $0,001 \text{ мм}^3/\text{с}$ при шероховатости поверхности $R_a = 1,25 \dots 0,16 \text{ мкм}$.

Характерные черты этого процесса: сравнительно низкая производительность обработки, большой износ электродов-инструментов, применение преимущественно релаксационных схем генерирования импульсов длительностью $10 \dots 200 \text{ мкс}$ при частоте $2 \dots 5 \text{ кГц}$, использование прямой полярности, образование на обрабатываемой поверхности тонкого дефектного слоя толщиной $0,2 \dots 0,5 \text{ мм}$ на черновых и $0,02 \dots 0,05 \text{ мм}$ на чистовых режимах. Значительный износ электродов-инструментов ограничивает технологические возможности этого метода.

Электроискровой метод применяется в приборостроении и инструментальном производстве. При обработке заготовок небольших размеров, изготовлении твердосплавных матриц, штампов, обработке отверстий малого диаметра, а также при «шлифовании», «расточивании» профильными электродами-резцами, инструмент является катодом, а обрабатываемая заготовка – анодом. Напряжение сети при обработке не превышает 250 В .

Обычно профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого контура (рис. 3.46, а), но возможно вырезание непрофилированной проволокой различных контуров (рис. 3.46, б). Материал инструмента чаще всего – медь М1, М2, медный сплав МЦ-1, алюминий и его сплавы.

Особенностью процесса является значительный износ инструмента (износ катода соизмерим с износом анода). Классическая траектория перемещения электрода-инструмента – вертикальное поступательное движение. Отсюда формы и размеры поперечного сечения обработанных поверхностей соответствуют форме и размерам поперечного сечения катода – инструмента (рис. 3.46, а). Однако формы обработанных поверхностей можно усложнять за счет усложнения траектории перемещения электрода инструмента (рис. 3.46, б и в).

Режимы электроимпульсной и электроискровой обработки существенно различны. При электроимпульсной обработке применяют пониженные напряжения и относительно большие значения средних токов, а частота тока, питающего разрядный межэлектродный промежуток, стабильна.

Электроимпульсная обработка характеризуется: применением униполярных импульсов тока длительностью $0,5 \dots 1,0 \text{ мкс}$, высокой производительностью: $100 \dots 300 \text{ мм}^3/\text{с}$.

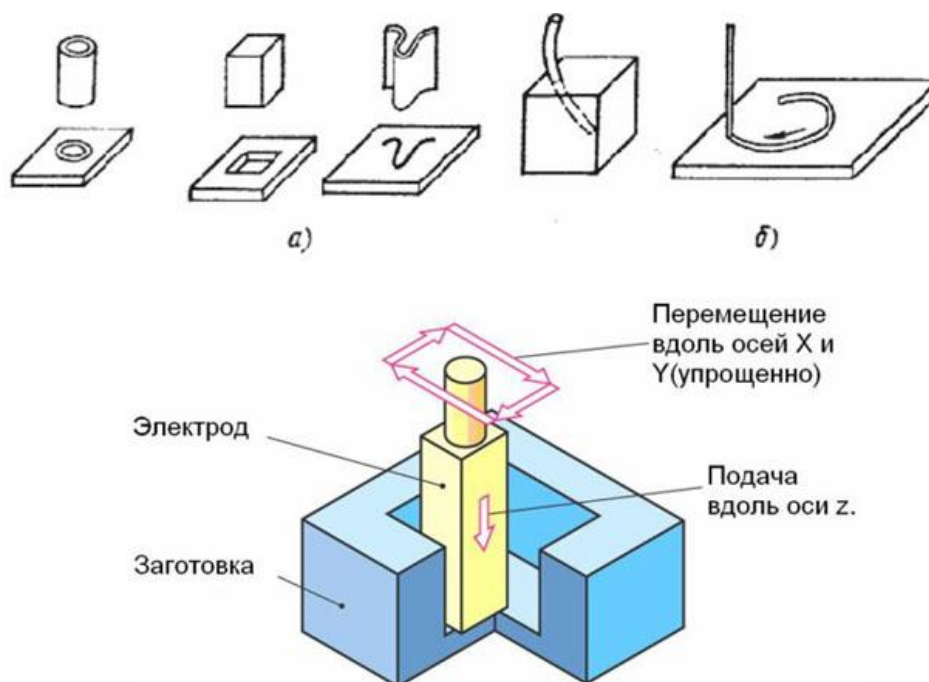


Рис.3.46. Схемы электроэрозионной обработки: а – при прямолинейном вертикальном перемещении катода-инструмента; б, в, при усложненных траекториях перемещения инструмента

На грубых режимах, с большой шероховатостью обработанной поверхности и, на более мягких режимах, с шероховатостью поверхности $R_z = 80 \dots 40$ мкм, малым относительным износом электродов-инструментов, составляющим для графита 0,1...0,5%, применением обратной полярности (присоединения электрода-инструмента к положительному полюсу источника тока), применением в качестве источника тока преимущественно машинных генераторов импульсов низкой и средней частоты (400...3000 Гц), работой обычно с низким напряжением (25...30 В) и большой силой тока (50...5 000 А).

Для примера опишем характеристики электроэрозионного 5-ти координатного проволочно-вырезного станка с ЧПУ мод. СКЭ250Ф5 (см. рис. 3.47). Он предназначен для обработки электродом-проволокой любых электропроводящих материалов, используемых при изготовлении разнообразных деталей сложного профиля как с вертикальной (цилиндрической), так и с наклонной (конической) образующей, в том числе профилей с переменным углом наклона и с различными контурами в верхней и нижней плоскостях. В табл. 3.2 представлены его технические характеристики.

Компьютерное ЧПУ обеспечивает графический контроль контуров детали с визуализацией процесса обработки в реальном режиме времени, позволяет просматривать и редактировать управления процессом во время обработки.



Рис.3.47. Электроэрозионный 5-ти координатный проволочный
вырезной станок с ЧПУ мод. СКЭ250Ф5

Таблица 3.2.

Основные технические данные станка мод. СКЭ250Ф5		
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки, мм	L x B x H	440 x 410 x 100
Наибольшая масса заготовки, кг		150
Наибольшие размеры вырезаемого контура в заготовке, мм	При высоте заготовок	
	20 мм	30
	70 мм	15
	100 мм	7
Координатные перемещения по осям, мм:		
- рабочего стола	X x Y	250 x 250
- конусного узла	U x V	40 x 40
- пиноли головки	Z	115
Дискретность задания перемещений:		
- линейных, мкм	X, Y	1
	U, V	4
	Z	5
- угловых, град.		1,8
Наибольшая производительность формообразования при заготовке толщиной 50 мм и электроде-проволоке Ж 0,25 мм, мм ² /мин	По меди	60
	по стали	50
Точность изготовления контура стального образца с размерами 175x175x10 мм, мкм	непараллельность поверхности	25
	неперпендикулярность поверхн.	30
Наибольшая некруглость внутренней поверхности обрабатываемого цилиндра, мкм	при цилиндре Ж 20	12
Наибольшая некруглость внутренней поверхности обрабатываемого конуса в верхнем и нижнем сечениях, мкм	при конусе Ж 10 / Ж 20	30
Шероховатость обработанной поверхности Ra на чистовых режимах, мкм	по стали	0,8
Электрод-проволока, применяемая на станке для обработки	D 0,1 / 0,3	Латунь ЛБЗДКРПГОСТ 1066-80
Объем рабочей жидкости в системе, включая бак, л	диэлектрик – вода водопроводная	300
Тип компьютерного ЧПУ	на базе ПК IBM PC, цветной графический дисплей	АРТА
Количество одновременно управляемых координат	X, Y, U, V, Z	5
Масса станка, кг	с приставным оборудованием	1715
	без приставного оборудования	1400
Габаритные размеры станка с приставным оборудованием, мм	L x B x H	2100x1860x1950

Обрабатываемые изделия.

- Инструменты – матрицы вырубных и гибочных штампов, прессформ; дюзы для экструзии; фасонные резцы, фрезы, шаблоны; электроды для электроэрозионной прошивки.

- Детали электронных приборов – резонаторы замедляющих систем, электроды и т. п.

- Детали машин – шестерни, кулачки, форсунки.

3.7. Анодно-механическая обработка заготовок

Анодно-механическая обработка является процессом воздействия на металл, основанным на электрохимическом растворении последнего с механическим удалением продуктов растворения. Дополнительно может иметь место еще и электроэрозионное разрушение. Принципиальная схема процесса обработки показана на рис. 3.48. При сближении электродов 3 (обрабатываемое изделие) и 1 (инструмент) и при наличии между ними электролита 2 (рабочей жидкости) во время прохождения тока происходит разрушение электрода, соединенного с положительным источником тока (анодом). Это разрушение при низких плотностях тока происходит в виде анодного растворения металла, а при высоких плотностях – в виде его электроэрозионного разрушения. Образующиеся продукты распада 4 плохо проводят ток и изолируют один электрод от другого. Для удаления их осуществляют движение электрода 1 (инструмента) с небольшим усилием. В этом случае процесс протекает непрерывно: обнажающийся материал продолжает разрушаться и требуемая обработка осуществляется независимо от его твердости.

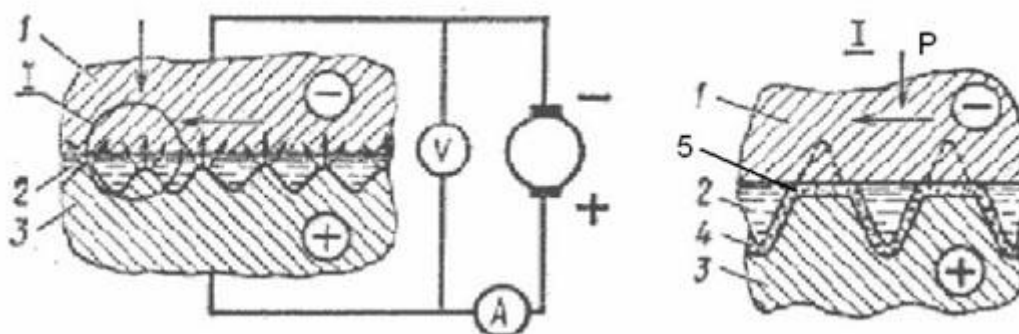


Рис.3.48. Принципиальная схема анодно-механической установки и процесса обработки:
1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – заготовка анод; 4 – продукты анодного разрушения материала заготовки; 5 – межэлектродный промежуток

Процесс анодно-механической обработки зависит от электрического режима (плотности тока, напряжения) и механических параметров (давления на обрабатываемую поверхность, скорости

движения инструмента). На рис. 3.48 (см. выноску I) показана одна из предполагаемых схем процесса.

Электролитический режим определяет производительность процесса и качество обработанной поверхности. Напряжение источника тока обычно составляет 14...28 В, плотность тока в А/см^2 колеблется от десятых долей на чистовых операциях до нескольких сотен – на черновых.

Давление инструмента P обуславливает величину межэлектродного зазора δ и связанного с ним электрического сопротивления. Зависимость между ними определяет съем металла, силу тока и рабочее напряжение.

Скорость перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности влияет на скорость процесса и степень нагрева поверхностного слоя металла заготовки и, соответственно, на его структурные изменения, а также на шероховатость поверхности. Скорость инструмента составляет 0,5...25 м/с, а сила его прижима 50...200 кПа (0,5...2 кгс/см²). Наилучший состав рабочей жидкости – раствор жидкого стекла (силиката натрия) в воде.

Анодно-механическая обработка характеризуется: малым износом электрода-инструмента относительно электрода-заготовки, обычно не превышающим 20...30% на грубых и 2...3% на чистовых режимах; высокой производительностью на грубых режимах, достигающей 35...100 мм³/с при шероховатости поверхности $R_z = 500...600$ мкм, и малой шероховатостью поверхности на мягких режимах, достигающей $R_z < 1$ мкм при небольшой производительности (около 0,01 мм³/с). На рис. 3.49, а показана схема анодно-механического долбления, а на рис. 3.49, б – схема анодно-механической резки металлов.

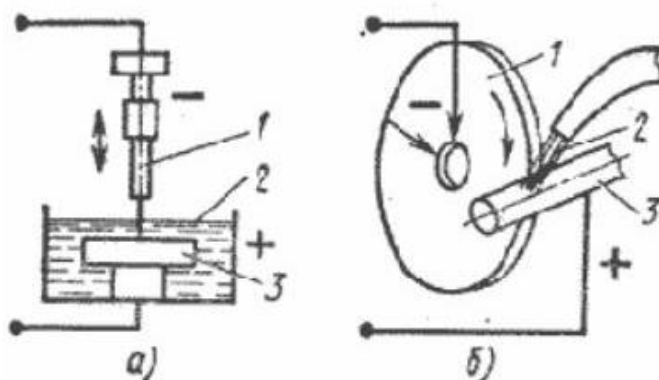


Рис.3.49. Схема анодно-механического долбления (а) и резки(б):

1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – обрабатываемая заготовка

Долблением обрабатывают отверстия разнообразной формы в изделиях из твердого сплава и закаленной стали твердостью HRC 60...65.

3.8. Электрохимическая обработка заготовок из металлов

Электрохимическая обработка металлов основана на химических процессах, возникающих в результате прохождения электрического тока через цепь, образованную проводниками (электродами) и находящейся между ними проводящей ток жидкостью (электролитом). При электрохимической обработке происходит растворение и удаление некоторых количеств металла с обрабатываемой заготовки и их переход в неметаллическое состояние (химические соединения, рис. 3.50, а).

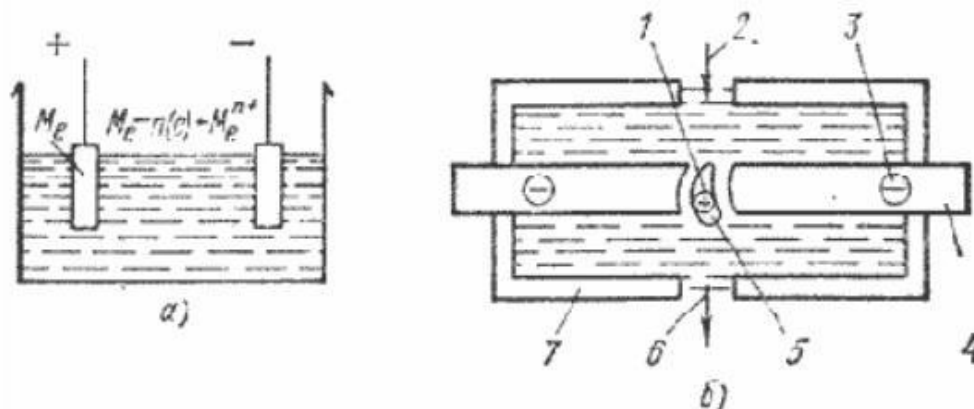


Рис.3.50. Электрохимическая обработка(принципиальные схемы):
 а – схема процесса; б – схема обработки; 1 – подвод тока к заготовке; 2 – подвод электролита; 3 – подвод тока к катодам; 4 – профильные катоды; 5 – обрабатываемая заготовка; 6 – отвод электролита; 7 – корпус камеры

Поддержание заданной плотности тока – одно из важнейших условий правильного ведения процесса. Скорость растворения находится в прямой зависимости от плотности тока. Большинство материалов хорошо обрабатываются на установках, питаемых постоянным током. Однако в некоторых случаях, например при обработке нержавеющей стали, целесообразно применение импульсного тока. Процесс остается устойчивым, а шероховатость поверхности снижается (улучшается) при замене постоянного тока однополупериодным выпрямленным током.

Наиболее распространен в качестве электролита раствор хлористого натрия ввиду его низкой стоимости и длительной работоспособности. Физические и химические свойства электролитов, важнейшими среди которых являются электропроводность и вязкость, оказывают влияние на характер протекания и результаты процесса.

Электрохимическая размерная обработка характеризуется: малой шероховатостью обработанной поверхности, высокой производительностью, достигающей $1000 \text{ мм}^3/\text{с}$, большой энергоемкостью процесса – 1000 А-ч на 1 кг снятого металла. Метод используется, в основном, при образовании отверстий и полостей, при профилировании и формообразовании копированием, для удаления

заусенцев и грат, при резке и долблении. На рис. 3.50, б приведена принципиальная схема электрохимической обработки турбинных лопаток.

3.9. Электрофизические способы обработки заготовок

Различное влияние импульсных разрядов на металлы и сплавы зависит от их теплофизических констант: температуры плавления и кипения, теплопроводности, теплоемкости и т. д.

Электроконтактная обработка основана на механическом разрушении или формоизменении металлических поверхностей, производимом одновременно с нагревом или расплавлением этих поверхностей электрическим током (рис. 3.51). При этом методе в месте контакта двух токопроводящих поверхностей выделяется тепло ввиду повышенного сопротивления, а также электрического разряда.

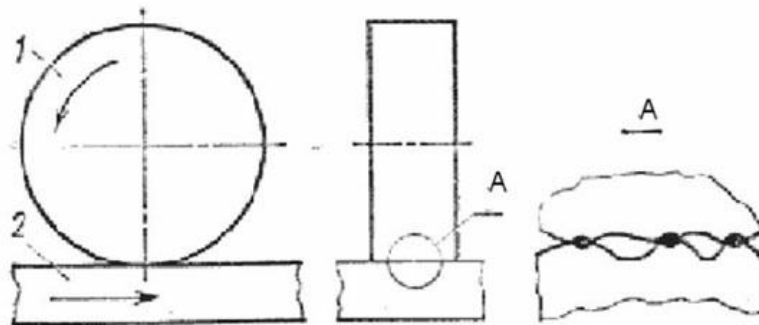


Рис.3.51. Схема электроконтактной обработки:
1 – инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка

Разрушение поверхности заготовки при обработке с напряжением свыше 10 В (до 20...22 В) происходит, в значительной части или полностью, в результате электродугового процесса возникновения множества микродуг в месте контакта микронеровностей поверхностей электродов (инструмента и заготовки, выноска А на рис. 3.51). Движущийся инструмент в этих случаях не только подводит ток и удаляет размягченный металл, но и, благодаря вибрации, способствует возникновению множества прерывистых контактов, необходимых для образования дуговых разрядов.

Основной особенностью электроконтактной обработки является высокая производительность процесса при низком качестве обработки. Производительность может достигать 3000 мм³/с при грубой поверхности и глубине измененного слоя в несколько миллиметров. На мягких режимах производительность составляет около 1 мм³/с при шероховатости поверхности $R_z = 80...20$ мкм и глубине микротрещин на твердых сплавах или закаливающих сталях до 0,3...0,5 мм. Во всех случаях отмечаются наплывы на кромках обработанной поверхности.

Электроконтактная обработка может выполняться как в воздушной, так и в жидкой среде. Производительность обработки почти линейно растет с увеличением напряжения и мощности источника питания. Этот метод применяют, в основном, для обработки крупногабаритных изделий. Он может быть использован для зачистки литых поверхностей и сварных швов.

Ультразвуковая обработка. Ультразвуковыми условно называют большую группу технологических процессов и операций разнообразного назначения, осуществляемых с обязательным присутствием механических упругих колебаний с частотой выше 16...18 кГц. В одних процессах ультразвуковые колебания используются для передачи в зону обработки необходимого количества энергии (размерная ультразвуковая обработка твердых материалов), в других служат средством интенсификации процессов (химических и электрохимических).

Ультразвуковая размерная обработка – это направленное разрушение твердых и хрупких материалов при помощи мельчайших зерен абразивного порошка, вводимых в виде суспензии в зазор между торцом специального инструмента и заготовкой и колеблющихся с ультразвуковой частотой. Под ударами зерен абразива скалываются мелкие частицы материала с поверхности заготовки. Обрабатываемая площадь и наибольшая глубина обработки зависят от сечения и свойств магнитострикционного материала, из которого изготовлен двигатель-преобразователь. Износ инструмента определяет срок его службы и оказывает существенное влияние на точность обработки. Изнашивание в продольном направлении происходит из-за разрушения торца инструмента при ударах по абразивным зернам и зависит от физико-механических свойств материала инструмента, а также от зернистости абразива. Поперечный износ является следствием побочного резания, которое совершается между боковой поверхностью инструмента и стенкой обрабатываемого отверстия, и зависит от величины паразитных колебаний инструмента в поперечном направлении, геометрии и профиля инструмента.

Ультразвуковой обработке поддаются хрупкие материалы (стекло, твердые сплавы и т. п.), частицы которых скалываются ударами зерен абразива. Вязкие материалы (незакаленная сталь, латунь) плохо обрабатываются ультразвуковым способом, так как в этом случае не происходит сколов. На рис. 3.52 изображена принципиальная схема ультразвуковой обработки.

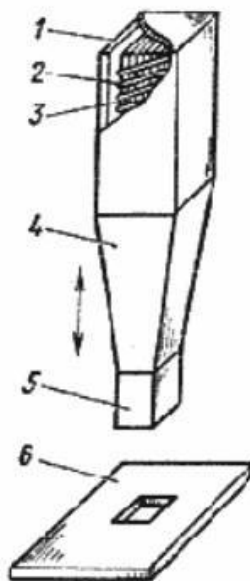


Рис.3.52. Схема ультразвуковой обработки

Корпус 1 головки охлаждается водой, которая циркулирует по внутренним каналам. При прохождении по обмотке 2 переменного тока в сердечнике 3 возникают продольные колебания. Сердечник изготавливается из материала, изменяющего длину при помещении его в переменное электромагнитное поле (явление магнитострикции). Колебания усиливаются в концентраторе 4 и передаются на инструмент 5 для обработки заготовки 6. Между инструментом и заготовкой находится абразивная суспензия. Ультразвуковая обработка используется, в основном, для изготовления отверстий разнообразного профиля в труднообрабатываемых материалах, а также для гравировки и маркировки. Материалом инструмента служат латунь, медь, чугун. Профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого отверстия.

3.10. Светолучевая обработка заготовок

Светолучевая обработка материалов проводится при помощи светового луча, излучаемого ОКГ – оптическим квантовым генератором (лазером).

Одним из важнейших элементов твердотельного ОКГ (рис. 3.53) является рубиновый (или иной) стержень (кристалл), содержащий небольшое количество атомов хрома, и газоразрядная лампа. Кратковременные вспышки лампы 1 возбуждают часть атомов стержня, приводя их в высшее энергетическое состояние за счет поглощения света. Возбужденные атомы могут отдавать свою энергию соседним атомам, которые, в свою очередь, переходят на более низкий энергетический уровень с мощным излучением волн различных

направлений. Волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражается от его плоскопараллельных торцов и быстро усиливается. Через полупрозрачный (нижний) торец стержня выходит мощный импульс красного света, проходящий через диафрагму 2, оптическую систему 3 и защитное стекло 4 на поверхность заготовки 5.

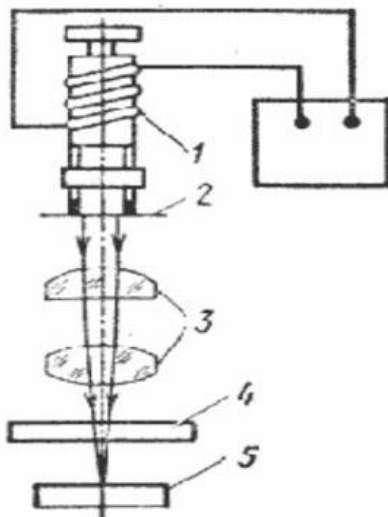


Рис.3.53. Схема светолучевой обработки

Процессы лазерной резки представлены на рис. 3.54.

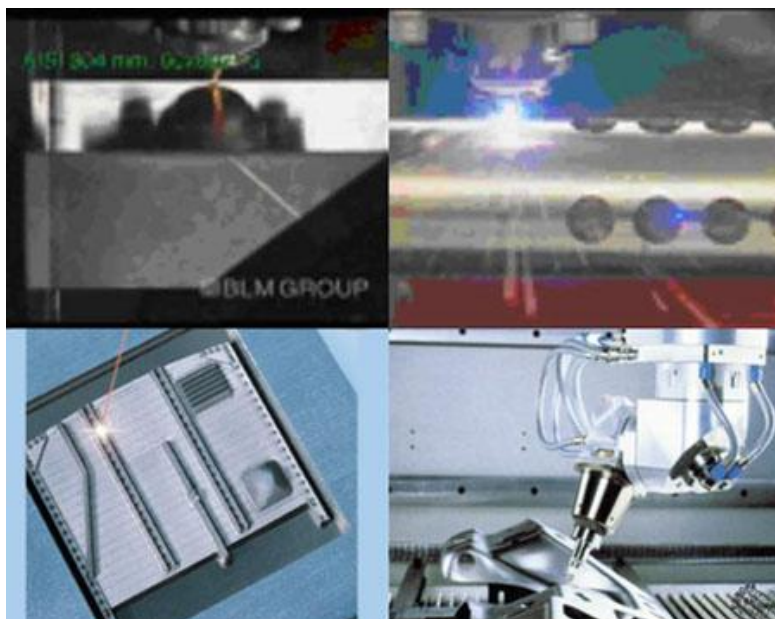


Рис.3.54. Лазерная обработка

Энергия излучения ОКГ промышленного типа невелика – 10...100 Дж, а КПД составляет 0,1...1%. Температура в точке приложения луча достигает величины 5500...9000 К, достаточной для расплавления или превращения в пар большинства конструкционных материалов. Больших значений температура достигает у материалов с высокой теплопоглощающей способностью, а меньшие значения имеет у материалов, полупрозрачных, с высокой отражательной способностью.

Обрабатываемость различных материалов световым лучом определяется, в основном, теплофизическими свойствами материалов (температура плавления и кипения, теплоемкость, теплопроводность).

Светолучевая обработка характеризуется высокой импульсной мощностью излучения и возможностью создания чрезвычайно высокой плотности энергии на небольшой площадке ($0,01 \text{ мм}^2$). Длительность импульса излучения ОКГ, в зависимости от режима работы, может колебаться в пределах $0,1 \dots 1,0$ мкс. Промышленное использование ОКГ для размерной обработки материалов ограничивается образованием отверстий диаметром от 10 до $0,5$ мкм и глубиной до $0,5$ мм в нержавеющей стали, вольфраме, алмазе и других труднообрабатываемых материалах.

3.11. Электроннолучевая обработка заготовок

Электроннолучевая обработка производится в вакуумной камере за счет превращения кинетической энергии свободных электронов в тепловую при их столкновении с поверхностью заготовки. Эмиссия свободных электронов производится, как правило, из вольфрамовой спирали накаливания, а разгоняются электроны в направленном электромагнитном поле. Электроны концентрируются в пучок диаметром в сотые доли миллиметра с помощью электромагнитных «линз» и «дюз». Температура в зоне удара электронов о поверхность заготовки может достигать $5 \dots 8$ тысяч градусов Цельсия, что достаточно для расплавления материала заготовки. Работа ведется в импульсном режиме, с длительностью импульсов $3 \dots 5$ мкс. Применяют эту технологию для обработки легко окисляющихся материалов.

3.12. Плазменная обработка заготовок

Существует три состояния вещества – твердое, жидкое и газообразное. Плазма – четвертое состояние, представляющее собой ионизированный газ, который образуется из электронов, положительно заряженных ионов, нейтральных и возбужденных атомов и молекул. Внешняя поверхность земной атмосферы накрыта плазменной оболочкой ионосферой, а, по мнению ученых, Солнце и звезды состоят из раскаленных ярких светящихся газов и находятся в плазменном состоянии. В природных условиях ярким представителем плазмы является молния – дуговой разряд в газах. На практике плазму можно наблюдать в неоновых рекламных лампах дневного света, электродуговых устройствах, при электросварке и различных плазменных способах обработки материалов.

Она может быть получена изотермическим и газообразным

способами. Изотермический способ заключается в нагреве газа до высоких температур, при которых происходит ионизация его за счет увеличения упругих столкновений атомов и молекул с образованием электронов и положительных ионов. При температуре 5000°K заканчивается диссоциация молекул на атомы и начинается процесс перехода газа в плазменное состояние, так как происходит разрушение внешних электронных оболочек атомов, которые превращаются в положительные ионы, а освободившиеся электроны, сталкиваясь с другими атомами, ионизируют их, производя дальнейшее увеличение ионов. Взаимодействие отдельных элементарных частиц можно рассматривать как упругие столкновения, при которых выделяется кинетическая энергия, обуславливающая нагрев газа. Растет количество упругих столкновений, вызывающих повышение температуры газа, а температура газа, в свою очередь, определяет степень ионизации газа. Этот процесс происходит лавинообразно. При температурах в несколько десятков тысяч градусов весь газ в определенном объеме воздействия таких температур превращается в плазму, где, в основном, существуют только положительные ионы и электроны.

На практике в качестве источника теплоты, обеспечивающего указанные температуры в довольно короткие промежутки времени, используются электрические дуги.

Электрическая дуга – это электрический разряд в газах, представляющий собой некоторый объем плазмы между разнополярными электродами, на поверхности которых в местах контакта с дугой образуются активные катодные и анодные пятна.

Катодное пятно является источником электронов, оно обеспечивает ионизацию газа в разряде, в основном, за счет термоэлектронной и автоэлектронной эмиссий. В результате электронных процессов на катоде в столб дуги поступает большое количество электронов, движущихся под действием электрического поля к аноду, производя на своем пути ионизацию газа. В анодной области образуется избыток положительных ионов, движущихся через столб дуги к катоду. Движущиеся направленно электроны и положительные ионы сталкиваются на своем пути с другими атомами и молекулами, производя дальнейшую ионизацию газа лавинообразно между электродами.

Температура газа в столбе электрической дуги при атмосферном давлении равна $5000...6000^{\circ}\text{K}$, которая повышается по мере увеличения давления газа. Экспериментально доказано существование электрических дуг с температурой столба выше $50\,000^{\circ}\text{K}$, где степень ионизации газа в дуге достигает 100%. Высокая температура, сконцентрированная на малой площади, делает электрический дуговой разряд источником тепловой энергии. Это происходит при электросварке, плазменной сварке и резке и других технологических процессах, требующих высокой концентрации тепловой энергии.

Как же и при каких условиях с помощью плазмы происходят эти процессы? При электросварке используются свободно горящие, короткие электрические дуги, их часто называют «открытые», температура которых достигает 6000°K . При плазменной обработке металлов используют так называемые сжатые дуги (плазменные). В них столб дуги обжат плазмообразующим газом в формирующем сопле специального плазмотрона, где происходит интенсивное плазмообразование, то есть получение высоких температур ($25\,000...50\,000^{\circ}\text{K}$) за несколько секунд. Плазмотроны служат для создания стабильной плазменной дуги и имеют различные конструктивные исполнения, хотя по способу образования плазмы отличаются незначительно. Во всех конструкциях плазмотронов присутствуют электродный узел, как правило – катод, и узел, формирующий плазменный столб дуги (формирующее сопло). Оба узла имеют принудительное охлаждение. В зависимости от давления, подаваемого через сопло, плазмообразующий газ одновременно выполняет функции плазмообразования, обжатия дуги и защиты сопла от высоких температур плазмы путем создания неионизированной холодной прослойки между столбом дуги и стенками сопла. Температура плазменной дуги регулируется диаметром сопла и количеством подаваемого через него газа. Чем меньше диаметр сопла и больше расход газа, тем больше температура плазменной дуги (диаметр сопел обычно колеблется от 0,6 до 10 мм).

Плазмообразующий газ подается в сопло продольным (соосным электроду) потоком плазмообразующего газа или вихревым (вводится в сопло тангенциально). Соосная подача газа требует высокой точности сборки плазмотрона и применяется, как правило, для сопел больших диаметров (более 4 мм), используемых для наплавки, сварки и получения плазменной струи. Более широкое распространение получили плазмотроны с вихревой стабилизацией дуги, которые надежнее в работе и позволяют получать большие температуры при использовании малых диаметров сопел (менее 4 мм). Коснувшись вопроса получения плазменной струи, необходимо остановиться на двух типах плазмотронов. Плазмотроны применяют для получения дуг прямого (прямая дуга) и косвенного действия (плазменная струя). Дуга прямого действия горит между электродом плазмотрона, как правило, – катодом, и изделием (анодом). Косвенная дуга горит внутри плазмотрона между электродом и соплом, а плазмообразующий газ подается через эту дугу и выдувает через сопло уже плазменную струю. При дуге прямого действия передача тепла от дуги к изделию значительно выше, чем при косвенной дуге, что обусловлено большим тепловыделением в активном пятне (аноде) на изделии.

Для резки, сварки, наплавки предпочтение отдают дугам прямого действия, а для напыления или нанесения покрытий используются косвенные дуги. Плазмотроны для резки более просты по конструкции

по сравнению с плазмотронами для других процессов, так как в этом случае не надо обеспечивать подачу газов и порошков через дополнительные встроенные сопла или приспособления. Чтобы получить плазменные дуги, существуют специальные источники питания постоянного тока с падающей вольтамперной характеристикой и высоким напряжением холостого хода (330...380 В). В отдельных случаях возможно использование стандартных сварочных источников, обеспечивающих напряжение холостого хода 110...120 В. При сварке, наплавке, напылении, нанесении покрытий используют как прямую, так и обратную полярность (плюс на электроде). Предпочтительнее использовать прямую полярность, когда электрод является катодом, так как температура на катоде значительно ниже, чем на аноде, и это обеспечивает их больший срок работы и более устойчивую дугу.

В качестве электродов используют водоохлаждаемые вставки в медь вольфрама, циркония, гафния. Наибольшей стойкостью в инертных газах, а также в присутствии водорода и азота обладают катоды из вольфрама с добавками лантана или итрия, работающие в режиме термоэлектронной эмиссии. Использование донорных окислительных газов (воздух, кислород, углекислый газ), обладающих значительным теплосодержанием, требует использования гафния или циркония. Плазмообразующий газ, в основном, выбирают в зависимости от технологических условий, качества, стоимости, теплосодержания и температуры. Так, для сварки и наплавки используют аргон, также применяют углекислый газ (для сталей), азот (для меди) или смеси этих газов. Для плазменной резки – воздух, кислород и воду.

Возбуждение плазменной дуги в плазмотронах обеспечивается с помощью осциллятора, создающего высокочастотный искровой разряд между электродом и соплом, который обеспечивает начальную ионизацию газового потока в течение короткого промежутка времени. Таким образом, люди, научившись получать плазму и управлять ею, успешно используют ее в различных технологических процессах, которые кратко освещены в данной статье. На рис. 3.55 представлен процесс плазменной резки с ручным управлением, а на рис. 3.56 – с автоматическим управлением.

Промышленное применение плазменной дуги для резки началось в начале 50-х годов 20-го века, и, с течением времени, плазменная резка NERTAJET завоевала все основные позиции, принадлежащие ранее другим способам механической или термической резки. Это способ, при котором газ под воздействием электрической дуги переходит в состояние плазмы и претерпевает эффект сжатия, проходя через охлажденную форсунку. На рис. 3.57 представлен процесс плазменной резки.



Рис.3.55. Ручная плазменная обработка

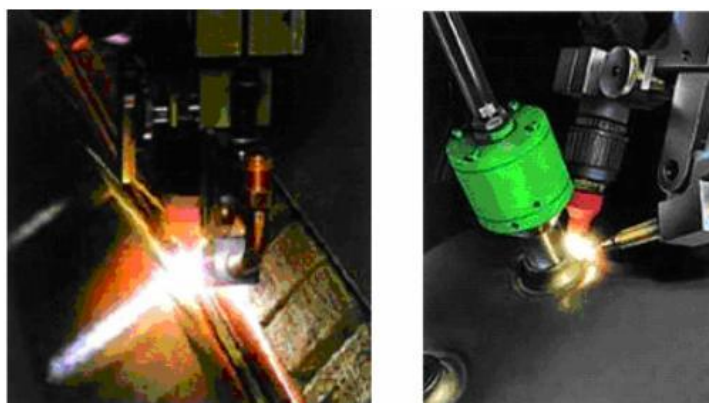


Рис.3.56. Автоматизированная плазменная обработка на специализированном оборудовании



Рис.3.57. Схема плазменной обработки

Способ плазменной резки используется для резки любых электропроводных материалов, но при этом качественные показатели резки (скорость, толщина и т.д.) зависят от используемого плазменного газа. Особый интерес плазменная резка представляет для предприятий, работающих с листовым металлом для выполнения следующих видов работ:

- резка нержавеющей стали и цветных металлов: классический способ кислородной резки в этом случае не может быть применен вообще, а лазерная резка, помимо выше указанных недостатков, ограничена возможностью резки только определенных толщин. К тому же неограниченные возможности и получаемое качество резки в сочетании с суммой вложенных инвестиций делают плазменную резку наиболее соответствующей запросам покупателя.

- резка углеродистых марок стали малой и средней толщины (< 30 мм).

- серийное производство металлических деталей.

- резка сложных геометрических форм, исключая деформацию разрезаемого материала.

Положительные стороны плазменной резки:

- высокая производительность, т.е. сравнительно более высокая скорость резки ;

- простота в подготовке к работе и запуске;

- стабильность качественных показателей резки;

- при необходимости, процесс может быть легко автоматизирован или роботизирован;

- незначительная зона термического воздействия;

- незначительное или полное отсутствие деформации разрезаемого материала.

В практике существуют различные виды плазменной резки, применяемые каждый в определенной области, в зависимости от используемого плазменного газа (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3.

Плазма с использованием нейтрального или раскисляющего газа	Плазма с использованием кислородосодержащего газа	Плазма с впрыском воды
Используемыми газами: азот, аргон или смесь аргона и водорода (иногда смесь азота и водорода). Обычно применяется для резки цветных металлов и нержавеющей стали. Плазма аргон-водород используется для ручной резки.	При этом методе в качестве плазменного газа используется сжатый воздух или чистый кислород. Обычно применяется для резки углеродистых марок стали. Плазма сжатый воздух используется для ручной резки.	При этом методе резки происходит комбинированный процесс смешивания газа (азота, сжатого воздуха или кислорода) с последующим впрыском воды. Применяется для резки любых электропроводных материалов. Уменьшает количество вредных выбросов. Метод используется только для автоматической резки.

Процесс плазменной резки можно описать следующим образом: плазменная струя образуется в резачке: газ под давлением, проходя через форсунку, под воздействием электрической дуги преобразуется в плазму. Высокотемпературный поток плазмы (от 10 000 до 25 000 °C) с огромной скоростью (от 500 до 1500 м/с) вырывается из отверстия

форсунки в форме цилиндрической колонны небольшого сечения, воздействует на разрезаемый материал, плавит металл и удаляет расплавленную массу, оставляя ровный и гладкий разрез.

Первоначально зажигание дуги происходит между электродом и форсункой с помощью источника высокочастотных импульсов или же в результате контакта (короткого замыкания) между электродом и форсункой. Для осуществления процесса резки дуга «переносится» на разрезаемый материал, поэтому способ плазменной резки применим только для электропроводных материалов. Источником электроэнергии, необходимой для образования плазмы, является генератор постоянного тока. Для охлаждения резака используется жидкость с высокой степенью теплопроводности и низкой степенью электропроводности. Таковой является деминерализованная вода. В установках плазменной резки небольшой мощности для охлаждения резака используется сжатый воздух.

3.13. Термическая и химико-термическая обработка заготовок

Термическая обработка металлов – процесс тепловой обработки металлов и сплавов с целью изменения их структуры, а следовательно, и свойств, заключающийся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью. Термическая обработка – одно из важнейших звеньев технологического процесса производства деталей машин и других изделий. Термическая обработка применяется как промежуточная операция для улучшения технологических свойств металла (обрабатываемости давлением, резанием и др.) и как окончательная – для придания ему комплекса механических, физических и химических свойств, обеспечивающих необходимые характеристики изделия. Основными видами термической обработки являются: отжиг, нормализация, закалка, отпуск, старение, термомеханическая обработка, обработка стали холодом, электротермическая обработка, химико-термическая обработка.

Отжиг производят для улучшения обрабатываемости металла или сплава, повышения пластичности материала, уменьшения остаточных напряжений, возникающих в результате предыдущих обработок, получения структур материала, близких к равновесному состоянию.

Нормализацию производят для повышения механических свойств стали, а также для улучшения ее обрабатываемости резанием (нормализация часто предшествует закалке).

Закалку производят для повышения твердости и износостойчивости поверхностного слоя стальной детали.

Отпуск термообработанной стали производят для того, чтобы уменьшить хрупкость и повысить пластичность закаленной стали с целью облегчения окончательной механической обработки детали.

Старение производят для снятия остаточных напряжений, повышения прочности и жаропрочности различных сплавов (при этом уменьшаются пластичность и ударная вязкость материала).

Термомеханическая обработка – один из перспективных путей повышения прочности конструкционных сплавов (обеспечивается очень высокий предел прочности – до 3 ГПа и более).

Обработку стали холодом применяют для деталей, изготовленных из стали с высоким содержанием углерода, с целью получения максимальной твердости и стабилизации размеров закаленных сталей.

Электротермическая обработка (индукционный, контактный и др. нагрев электрическим током) позволяет нагревать только поверхность изделий или отдельные их участки, отличается высокой скоростью нагрева, высокой производительностью и легкостью регулирования, улучшенными условиями труда.

Химико-термическая обработка металлов – тепловая обработка металлов в химически активной среде для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя металлического изделия. На производстве широко применяется химико-термическая обработка стали: насыщение поверхностных слоев углеродом (цементация), азотом (азотирование), углеродом и азотом (цианирование), алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование) и т.п.

Цементация производится с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности деталей. Также ее используют для науглероживания поверхностного слоя деталей из малоуглеродистых сталей с целью их последующей закалки.

Азотирование применяется для повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости (на воздухе и в воде), сопротивления усталости, для деталей, работающих при температурах 500...600 °С (гильзы цилиндров, коленчатые валы, детали топливной аппаратуры двигателей и др.).

Цианирование производится для повышения поверхностной твердости, износостойкости и усталостной прочности.

Алитирование применяется для защиты изделий от окисления при высоких температурах (до 1100 °С), для уменьшения схватываемости поверхностей (например, резьбовых соединений при эксплуатации в вакууме), повышения износостойкости, защиты от коррозии в средах, содержащих серу, азот и углерод.

Диффузионное **хромирование** производится для повышения жаростойкости, жаропрочности, сопротивления усталости, износостойкости, коррозионной стойкости в кислотах и морской воде, для придания нужных магнитных и электрических характеристик. При электролитическом хромировании на поверхность металлического изделия наносится хромовое покрытие для предотвращения коррозии,

повышения сопротивления механическому износу и придания декоративного вида.

Поверхностное или объемное **силицирование** производится для повышения антикоррозионных свойств материалов, их износостойкости и жаропрочности.

Металлические и неметаллические покрытия наносят на поверхности деталей с целью повышения их коррозионной стойкости, твердости их поверхностного слоя, износостойкости их трущихся поверхностей, исправления дефектов (пороков) поверхностей металлических деталей, а также улучшения внешнего вида деталей и изделий. Нанесение металлических и неметаллических покрытий выделяют в отдельные операции, которые проводят в конце технологического процесса изготовления детали или между операциями механообработки заготовки.

Глава 4. Технологический процесс и его структура

4.1. Основные определения

Технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда [2, 6].

Технологические процессы строятся по отдельным методам их выполнения (процессы механической обработки, сборки, литья, термической обработки, покрытий и т.д.). Очевидно, что многообразие технологических процессов так же велико, как и многообразие производственных процессов. В дальнейшем понятия и определения, относящиеся к ТП, будут даны применительно к техпроцессам изготовления деталей. Приведенное выше общее определение технологического процесса можно уточнить:

технологический процесс – это часть производственного процесса, связанная с изменением размеров, формы заготовки и (или) физических свойств ее материала.

Технологическая операция является основной структурной единицей ТП. Эта часть техпроцесса, связанная с обработкой одной или нескольких одновременно обрабатываемых заготовок, одним или несколькими одновременно работающими рабочими, на одном рабочем месте и непрерывно.

Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия или этого же изделия, но на другом рабочем месте. Например, обработка ступенчатого валика в центрах на токарном станке представляет собой одну технологическую операцию, если ее выполняют в такой последовательности:

- устанавливают заготовку в центрах, обтачивают валик с одного конца, снимают заготовку;
- переустанавливают хомутик и вторично устанавливают заготовку в центрах, обтачивают валик с другого конца.

Аналогичную по содержанию работу над валиком можно выполнить и за две операции:

- закрепить хомутик, установить заготовку в центра, обточить с одного конца и снять хомутик;
- закрепить хомутик на другом конце заготовки, установить ее в центрах и обточить с другого конца.

Однако, эти действия будут входить в разные операции, если вторичная установка и обработка второго конца валика последует не сразу после обработки первого конца, а с перерывом для обработки других заготовок партии (т.е. сначала все заготовки обрабатываются с одного конца, а потом все – с другого). Приведенный пример показывает, что состав операции устанавливают не только на основе

чисто технологических соображений, но и с учетом организационной целесообразности.

Несколько одноименных операций в техпроцессе изготовления одной детали может появиться и по чисто технологическим соображениям. Например, прежде, чем выполнять чистовую обработку какой-либо поверхности, разумнее фрезеровать какую-либо лыску, или просверлить поперечное отверстие, что «прервет» процесс, входящий в одну операцию.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки.

Кроме технологических операций в состав технологического процесса в ряде случаев, например, в поточном производстве и, особенно, при обработке на автоматических линиях и в гибких технологических комплексах, включаются вспомогательные операции (транспортные, контрольные, маркировочные, по удалению стружки и т.п.), не изменяя размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого изделия, но необходимые для осуществления технологических операций.

Установ – представляет собой часть технологической операции, выполняемую при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок.

Позиция – часть операции, выполняемая при фиксированном положении закрепленной обрабатываемой заготовки совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента, обрабатываемых поверхностей и параметров режима обработки.

Применительно к станкам с системой ЧПУ существует понятие

Элементарный переход – часть технологического перехода, выполняемая одним инструментом, над одним участком поверхности обрабатываемой заготовки, за один рабочий ход без изменения режима работы станка.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Например, установка заготовки, смена инструмента.

Рабочий ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки в направлении подачи.

Вспомогательный ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента

относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимого для подготовки рабочего хода.

Прием – это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

4.2. Классификация технологических процессов

В зависимости от условий производства и назначения проектируемого технологического процесса применяются различные виды и формы технологических процессов. Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий).

Единичный технологический процесс – это технологический процесс изготовления или ремонта изделий одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. Разработка единичных технологических процессов характерна для оригинальных изделий (деталей, сборочных единиц), не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, ранее изготовленными на предприятии (организации).

Унифицированный технологический процесс – это технологический процесс, относящийся к группе изделий (деталей, сборочных единиц), характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков.

Унифицированные технологические процессы подразделяются на типовые и групповые. Унифицированные технологические процессы находят широкое применение в мелкосерийном, серийном и частично в крупносерийном производствах. Применение унифицированных технологических процессов зависит от наличия специализированных участков, рабочих мест, переналаживаемой технологической оснастки и оборудования.

Типовой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовой технологический процесс характеризуется общностью содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы таких изделий и применяется как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса и как рабочий технологический процесс при наличии всей необходимой информации для изготовления детали, а также служит базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Групповой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но

общими технологическими признаками.

В соответствии с этим определением групповой технологический процесс представляет собой процесс обработки заготовок различной конфигурации, состоящий из комплекса групповых технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления определенной группы изделий. При этом под специализированным рабочим местом понимается рабочее место, которое предназначено для изготовления или ремонта одного изделия или группы изделий при общей наладке и отдельных под наладках в течении длительного интервала времени. Групповой технологический процесс может состоять также из одной групповой операции (однооперационный групповой технологический процесс).

Групповая технологическая операция характеризуется общностью используемого оборудования, технологической оснастки и наладки (при допущении только незначительной подналадки средств технического оснащения).

Групповые технологические процессы разрабатывают для всех типов производства только на уровне предприятия.

Перспективный технологический процесс – это технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

Рабочий технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по рабочей технологической и (или) конструкторской документации. Рабочий технологический процесс разрабатывают только на уровне предприятия и применяют для изготовления или ремонта конкретного предмета производства.

Проектный технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по предварительному проекту технологической документации.

Временный технологический процесс – это технологический процесс, применяемый на предприятии в течении ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены на более современный.

Стандартный технологический процесс – это технологический процесс, установленный стандартом. Под стандартным технологическим процессом понимается технологический процесс, выполняемый по рабочей технологической и (или) конструкторской документацией, оформленный стандартом (ОСТ, СТП) и относящийся к конкретному оборудованию, режимам обработки и технологической оснастке.

Комплексный технологический процесс – это технологический процесс, в состав которого включаются не только технологические операции, но и операции перемещения, контроля и очистки обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса.

Комплексные технологические процессы проектируются при создании автоматических линий и гибких автоматизированных производственных систем.

4.3. Оформление технологической документации

Разработанные технологические процессы оформляются на соответствующих технологических документах, степень подробности которых устанавливается в зависимости от типа и характера производства, а также от сложности и точности обрабатываемых изделий. В соответствии с гостами в технологической документации могут быть приняты приведенные ниже описания технологического процесса.

Маршрутное описание ТП, при котором производится сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Маршрутное описание технологических процессов обычно используется в единичном, мелкосерийном и опытном производствах. Операционное описание технологического процесса, при котором дается полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов; операционное описание технологических процессов применяется в серийном и массовом производствах и, для особо сложных деталей, в мелкосерийном и даже в единичном.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса, при котором дается сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. Маршрутно-операционное описание рекомендуется к применению в серийном, мелкосерийном и опытном производствах, когда изготавливаемое изделие включает в себя отдельные сложные и точные детали.

Выбор комплекта форм документов для технологического процесса производится в зависимости от типа и характера производства и видов разрабатываемых и применяемых технологических процессов. В соответствии с табл. 4.1 производится выбор комплекта форм технологической документации для используемого типа производства и вида технологического процесса.

В соответствии с установленным в ЕСТД положением, маршрутная карта является документом общего назначения, т.е. в этом документе можно описать технологический процесс любых видов работ, в том числе и сборочных. В то же время маршрутная карта является обязательным документом. При маршрутном описании технологического процесса его технологические операции излагаются укрупнено, т.е. без указания переходов и технологических режимов.

Таблица 4.1

Комплектность технологических документов в зависимости от различных типов производств и степени детализации описания технологического процесса

Наименование технологическ ого документа	Номер ГОСТа	У словное обозначение	Единичное и мелкосерийное производство			Серийное производство			Крупно серийное массовое и производство		
			Описание								
			Маршрут ное	Маршрут но- операци онное	Операци онное	Маршрут ное	Маршрут но- операци онное	Операци онное	Маршрут ное	Маршрут но- операци онное	Операци онное
Маршрутная карта	Гост 3.1105 -74	МК	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Карта технологическ ого процесса	Гост 3.1105 -74	КТП	+	-	+	++	-	-	-	-	-
Операционная карта	Гост 3.1105 -74	ОК	-	++	+	-	++	++	-	++	++
Карта эскизов	Гост 3.1105 -74	КЭ	-	+	+	+	-	-	-	+	++
Технологическ ая инструкция Комплектовоч ная карта	Гост 3.1105 -74	ТИ	+	+	+	+	+	+	++	-	+
	Гост 3.1105 -74	КК	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость оснастки	Гост 3.1105 -74	ВО	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость технологическ их документов	Гост 3.1105 -74	ВТД	+	+	+	+	+	+	+	+	+

++ - документ обязательный, + - документ разрабатывается по усмотрению предприятия – разработчика документов.

В случае необходимости указания переходов и технологических режимов для осуществления технологического процесса механической обработки и сборки пользуются картами технологического процесса или операционными картами. При операционном описании технологического процесса в комплект документов входит также маршрутная карта, являющаяся сводным документом.

4.4. Концентрация и дифференциация операции

К числу важных вопросов построения технологических процессов, в большой мере связанных с типом и серийностью производства и с конкретными производственными условиями, относится вопрос о степени концентрации или дифференциации операции.

Концентрацией (укрупнением) операции называется соединение нескольких простых технологических переходов в одну сложную операцию. Технологический процесс, построенный по принципу концентраций операций, состоит из небольшого числа сложных

операций. Достоинства концентрации операции состоят в том, что она может осуществляться объединением в одной операции предварительных (черновых) и окончательных (чистовых) переходов, а также объединением в одной операции нескольких простых переходов, заменой нескольких установов позициями и простых одноинструментных переходов сложными, совмещенными переходами с многоинструментной и многолезвийной обработкой одной или нескольких поверхностей.

При этом повышается точность взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при одном установе. Производительность обработки, за счет совмещения во времени нескольких технологических переходов и соответствующего сокращения общего основного времени, также растет. Растет производительность за счет сокращения затрат вспомогательного времени (в первую очередь, затрат времени на установку и снятия заготовок, на смену инструмента, на включение и выключение станка), а также сокращается длительность производственного цикла (за счет уменьшения межоперационного пролеживания, связанного с уменьшением общего числа технологических операций), а следовательно, и объем незавершенного производства, что приводит к повышению оборачиваемости оборотных средств. Кроме того, упрощается календарное планирование производства.

При построении операции по принципу концентрации возрастают требования к точности и технологическим возможностям станков и к квалификации рабочих, так как в сложных концентрированных операциях рабочему высокой квалификации приходится выполнять как сложную чистовую обработку, так и предварительную обработку на черновых переходах.

Дифференциацией (раздроблением) операций называется построение операций из большого числа простых технологических переходов. Таким образом, технологический процесс, построенный по принципу дифференциации операций, состоит из большого числа простых операций.

В современном производстве используются оба названных принципа построения технологических процессов, которые выбираются технологами в зависимости от конкретных условий производства.

Достоинства дифференциации операций, в первую очередь, связаны с возможностью отделения сложной и точной чистовой обработки, требующей высокой квалификации рабочих и высокоточных станков, от предварительной неточной обработки, которая может быть осуществлена простейшими и высокопроизводительными способами на простых и дешевых станках рабочими средней квалификации.

Степень дифференциации зависит от серийности производства и, в условиях крупносерийного производства, может стать экономически целесообразным построение технологического

процесса из большого числа простейших операций, выполняемых в едином ритме на простых станках, связанных конвейером.

В условиях единичного и мелкосерийного производств обычно проектируются концентрированные операции, выполняемые высококвалифицированными рабочими.

В условиях крупносерийного и массового производств применяется дифференциация операций (конвейерные автоматические линии, состоящие из простых узкоспециализированных станков) и их концентрация на сложных многошпиндельных автоматах, обрабатывающих центрах, автоматизированных производственных системах, состоящих из станков с ЧПУ и обрабатывающих центров, управляемых от ЭВМ.

В условиях предприятий средней серийности концентрация операций осуществляется на станках с ЧПУ и быстро переналаживаемых агрегатных станках и автоматах, а принцип дифференциации используется на переменнo-поточных линиях групповой обработки. В условиях крупного и тяжелого машиностроения технологические процессы строятся в основном по принципу их концентрации с применением переносных станков.

Выбор степени концентрации технологических операций (наиболее целесообразный для конкретных условий производства) осуществляется при назначении структуры операций, определяющей возможность совмещения во времени выполнения технологических и вспомогательных переходов и соответствующего снижения трудоемкости операций.

4.5. Типы производств и их основные характеристики

Тип производства – совокупность его организационных, технических и экономических особенностей.

Тип производства, определяется следующими факторами:

- номенклатурой выпускаемых изделий;
- объемом выпуска в заданную единицу времени, как правило, в год;
- степенью постоянства номенклатуры выпускаемых изделий;
- характером загрузки рабочих мест.

Различают три типа производств:

- единичное;
- серийное;
- массовое.

По типам производства классифицируются предприятия, участки и отдельные рабочие места. Тип производства предприятия определяется типом производства ведущего цеха, а тип производства цеха – характеристикой участка, где выполняются наиболее ответственные операции и сосредоточена основная часть производственных фондов.

Отнесение завода к тому или иному типу производства носит условный характер, поскольку на предприятии и даже в отдельных цехах может иметь место сочетание различных типов производств.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых изделий, малым объемом их выпуска, выполнением на каждом рабочем месте весьма разнообразных операций.

В серийном производстве изготавливается относительно ограниченная номенклатура изделий (партиями). За одним рабочим местом, как правило, закреплено несколько операций.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение продолжительного времени на узкоспециализированных рабочих местах.

Тип производства оказывает решающее влияние на особенности организации производства, его экономические показатели, структуру себестоимости (в единичном производстве высока доля живого труда, а в массовом – затраты на ремонтно-эксплуатационные нужды и содержание оборудования), разный уровень оснащенности. Сравнение характеристики различных типов производств приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

№, п/п	Характеристики типов производства	Единичное	Серийное	Массовое
1.	Номенклатура изготавливаемых изделий	Большая	Ограниченная	Малая
2.	Постоянство номенклатуры	Отсутствует	Имеется	Имеется
3.	Объем выпуска	Малый	Средний	Большой
4.	Закрепление операций за рабочими местами	Отсутствует	Частичное	Полное
5.	Применяемое оборудование	Универсальное	Универсальное + специальное (частично)	В основном специальное
6.	Применяемые инструменты и оснастка	Универсальные	Универсальное + специальное	В основном специальное
7.	Квалификация рабочих	Высокая	Средняя	В основном низкая
8.	Себестоимость продукции	Высокая	Средняя	Низкая
9.	Производственная специализация цехов и участков	Технологическая	Смешанная	Предметная.

Характеристики, приведенные в табл. 4.2, требуют хотя бы кратких пояснений. Сделаем это для каждого типа производства.

Единичное производство. Номенклатура изготавливаемых изделий многообразна, т.к. количество каждого вида изделия изготавливается или в единичном количестве, или в малом. Нужно же что-то делать оставшуюся часть года, вот и идут постоянные поиски других заказов.

Отсутствие постоянства номенклатуры объясняется тем, что тот, кому требуется много одноименных изделий, не станет размещать заказ на предприятии единичного производства, т.к. там только универсальное, а значит малопроизводительное оборудование.

Закрепление операций за рабочими местами бессмысленно, т.к. даже двух одинаковых операций может не быть. Оборудование вынужденно универсальное, т.к. только универсальное оборудование обладает высокой гибкостью – переходит от выпуска одного вида продукции, к выпуску другого, с минимальными затратами времени и средств.

Многообразие изготавливаемых изделий автоматически предполагает необходимость уметь если не все, то очень многое, т.е. иметь высокую квалификацию. Это автоматически предопределяет, что высококвалифицированному рабочему приходится заниматься не только сложной, но и простейшей работой и все операции выполняются только последовательно, а отсюда высокая себестоимость продукции и низкая производительность труда в единичном производстве.

Массовое производство. Это длительное производство одних и тех же изделий в огромных количествах.

Очевидно, что выпуск большого количества изделий требует максимальной производительности труда и минимальной стоимости изделий, иначе так много изделий просто не продать. Снижение себестоимости изделий возможно, при прочих равных условиях, только за счет повышения производительности труда, которая, в свою очередь, обеспечивается только высокопроизводительным специальным оборудованием.

Высокая степень автоматизации массового производства сводит управление оборудованием к простому нажатию кнопки, для чего не требуется высокой квалификации. Однако, при низкой квалификации основной массы работников массового производства, оно требует наличия пусть небольшого количества, но очень квалифицированных наладчиков.

Серийное производство – широкая и многообразная область производства, поэтому его принято делить на три разновидности:

- мелкосерийное производство;
- среднесерийное производство;
- крупносерийное производство.

Мелкосерийное производство по своим характеристикам очень близко стоит к единичному типу производства, а **крупносерийное** – к массовому.

Среднесерийное, или просто серийное производство имеет своего рода «усредненные» характеристики.

Как эти характеристики технологически обеспечиваются, будет изложено в следующих главах.

Глава 5. Точность обработки заготовок приборов

Точность большинства изделий приборостроения является важнейшей характеристикой их качества [2, 3, 6]. Современные мощные и высокоскоростные машины и приборы не могут функционировать при недостаточной точности их изготовления в связи с возникновением дополнительных динамических нагрузок и вибраций, нарушающих нормальную работу изделий и вызывающих их разрушение.

Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает долговечность и надежность эксплуатации механизмов и приборов. Этим объясняется непрерывное ужесточение требований к точности изготовления деталей и приборов в целом. Если недавно в приборостроении под точными понимались детали, изготовленные в пределах допусков в несколько сотых долей миллиметра, то в настоящее время для некоторых точных изделий требуются детали с допусками на размеры в несколько микрометров или даже десятых долей микрометра.

Важное значение имеет повышение точности и для процесса производства изделий. Повышение точности исходных заготовок снижает трудоемкость механической обработки, уменьшает размеры припусков на обработку заготовок и приводит к экономии металла. Получение точных и однородных заготовок на всех операциях технологического процесса является одним из неперенных условий автоматизации обработки и сборки.

Повышение точности механической обработки устраняет пригоночные работы на сборке, позволяет осуществить принцип взаимозаменяемости деталей и узлов и ввести поточную сборку, что не только сокращает трудоемкость последней, но также облегчает и удешевляет проведение ремонта изделий в условиях их эксплуатации.

При решении проблемы точности в приборостроении технолог должен обеспечить:

- требуемую конструктором точность изготовления деталей и сборки прибора при одновременном достижении высокой производительности и экономичности их изготовления;
- необходимые средства измерения и контроля фактической точности обработки и сборки;
- установку допусков технологических межоперационных размеров и размеров исходных заготовок и их выполнение в ходе технологического процесса.

Кроме того, технолог должен исследовать фактическую точность установленных технологических процессов и проанализировать причины возникновения погрешностей обработки и сборки.

Под точностью деталей понимается их соответствие требованиям чертежа по размерам, геометрической форме и взаимному

расположению поверхностей.

Заданную точность обработки заготовки можно достигнуть одним из двух принципиально отличных методов:

- методом пробных ходов и промеров;
- методом автоматического получения размеров на настроенном оборудовании.

5.1. Метод пробных ходов и промеров

Сущность метода заключается в том, что к обрабатываемой поверхности заготовки, установленной на станке, подводят режущий инструмент и с короткого участка заготовки снимают пробную стружку. После этого, станок останавливают, делают пробный замер полученного размера, определяют величину его отклонения от чертежного и вносят поправку в положение инструмента, которую отсчитывают по делениям лимба станка. Затем вновь производят пробную обработку («ход») участка заготовки, новый пробный замер полученного размера и, при необходимости, вносят новую поправку в положение инструмента (см. рис.5.1).

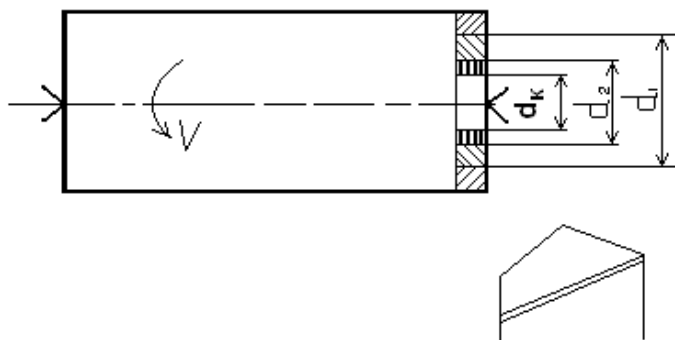


Рис.5.1. Схема реализации метода пробных ходов и промеров

Таким образом, путем пробных ходов и промеров устанавливают правильное положение инструмента относительно заготовки, при котором обеспечивается требуемый размер [2, 3, 6]. После этого, выполняют обработку заготовки по всей ее длине. При обработке следующей заготовки всю процедуру установки инструмента пробными ходами и промерами повторяют. В методе пробных ходов и промеров часто применяют разметку. В этом случае на поверхность исходной заготовки специальными инструментами (чертилкой, штангенрейсмусом и др.) наносят тонкие линии, показывающие контур будущей детали, положение центров будущих отверстий или контуры выемок и окон. При последующей обработке рабочий стремится совместить траекторию перемещения режущего инструмента с линией разметки заготовки и

обеспечить, тем самым, требуемую форму обрабатываемой поверхности. Метод пробных ходов и промеров имеет высокую точность обработки. Рабочий высокой квалификации путем пробных ходов и промеров может определить и устранить погрешность заготовки, возникшую при ее обработке на неточном станке.

При обработке партий мелких заготовок метод исключает влияние износа режущего инструмента на точность выдерживаемых при обработке размеров: при пробных промерах и ходах определяют и вносят необходимую поправку в положение инструмента, требуемую в связи с износом последнего. При неточной заготовке позволяет правильно распределить припуск и предотвратить появление брака. Из маломерной заготовки при разметке часто удается выкроить контур обрабатываемой заготовки и получить годное изделие. Освобождает рабочего от необходимости изготовления сложных и дорогостоящих приспособлений типа кондукторов, поворотных и делительных приспособлений и др. Положение центров отверстий и взаимное расположение обрабатываемых поверхностей предопределяется разметкой. Вместе с тем, метод пробных ходов и промеров имеет ряд серьезных недостатков.

1. Зависимость достигаемой точности обработки от минимальной толщины снимаемой стружки. При токарной обработке доведенными резцами эта толщина не меньше 0,005 мм, а при точении обычно заточенными резцами она составляет 0,02 мм (при некотором затуплении резца даже 0,05 мм). Очевидно, что при работе пробными ходами и промерами, рабочий не может внести в размер заготовки поправку менее толщины снимаемой стружки, а следовательно, и гарантировать получение размера с погрешностью, меньшей этой толщины.

2. Появление брака по вине рабочего, от внимания которого в значительной степени зависит достигаемая точность обработки.

3. Низкая производительность обработки из-за больших затрат времени на пробные ходы, промеры и разметку.

4. Высокая себестоимость обработки заготовок вследствие низкой производительности обработки в сочетании с высокой квалификацией рабочего, требующей повышенной оплаты труда.

5. Не гарантирует отсутствие брака при полном соблюдении правил реализации метода.

Пятый пункт требует пояснений. Условия обработки обрабатываемой поверхности после завершения пробных ходов и промеров отличается от условий «проб» как минимум одним параметром – глубиной резания t , а значит и деформацией, т.е. погрешностью обработки. Кроме того, свойства и материала заготовки, и ее геометрические погрешности, и жесткость могут существенно изменяться по траектории обработки.

В связи с перечисленными недостатками метода пробных ходов и

промеров он используется, как правило, при единичном или мелкосерийном производстве изделий, в опытном производстве, а также в ремонтных и инструментальных цехах. Особенно часто этот метод применяется в тяжелом машиностроении. При серийном производстве этот метод находит применение для получения годных деталей из неполноценных исходных заготовок («спасение» брака по литью и штамповке).

5.2. Метод автоматического получения размеров на настроенном оборудовании

Этот метод, в значительной мере, свободен от недостатков, свойственных методу пробных ходов и промеров [2, 3, 6]. Он представлен на рис. 5.2.

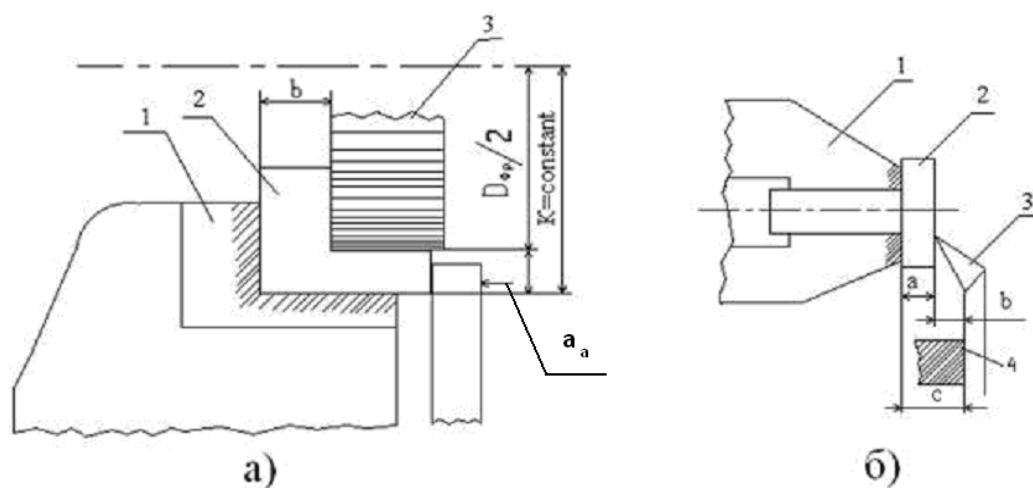


Рис.5.2. Обработка заготовок по методу автоматического получения размеров на настроенном оборудовании

При обработке заготовок по методу автоматического получения размеров станок предварительно настраивается таким образом, чтобы требуемая от заготовки точность достигалась автоматически, т.е. почти независимо от квалификации и внимания рабочего.

При фрезеровании заготовки 2 на размеры a и b (рис. 5.2, а) стол фрезерного станка предварительно устанавливают по высоте таким образом, чтобы опорная поверхность неподвижной губки 1 тисков отстояла от оси вращения фрезы на расстояние $K = D_{фр}/2 + a$. При этом боковую поверхность фрезы 3 удаляют (поперечным перемещением стола) от вертикальной поверхности неподвижной губки на расстояние b . Эту предварительную настройку станка можно производить по любому методу, включая метод пробных ходов и промеров. После такой настройки выполняют обработку всей партии заготовок без их промежуточных промеров (исключая выборочные контрольные промеры) и без дополнительных перемещений стола станка в поперечном и вертикальном направлениях. Так как в процессе

обработки размеры **К** и **В** остаются неизменными, то и точность размеров **а** и **В** обрабатываемых заготовок, обработанных с данной настройкой станка, должна быть одинаковой.

Равным образом при подрезке торца заготовки **2** (рис. 5.1, б) размер **а** заготовки определяется расстоянием **с** от торца зажимного приспособления **1** до поверхности упора **4**, ограничивающего перемещение резца **3**, а также расстоянием **В** от поверхности упора **4** до вершины режущего лезвия резца. При постоянстве этих размеров, устанавливаемых в процессе предварительной настройки станка, точность размера **а** обрабатываемой заготовки сохраняться неизменной.

Следовательно, при использовании метода автоматического получения размеров на настроенных станках задача обеспечения требуемой точности обработки переносится с рабочего-оператора на настройщика, выполняющего предварительную настройку станка, на инструментальщика, изготавливающего специальные приспособления, и на технолога, назначающего технологические базы и размеры заготовки, а также определяющего метод ее установки и крепления и конструкцию необходимого приспособления. К преимуществам метода автоматического получения размеров на настроенном оборудовании относятся:

- повышение точности обработки и снижение брака;
- точность обработки не зависит от минимально возможной толщины снимаемой стружки (так как припуск на обработку на настроенном станке устанавливают заведомо больше этой величины) и от квалификации и внимательности рабочего;
- рост производительности обработки за счет устранения потерь времени на предварительную разметку заготовки и осуществление пробных ходов и промеров;
- специалист на настроенном станке по упорам, а не по пробным ходам и промерам, проводит работу более уверенно и спокойно;
- в процессе обработки возникает определенный ритм целесообразных и продуманных движений, дающих наименьшую утомляемость и высокую производительность;
- рациональное использование рабочих высокой квалификации;
- работу на настроенных станках могут производить ученики и малоквалифицированные рабочие-операторы, а в дальнейшем, с ростом автоматизации производственных процессов, она будет полностью возложена на станки-автоматы и промышленные роботы;
- высококвалифицированные рабочие выполняют настройку станков и обслуживают одновременно по 8...12 станков;
- метод не исключает вероятности появления брака.

Все причины возможного брака при использовании метода пробных ходов и промеров сохраняются в различной степени и здесь. И, если колебания глубины резания здесь обусловлены, в основном, геометрическими погрешностями заготовки и нестабильностью

жесткости заготовок, то эти и другие непостоянства в пределах партии заготовок проявляются в гораздо большей степени, чем в пределах одной заготовки. К тому же набегает погрешности износа инструмента, что требует своевременной поднастройки оборудования.

Преимущества метода автоматического получения размеров на настроенных станках определяют его широкое распространение в условиях современного серийного и массового производства. Использование этого метода в условиях мелкосерийного производства ограничивается некоторыми экономическими соображениями:

- потери времени на предварительную настройку станков могут превзойти выигрыш времени от автоматического получения размеров;
- затраты на изготовление однородных и точных заготовок, требуемых для работы на настроенных станках, могут не окупиться при малых количествах выпускаемой продукции;
- тщательная технологическая подготовка производства с подробной разработкой технологических процессов и схем настройки станков неосуществима в условиях мелкосерийного и многономенклатурного производства.

Каждый из рассмотренных методов достижения заданной точности неизбежно сопровождается погрешностями обработки, вызываемыми различными причинами систематического и случайного характера. Соответственно погрешности, возникающие вследствие этих причин, подразделяются на систематические и случайные.

5.3. Систематические погрешности обработки

Систематическая погрешность – это такая погрешность, которая для всех заготовок рассматриваемой партии остается постоянной или же закономерно изменяется при переходе от каждой обрабатываемой заготовки к следующей [2, 3, 6].

В первом случае погрешность принято называть постоянной систематической погрешностью (часто именуемой для краткости систематической погрешностью), а во втором случае – переменной систематической (или функциональной) погрешностью.

Причинами возникновения систематических и переменных систематических погрешностей обработки заготовок являются:

- неточность, износ и деформации станков, приспособлений и инструментов;
- деформации обрабатываемых заготовок;
- тепловые явления, происходящие в технологической системе и в смазочно-охлаждающей жидкости;
- погрешности теоретической схемы обработки заготовки.

5.3.1. Погрешности, возникающие вследствие неточности, износа и деформации станков

Погрешности изготовления и сборки станков ограничиваются нормами ГОСТов, определяющими допуски и методы проверки геометрической точности станков, которая, как правило, определяется в их ненагруженном состоянии. Ниже приведены некоторые усредненные характеристики геометрической точности (в миллиметрах) станков общего назначения.

- Радиальное биение шпинделей токарных и фрезерных станков (на конце шпинделя).....0,01...0,015.
 Биение конического отверстия в шпинделе:
 - токарного и фрезерного станков
 на длине оправки 300 мм.....0,02;
 - вертикально-сверлильных станков
 на длине оправки 100...300 мм.....0,03...0,05;
 - торцовое (осевое) биение шпинделя.....0,01...0,02.

Приведенные ориентировочные данные относятся к станкам нормальной точности (станки группы Н), предназначенные для обработки заготовок средних размеров в пределах допусков 7...9-го квалитетов. Характеристики геометрической точности, т.е. геометрической погрешности станков более высоких точностных групп, значительно уменьшаются, а трудоемкость их изготовления резко возрастает и по отношению к характеристикам станков нормальной точности составляют в процентах к погрешностям и трудоемкости изготовления станков нормальной точности следующие соотношения, представленные в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Группы станков	Погрешность, %	Трудоемкость, %
Станки нормальной точности (группа Н)	100	100
Станки повышенной точности (группа П)	60	140
Станки высокой точности (группа В)	40	200
Станки особо высокой точности (группа А)	25	280
Станки особо точные (группа С)	16	450

Погрешности геометрической точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки в виде систематических погрешностей. Величина этих систематических погрешностей поддается предварительному анализу и расчету. Например, при непараллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости цилиндрическая поверхность обрабатываемой заготовки, закрепленной в патроне станка, превращается в коническую. При этом изменение радиуса r заготовки равно линейному отклонению a оси от

параллельности по отношению к направляющим на длине заготовки, т.е. $r_{\max} = r + a$. При не параллельности оси шпинделя относительно направляющих в вертикальной плоскости обрабатываемая поверхность приобретает форму гиперболоида вращения, наибольший радиус которого $r_{\max} = \sqrt{r^2 + b^2}$, где b – линейное отклонение оси шпинделя от параллельности по отношению к направляющим в вертикальной плоскости на длине L обрабатываемой заготовки.

5.3.2. Погрешности, связанные с неточностью и износом режущего инструмента

Неточность режущего инструмента (особенно мерного инструмента типа развёрток, зенкеров, протяжек, концевых фрез, фасонного инструмента) во многих случаях непосредственно переносится на обрабатываемые заготовки, обуславливая получение систематических погрешностей формы и размеров обработанных поверхностей. Однако, в связи с тем, что точность изготовления режущего инструмента на специальных инструментальных заводах или в инструментальных цехах машиностроительных заводов обычно достаточно высока, неточность изготовления инструментов практически мало отражается на точности изготовления деталей. Значительно большее влияние на точность обработки заготовок оказывают погрешности режущего инструмента, связанные с его износом. Износ режущего инструмента при работе на настроенных станках по методу автоматического получения размеров приводит к возникновению переменных систематических погрешностей обработки. При чистовой обработке заготовок износ резцов происходит по их задней поверхности, что вызывает отдаление вершины от центра вращения заготовки на величину радиального износа и соответствующее увеличение радиуса обточки (или уменьшение радиуса расточки). На рис. 5.3 представлена типовая кривая износа инструмента в процессе его работы.

В соответствии с общими закономерностями износа при трении – скольжении в начальный период работы инструмента, называемый периодом начального износа (участок I на рис. 5.3), износ наиболее интенсивен. В период начального износа происходит приработка режущего лезвия инструмента, сопровождающаяся выкрашиванием отдельных неровностей и заглаживанием штрихов – следов заточки режущих граней. В этот период шероховатость обработанной поверхности обычно постепенно уменьшается.

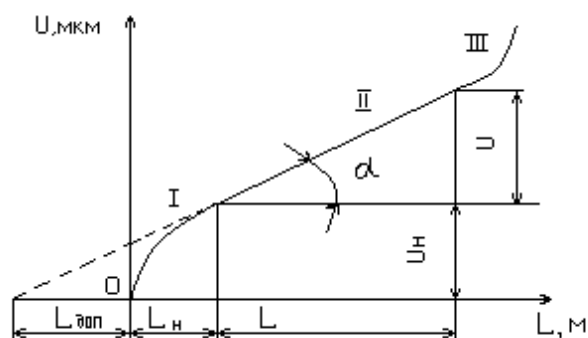


Рис.5.3. Зависимость износа инструмента U от длины пути резания

Начальный износ U_n и его продолжительность L_n (т.е. продолжительность приработки инструмента) зависят от материалов режущего инструмента и изделия, качества заточки, а также от доводки инструмента и режимов резания. Обычно продолжительность начального износа, выраженная длиной « L » пути резания, находится в пределах 500...2000 м (первая цифра соответствует хорошо доведённым инструментам, вторая – заточенным инструментам). Вторым периодом износа (участок II) характеризуется нормальным износом инструмента, прямо пропорциональным пути резания. Интенсивность этого периода износа принято оценивать относительным (удельным) износом U_o , определяемым формулой $U_o = U / L$, где U – размер износа в мкм на пути резания L ; L – путь резания в зоне нормального износа в км. Длина L пути резания в период нормального износа при обработке стали резцами Т15К6 может достигать 50 км.

Третий период износа (участок III) соответствует наиболее интенсивному катастрофическому износу, сопровождающемуся значительным выкрашиванием и поломками инструмента, недопустимыми при нормальной эксплуатации инструмента.

5.3.3. Погрешности, обусловленные упругими деформациями технологической системы под влиянием нагрева

При непрерывной работе станка происходит постепенное нагревание элементов технологической системы, вызывающее появление переменной систематической погрешности обработки заготовок. Основными причинами нагревания станков и их отдельных частей (шпиндельных бабок, столов, станин и др.) являются потери на трение в подвижных механизмах станков (подшипниках, зубчатых передачах), гидроприводах и электроустройствах, во встроенных электромоторах, а также теплопередача от охлаждающей жидкости, отводящей теплоту от зоны резания, и нагревания от внешних источников (местное нагревание от близко расположенных батарей, солнечных лучей, охлаждение через фундамент).

Важное влияние на точность обработки оказывает нагревание

шпиндельных бабок. При работе станка происходят постепенное разогревание шпиндельных бабок и их смещение в вертикальном и горизонтальном (на рабочего) направлениях. При этом температура в различных точках корпуса бабки изменяется на величину от 10 до 50 градусов С. Наибольшая температура нагрева наблюдается в местах расположения подшипников шпинделя и подшипников быстроходных валов, температура которых обычно на 30...40 % выше средней температуры корпусных деталей, в которых они смонтированы.

5.3.4. Погрешности теоретической схемы обработки

При обработке некоторых сложных профилей фасонных изделий сама схема обработки предполагает определённые допущения и приближённые решения кинематических задач и упрощения конструкции режущих инструментов, вызывающие появление систематических погрешностей обработки (обычно систематических погрешностей формы).

Например, при нарезании зубчатых колес червячными фрезами теоретическая схема операции (качение нарезаемого зубчатого колеса по прямолинейной рейке осевого сечения червячной фрезы) заведомо нарушается наклоном канавки, образующей режущие лезвия фрезы, что ведёт к появлению систематической погрешности эвольвентного профиля зуба. Аналогично возникают погрешности эвольвенты зуба в процессе его строгания долбьями в связи с нарушением правильного профиля последних при образовании переднего угла при заточке.

При нарезании зуба модульными фрезами систематическую погрешность профиля зуба вызывает несоответствие количества нарезаемых зубьев расчётному числу, для которого спроектирована фреза.

При фрезеровании и нарезании резьбы вращающимися резцами (вихревое нарезание, см. рис. 5.4) кинематическая схема операции предопределяет искажения окружности резьбы, заменяя дуговые участки этой окружности хордами, длина которых зависит от соотношения скоростей вращения заготовки и резьбового резца.

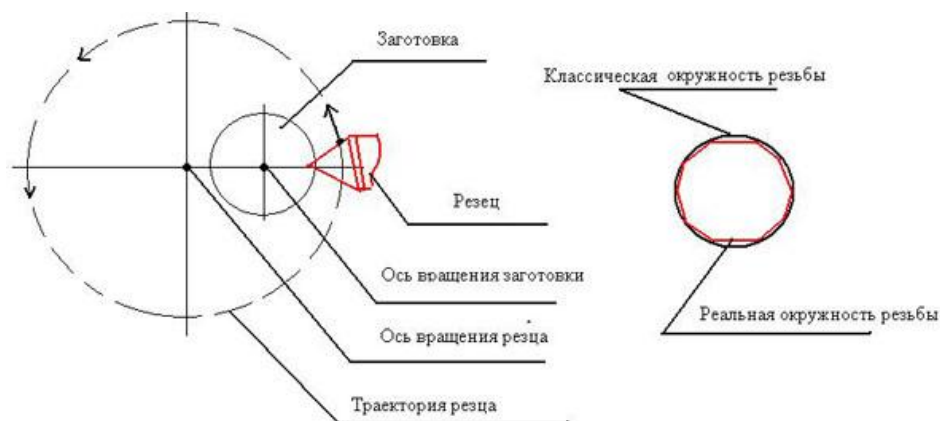


Рис.5.4. Схема вихревого нарезания резьбы

5.3.5. Погрешности, вызываемые упругими деформациями заготовки

Под технологической системой принято понимать совокупность станка, приспособления, заготовки и инструмента. Математическая модель реальных технологических систем достаточно сложна, да и весьма приближенна. Кроме того, при неизменных элементах технологической системы (станок, приспособление, инструмент) мы имеем дело с таким многообразием заготовок, что разработка адекватных математических моделей с учетом этого многообразия становится просто не реальной. Тем не менее, упругие деформации заготовки могут столь существенно влиять на точность изготовления детали, что не учитывать этого влияния нельзя.

Представилось целесообразным выделять из общей технологической системы заготовки с теми элементами станков и (или) приспособлений, с которыми заготовка контактирует непосредственно (см. рис. 5.5).

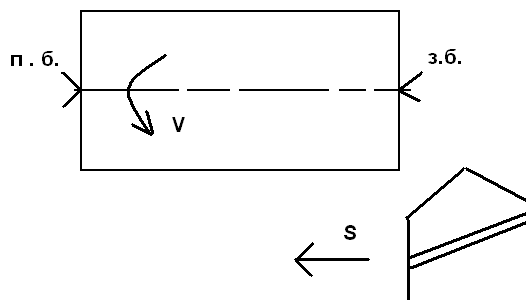


Рис.5.5. Схема обработки цилиндрической заготовки в центрах токарного станка

Как известно, под жесткостью элемента технологической системы принято понимать отношение силы, приложенной к этому элементу, к деформации элемента в направлении действия силы, т.е. $J = P / y$, Н/м или кгс/мм.

Очевидно, что, чем больше жесткость элемента, тем меньше его деформация под действием конкретной силы и наоборот. Погрешности, обусловленные упругими деформациями заготовки, зависят не только от ее жесткости, но и от соотношения этой жесткости с жесткостью контактирующих с заготовкой элементов технологической системы. В примере, изображенном на рисунке 5.4. это жесткости передней бабки ($j_{п.б.}$) и жесткость задней бабки ($j_{з.б.}$). Рассмотрим два противоположных варианта:

- 1) $j_{п.б.} \text{ и } j_{з.б.} \gg j_{заг.}$;
- 2) $j_{п.б.} \text{ и } j_{з.б.} \ll j_{заг.}$

Очевидно, что в первом случае при расположении резца в середине заготовки суммарная деформация заготовки и обеих бабок, а значит и отход резца от заготовки, будет максимальной. Минимальная деформация будет при нахождении резца напротив задней и передней

бабок. Очевидно, что при таком соотношении жесткостей мы получим погрешность формы в виде бочкообразности. Очевидно также, что при втором условии мы получим тоже бочкообразность, но величина ее будет значительно меньшей. Следует лишь добавить, что действующей в этих случаях силой является составляющая силы резания P_y , а расчет ведется по формулам сопромата с учетом размеров, формы и свойств материала заготовки, а также с учетом реального расположения и характера опор.

5.4. Случайные погрешности обработки

В процессе обработки партии заготовок на настроенных станках их размеры непрерывно колеблются в определённых границах, отличаясь друг от друга и от настроенного размера на величину случайной погрешности.

Случайная погрешность – это такая погрешность, которая для разных заготовок рассматриваемой партии имеет различные значения, причем её появление не подчиняется видимой закономерности.

В результате возникновения случайных погрешностей происходит рассеяние размеров деталей, изготовленных при одних и тех же условиях. Рассеяние размеров вызывается совокупностью многих причин случайного характера, не поддающихся точному предварительному определению и проявляющих свое действие одновременно и независимо друг от друга. К таким причинам относятся:

- колебания твердости обрабатываемого материала и величины снимаемого припуска;
- изменения положения исходной заготовки в приспособлении, связанные с погрешностями её при переустановках или обусловленные неточностями приспособления;
- неточности установки положения суппортов по упорам и лимбам;
- колебания температурного режима обработки и упругих отжаты элементов технологической системы под влиянием нестабильных сил резания и т.п.

Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров заготовок при их рассеянии успешно применяются методы математической статистики.

5.4.1. Законы рассеяния (распределения) размеров

В результате возникновения случайных погрешностей при обработке партии заготовок на настроенном станке действительный размер каждой заготовки является случайной величиной и может принимать любое значение в границах определённого интервала. Совокупность значений действительных размеров заготовок, обработанных при неизменных условиях и расположенных в

возрастающем порядке с указанием частоты повторения этих размеров (m) или частостей, называется распределением размеров деталей. На рис. 5.6 представлена гистограмма распределения действительных размеров, а в табл. 5.2 эта же зависимость представлена в табличной форме.

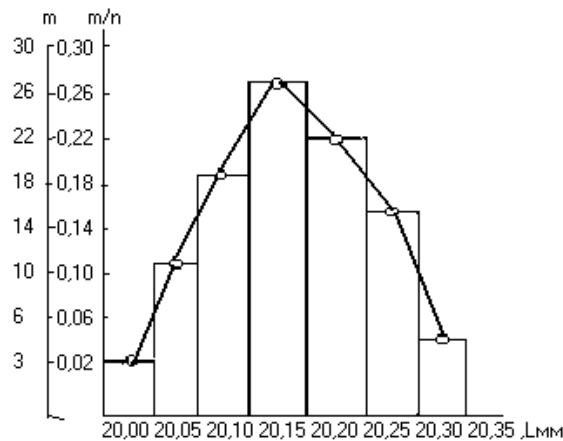


Рис.5.6. Распределение действительных размеров заготовок

Таблица 5.2

Интервал размеров, мм	Частота появления размера m , шт.	Вероятность появления размера, m/n
20,00 – 20,05	2	0,02
20,05 – 20,10	11	0,11
20,10 – 20,15	19	0,19
20,15 – 20,20	28	0,28
20,20 – 20,25	22	0,22
20,25 – 20,30	15	0,15
20,30 – 20,35	3	0,03
Итого:	$n = \sum m = 100$	$\sum m/n = 1$

Распределение размеров деталей можно представить в виде таблиц и графиков. На практике значения действительных размеров деталей разбивают на интервалы или разряды таким образом, чтобы цена интервала (разность между наибольшим и наименьшим размерами в пределах одного интервала) была несколько больше цены деления шкалы измерительного устройства. Этим компенсируются погрешности измерения. Вероятность появления размера в данном интервале представляет собой отношение числа m деталей, действительные размеры которых попали в этот интервал, к общему количеству n изготовленных и измеренных деталей партии. Например, после измерения 100 шт. деталей с действительными размерами в пределах от 20,00 до 20,35 мм распределение размеров этих деталей может

иметь вид, приведённый в табл. 5.2. Распределение измеренных размеров таких деталей можно представить в виде графика (рис. 5.6). По оси абсцисс откладывают интервалы размеров в соответствии с табл. 5.2, а по оси ординат соответствующие им частоты m или вероятности m/n . В результате построения получается ступенчатая линия l , называемая гистограммой распределения. Если последовательно соединить между собой точки, соответствующие середине каждого интервала, то образуется ломаная кривая, которая носит название эмпирической кривой распределения. При значительном количестве изготовленных деталей и уменьшении размеров интервалов ломаная эмпирическая кривая приближается по форме к плавной кривой, именуемой кривой распределения. Для построения гистограммного распределения рекомендуется измеренные размеры разбивать не менее, чем на шесть интервалов при общем числе измеряемых заготовок не меньше 50 шт.

При разных условиях обработки заготовок рассеяние действительных размеров деталей подчиняется различным математическим законам. В технологии приборостроения большое практическое значение имеют следующие законы:

- нормального распределения (закон Гаусса);
- равнобедренного треугольника (закон Симпсона);
- эксцентриситета (закон Релея);
- законы равной вероятности;
- функции распределения, представляющие собой комбинацию этих законов.

Закон нормального распределения (закон Гаусса).

Многочисленные исследования, проведённые профессорами А.Б.Яхиным, А.А.Зыковым и другими, показали, что распределение действительных размеров деталей, изготовленных на настроенных станках, очень часто подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса).

Это объясняется известным положением теории вероятностей о том, что распределение суммы большого числа взаимно независимых случайных слагаемых величин (при ничтожно малом и примерно одинаковом влиянии каждой из них на общую сумму и при отсутствии влияния доминирующих факторов) подчиняется закону нормального распределения Гаусса.

Результирующая погрешность обработки обычно формируется в результате одновременного воздействия большого числа погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки, которые по существу представляют собой взаимно независимые случайные величины. Влияние каждой из них на результирующую погрешность имеет один порядок, поэтому распределение результирующей погрешности обработки, а значит, и распределение действительных размеров изготовленных деталей подчиняются закону нормального

распределения.

Уравнение кривой нормального распределения имеет следующий вид:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i - L_{\text{сред}})^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum (L_i - L_{\text{сред}})^2 \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (L_i - L_{\text{сред}})^2 m_i}, \quad (5.2)$$

где L_i – текущий действительный размер;

$L_{\text{сред}}$ – среднее арифметическое значение действительных размеров деталей данной партии.

Значение $L_{\text{сред}}$ можно определить из выражения:

$$L_{\text{сред}} = \sum L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum L_i m_i, \quad (5.3)$$

где m_i – частота (количество деталей данного интервала размеров);
 n – количество деталей партии.

Кривая, характеризующая дифференциальный закон нормального распределения, показана на рис. 5.7. Среднее арифметическое $L_{\text{сред}}$ действительных размеров деталей данной партии характеризует положение центра группирования размеров.

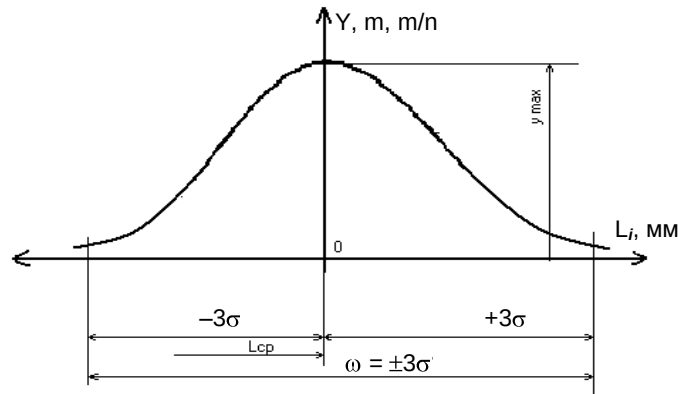


Рис.5.7. Кривая нормального распределения (закон Гаусса)

Влияние сигмы на форму кривой нормального распределения показано на рис. 5.8.

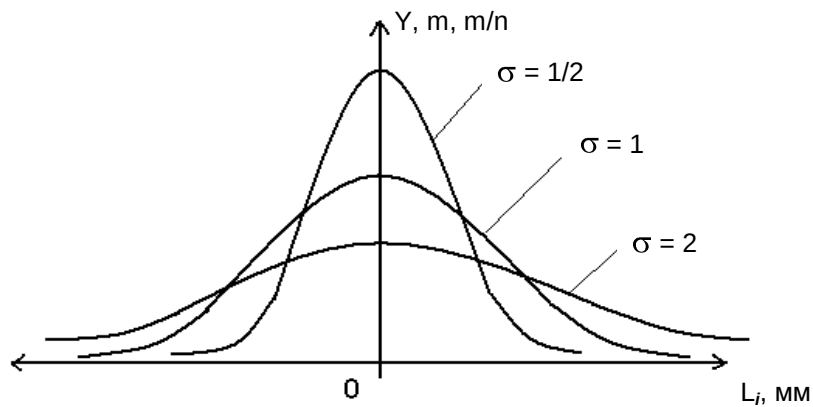


Рис.5.8. Влияние среднего квадратического отклонения на форму кривой нормального распределения

Закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона). При обработке заготовок с точностью 7-го и 8-го, а в некоторых случаях, и 6-го квалитетов распределение размеров деталей в большинстве случаев подчиняется закону Симпсона, который графически выражается равнобедренным треугольником (рис. 5.9, а) с полем рассеяния ω :

$$\omega = 2\sqrt{6} \cdot \sigma \approx 4,9\sigma \quad (5.4)$$

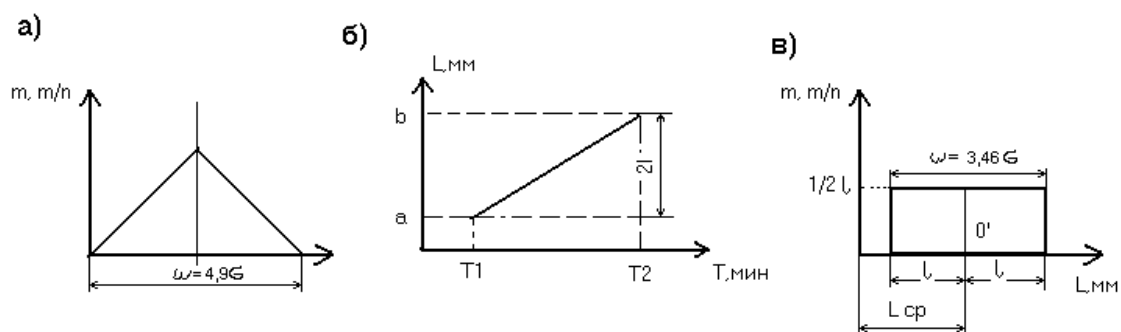


Рис.5.9. Распределение размеров обработанных заготовок по закону Симпсона (а) и по закону равной вероятности (б, в)

Величина среднего квадратического отклонения сигмы, и в этом случае, определяется по формуле (5.2).

Закон равной вероятности. Если рассеяние размеров зависит только от переменных систематических погрешностей (например, от износа режущего инструмента, см. рис. 5.9 б, в), то распределение действительных размеров партии изготовленных деталей подчиняется закону равной вероятности.

Например, при установившемся износе режущего инструмента уменьшение его размеров во времени подчиняется прямолинейному закону, что, соответственно, увеличивает (при обработке валов) или уменьшает (при обработке отверстий) диаметры обработанных поверхностей. Естественно, что изменение размеров деталей на

величину $2l = b - a$ за период $T_2 - T_1$ в этом случае тоже происходит по закону прямой линии (рис. 5.9, в) с основанием $2l$ и высотой (ординатой) $1/2l$.

Площадь прямоугольника равна единице, что означает 100%-ную вероятность появления размера детали в интервале от a до b .

Среднее арифметическое значение размера:

$$L_{\text{сред}} = (a + b) / 2 \quad (5.5)$$

Среднее квадратическое:

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577 \quad (5.6)$$

Фактическое поле рассеяния:

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3,46\sigma \quad (5.7)$$

Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров деталей повышенной точности (5...6-й квалитеты и выше) при их изготовлении по методу пробных ходов и промеров. Из-за сложности получения размеров очень высокой точности вероятность попадания размера заготовки в узкие границы допуска по среднему, наибольшему или наименьшему его значению становится одинаковой.

5.4.2. Составляющие общего рассеяния размеров деталей

Рассеяние размеров изготавливаемых деталей вызывается многочисленными случайными факторами различного характера, оказывающими свое воздействие на отдельные элементы технологической системы одновременно и независимо друг от друга. По своему происхождению эти факторы могут быть объединены в определённые группы, вызывающие свою долю общего рассеяния размеров.

Рассеяние размеров, связанное с видом обработки (мгновенное рассеяние). Каждому виду обработки, осуществляемому на определённом оборудовании, свойственна своя величина рассеяния размеров, характеризующаяся полем ω_m рассеяния. Однако, и внутри данного вида обработки значение ω_m изменяется в зависимости от конструкции, типоразмера и состояния станка (т.е. от его точности и жёсткости). Развитие конструкции станков и появление их новых типоразмеров могут вызывать переоценку установившихся представлений о рассеянии размеров при данном виде обработки. Рассеяние размеров, связанное с видом обработки, не остаётся постоянным и в продолжении обработки партии заготовок, а изменяется в зависимости от состояния режущего инструмента (рис. 5.10, а). В начале (начальный износ инструмента) и в конце (интенсивный катастрофический износ и разрушение инструмента) обработки партии заготовок поле рассеяния $\omega_m^{\text{нач}}$ и $\omega_m^{\text{конеч}}$ больше, чем $\omega_m^{\text{ср}}$, в середине обработки партии (рис. 5.10, б).

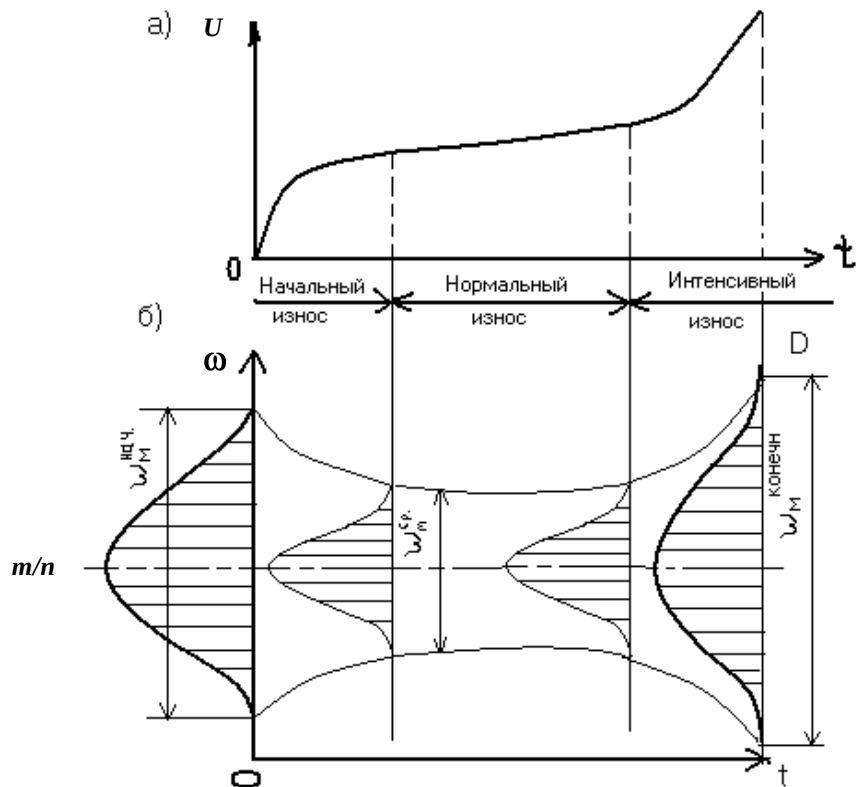


Рис.5.10. Износ режущего инструмента (а) и изменение поля мгновенного рассеяния размеров изнашиваемой детали (б)

Рассеяние размеров в каждый данный момент времени (мгновенное рассеяние) определяется факторами, не зависящими от нагрузки (зазором в подшипнике шпинделя, неравномерностью процесса резания) и оказывающими влияние на нагрузку (колебаниями припусков на обработку, колебаниями твёрдости обрабатываемого материала).

Каждый из факторов, влияющих на мгновенное рассеяние размеров, проявляет своё действие независимо друг от друга и изменяется как случайная величина, формируя поле мгновенного рассеяния ω_m .

Рассеяние размеров, связанное с погрешностью установки. При установке заготовки на станке, для обработки методом автоматического получения размеров, достигаемая точность размеров зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента. Колебание положения измерительной базы заготовки является причиной возникновения погрешности установки Δ_y , вызывающей рассеяние ω_y размеров. Значение ω складывается из погрешностей базирования $\Delta_\delta = \omega_\delta$, закрепления $\Delta_z = \omega_z$ и приспособления $\Delta_{np} = \omega_{np}$. При установке заготовки в приспособлении в ряде случаев возникает погрешность базирования $\Delta_\delta = \omega_\delta$, связанная с несовпадением конструкторской (плоскость А) и технологической (плоскость В) баз (рис. 5.11, а и б). Погрешность базирования (поле рассеяния размеров

вследствие погрешности базирования) можно определить как разность предельных расстояний между не совпадающими конструкторской и технологической базами заготовки. Поле рассеяния размера a (рис. 5.11, а), связанное с погрешностью базирования, находится из выражения:

$$\omega_o = Tb,$$

где Tb – допуск на размер b .

Не следует путать погрешность базирования с погрешностью установки, связанной с особенностью конструкции установочных элементов. Типичный пример – установка цилиндрической поверхности в призму (рис. 5.11 б). Погрешность размера « m » определяется по известной еще из школьных уроков формуле 5.8, а погрешность базирования возникает только при нарушении принципа совмещения (единства) баз и всегда равна допуску на размер (размеры), соединяющий не совмещенные технологическую и конструкторскую базы на чертеже детали.

$$\omega_o = \omega_m = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right) \quad (\text{см. рис. 5.11.}) \quad (5.8)$$

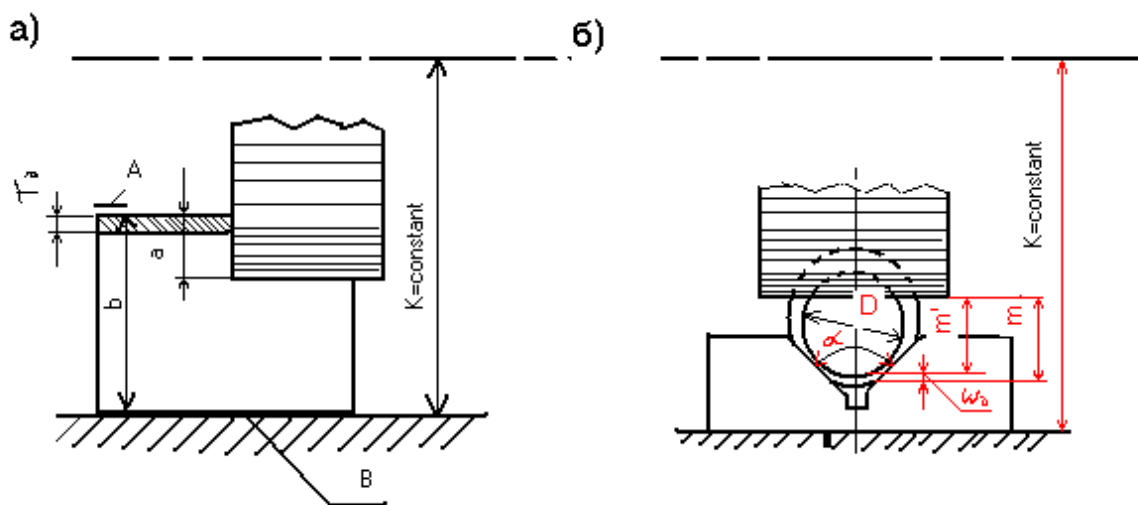


Рис.5.11. Возникновение погрешностей базирования и установки заготовок

Рассеяние размеров деталей, связанное с погрешностями закрепления заготовок. При закреплении заготовки в приспособлении во многих случаях происходит деформация как заготовки, так и приспособления, так как силы зажима – величины случайные, а жесткость заготовок колеблется, то погрешности закрепления следует относить к случайным погрешностям (рис. 5.12). Изменение деформации заготовки при ее закреплении в приспособлении вызывает рассеяние размеров a с полем рассеяния ω_s , определяемым, в большинстве случаев, экспериментальным путем.

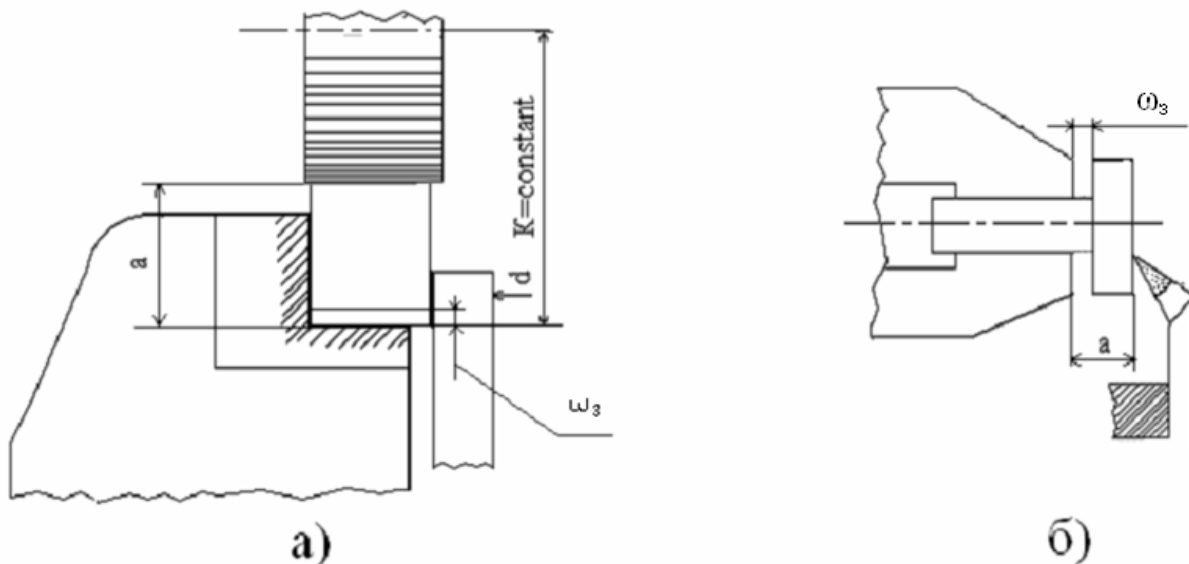


Рис.5.12. Погрешность закрепления ω_3 при фрезеровании (а) и при токарной обработке (б)

Погрешность закрепления $\Delta_3 = \omega_3$ зависит от конструкции и состояния зажимного устройства приспособления и от направления усилия зажима. Наименьшая погрешность закрепления, достигается при направлении зажимного усилия, перпендикулярно технологической установочной базе. Однако, и в этом случае, погрешность закрепления не равна нулю в связи с неточностью базирующих опорных поверхностей заготовок и наличием контактных деформаций поверхностей стыка. Эти деформации в общем виде описываются нелинейным законом вида:

$$y = c \cdot P^n \quad (5.9)$$

и могут достигать, в отдельных случаях, больших значений.

В формуле (5.9) c – коэффициент, характеризующий вид контакта и свойства материала заготовки, шероховатость и состояние его поверхностного слоя; P – сила, действующая на контактный элемент (опору); n – показатель степени (меньше единицы).

Контактные деформации поверхностей стыка сопровождаются перемещением установочной и измерительной баз заготовки относительно положения установленного инструмента и поэтому тоже вызывают появление погрешности закрепления.

Погрешность приспособления. При установке и закреплении заготовки в приспособлении ее положение относительно инструмента может оказаться не точным из-за погрешности изготовления и сборки самого приспособления (например, погрешности установочных элементов приспособления, его делительных устройств), его износа и неточности установки приспособления на станке. Для различных приспособлений значение перечисленных погрешностей изменяются в пределах 0,005...0,02 мм, и, суммируясь как случайные величины, образуют общую погрешность приспособления. При однократном

применении одноместного приспособления (обработка партий заготовок при одной настройке станка или небольшом числе настроек) погрешность приспособления вызывает систематическую погрешность детали и, во многих случаях, может быть скомпенсирована при настройке станка. В этом случае при расчете общей погрешности установки погрешность приспособления можно не учитывать.

При применении многоместных приспособлений, приспособлений-спутников на автоматических линиях, большом числе приспособлений-дублеров погрешности приспособлений в процессе настройки станков скомпенсированы быть не могут и оказывают свое влияние на общее рассеяние размеров изготавливаемых деталей как случайные величины с полем рассеяния ω_{np} .

Общая погрешность установки Δ_y складывается из всех перечисленных составляющих и определяется в соответствии с правилами суммирования случайных величин по формуле:

$$\Delta_y = \omega_y = 1,2\sqrt{\omega_0^2 + \omega_z^2 + \omega_{np}^2}. \quad (5.10)$$

Рассеяние размеров деталей, связанное с погрешностью настройки оборудования. Погрешность настройки станка $\Delta_n = \omega_n$ изменяется как случайная величина в результате воздействия погрешности регулирования ω_{pez} положения режущего инструмента и отдельных узлов станка относительно установленного инструмента и под влиянием погрешности измерения $\omega_{изм}$ пробных заготовок, по которым производится настройка станка.

Погрешность положения режущего инструмента на станке определяется точностью используемых при настройке регулировочных средств (лимбов, индикаторов, миниметров, упоров и др.). При упрощенных расчетах точности обработки ω_{pez} можно принимать равной цене деления регулировочного устройства или предельной погрешности мерительного инструмента, с помощью которого регулируют положение режущего инструмента. Точность установки требуемого положения отдельных узлов станка (например, стола фрезерного станка по высоте относительно положения шпинделя) относительно установленного режущего инструмента зависит от конструкции и состояния станка и определяется по его характеристикам.

Погрешность измерения $\omega_{изм}$ пробных заготовок принимается равной предельной погрешности используемого измерительного инструмента. Суммарная погрешность настройки, в общем случае, определяется выражением, приведенным ниже:

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{pez}^2 + \omega_{изм}^2}. \quad (5.11)$$

При настройке станков по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента на погрешность настройки

оказывает дополнительное влияние величина смещения $\omega_{смещ}$ центра группирования групповых средних, которая определяется формулой, приведенной ниже.

$$\omega_{смещ} = \omega_m / \sqrt{m}, \quad (5.12)$$

где m – число пробных заготовок, по которым производят настройку станка.

В этом случае погрешность настройки рассчитывается следующим образом

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2 \sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2 + \omega_{смещ}^2} \quad (5.13)$$

Общее (суммарное) рассеяние размеров деталей и общая погрешность обработки заготовок партии деталей, изготовленных на настроенном станке по методу автоматического получения размеров, выражается формулой приведенной ниже:

$$\omega = 1,2 \sqrt{\omega_m^2 + \omega_y^2 + \omega_n^2} \quad (5.14)$$

или та же формула, но в развернутом виде:

$$\omega = 1,2 \sqrt{\omega_m^2 + \omega_б^2 + \omega_з^2 + \omega_{пр}^2 + \omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2 + \omega_{смещ}^2} \quad (5.15)$$

Численные значения величин, входящих в формулу (5.15), определяются для конкретных условий выполнения операции по фактическим значениям полей рассеяния или, приближенно, по справочным, литературным и статистическим данным. По статистическим данным величина поля рассеяния вида обработки ω_m составляет: для средних револьверных станков – 0,016...0,039 мм; токарных – 0,013...0,036 мм; круглошлифовальных – 0,004...0,017 мм. Поле рассеяния, связанное с закреплением $\omega_з$, в среднем, составляет: в тисках – 0,05...0,2 мм; прихватами – 0,01...0,2 мм; в патроне – 0,04...0,1 мм; в зажимной гильзе – 0,02...0,1 мм.

Погрешность приспособления рассчитывается в соответствии с его конструкцией.

Рассеяние, связанное с погрешностью регулирования $\omega_{рег}$, составляет: при установке по лимбу или по индикатору – 0,01...0,06 мм; по жесткому упору – 0,04...0,10 мм, при особо тщательном регулировании; по индикаторному упору – 0,005...0,015 мм; по эталонной детали – 0,10...0,13 мм.

Поле рассеяния, характеризующее погрешность измерения пробных заготовок, составляет: при измерении штангенциркулем с ценой деления 0,02 мм – $\omega_{изм} = 0,045$ мм; штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм – $\omega_{изм} = 0,009$ мм; микрометром – от 0,006 до 0,014 мм.

Величины погрешностей базирования $\omega_б$ и смещения $\omega_{см}$ определяются конкретными расчетами, в зависимости от формы опорных поверхностей и простановки размеров, а также от величины

сигма для данного случая.

5.5. Суммарные погрешности изготовления деталей

Общая погрешность обработки $\omega_{обр}$ включает в себя все поля рассеяния размеров заготовок под влиянием причин случайного характера, а также систематические и переменные систематические погрешности обработки, т.е.

$$\omega_{обр} = 1,2\sqrt{\omega_m^2 + \omega_y^2 + \omega_n^2} + \Delta_{сисг} \quad (5.16)$$

Величина $\Delta_{сисг}$ представляет собой алгебраическую сумму неустранимых при настройке станка систематических погрешностей, возникающих при обработке заготовок и влияющих на размеры деталей, и наибольших значений переменных систематических погрешностей, возникающих при обработке заготовок. Ранее было отмечено, что систематические погрешности не изменяют форму кривой рассеяния размеров деталей, а только сдвигают положение ее вершины, соответственно увеличивая общее поле колебаний размеров партии изготовленных деталей (см. рис. 5.13, б...г), а, следовательно, и общую погрешность обработки. Особенно большое практическое значение, при этом, имеет определение величины и знаков переменных систематических погрешностей.

Известно, что **переменные систематические погрешности, обусловленные износом режущего инструмента**, изменяются по закону равной вероятности. Однако, при нахождении суммарной погрешности обработки заготовок определять полную долю погрешности, вызываемую износом режущего инструмента, по этому закону практически не всегда нужно, так как эта составляющая погрешности задается при настройке станков, исходя из условий проведения операции и необходимого периода работы станка между его поднастройками, которые компенсируются смещением центра группирования размеров, связанное с износом инструмента. Размерный износ инструмента, увеличивающий погрешность обработки партии заготовок, учитывается в формуле (5.16) с соответствующим знаком.

Погрешности, вызываемые тепловыми деформациями технологической системы (смещение передней бабки токарного или шлифовального станка в направлении на рабочего, удлинение резцов и др.), обычно имеют знак, противоположный знаку погрешностей, обусловленным износом инструмента, и в период тепловых деформаций (период разогревания технологической системы до наступления ее тепловой стабилизации, устанавливающейся через несколько часов после начала работы станка) могут уменьшать влияние износа инструмента.

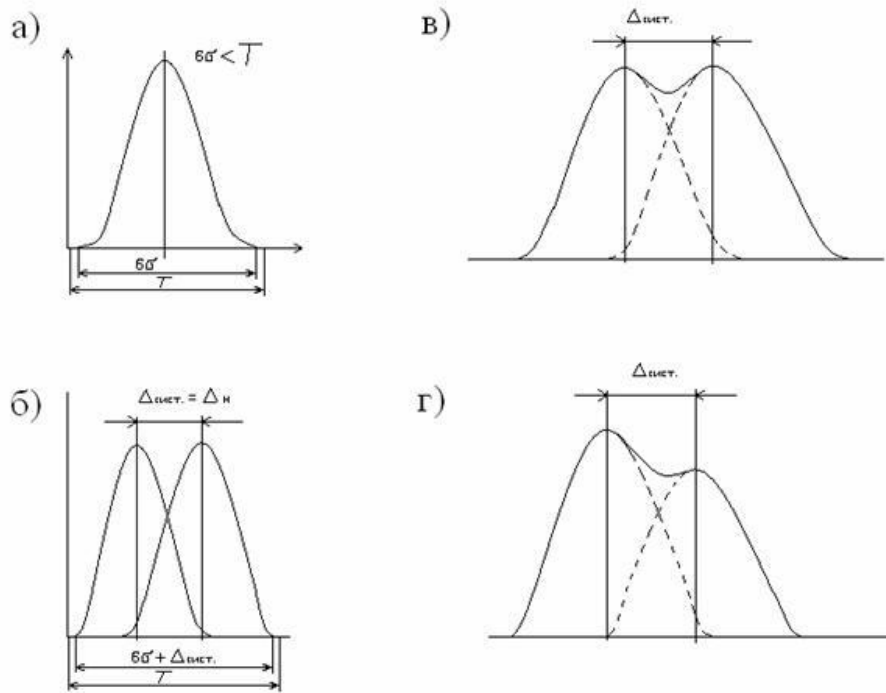


Рис.5.13. Изменение формы суммарной кривой рассеяния под влиянием $\Delta_{сист}$ при обработке нескольких партий заготовок с поднастройкой станка (а – кривая Гаусса; б – смещение кривой Гаусса на величину систематической погрешности; в, г – кривая имеет несколько вершин разной высоты соответственно числу настроек и количеству заготовок, обработанных с каждой настройки)

Формулы (5.15) и (5.16) весьма полезны для выявления основных направлений и конкретных путей повышения точности отдельных операций технологического процесса. Например, если общая погрешность обработки превышает поле допуска деталей и возникает необходимость ее уменьшения, то в первую очередь следует снизить поддающиеся заблаговременному расчету систематические и переменные систематические погрешности $\Delta_{сист}$, входящие в формуле (5.16) за знак корня и оказывающие, поэтому, значительное влияние на общую погрешность.

Для уменьшения погрешности настройки $\Delta_n = \omega_n$ необходимо сократить погрешность измерения $\omega_{изм}$ пробных заготовок (см. формулу 5.15) путем применения более точного измерительного инструмента и погрешность регулирования за счет использования более точных установочных устройств и усовершенствования конструкций механизмов перемещения элементов станков. Снижение погрешности закрепления можно достигнуть в результате применения более совершенных конструкций приспособлений, предусматривающих плотный прижим базирующих поверхностей заготовок к жестким и точным установочным элементам, а также за счет использования при построении операций настроечных или проверочных технологических баз. Погрешность базирования можно устранить, совмещая технологические и конструкторские базы.

Только после использования всех указанных способов уменьшения погрешностей обработки следует анализировать возможности сокращения мгновенного рассеяния. Это связано с тем, что для снижения ω_m обычно приходится заменять производительные и экономичные способы обработки на автоматах и revolverных станках обработкой на более точных, но менее производительных токарных, шлифовальных и доводочных станках.

Изложенная методика расчета рассеяния размеров деталей и общей погрешности их изготовления на станках рекомендуется для использования в проектно-технологических организациях и в отделах Главного технолога заводов при выполнении проектных расчетов для сопоставления точности обработки заготовок при разных вариантах технологических процессов на различных станках и с разной технологической оснасткой. В этом случае в расчет следует вводить данные о значениях отдельных составляющих погрешностей и рассеяния, приведенные в литературе, справочниках и заводских нормативах.

При анализе точности обработки партии заготовок по конкретному технологическому процессу на вполне определенном оборудовании и технологической оснастке следует использовать не усредненные справочные и литературные данные, имеющие, как правило, ориентировочный характер, а конкретные характеристики применяемого оборудования и технологической оснастки, которые целесообразнее всего предварительно уточнить экспериментально. Только в этом случае результаты расчетов точности конкретных технологических вариантов могут быть надежными.

5.6. Практическое применение законов распределения размеров для анализа точности обработки

Изложенные выше законы распределения действительных размеров деталей используются в технологии приборостроения для установления надежности проектируемого технологического процесса в обеспечении обработки заготовок без брака; расчета количества вероятного брака при обработке; определения количества обработанных заготовок, требующих дополнительной обработки; расчета экономической целесообразности использования высокопроизводительных станков; сопоставления точности обработки заготовок при различном состоянии оборудования, инструмента, смазочно-охлаждающей жидкости и т.п.

Установление надежности обработки заготовок без брака. Надежность обеспечения требуемой точности обработки заготовок характеризуется запасом точности Ψ данной операции, которая определяется по формуле:

$$\Psi = T / \omega \quad (5.17)$$

где T – допуск на обработку заготовки;

ω – фактическое поле рассеяния размеров заготовок.

Величина поля рассеяния ω при различных законах распределения действительных размеров деталей приводится ниже. Нормальное распределение Гаусса: $\omega = 6\sigma$. Равнобедренный треугольник (закон Симпсона): $\omega = 2\sigma\sqrt{6} = 4,90\sigma$. Закон равной вероятности: $\omega = 2\sigma\sqrt{3} = 3,46\sigma$. Закон эксцентриситета (закон Релея): $\omega = 3,44\sigma_0 = 5,25\sigma_r$. Когда запас точности $\psi > 1.0$, обработка заготовки может быть осуществлена без брака (при условии правильной настройки станка, обеспечивающей совмещение вершины кривой рассеяния с серединой поля допуска). При $\psi < 1.0$ брак заготовок является весьма вероятным. При $\psi \geq 1.0$ процесс обработки считается надежным. Для всех законов распределения размеров (рис. 5.14) условием обработки заготовок без брака является выражение: $\omega < T$, показывающее, что поле фактического рассеяния размеров меньше установленного допуска.

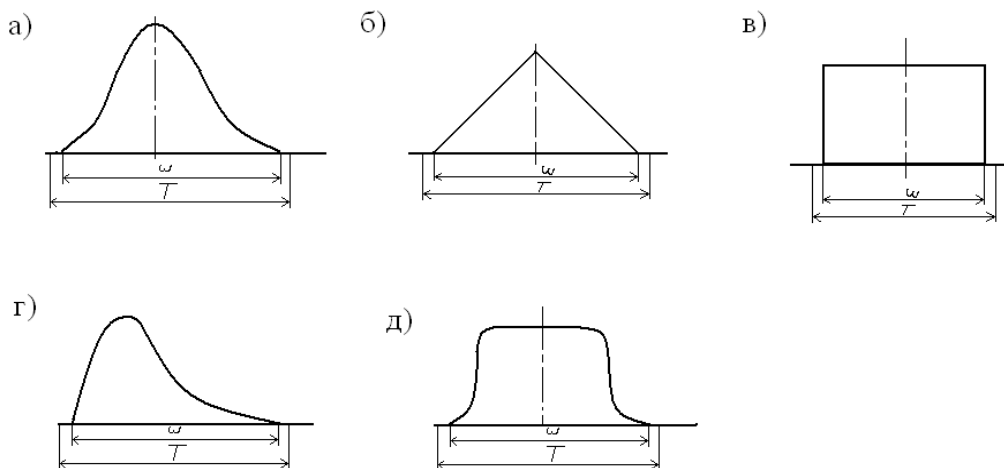


Рис.5.14. Условие обработки заготовок без брака для разных законов распределения действительных размеров

Для закона нормального распределения это выражение принимает вид $6\sigma < T$. При наличии систематической погрешности Δ_{cuct} , вызывающее смещение поля рассеяния, условие обработки без брака: $6\sigma + \Delta_{cuct} < T$. В этом выражении часто принимается: $\Delta_{cuct} = \Delta_n$ (где Δ_n – погрешность настройки), так как другие систематические погрешности во многих случаях удается компенсировать при настройке станка.

Расчет количества вероятного брака деталей. В тех случаях, когда поле рассеяния действительных размеров деталей на данной операции превосходит поле допуска $\omega > T$, условие обработки без брака

$6\sigma + \Delta_{\text{сум}} < T$ не выполняется и брак заготовок является возможным. Вероятностный процент брака всей партии обработанных деталей вычисляется следующим образом. При рассеянии размеров, соответствующем закону нормального распределения Гаусса, принимается с погрешностью не более 0,27%, что все заготовки партии имеют действительный размер в пределах поля рассеяния $6\sigma = L_{\text{max}}^{\text{факт}} - L_{\text{min}}^{\text{факт}}$. При этом очевидно, что площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс (рис. 5.15), равна единице и представляет собой количество (в долях единицы или в процентах) изготовленных деталей.

Для определения количества годных деталей необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс на длине, равной допуску $T = L_{\text{max}}^{\text{дон}} - L_{\text{min}}^{\text{дон}}$. При симметричном расположении поля рассеяния относительно поля допуска (рис. 5.15, а) следует найти половину площади, ограниченной кривой Гаусса (формула 5.1) и абсциссами x_0 . Для этого воспользуемся нормированной функцией Лапласа:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (5.19)$$

где $t = x_0 / \sigma$ – коэффициент риска.

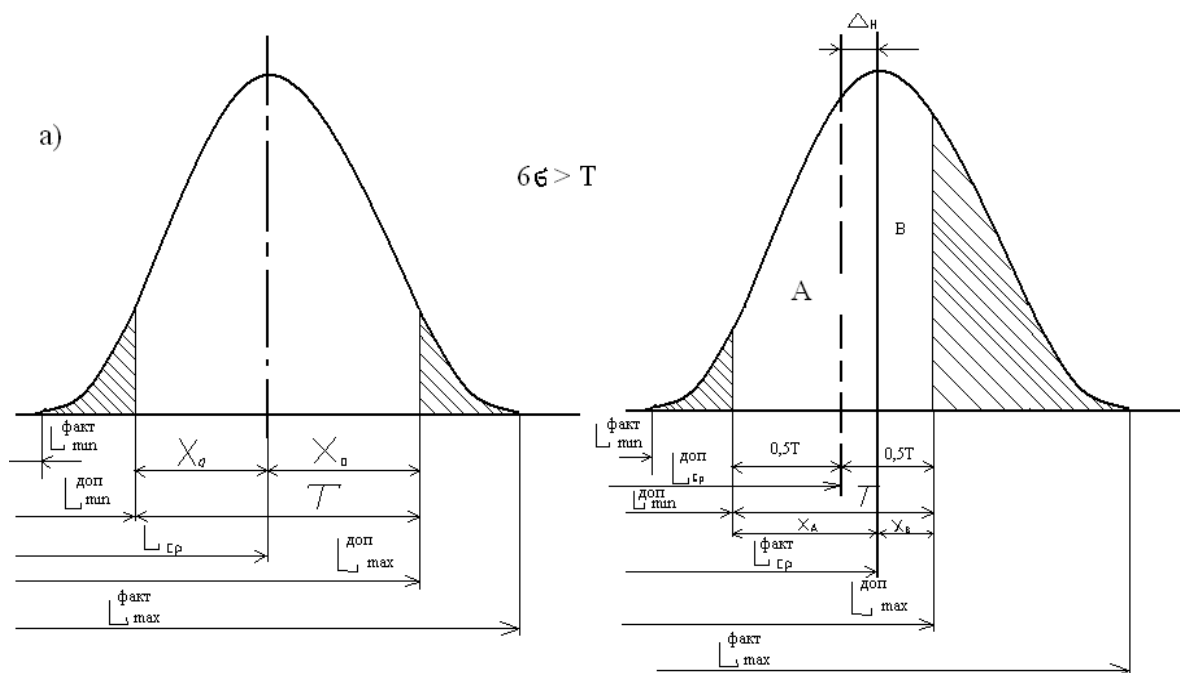


Рис.5.15. Количество вероятного брака при симметричном (а) и не симметричном (б) расположении поля рассеяния относительно поля допуска

Эта функция табулирована, т.е. ее значения для различных значений коэффициента риска t приводятся в таблицах теоретических справочниках. С помощью законов распределения действительных размеров можно решать не только выше перечисленные задачи, но и много-много других задач, связанных с исследованием влияния

различных факторов на точность изготовления деталей. Для этого достаточно построить закон распределения действительных размеров для различных значений исследуемого фактора.

Из сказанного выше следует, что подавляющее количество источников всех погрешностей деталей, изготавливаемых на металлорежущих станках, лежат внутри технологической системы: станок-приспособление-заготовка-инструмент. В конечном итоге, речь идет о величине отклонений относительного положения режущего лезвия инструмента и материала заготовки от его расчетного или требуемого положения, т.е. об упругой деформации элементов технологической системы. С достаточной для практики степенью точности эти деформации можно рассчитать с помощью классических формул сопромата. Для этого необходимо знать величину и направление действующих сил, жесткость или податливость (величина обратная жесткости: $w=1/j$, м/МН; мкм/кгс) элементов технологической системы, свойства материалов и геометрические характеристики элементов этой системы. Сошлемся на несколько простейших примеров.

Заготовка, установленная в центрах токарного станка, может с достаточной для практики степенью точности представлена как балка на двух опорах, нагруженная сосредоточенной силой (рис. 5.16).

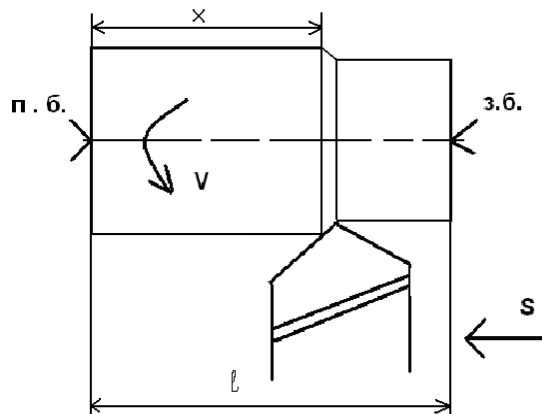


Рис. 5.16. Заготовка в центрах токарного станка

Наибольший прогиб заготовки будет в ее середине:

$$y_{\text{заг}}^{\text{max}} = \frac{P_y l^3}{48EJ}, \quad (5.19)$$

где l – длина заготовки, мм;

E – модуль упругости материала заготовки, Па;

(для круга) $J = 0,05 D^4$;

D – диаметр заготовки, мм.

Прогиб заготовки на расстоянии x от передней бабки:

$$y_{\text{заг}} = \frac{P_y x^2 (l - x)^2}{3EI} \quad (5.20)$$

Заготовка, закрепленная в патроне, представляет собой консольную балку, закрепленную одним концом. Если к заготовке, закрепленной в патроне, подведен конус задней бабки, получим балку на двух опорах, одна из которых жесткая (патрон), а другая скользящая (конец задней бабки), и т.д. и т.п.

5.7. Технологические размерные цепи

При проектировании технологических процессов возникают задачи расчета операционных допусков и размеров, а также припусков на обработку заготовок. В случаях невозможности совмещения технологических и конструкторских баз и невозможности смены баз, технолог вынужден устанавливать «технологические» операционные размеры и производить пересчет допусков, обычно сопровождающийся их ужесточением. Все эти задачи решаются на основе расчета соответствующих технологических размерных цепей.

Размерные цепи и звенья. Взаимное расположение деталей или сборочных элементов изделий, а также отдельных поверхностей деталей определяются линейными и угловыми размерами, устанавливающими расстояния между соответствующими поверхностями или осями отдельных деталей или сборочных элементов и образующие замкнутые размерные цепи.

Размерной цепью называется совокупность взаимосвязанных размеров, расположенных по замкнутому контуру и предназначенных для решения поставленных задач. На рис. 5.17 приведены примеры деталей и элементарных сборок с соответствующими размерными цепями.

Основные сведения о размерных цепях следует получить в курсе «Основы взаимозаменяемости и технических измерений». Отметим лишь, что в технологии приборостроения получили наибольшее распространение следующие методы решения размерных цепей:

- метод полной взаимозаменяемости или метод расчета на максимум и минимум;
- методы частичной взаимозаменяемости или вероятностные методы;
- метод групповой взаимозаменяемости или селективная сборка;
- метод пригонки;
- метод регулировки;
- метод с использованием компенсационных материалов.

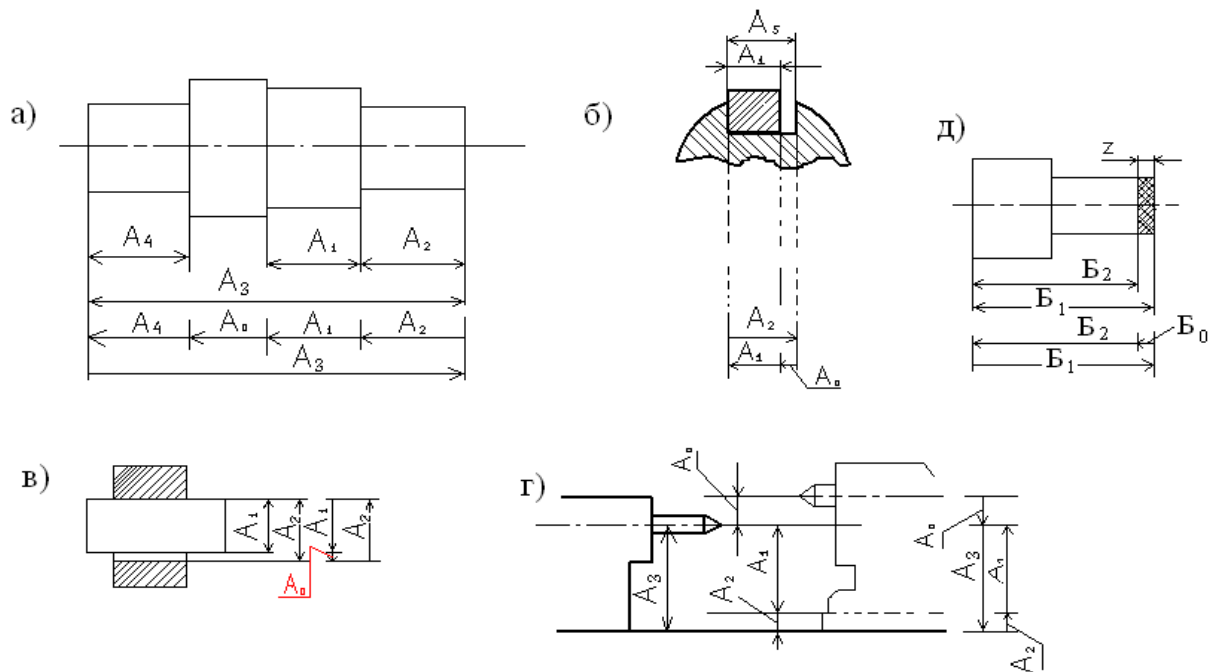


Рис. 5.17 Виды размерных цепей

При этом первые два метода – универсальные, а остальные используются для решения сборочных размерных цепей. Напомним, что первый метод сводится к следующей формуле:

$$IT\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} IT_i, \quad (5.21)$$

где $IT\Delta$ – допуск замыкающего звена;

IT_i – допуск i -того звена размерной цепи;

m – количество звеньев размерной цепи, включая замыкающее.

Вероятностные методы решения РЦ используют следующую формулу:

$$IT\Delta = K \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} IT_i^2}, \quad (5.22)$$

где K – коэффициент, характеризующий отклонение закона распределения действительных размеров от нормального.

Остальные методы решения РЦ излагаются в учебном пособии «Новые технологии в приборостроении» [1].

Глава 6. Базы и базирование в технологии приборостроения

Под базированием принято понимать ориентацию изделия в конкретной системе координат. Как известно, в трехмерной (пространственной) системе координат тело может иметь максимум шесть степеней свободы: перемещение вдоль каждой оси и вращение вокруг этих осей. Наложение на тело так называемых идеальных связей отнимает у тела определенное (по количеству этих связей) количество степеней свободы. На этой, давно известной, истине основаны все принципы и правила базирования изделий приборо- и машиностроения [2, 3, 4, 10].

Не смотря на кажущуюся простоту, проблема базирования изделий в технологической практике играет огромную роль и далеко не всегда имеет простое решение. Очевидно, что с ориентацией изделий и их отдельных элементов приходится иметь дело на всех этапах их «жизненного» цикла – от проектирования до утилизации. Первые задачи базирования возникают при проектировании изделий, а затем добавляются при изготовлении, контроле, сборке, эксплуатации и ремонте, включая производство запчастей. На каждом из этапов приходится иметь дело с различными базами, но понятие «база» для всех участников создания изделий одно и то же: **совокупность поверхностей, линий и (или) точек, относительно которой (совокупности) определяется положение интересующей нас поверхности, линии или точки.**

Очевидно, что с профессиональной точки зрения все базы можно разделить на две категории – конструкторские и технологические. Первые «создаются» и используются в процессе проектно-конструкторской деятельности, а вторые – в процессе технологической деятельности. Не смотря на существенную специфику различных аспектов той и другой деятельности, конструкторские базы по профессиональным признакам в практической деятельности не подвергались классификации, а в технологических базах в особые группы иногда выделяют так называемые измерительные и сборочные базы, хотя от этого они не перестают оставаться технологическими. Возможные ведомственные или другие специфические термины и определения баз не изменяют указанной выше их сущности.

Естественно, мы будем рассматривать проблемы базирования с технологических точек зрения, но технолог обязан безошибочно определять конструкторскую базу для любого конструктивного элемента, который ему необходимо изготовить, измерить или собрать. Поэтому главное, что нужно понять и усвоить технологу – это простой и безошибочный метод отыскания конструкторской базы для любого конструктивного элемента изделия. Для этого достаточно отыскать на

чертеже изделия все поверхности линии и (или) точки, относительно которых заданы размеры и положение интересующего нас элемента конструкции. Совокупность этих поверхностей, линий и (или) точек и будет являться его конструкторской базой. Далее все аспекты проблемы базирования изделий мы будем рассматривать с технологических позиций, т.е. интерпретировать их для технологических баз.

Для правильной работы каждого изделия необходимо обеспечить определенное взаимное расположение его деталей и узлов. При обработке заготовок на станках они также должны быть правильно ориентированы относительно механизмов и узлов станков, определяющих траектории движения подачи обрабатывающих инструментов (направляющих суппортов, фрезерных и резцовых головок, упоров, копировальных устройств и др.). Погрешности формы и размеров обработанных заготовок (деталей) определяются отклонениями положений режущих кромок инструментов и заготовок от траектории заданного формообразующего движения. Задачи взаимной ориентировки деталей и сборочных единиц в изделиях при их сборке и заготовок на станках при изготовлении деталей решаются их базированием.

Для выполнения технологической операции требуется не только осуществить базирование обрабатываемой заготовки, но также необходимо обеспечить ее неподвижность относительно приспособления на весь период обработки, гарантирующую сохранение неизменной ориентировки заготовки и нормальное протекание процесса обработки. В связи с этим, при установке заготовок в приспособления решаются две различные задачи: ориентировка, осуществляемая базированием, и создание неподвижности, достигаемое закреплением заготовок. Несмотря на различие этих задач, они решаются теоретически одинаковыми методами, т. е. посредством наложения определенных ограничений (связей) на возможные перемещения заготовки (механической системы) в пространстве.

Необходимо всегда помнить простое, но весьма важное положение теории базирования. Не смотря на то, что мы имеем дело не с идеальными, а с реальными связями и точками контакта (нет в окружающей нас природе абсолютно жестких тел и невозможно добиться полного отсутствия трения в точках контакта), при осуществлении процесса базирования мы вынуждены оперировать не реальными, а идеальными связями и точками контакта. Поясним это на конкретном примере (см. рис. 6.1).

Пусть, например, тело (плоская стальная заготовка) лежит на магнитной плите станка, создающей контактное давление в опорных точках a_1 , a_2 , a_3 (рис. 6.1). Даже без включения магнита при отсутствии внешних сил, приложенных к заготовке, она останется неподвижной, т.е. лишенной всех шести степеней свободы.

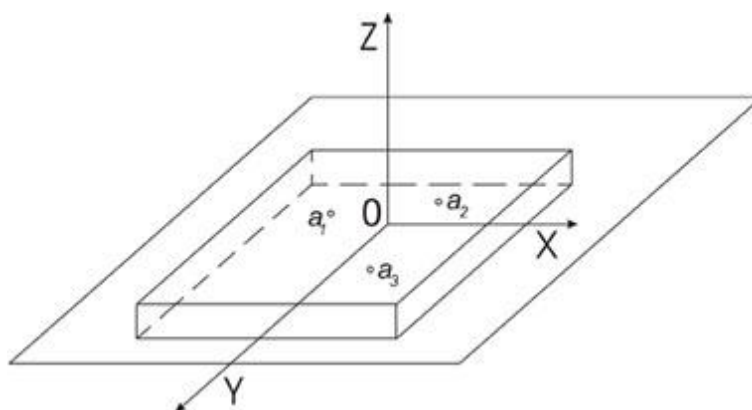


Рис.6.1. Базирование призматической заготовки на плоскости магнитного стола

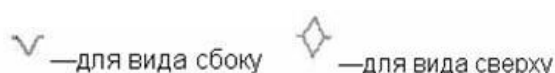
Однако при установке, т.е. в процессе базирования ничто не мешает этой заготовке занять отличное от указанного на рисунке положение вдоль осей X и Y и угла поворота вокруг оси Z . Более того, при установке каждой следующей заготовки эти три параметра будут отличаться. Такая ситуация полностью соответствует случаю идеальности связей заготовки со столом в точках контакта. Можно приводить сколь угодно много примеров и все они подтвердят, что необходимое и стабильное положение изделия при базировании можно обеспечить, только считая связи и точки контакта базы с элементами станка и приспособления *идеальными*. И еще раз подчеркнем, что при закреплении изделия оно лишается всех шести степеней свободы, но только в том положении, которое приобретает в результате базирования.

6.1. Классификация баз по различным признакам

По количеству отнимаемых у изделия степеней свободы. Напомним, что единственная плоская поверхность, используемая в качестве базы, отнимает у изделия три степени свободы и называется **установочной** базой. Вторая плоская поверхность может отнять уже только две степени свободы и называется **направляющей** базой. Если и третья плоская поверхность входит в комплект базирующих элементов, то она может отнять у изделия только одну степень свободы и называется **упорной** базой. Длинная цилиндрическая поверхность в качестве базы отнимает у изделия четыре степени свободы (базирование длинного цилиндра в призму) и называется **двойной направляющей** базой. Короткая цилиндрическая поверхность в качестве базы отнимает у изделия две степени свободы и называется **центрирующей** базой. Длинная коническая поверхность отнимает у изделия пять степеней свободы, а короткая коническая – три степени свободы и называется **упорно-центрирующей** базой. Однако, конус задней бабки не фиксирует заготовку в горизонтальном направлении и является только **центрирующей** базой. Нужно иметь в виду, что для

полной определенности положения изделия в пространстве у него можно всегда отнимать шесть степеней свободы, однако на практике при базировании изделия его лишают минимально необходимого количества степеней свободы, т.к. отнятие каждой дополнительной степени свободы усложняет, а значит и удорожает конструкцию приспособления, не улучшая при этом качества базирования. Например, если для получения детали из заготовки в виде параллелепипеда или цилиндра необходимо изменить размер этой заготовки только в вертикальном направлении, то достаточно установить эту заготовку плоской поверхностью на магнитный стол станка без всякого приспособления, отняв у нее три степени свободы, и профрезеровать или прошлифовать ее. Лишение такой заготовки большего количества степеней свободы потребует применения какого-либо приспособления, а размера детали в вертикальной направлении не изменит.

При проектировании технологических операций (после уточнения технологической задачи и количества, необходимых для ее выполнения баз и идеальных опорных точек) на операционном эскизе изображается так называемая «теоретическая схема базирования». **Теоретическая схема базирования представляет собой схему расположения на технологических базах заготовки идеальных опорных точек или условных точек, символизирующих идеальные связи заготовки с принятой системой координат (опорные поверхности приспособлений, координатные плоскости станка и т. п.).** При этом на контурных линиях поверхностей заготовок, принятых в качестве технологических баз, проставляются условные обозначения идеальных точек контакта заготовок и приспособлений, которые лишают заготовку соответствующего числа степеней свободы. Согласно ГОСТ 21495-76 идеальная опорная точка обозначается символами:



На скрытых базах заготовки (осевые линии, плоскости симметрии) наносятся аналогичные обозначения условных точек, символизирующих позиционные связи заготовок с принятой системой координат. В случае необходимости, когда направление и место приложения зажимного усилия принципиально важны для качественного выполнения проектируемой операции (например, осевой зажим тонкостенной втулки при ее расточке), на теоретических схемах могут быть показаны не только опорные точки на базах, но и места приложения и направления усилий зажимов.

По степени реальности. В большинстве случаев сборки и механической обработки определенность положения детали в собираемом узле или обрабатываемой заготовке в приспособлении, т. е. их базирование, осуществляется непосредственно контактом их базовых

опорных поверхностей с соответствующими поверхностями других деталей узла или приспособления. Однако, во многих случаях проектирования бывает удобно определить на чертежах взаимное расположение отдельных деталей в узлах и расположение отдельных поверхностей деталей и заготовок не по их поверхности, а по некоторым воображаемым плоскостям, линиям или точкам (плоскость симметрии, осевая линия, биссектриса угла, центровая точка), называемым в этом случае **условными или скрытыми базами** (ГОСТ 21496-76). Так, взаимное расположение зубчатых колес определяется расстоянием между их осями, расстояние между призматическими направляющими станины определяется расстоянием между биссектрисами углов призм, а расположение отверстий в заготовке – их межцентровыми расстояниями. Применение условных (скрытых) баз при проектировании тем более удобно, что позволяет исключить из расчетов неизбежные погрешности реальных поверхностей, снижающие точность изготовления изделий.

При базировании деталей собираемых узлов и обрабатываемых заготовок в подавляющем большинстве случаев используются материальные поверхности («явные» базы по ГОСТ 21495-76), однако и в этом случае для повышения точности установки иногда применяются условные (скрытые) базы, материализуемые различными устройствами (отвесы, коллиматоры, центрирующие устройства и т. п.). В этом случае на схемах базирования изображается не только расположение идеальных опорных точек на поверхностях материальных баз, но и расположение на скрытых базах (осях, плоскостях симметрии) условных точек, символизирующих связи заготовки с избранной системой координат. Построение теоретических схем базирования бывает целесообразным при проектировании технологических операций обработки ответственных и точных заготовок для облегчения расчетов ожидаемых погрешностей взаимного расположения обрабатываемых поверхностей. При этом схема базирования может служить определенной инструкцией – заданием для конструктора приспособления по созданию его целесообразной конструкции. Так, например, изображенная на рис. 6.2, а схема базирования втулки предполагает при обработке наружной поверхности использование в качестве технологической базы материальной поверхности отверстия (рис. 6.2, б).

Эта схема может быть реализована созданием жесткой цилиндрической оправки с гайкой (рис. 6.2, б), однако, при этом возникает погрешность установки, равная величине зазора между базовым отверстием втулки и жесткой оправкой. Эта погрешность, достигающая величины максимального зазора, вызывает эксцентриситет и биение обработанной наружной поверхности.

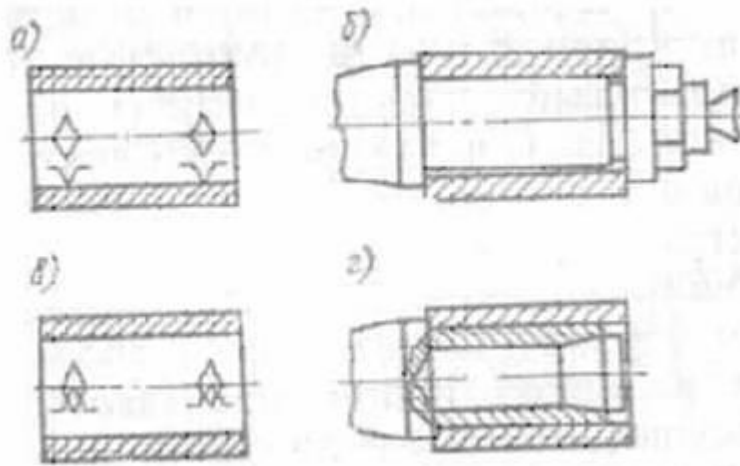


Рис. 6.2. Базирование втулки по материальной (явной) (а, б) и по условной (скрытой) (в, г) базам

Теоретическая схема базирования (рис. 6.2, в) показывает, что обрабатываемая поверхность должна точно ориентироваться относительно оси отверстия и появление ее эксцентриситета и биения – недопустимо. Для исключения погрешности установки, вызывающей эксцентриситет, должна быть создана безззорная оправка (разжимная, конусная оправка трения, цилиндрическая с прессовой посадкой и т.п., см. рис. 6.2, г). Приведенный на рис. 6.2 пример показывает, что в большинстве случаев применения условных (скрытых) баз базирование, в конечном счете, осуществляется материальными поверхностями (в примере на рис. 6.2 – поверхностью отверстия), которые обеспечивают правильное расположение (т. е. базирование) на станке самих скрытых баз. Однако, указание этих баз на теоретической схеме базирования способствует созданию требуемой для данного случая конструкции приспособления. Особенно полезную роль играют условные (скрытые) базы при использовании центрирующих зажимов. При регулировании и сборке узлов и механической обработке с выверкой положения заготовки на станке базирование может осуществляться и по самим условным базам, которые в этом случае материализуются с помощью различных специальных устройств.

Различают также базы **естественные и искусственные**. Естественными принято называть базы, изображенные на чертежах. Однако технологу бывает целесообразно создать не предусмотренные чертежом базы для повышения удобства и (или) точности обработки. С теми же целями бывает выгодно обработать будущие базы точнее и (или) чище, чем предусмотрено чертежом. Такие базы принято называть искусственными.

6.2. Разновидности технологических баз

Как указано ранее, **технологическая база** – это база, используемая для определения положения заготовки в технологической системе при изготовлении детали, или элементов изделия в процессе сборки или ремонта (ГОСТ 21495-76), а также при выполнении контрольно-измерительных операций при обработке заготовок, сборке и ремонте изделий. Остановимся подробнее только на разновидностях баз, используемых при обработке заготовок. По особенностям применения технологические базы, используемые при механической обработке, подразделяются на контактные, настроечные и проверочные. **Контактными базами называются технологические базы, непосредственно соприкасающиеся с соответствующими установочными элементами приспособления или станка.** При обработке заготовок по принципу автоматического получения размеров требуемую точность можно обеспечить сравнительно легко посредством настройки станка относительно контактных технологических баз заготовки или соприкасающихся с ними опорных поверхностей приспособлений. Количество необходимых точек контакта при базировании, а, значит, и отнимаемых степеней свободы проиллюстрировано примерами на рис. 6.3.

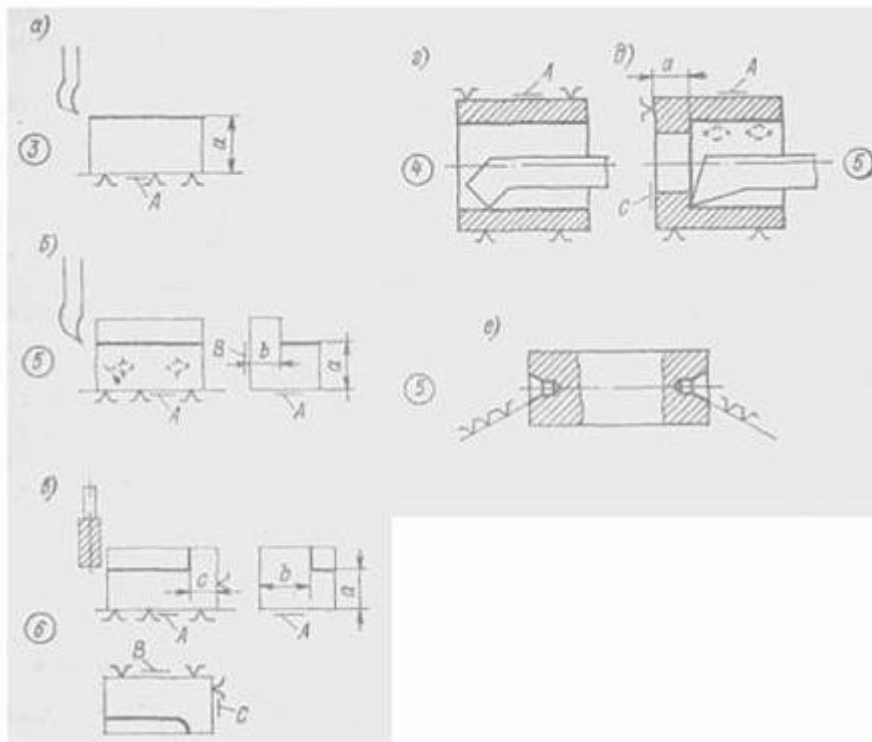


Рис.6.3. Обработка заготовок при различном базировании

В примере (см. рис. 6.3, б) при работе на настроенном станке точность размера a определяется правильностью установки высоты стола, обеспечивающей расстояние фрезы до установочной контактной технологической базы A , равное величине a , точность размера b –

правильностью поперечной установки стола, обеспечивающей расстояние оси фрезы от направляющей контактной технологической базы В, равное $b + d_{фр}/2$, а точность размера c – правильностью установки упора, выключающего продольную подачу стола, при достижении осью фрезы расстояния $c + d_{фр}/2$ от упорной контактной технологической базы С.

Смена заготовок, обрабатываемых при неизменной настройке станка, не влияет на получаемые размеры, и они остаются одинаковыми для всей партии обрабатываемых заготовок (не учитывая случайного рассеяния размеров). Контактные технологические базы, обеспечивающие необходимую точность обработки партии заготовок на настроенных станках и не требующие трудоемкой настройки станка, широко применяются в крупносерийном производстве. **Контактные технологические базы очень часто используются при сборке узлов и сборочных элементов (сборка валов с подшипниками, соединение салазок суппортов с направляющими станины и т.п.).**

Настроечные базы. Для осуществления настройки станка относительно определенных поверхностей заготовки необходимо, чтобы эти поверхности занимали на станке при смене заготовок неизменное положение относительно упоров станка, определяющих конечное положение обрабатывающего инструмента. К таким поверхностям относятся контактные базы заготовки, что и предопределяет широкое их использование в крупносерийном производстве. Такими же поверхностями являются поверхности, образуемые на заготовке при данном установе и связанные с другими обрабатываемыми поверхностями непосредственными размерами. Примером использования настроечной базы может служить один установ при обработке заготовок на револьверном станке (рис. 6.4).

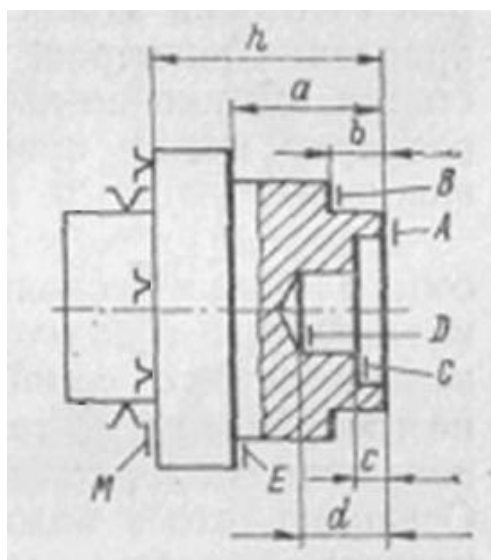


Рис.6.4. Использование настроечной базы А при обработке заготовки на револьверном станке

Заготовка опирается поверхностью **М** на соответствующий упор зажимного устройства станка, однако эта поверхность, являясь контактной технологической базой для обработки торца **А** заготовки на размер **h**, не является таковой для всех остальных торцовых поверхностей заготовки **В, С, D, Е**, обрабатываемых на размеры **b, c, d, a**. Положение поверхностей **В, С, D** и **Е** определяется при настройке станка не положением поверхности **М**, а положением поверхности **А**, относительно которой производится установка упоров. В этом случае поверхность **А**, обрабатываемая при том же установе, что и рассматриваемые поверхности **В, С, D, Е**, является для них настроечной технологической базой.

Настроечной называется база, положение которой в технологической системе определяется в процессе настройки станка, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, связанные с ней непосредственными размерами и образуемая при одном установе с рассматриваемыми поверхностями заготовки. Настроечная база обычно связана непосредственным размером с контактной базой заготовки. При построении операции обработки с использованием настроечной базы контактная база заготовки является технологической базой для получения линейных размеров только при обработке самой настроечной базы, с которой она связана непосредственным размером. Технологической базой для обработки всех остальных поверхностей заготовок и получения линейных размеров **a, b, c, d** в этом случае служит не контактная база **М**, а настроечная база заготовки **А**.

В зависимости от конфигурации и предъявляемых к ней требований заготовка может иметь несколько настроечных баз одного направления размеров, что в известной степени затрудняет настройку станка, однако, создает возможность непосредственной простановки размеров между поверхностями, взаимное расположение которых важно для готового изделия. К методу работы по настроечной базе относятся различные способы расточки нескольких отверстий с точным взаимным расположением их осей и другие операции, при которых режущий инструмент перемещается от одной обработанной поверхности заготовки к другой на требуемое по чертежу расстояние с помощью специальных шаблонов, отсчетных устройств станка или согласно заданной программе. Очевидно, что в подобных случаях можно использовать несколько настроечных баз разных направлений. Применение настроечных технологических баз значительно расширяет возможности простановки размеров на чертежах заготовок, так как позволяет устанавливать размеры без повышения их точности не только непосредственно от контактных баз, но и от измерительных баз, которые можно использовать в качестве настроечных баз. Настроечные базы способствуют упрощению конструкции приспособлений, концентрации операций технологического процесса и сокращению общего числа

операций, а также дают возможность производить промеры заготовок непосредственно на станке. Некоторое усложнение наладки станка, связанное с использованием настроечной базы, компенсируется в крупносерийном производстве указанными преимуществами применения этих баз. Особенно ярко выявляются преимущества настроечных баз при использовании автоматов, многорезцовых станков, станков с копировальными устройствами, станков с числовым программным управлением и обрабатывающих центров, которые требуют создания сложных концентрированных операций, а также при многопозиционной обработке. Опорная и настроечная технологические базы получили широкое распространение в крупносерийном производстве при настройке станков, работающих по методу автоматического получения размеров. Известно, что при установке заготовки в приспособлениях на контактной базе всегда возникает погрешность закрепления, являющаяся одной из причин рассеяния размеров заготовок, которые проставлены от контактных баз, и увеличивающая общую погрешность обработки. При использовании настроечных баз погрешность закрепления заготовок на точность размеров, проставленных от этих баз, не влияет.

Проверочные технологические базы. При обработке заготовок в условиях серийного и единичного производства, а также при сборке точных соединений и приборов широко используются проверочные базы. **Проверочной называется база, положение которой в технологической системе устанавливается путем повторяющихся регулировок и проверок.** Интересным примером использования проверочной базы для изготовления особо точной детали оптического прибора может служить нарезание зуба отсчетного червячного колеса прибора. По условиям своей работы в приборе начальная окружность зубчатого венца детали должна быть строго концентрична посадочному наружному цилиндру А, являющемуся основной конструкторской базой детали (рис. 6.5).

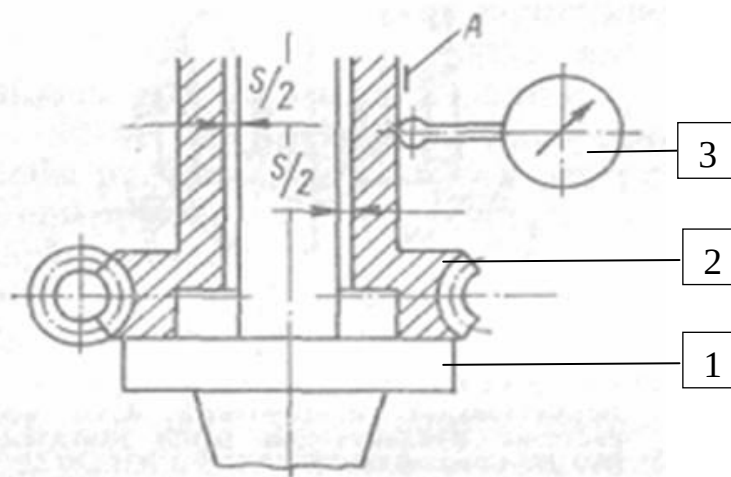


Рис.6.5. Установка червячного колеса по проверочной базе

Не concentричность этих поверхностей непосредственно отражается на появлении ошибки прибора при отсчетах углов и не может быть допущена свыше 0,005 мм (что соответствует допуску на биение начальной окружности зубчатого венца по отношению к посадочной цилиндрической поверхности в пределах 0,01 мм).

Биение нарезанного зуба вызывается неточностями механизмов зуборезного станка (величиной радиального биения шпинделя станка, в котором крепится заготовка), неточностями изготовления оправки для крепления заготовки на станке (эксцентричностью поверхности оправки, ориентирующей заготовку на станке по отношению к поверхности конуса оправки, которым она крепится в шпинделе зуборезного станка) и, наконец, эксцентричностью посадки заготовки на оправке вследствие наличия зазора S между посадочной поверхностью оправки и опорной базой заготовки. Требуемая точность положения базы A достигается последовательными регулировками (смещениями заготовки 2 относительно оси вращения шпинделя 1 станка) и проверками этого положения с помощью индикатора 3 часового типа требуемой точности.

Точность положения таких баз ограничивается только возможностями мерительного инструмента, используемого при проверке, т.е. такое базирование может быть самым точным. Однако, затраты времени на базирование могут даже превышать время обработки поверхностей от такой базы, что существенно ограничивает возможности использования настроечных баз в серийном и, особенно, в крупносерийном и массовом производствах. Сократить время базирования и расширить области использования проверочных баз можно с помощью регулировочных и мерительных приспособлений, вплоть до механизации и автоматизации процессов регулирования и проверки положения таких баз.

6.3. Назначение технологических баз

Одним из наиболее сложных и принципиальных разделов проектирования технологических процессов механической обработки является назначение технологических баз. От правильности решения вопроса о технологических базах в значительной степени зависят:

- фактическая точность выполнения линейных размеров, заданных конструктором;
- правильность взаимного расположения обработанных поверхностей;
- точность обработки, которую должен выдержать рабочий при выполнении запроектированной технологической операции;
- степень сложности и конструкция необходимых приспособлений, режущих и мерительных инструментов;
- общая производительность обработки заготовок.

При автоматизации производства, развитии гидрокопировальных устройств и применении станков с числовым программным управлением (в том числе обрабатывающих центров) значение правильного выбора технологических баз еще более возрастает, так как все эти виды обработки основываются на принципе автоматического получения размеров, в котором погрешность базирования является одним из основных составляющих элементов общей погрешности. В связи с этим, вопрос о выборе технологических баз решается технологом в самом начале проектирования технологического процесса одновременно с вопросом о последовательности и видах обработки отдельных поверхностей заготовки. При этом назначение технологических баз начинается с выбора технологической базы для выполнения первой операции. Для правильного решения задач базирования, прежде всего, нужно руководствоваться двумя принципами:

- принципом совмещения (единства) баз;
- принципом постоянства баз.

6.4. Принцип совмещения (единства) баз

При назначении технологических баз необходимо совмещать их с конструкторскими базами. При нарушении этого принципа **неизбежно возникает дополнительная погрешность, названная погрешностью базирования, максимальная величина которой равна допуску на размер (размеры), соединяющий на чертеже не совмещенные технологическую и конструкторскую базы.** При совмещении технологических и конструкторских баз обработка заготовки осуществляется по размерам, проставленным в рабочем чертеже, с использованием всего поля допуска на размер, предусмотренный конструктором. Если технологическая база не совпадает с конструкторской, технолог вынужден производить замену размеров, проставленных в рабочих чертежах от конструкторских баз более удобными для обработки технологическими размерами, проставленными непосредственно от технологических баз. При этом происходит удлинение соответствующих размерных цепей заготовки и поля допусков на исходные размеры, проставленные от конструкторских баз, распределяются между вновь введенными промежуточными размерами, связывающими технологические базы с конструкторскими базами и с обрабатываемыми поверхностями. В конечном счете, это приводит к ужесточению допусков на размеры, выдерживаемые при обработке заготовок, к удорожанию процесса обработки и понижению его производительности.

Сказанное можно проиллюстрировать следующим примером. При обработке паза на глубину 10H14 (рис. 6.6, а) для упрощения конструкции приспособления удобно установить заготовку на нижнюю поверхность В (рис. 6.6, г). Так как дно паза С связано размером $10^{+0,36}$ с

верхней плоскостью А, эта плоскость является для паза конструкторской базой. В этом случае технологическая база – поверхность В не совпадает с конструкторской. Поскольку при работе на настроенном станке расстояние от оси фрезы до плоскости стола сохраняется неизменным ($k = \text{const}$), а следовательно, постоянен и размер c , отсутствующий на чертеже, то размер глубины паза $a = 10^{+0,36}$ мм не может быть выдержан, так как на его колебание непосредственно влияет погрешность размера $b = 50_{-0,62}$ мм, выдерживаемого на предыдущей заготовительной операции (рис. 6.6, в).

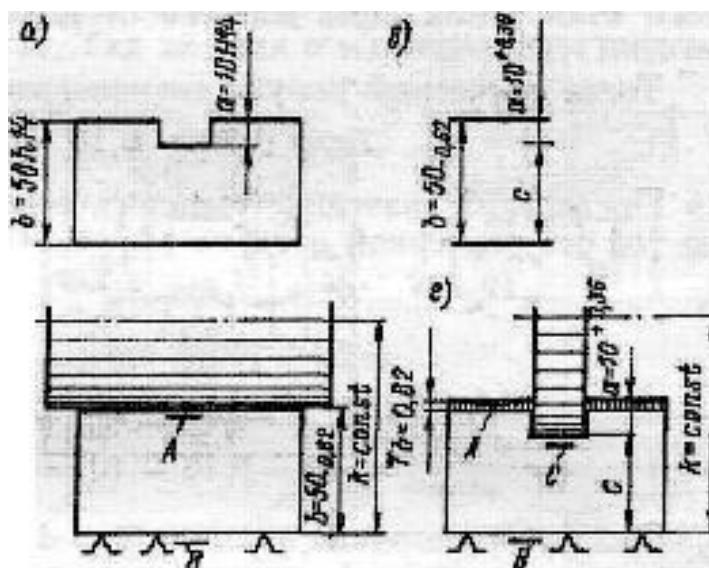


Рис. 6.6. Фрезерование паза от опорной технологической базы В, не совпадающей с конструкторской

Очевидно, что на операционном эскизе фрезерования паза в этом случае следует поставить технологический размер c , точность которого не зависит от предыдущей операции, а конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$ мм целесообразно с эскиза снять. Расчет технологического размера c , а также нового технологического допуска размера b можно произвести, исходя из размерной цепи, приведенной на рис. 6.6, б. Из рисунка видно, что $c = b - a = 50 - 10 = 40$ мм.

Допуск размера c определяется из той же размерной цепи, в которой исходным размером является конструкторский размер $a = 10^{+0,35}$, так как весь расчет производится на основании предпосылки, что размер a должен быть автоматически получен в пределах заданного конструктором допуска при выполнении составляющих размеров цепи b и c в пределах установленных для них допусков. По методу расчета РЦ на максимум и минимум $T_a = T_b + T_c$, откуда $T_c = T_a - T_b$. Подставляя соответствующие значения, получаем $T_c = 0,36 - 0,62$.

Так как допуск – величина существенно положительная и отрицательной быть не может, полученное уравнение не может быть решено без увеличения уменьшаемого или без уменьшения вычитаемого.

Допуск размера **a** задан конструктором и не может быть увеличен, поэтому единственным способом решения поставленной задачи является уменьшение вычитаемого, т. е. ужесточение допуска на размер **b**. Уменьшение T_b следует произвести таким образом, чтобы на размер **b** и на технологический размер **c** были установлены технологически выполнимые допуски. Так как с технологической точки зрения сложность выполнения размеров **b** и **c** одинакова (оба размера лежат в одном интервале размеров и получаются на горизонтально-фрезерном станке от контактной технологической базы), допуск размера **b** ужесточается до величины $T_b = 0,18$ мм, равной половине допуска исходного размера **a**. В этом случае на технологический размер **c** можно назначить допуск, близкий установленному допуску размера **b**.

Окончательно размер **b** назначается с допуском, равным ближайшему стандартному с сохранением установленного чертежом минусового основного отклонения, т. е. $b = 50 - 0,16$. Тогда расчетный допуск технологического размера $T_c = 0,36 - 0,16 = 0,20$ мм.

Таким образом, в связи с несовпадением технологической и конструкторской баз рабочему фактически приходится выдерживать заметно более жесткие допуски по сравнению с допусками, установленными конструктором. Если столь значительное повышение требуемой точности обработки приведет к чрезмерному снижению производительности и возрастанию себестоимости продукции, то может оказаться целесообразным использовать специальное приспособление, позволяющее осуществить фрезерование паза непосредственно от конструкторской базы **A**. Схема подобного приспособления изображена на рис. 6.7, а.

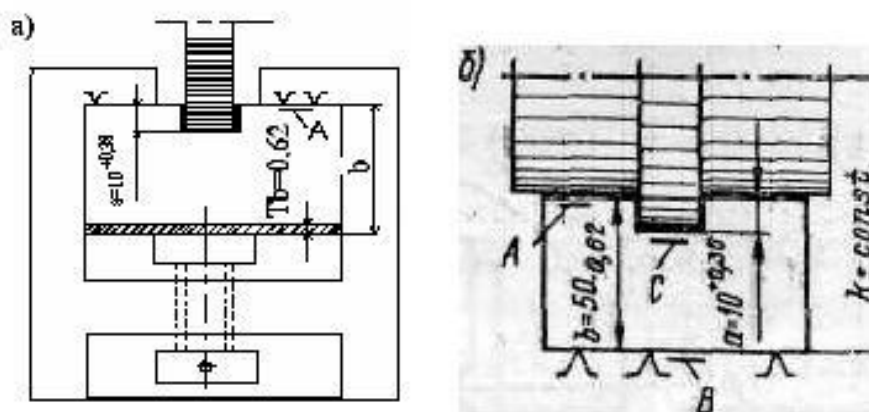


Рис.6.7. Фрезерование паза от технологической базы **A**, совпадающей с конструкторской

Технологическая контактная база – плоскость **A** является одновременно конструкторской базой, от которой без всяких пересчетов непосредственно выдерживается конструкторский размер $a = 10^{+0,36}$ мм. Колебание размера **b** никак не отражается на точности получения конструкторского размера, поэтому ужесточения допусков здесь производить нет необходимости. Эту задачу можно решить иначе,

объединив получение размера a с заготовительной операцией, используя набор фрез (см. рис. 6.7, б).

Так же, как и в предыдущем случае, паз обрабатывается от технологической базы – плоскости А (являющейся здесь настроечной), совпадающей с конструкторской.

6.5. Принцип постоянства баз

Принцип постоянства баз заключается в том, что при разработке технологического процесса необходимо стремиться к использованию одной и той же технологической базы, не допуская без особой необходимости смены технологических баз (не считая смены черновой базы). Нарушение этого принципа неизбежно приводит к возникновению дополнительной погрешности взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз. Поясним сущность этого принципа на конкретном примере.

Рассмотрим обработку торцевых поверхностей (торцы 1...4) заготовки, изображенной на рис. 6.8, а).

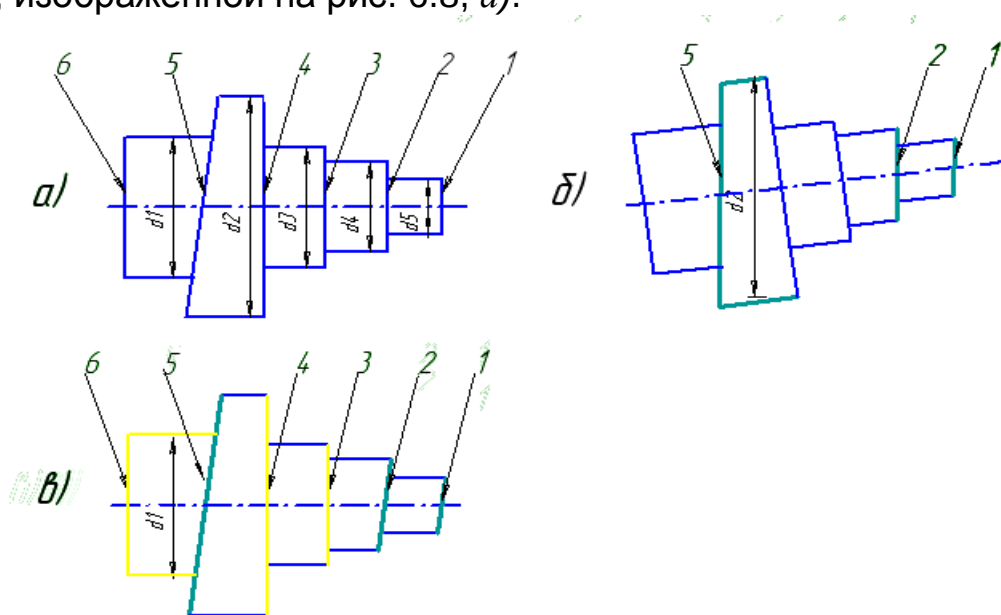


Рис. 6.8. Результат обработки при смене баз

На рисунке для наглядности не параллельность торцевых поверхностей 5 и 6 утрирована. Торцы 1 и 2 обрабатываем от базы, представляющей собой совокупность цилиндрической поверхности $d2$ и торцевой поверхности 5. Заготовка займет положение, изображенное на рис. 6.8, б). Как видно из рисунка, торцы 1 и 2 будут параллельны между собой, но не перпендикулярны продольной оси симметрии заготовки. При обработке торцевых поверхностей 3 и 4, в качестве базы выберем цилиндрическую поверхность $d1$ и торец 6. Заготовка займет положение, изображенное на рис. 6.8, в). Между собой торцы 3 и 4 будут параллельны и, в данном случае, перпендикулярны продольной оси

симметрии. Однако, взаимное расположение поверхностей, обработанных от разных баз, будет содержать дополнительное отклонение от параллельности, равное такому отклонению базовых торцевых поверхностей 5 и 6. Следует особо подчеркнуть, что смена баз ведет к неизбежному возникновению **дополнительной** погрешности и **только** погрешности взаимного расположения поверхностей, если при этом не нарушается принцип совмещения (единства баз).

Глава 7. Проектирование единичных техпроцессов

Проектирование технологических процессов механической обработки начинается с тщательного изучения исходных данных проектирования: сборочного и рабочего чертежей изделия с соответствующими техническими условиями изготовления детали, чертежа исходной заготовки и размеров программного задания.

Изучаются и такие дополнительные условия проектирования, как наличие или отсутствие оборудования, на котором предполагается осуществить изготовление проектируемого изделия; возможности модернизации оборудования; наличие производственных площадей для расширения производства; возможности применения совершенных видов исходных заготовок, прогрессивного инструмента и приспособлений и т.п. По величине программного задания и размерам производственной партии определяются коэффициент закрепления операций, тип и серийность производства, необходимый такт и ритм обработки заготовок.

После этого, (в условиях серийного и единичного производств) по технологическим классификаторам заготовок, обрабатываемых на данном предприятии (цехе), анализируется возможность обработки данной заготовки по существующим на предприятии типовым или групповым технологическим процессам или на действующих групповых переменнo-поточных или автоматических линиях.

При отсутствии возможности использования существующих на предприятии унифицированных технологических процессов, после проведения указанной подготовительной работы, технолог приступает к непосредственному проектированию технологических процессов.

Проектирование технологических процессов представляет собой сложную многовариантную задачу, правильное решение которой требует проведения ряда расчетов. При проектировании процессов обработки сложных и ответственных заготовок составляется несколько возможных вариантов заготовки, окончательный выбор которых производится на основании расчетов и сопоставления достигаемых точности, трудоемкости, выражаемой нормой штучно-калькуляционного времени $T_{ш-к}$, технологической себестоимости C_T и срока окупаемости капитальных затрат.

Такое сопоставление производится как по важнейшим технологическим операциям, так и по всему технологическому процессу в целом.

В начале проектирования технолог предварительно устанавливает виды обработки отдельных поверхностей заготовки и методы достижения их точности, соответствующие требованиям чертежа и серийности производства и существующего на предприятии оборудования. После этого производится назначение технологических

баз на все предполагаемые операции обработки.

Одновременно с этим разрабатывается последовательность операций, т.е. технологический маршрут обработки заготовки. При низкой точности исходных заготовок технологический процесс начинается с черновой обработки поверхностей, имеющих наибольшие припуски. При этом в самую первую очередь снимается припуск с тех поверхностей, на которых возможны литейные раковины, трещины и другие дефекты, с целью скорейшего отсеивания возможного брака или устранения обнаруженных дефектов заваркой, наплавлением металла и т.п. Дальнейший маршрут строится по принципу обработки сначала грубых, затем более точных поверхностей. Наиболее точные поверхности обрабатываются в последнюю очередь. В конце маршрута выполняются второстепенные операции (сверление мелких отверстий, нарезание крепежных резьб, прорезка пазов, снятие фасок и заусенцев). Наиболее легко повреждаемые поверхности (наружные резьбы, особо точные шлифованные и доведенные поверхности) обрабатываются в заключительной стадии технологического процесса. Ответственные и сложные корпусные заготовки часто обрабатываются с разделением технологического процесса на стадии черновой и чистовой обработки. На первой стадии снимаются основные припуски на обработку; в результате этого возникают погрешности заготовки, связанные с перераспределением внутренних напряжений, вызванных черновой механической обработкой. В наиболее ответственных случаях после черновых операций проводится дополнительная термическая обработка заготовок (отжиг и нормализация), способствующая более полному протеканию деформаций и релаксации (снятию остаточных напряжений). На второй стадии обработки (при чистовых операциях) устраняются погрешности, возникшие при черновой обработке, и обеспечивается достижение требуемых точностей обработки, шероховатостей и предписанного чертежом состояния поверхностного слоя.

При обработке сравнительно небольших поверхностей достаточно жестких заготовок удастся избежать дифференциации операций на черновые и чистовые, технологический процесс строится по принципу концентрации операций. В этом случае первые операции стремятся построить наиболее концентрированными.

При проектировании заготовок, подвергающихся термической обработке, в составе технологического процесса предусматриваются дополнительные операции, связанные с особенностями термической обработки (операция меднения или снятия дополнительного припуска для устранения цементованного слоя на поверхностях, не подлежащих закалке после цементации; снятия дополнительного припуска для устранения коробления длинных и тонких заготовок после их закалки и т.п.).

Рассмотрим процесс проектирования единичных ТП с системных

позиций.

В соответствии с системным подходом, описанным в [7], любое изделие, выпускаемое на промышленном предприятии, можно представить в виде так называемой технической системы «Изделие» (ТСИ), в структуру которой входят технические системы «Сборочные единицы» (ТССЕ) и «Детали» (ТСД). Нижним уровнем ТСИ является техническая система «Заготовка» (ТСЗ), которая описывает существование технической системы «Деталь» в течение технологического процесса ее изготовления. Различие между этими системами заключается в наличии временного фактора, в ходе которого изменяются свойства элементов ТСЗ при технологическом процессе обработки заготовки.

Таким образом, из всех указанных технических систем наибольшие структурные изменения происходят в ТСЗ. В ходе выполнения технологического процесса каждый элемент ТСЗ проходит последовательно все состояния, начиная от исходного состояния в заготовке до конечного, соответствующего требованиям чертежа. Каждое состояние элемента характеризуется определенными параметрами (точность размера, качество поверхности, требования взаимного расположения и т.п.), соответствующими этому состоянию [7].

При этом важной количественной характеристикой проектируемой системы «Заготовка» является уточнение, под которым понимают отношение величины допуска ($IT_{заг}$) на рассматриваемую характеристику точности элемента в исходной заготовке к величине допуска ($IT_{дем}$) на ту же характеристику элемента детали

$$\xi = IT_{заг} / IT_{дем} . \quad (7.1)$$

Если, например, для изготовления вала 6-го качества $\varnothing 50h6_{(-0,016)}$ мм ($IT_{дем} = 0,016$ мм) используют заготовку из горячекатаного проката $\varnothing 54^{+0,4}_{-1,0}$ мм ($IT_{заг} = 1,4$ мм), то расчетное уточнение в ходе технологического процесса, определяемое по формуле (7.1), будет равно $\xi = 1,4 / 0,016 = 87,5$.

Такое уточнение, при соблюдении требований экономичности, невозможно получить одноразовой обработкой. Поэтому превращение грубых по форме, размерам и качеству поверхностей элементов заготовок в готовые детали экономически целесообразно осуществлять на нескольких последовательно выполняемых ступенях обработки, проводимых на одной или нескольких операциях. После выполнения каждой ступени обработки изменяется состояние элементов (их размеры, точность, шероховатость поверхности и т.п.), то есть можно говорить, что каждая ступень обработки характеризуется своим фактическим уточнением

$$\xi_{i\phi} = IT_{i-1} / IT_i . \quad (7.2)$$

где IT_{i-1} – допуск на рассматриваемую характеристику точности элемента в состоянии поставки на рассматриваемую ступень обработки;

IT_i – допуск на ту же характеристику элемента после выполнения рассматриваемой ступени обработки.

После выполнения всех (k) ступеней обработки фактическое общее уточнение будет

$$\xi_{\phi} = \xi_{1\phi} \cdot \xi_{2\phi} \cdot \dots \cdot \xi_{(k-1)} \cdot \xi_{k\phi}. \quad (7.3)$$

В качестве расчетных (формализованных) характеристик состояний отдельных ступеней обработки в приборостроении и машиностроении принимают допуски размеров или параметры шероховатости поверхностей, соответствующие среднеэкономическим значениям этих параметров для различных методов обработки. Под среднеэкономическим значением параметра обработки (точность обеспечиваемого размера или обработанной поверхности, шероховатость обработанной поверхности) будем понимать, такое его значение, обработка выше которого приводит к существенному увеличению ее стоимости, а обработка ниже которого не приводит к существенному снижению ее стоимости. Поскольку среднеэкономические значения параметров приняты при определенной и обязательной последовательности методов обработки (чистовое точение после чернового, шлифование после чистового точения, развертывание после зенкерования и т.п.), то можно говорить о расчетных (формализованных) значениях уточнений различных методов обработки.

Например, для приведенного выше примера обработки по 6-му качеству вала из проката регламентируется следующая последовательность методов обработки: заготовка – прокат ($IT_{заг} = IT_1 = 1,4$ мм), черновое точение (13-й качество, $IT_2 = 0,39$ мм), чистовое точение (11-й качество, $IT_3 = 0,16$ мм), предварительное шлифование (8-й качество, $IT_4 = 0,039$ мм), чистовое шлифование (6-й качество, $IT_5 = 0,016$ мм).

Тогда фактические уточнения каждой ступени обработки будут иметь следующие значения:

$$\xi_{1\phi} = 1,4 / 0,39 = 3,58;$$

$$\xi_{2\phi} = 0,39 / 0,16 = 2,44;$$

$$\xi_{3\phi} = 0,16 / 0,039 = 4,1;$$

$$\xi_{4\phi} = 0,039 / 0,016 = 2,44.$$

Уточнение всего технологического процесса обработки вала, согласно уравнению (7.3)

$$\xi_{\phi} = \xi_{1\phi} \cdot \xi_{2\phi} \cdot \xi_{3\phi} \cdot \xi_{4\phi} = 3,58 \cdot 2,44 \cdot 4,1 \cdot 2,44 = 87,5.$$

В ряде случаев последовательность выполняемых методов обработки регламентирована весьма жестко (например, при обработке отверстий мерным инструментом их наименование и число для заданного качества точности и вида заготовки является вполне определенным и регламентировано справочником).

Однако во многих случаях отступления от средних общемашиностроительных характеристик методов обработки, не только

допустимы, но и экономически оправданы. Например, при высоких точностных характеристиках и высокой жесткости системы «Обработка» возможно при черновом точении получить 11-й квалитет от заготовки однократным точением и достичь уточнения 7...10.

Таким образом, если при проектировании технической системы «Заготовка» об отличительных особенностях применяемых систем «Обработка» ничего неизвестно, то используют общемашино-строительные набор и последовательность методов обработки при переводе каждого элемента из состояния в исходной заготовке в состояние готовой детали. При наличии достоверной информации о повышенных (или пониженных) точностных характеристиках используемого оборудования принимают иной набор методов обработки.

Важно отметить, что во всех случаях назначение метода получения исходной заготовки, определение методов обработки, их последовательности, значений точностных характеристик и качества поверхности при переводе каждого элемента из состояния в заготовке в состояние готовой детали выполняют на первом этапе проектирования технической системы «Заготовка», то есть при проектировании принципиальной схемы технологического процесса.

Разработку принципиальной схемы технологического процесса начинают с определения метода получения исходной заготовки и ее конфигурации, исходя из физико-механических свойств материала детали, серийности производства и возможностей оборудования заготовительного производства на предприятии. После этого для элементов детали в отдельности определяют необходимое количество промежуточных этапов обработки и получаемые ими состояния – точность и шероховатость для элементов вращения и шероховатость для плоскостных элементов. Это целесообразно выполнять, начиная с окончательного состояния элемента, двигаясь по направлению к исходной заготовке, используя данные, которые представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Точность и шероховатость при обработке поверхностей
на выполняемом и предшествующем этапах обработки**

Квалитет на этапе обработки		Параметр шероховатости R_a , мкм	
На выполняемом этапе	На предшествующем этапе	На выполняемом этапе	На предшествующем этапе
6	≤ 9	0,08	$\leq 0,32$
7	≤ 10	0,16	$\leq 0,63$
8	≤ 11	0,32	$\leq 1,25$
9	$\leq 11...12$	0,63	$\leq 2,5$
10	≤ 13	1,25	≤ 5

Квалитет на этапе обработки		Параметр шероховатости R_a , мкм	
На выполняемом этапе	На предшествующем этапе	На выполняемом этапе	На предшествующем этапе
11 } 12 }	≤ 14	2,5 (3,2)	≤ 10
13 } 14 }		5 } 10 }	≤ 20
	Отклонения в заготовке	20	$\leq 80 \dots 100$

Например, у детали «Фланец», изображенной на рис. 7.1, имеется наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 80h8$, параметр шероховатости которой составляет $R_a = 2,5$ мкм.

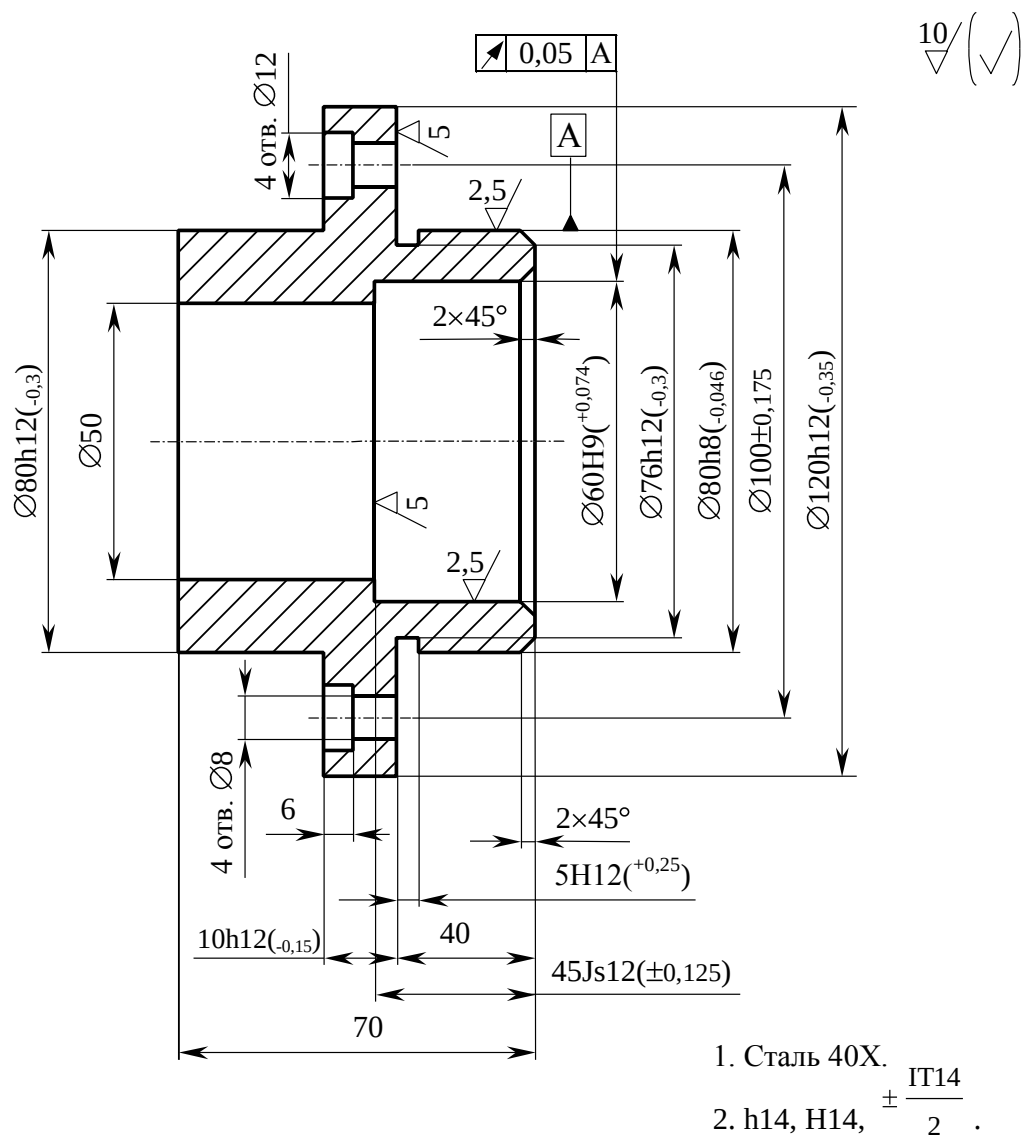


Рис.7.1. Фланец

Для этой поверхности, используя данные табл. 7.1, можно назначить следующие состояния и методы обработки:

- $\varnothing 80h8$, $R_a = 2,5$ мкм – чистовое точение;
- $\varnothing \dots h11$, $R_a = 5$ мкм – получистовое точение;
- $\varnothing \dots h14$, $R_a = 20$ мкм – черновое точение;
- $\varnothing \dots \begin{smallmatrix} +1,0 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$, $R_z 320$ мкм – штамповка ГМ.

Принципиальную схему технологического процесса изготовления детали «Фланец» в условиях среднесерийного производства можно представить таблично (табл. 7.2), предварительно разбив деталь (рис. 7.2) на элементы вращения (ЭВ_i) и плоскостные элементы (ЭП_j).

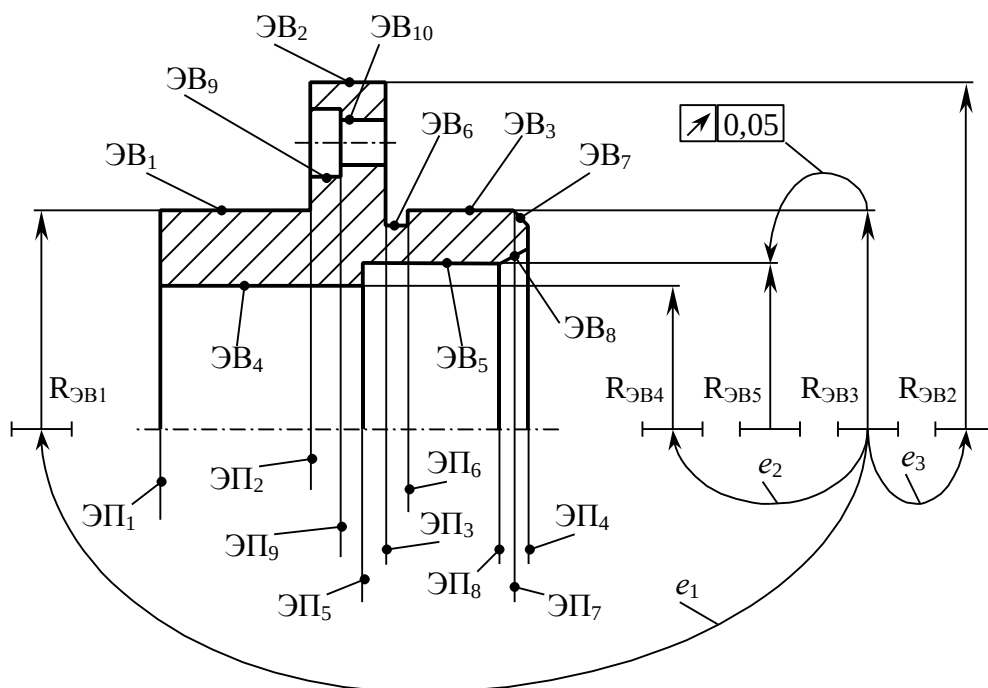


Рис.7.2. Граф структуры детали «Фланец»

Как видно из табл. 7.2 технологический процесс изготовления детали «Фланец» будет состоять из следующих этапов:

- заготовительного (штамповочного);
- токарного чернового;
- токарного получистового;
- токарного чистового;
- сверлильного.

При этом можно принять указанную последовательность выполнения этапов с объединением чернового и получистового этапов в один, исходя из технологических возможностей токарных станков с ЧПУ, широко применяемых в условиях среднесерийного производства.

Таблица 7.2

Принципиальная схема технологического процесса изготовления детали «Фланец»

Характеристики этапа обработки элемента	Элементы детали																		
	ЭВ ₁	ЭВ ₂	ЭВ ₃	ЭВ ₄	ЭВ ₅	ЭВ ₆	ЭВ ₇	ЭВ ₈	ЭВ ₉	ЭВ ₁₀	ЭП ₁	ЭП ₂	ЭП ₃	ЭП ₄	ЭП ₅	ЭП ₆	ЭП ₇	ЭП ₈	ЭП ₉
Метод окончательной обработки элемента с указанием до или после ТО	Точен. полу-чист. до ТО	Точен. полу-чист. до ТО	Точение чист. до ТО	Растачив. черн. до ТО	Растачив. чист. до ТО	Точен. од-нокр. до ТО	Точен. од-нокр. до ТО	Растач. од-нокр. до ТО	Зенкорова-ние до ТО	Сверление до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Подрезка окон. до ТО	Точен. од-нокр. до ТО	Растач. од-нокр. до ТО	Подр. при зенк. до ТО
Точность размера	h12	h12	h8	H14	H9	h14	h14	H14	H14	H14	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Параметр шероховатости Ra, мкм	10	10	2,5	10	2,5	5	10	10	10	10	10	10	5	10	5	10	10	10	10
Метод предвари-тельной обработки элемента	Точение черновое	Точение черновое	Точение получист.	–	Растачив. получист.	–	–	–	–	–	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	Подрезка предвар.	–	–	–	–
Точность размера	h14	h14	h11	–	H12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Параметр шероховатости Ra, мкм	20	20	5	–	5	–	–	–	–	–	20	20	20	20	20	–	–	–	–
Метод предвари-тельной обработки элемента	–	–	Точение черновое	–	Растачив. черновое	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Точность размера	–	–	h14	–	H14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Параметр шероховатости Ra, мкм	–	–	20	–	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Метод получения элемента в заготовке	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	–	–	–	–	–	–	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	Штампов-ка ГКМ	–	–	–	–	–
Отклонения, мм	+1,0 –0,5	+1,0 –0,6	+1,0 –0,5	+0,4 –1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Параметр шероховатости Rz, мкм	320	320	320	320	–	–	–	–	–	–	320	320	320	320	–	–	–	–	–

В ходе механической обработки на металлорежущих станках при переводе элемента заготовки из одного состояния в другое снимают слой материала, называемый припуском. Следовательно, припуск – понятие, относящееся к определенной обрабатываемой поверхности, его измеряют по нормали к этой поверхности, и он определяет глубину резания. Говоря о припуске вообще, мы будем подразумевать припуск на сторону.

Различают общий и операционный припуски. Общим припуском называют слой материала, удаляемый с заготовки в процессе ее обработки с целью получения готовой детали (рис. 7.3).

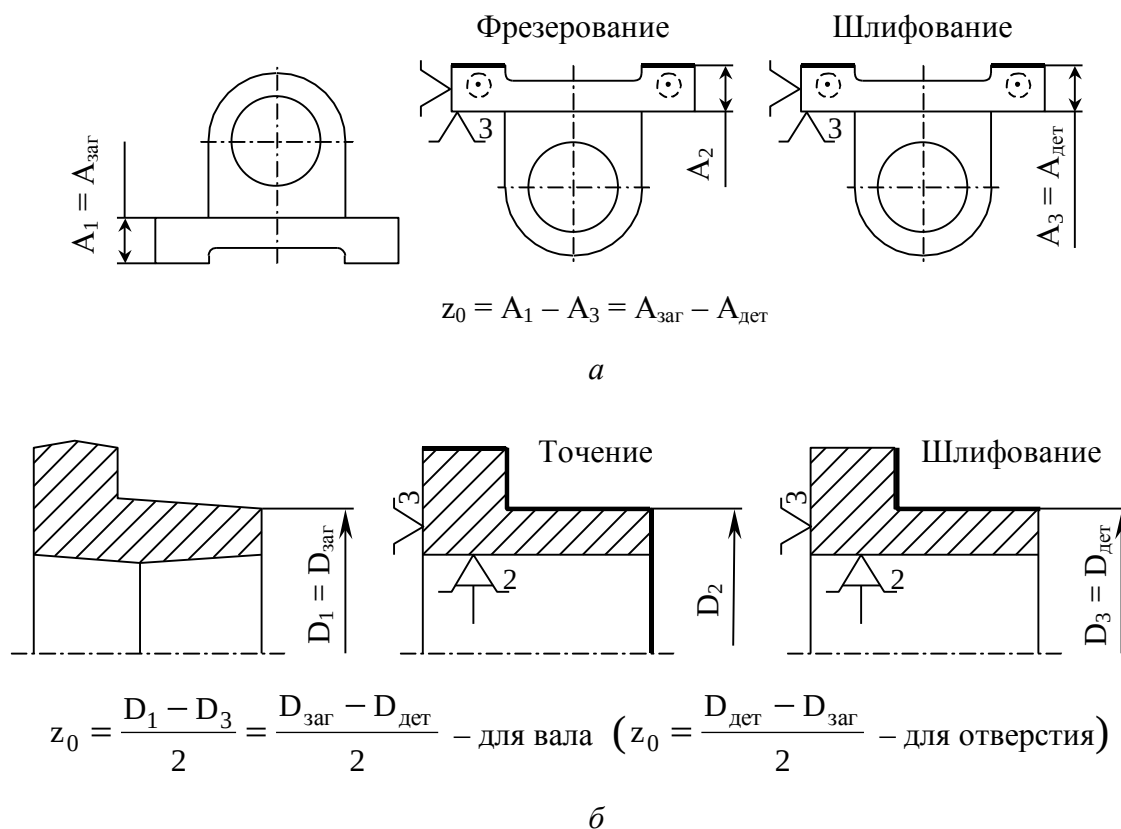


Рис. 7.3. Общий припуск (z_0) на обработку: *a* – для плоскостных элементов;
б – для элементов вращения

Он равен разнице номинальных значений линейных размеров в заготовке и детали, связывающих между собой одни и те же плоскостные элементы в разных состояниях, получаемые в заготовке и детали, или половине разницы номинальных значений диаметров элементов вращения в заготовке и детали.

Таким образом, общий припуск – это слой материала, необходимый для выполнения всей совокупности ступеней обработки элементарной поверхности от состояния в исходной заготовке до состояния готовой детали.

Общий припуск можно определить как сумму припусков на отдельные ступени обработки

$$z_o = z_{\text{НОМ}}^{\text{ТОК}} + z_{\text{НОМ}}^{\text{ШЛ}} + \dots = \sum_k z_i. \quad (7.4)$$

Припуски на отдельные ступени обработки в технической литературе называются по-разному: промежуточные, межпереходные, межоперационные, операционные.

Промежуточный припуск – слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной ступени обработки (операции или перехода, или рабочего хода).

Операционный (межоперационный) припуск – слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной операции.

Межпереходный припуск – слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одного перехода.

При проектировании маршрутного технологического процесса мы будем использовать термин операционный припуск, хотя он и не является наиболее объективным из перечисленных выше. Принимая термин «операционный припуск», будем иметь в виду его условность для тех случаев, когда на одной операции выполняют несколько ступеней обработки рассматриваемого элемента. Если каждую ступень обработки выполняют на отдельной операции (крупносерийное, массовое производство, а в некоторых случаях и в среднесерийном производстве), то понятия «операционный припуск» и «припуск на i -ю ступень обработки» полностью идентичны.

Так как размеры, получаемые на каждой ступени обработки, имеют допуски, в пределах которых они могут менять свои значения, то эти значения обуславливают изменения величин припуска. В технической литературе и в заводской практике различают следующие значения припуска: номинальный, максимальный, минимальный.

Выберем систему отсчета припуска, которая должна удовлетворять ряду требований: объективно отражать физическую сущность процесса многоступенчатой обработки элемента заготовки, соответствовать стандартизированной системе допусков и посадок и теории размерных цепей. Указанным требованиям отвечает система, в которой за начало отсчета принято номинальное значение размера. Построенные на основе такой системы отсчета схемы связей между операционными размерами, припусками на обработку и допусками приведены на рис. 7.4.

В дальнейшем будем оперировать величинами минимального припуска (как наиболее частого) и максимального. Знать величину номинального припуска необходимо лишь в тех случаях, когда на основе нее необходимо выбрать какие-либо данные из справочной литературы (например, определить величину глубины резания и по ней величину подачи при определении режимов однократной обработки).

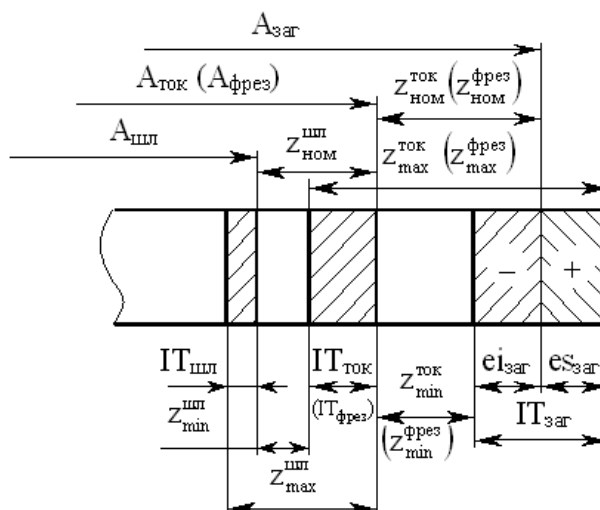


Рис.7.4. Схема связей операционных припусков на обработку с операционными размерами и допусками

Анализируя указанную выше схему, можно сделать вывод, что именно минимальный припуск является слоем материала, необходимым и достаточным для осуществления заданной обработки элемента, и не зависит от допусков на размеры предшествующей и выполняемой ступеней обработки.

Вот почему минимальное значение припуска $Z_{i\min}$ является обоснованной расчетной величиной с точки зрения теории и практики технологии машино- и приборостроения.

Рассмотрим структуру минимального расчетного операционного припуска.

Задачей каждой ступени обработки является уточнение всех параметров обрабатываемого элемента. Для этого необходимо при выполнении рассматриваемой ступени обработки удалить погрешности предшествующих ступеней обработки. Такими погрешностями являются микронеровности (R_{Zi-1}) и дефектный слой (h_{i-1}), оставшиеся от предшествующей ступени обработки, а также погрешность установки заготовки относительно базы системы «Обработка», погрешности формы и положения обрабатываемого элемента, которые обуславливают неравномерность припуска. Для иллюстрации сказанного рассмотрим рис. 7.5.

На рис. 7.5,а изображена схема обработки вала на токарном станке. Ось O_i на схеме изображает ось вала после выполнения данной ступени обработки, она же является базой системы «Обработка», то есть осью вращения шпинделя станка. Ось O_{i-1} заготовки, как правило, не совпадает с осью вращения из-за погрешности установки заготовки в патроне. Вследствие этого возникает несоосность e .

При обработке наружных цилиндрических поверхностей величина припуска на обработку между двумя соседними (предыдущим $i-1$ и рассматриваемым i) состояниями одной и той же поверхности определится по формуле

$$z_i = \frac{D_{i-1} - D_i}{2} = R_{i-1} - R_i. \quad (7.5)$$

Согласно теории размерных цепей известно, что

$$z_{i \min} = R_{(i-1) \min} - R_{i \max}. \quad (7.6)$$

Из рис. 7.5,а следует, что

$$R_{(i-1) \min} - R_{i \max} = (R_Z + h)_{i-1} + e_i. \quad (7.7)$$

Подставляя (7.7) в (7.6) получим

$$z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_i. \quad (7.8)$$

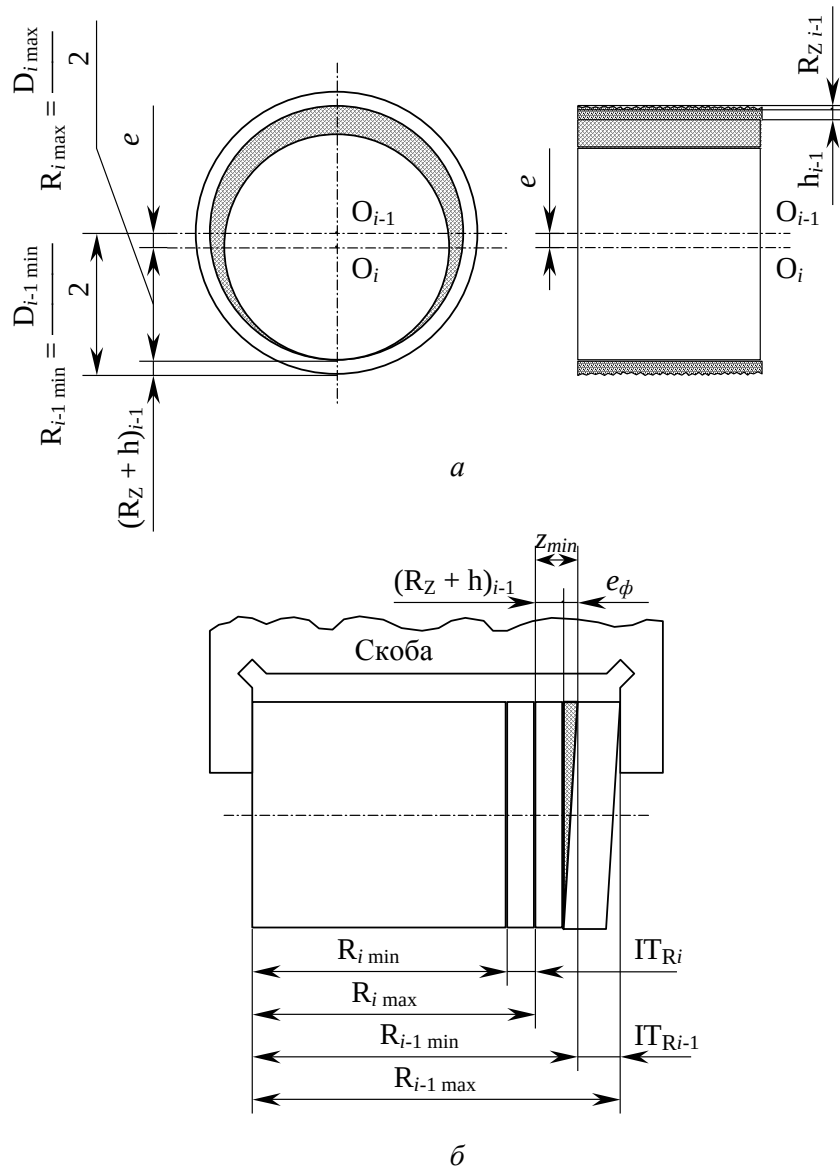


Рис.7.5. Схемы для определения элементов минимального припуска:
а – обработка элементов вращения; б – обработка плоскостей

На рис. 7.5,б показан типичный случай обработки и контроля линейного размера R_{i-1} при подрезке торца. Погрешность формы, вызванную неперпендикулярностью торца к оси вала, при контроле

скобой не представляется невозможным. Поэтому при расчете размера R_{i-1} следует принять наихудший случай, которым является наличие конуса на торце и выполнение размера R_{i-1} по минимальному значению. При определении минимального припуска на обработку торца в этом случае в его состав добавляется составляющая e_ϕ , определяющая погрешность формы

$$z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_\phi. \quad (7.9)$$

В общем случае величину минимального расчетного припуска определяют по формуле

$$z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{\max}. \quad (7.10)$$

При этом необходимая для расчета величина неравномерности припуска ($e_{\max}$) является суммой двух векторов

$$e_{\max} = \bar{\Delta} + \bar{\xi}_y, \quad (7.11)$$

где $\bar{\Delta}$ – неравномерность припуска, вызванная погрешностью формы (изогнутость, коробление, конусность и т.п.), которая определяется в каждом конкретном случае по данным, представленным в справочной литературе;

$\bar{\xi}_y$ – неравномерность припуска, вызванная погрешностью установки, базирования и закрепления заготовки, возникающей на предшествующей и рассматриваемой ступенях обработки, которая определяется путем построения и расчета соответствующих размерных цепей.

При обработке цилиндрических поверхностей заготовок векторы $\bar{\Delta}$ и $\bar{\xi}_y$ могут занимать любое угловое положение в плоскости перпендикулярной оси. В этом случае можно использовать простой способ их сложения по правилу геометрического суммирования

$$e_{\max} = \sqrt{(\Delta)^2 + (\xi_y)^2}. \quad (7.12)$$

При обработке плоскостей направление векторов известно и тогда

$$e_{\max} = \Delta + \xi_y. \quad (7.13)$$

Учитывая сказанное, величину минимального припуска определяют по формулам

– для элементов вращения

$$z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{\max} = (R_Z + h)_{i-1} + \sqrt{(\Delta)^2 + (\xi_y)^2}; \quad (7.14)$$

– для плоскостей

$$z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + \Delta + \xi_y. \quad (7.15)$$

Зная величину минимального расчетного припуска можно рассчитать промежуточные линейные и диаметральные размеры.

Формула (7.15) показывает, что величину минимального расчетного припуска для каждой ступени обработки элементов

вращения можно определить, только зная величину $e_{\max}$, которая рассчитывается путем построения и решения соответствующих размерных цепей биений.

Промежуточные линейные размеры рассчитываются из уравнений линейных размерных цепей, когда припуск принимается в качестве замыкающего звена размерной цепи.

Размерные цепи биений, а также линейных размеров, можно выявить только после разработки структуры технической системы «Заготовка» (ТСЗ).

Следовательно, вторым этапом проектирования ТСЗ является разработка ее структуры, на которую оказывает существенное влияние организационно–плановая структура системы «Технологический процесс». Как технологический процесс разделен на отдельные операции, так и структура технической системы «Заготовка» разбивается на части – операционные комплексы (ОК).

Операционным комплексом называется часть технической системы «Заготовка», выполняемая на выбранной модели оборудования, обеспечивающего выбранные методы обработки, и содержащая элементы, преобразуемые (обрабатываемые) на данном операционном комплексе с указанием их параметров и взаимосвязи.

В ходе разработки структуры ТСЗ создается ряд последовательных операционных комплексов, обеспечивающих перевод всех элементов из исходного в конечное состояние, соответствующее требованиям конструкторского чертежа. При этом решают следующие задачи:

1. Определяют геометрию исходной заготовки и указывают состояния элементов (отклонения, шероховатость, технические требования), с учетом способа производства этой заготовки, принятого на первом этапе проектирования.

2. С учетом геометрии детали, размерных связей и требований взаимного расположения элементов, множество последних разделяют на подмножества, изготовление которых связано с переустановкой заготовки. Далее определяют сторону заготовки, с которой следует начинать механическую обработку.

3. С учетом данных чертежа детали выделяют и распределяют между собой этапы механической, термической, гальванической и других видов обработки. При этом определяют состояния элементов заготовки, в которых они поступают на этапы немеханической обработки. Таким образом, механическая обработка разделяется на части, выполняемые до и после этапов немеханической обработки, изменяющих физико-механические свойства отдельных элементов или заготовки в целом.

4. Определяют состав элементов каждого операционного комплекса с учетом принятых методов обработки элементов, их положения элементов в структуре системы «Заготовка» (стороны

расположения элементов), а также принятого разделения обработки (на черновую, получистовую, чистовую, отделочную и т.п.), которое проведено на этапе проектирования принципиальной схемы ТП. При этом следует учитывать тип и организацию производства. Для выполнения каждого операционного комплекса выбирается оборудование. Также определяется состояние каждого элемента заготовки при выходе из операционного комплекса с учетом технологических возможностей выбранного оборудования. При формировании операционных комплексов окончательной обработки заготовки необходимо по возможности объединять в один операционный комплекс окончательно обрабатываемые элементы, связанные между собой требованиями взаимного расположения. То есть необходимо стремиться проводить окончательную обработку таких элементов с одной установки (если позволяют окончательные методы обработки и расположение элементов).

5. Назначают последовательность выполнения операционных комплексов, используя следующее правило: «Каждый следующий этап обработки (получистовой после чернового, чистовой после получистового и т.д.) необходимо начинать с той же стороны заготовки, которой заканчивался предыдущий этап».

6. По результатам анализа конфигурации заготовки, состояний элементов и технических требований на их изготовление для каждого операционного комплекса из типовых схем, принятых для выбранных типов оборудования, назначают схему установки и закрепления заготовки. То есть определяют набор элементов, контактирующих с базовыми элементами приспособлений и обеспечивающих установку заготовки в системе «Обработка». При этом необходимо стремиться к соблюдению правила постоянства баз: использовать одни и те же элементы для контакта с базовыми элементами приспособлений, не допуская их смены без особой необходимости.

7. Определяют типы и классы точности применяемых приспособлений, реализующих принятые схемы установки и закрепления заготовки. При необходимости проводят корректировку точности базовых элементов вращения, так как точность базовых поверхностей влияет на величину погрешности установки заготовки и на возможность обеспечения заданных требований взаимного расположения поверхностей вращения.

8. Назначают структуру геометрических связей внутри каждого операционного комплекса.

Далее рассмотрим подробнее методики решения двух последних задач.

Решение задачи определения типов и классов точности приспособлений с необходимостью корректировки точности базовых элементов вращения поясним с точки зрения надежности ТП по обеспечению точности.

Под надежностью технологических процессов механической обработки заготовок будем понимать их свойство обеспечивать точность и качество деталей, заданные чертежом, на разных этапах их изготовления, при условии сохранения на этих этапах требуемых технических параметров в установленных пределах, с учетом обработки заготовок в определенной последовательности, на выбранном оборудовании, в требуемой технологической оснастке, необходимым инструментом и при заданных режимах обработки [8].

Надежность технологического процесса можно выразить показателем запаса точности ($\psi = IT_{Xi} / \omega_{Xi}$). Он характеризует отношение допустимой величины изменения (IT_{Xi}) точностного параметра (X_i) к его погрешности (ω_{Xi}), ожидаемой при реализации ТП. Иными словами, надежность ТП, согласно [6], можно связать с надежностью обеспечения требуемой точности обработки заготовок без брака. При условии $1,0 < \psi \leq 1,2$, а тем более $\psi > 1,2$ надежность ТП по обеспечению точности будет гарантирована. Чем этот показатель больше, тем выше ожидаемая надежность ТП по обеспечению точности (она будет зависеть только от правильности настройки оборудования и технологической оснастки и их технического состояния при реализации ТП в реальных производственных условиях).

Согласно сведениям [6], одной из составляющих погрешности обработки заготовки является погрешность её установки в приспособлении. Чем выше точность базовой поверхности и класс точности используемого приспособления, тем меньше эта погрешность.

Оценить погрешность установки заготовки можно на основе справочных данных [9] или используя расчетный метод [5]. В последнем случае расчет ведется на основе эмпирических формул определения несоосностей обработанных поверхностей относительно базовых при установке заготовки в различных типах приспособлений (в трехкулачковых патронах, плунжерных оправках, цанговых патронах и оправках, патронах и оправках с гидропластом, мембранных патронах), имеющих разную точность. Обобщенный вид этих формул можно представить следующим образом [8].

$$e = a_i \sqrt{IT_{\delta}} (1 + k_j \cdot l), \quad (7.16)$$

где e – несоосность обработанной поверхности относительно поверхности, использованной в качестве базы;

a_i – коэффициент, зависящий от типа приспособления и класса его точности;

IT_{δ} – допуск на диаметр базирующей поверхности, мм;

k_j – константа, зависящая от типа приспособления (для трехкулачкового патрона $k_j = 0,02$, для остальных типов приспособлений – $0,01$);

l – величина вылета, то есть расстояние от торца установочно-зажимных элементов приспособления (например, кулачков) до

наиболее удаленного участка обработанной поверхности, мм.

Проанализируем эту эмпирическую зависимость (7.16).

А) Связь с обработанными поверхностями указывает на то, что определяются остаточные несоосности (биения) этих поверхностей. При этом согласно сведениям [5, 9], остаточные несоосности (биения) имеют незначительную величину и теоретически возможен идеальный случай, когда остаточная несоосность (биение) обработанной поверхности, получающаяся при обработке в результате приближения оси поверхности вращения к оси шпинделя станка, станет равной нулю при совпадении этих осей.

Б) Имеется непосредственная связь с типом приспособления и классом его точности через коэффициент a_i , а также с точностью базирующей поверхности через её допуск IT_{δ} .

В) Если величина $e(2e)$ определяет несоосность (биение) обработанной поверхности относительно базовой, то справедливо и обратное утверждение. Величина $e(2e)$ определяет несоосность (биение) базовой поверхности относительно обработанной поверхности. При этом в случае совпадения оси обработанной поверхности с осью шпинделя эта величина определяет несоосность (биение) базовой поверхности относительно оси шпинделя станка, то есть погрешность установки заготовки.

Г) Если вылет заготовки более 100 мм, то расчетная величина e получается весьма значительная, так как выражение в скобках становится равным двум и более. При этом возникает парадокс: величина e , определяющая остаточные несоосности (биения) обработанных поверхностей, должна быть, согласно сведениям [5, 9], незначительной (в пределах 0,03...0,06 от исходной).

Устранить это несоответствие можно следующим образом. Будем использовать эмпирическую формулу для определения величины несоосности (биения) базовой поверхности относительно оси шпинделя станка (базы обработки), вызванной погрешностью установки заготовки в приспособлении, и в качестве l примем длину участка базовой поверхности, не используемого для базирования, то есть свободного от контакта с установочно-зажимными элементами приспособления. Отсюда становится понятной выработанная многолетней практикой целесообразность наиболее полного использования базовой поверхности по всей длине для контакта с установочно-зажимными элементами приспособления. Значит, при наладке станка необходимо стремиться к минимально возможной величине l (рис. 7.6,а), или l может равняться нулю (рис. 7.6,б). При этом величины несоосностей (биений) базовых поверхностей, рассчитанные таким образом, согласуются со справочными данными.

Величины несоосностей обработанных поверхностей относительно оси шпинделя станка будем определять, используя коэффициент уточнения 0,03...0,06, который дан в [9], а величины несоосностей

обрабатываемых поверхностей (исходные биения) относительно оси шпинделя станка будем определять, составляя и решая размерные цепи биений.

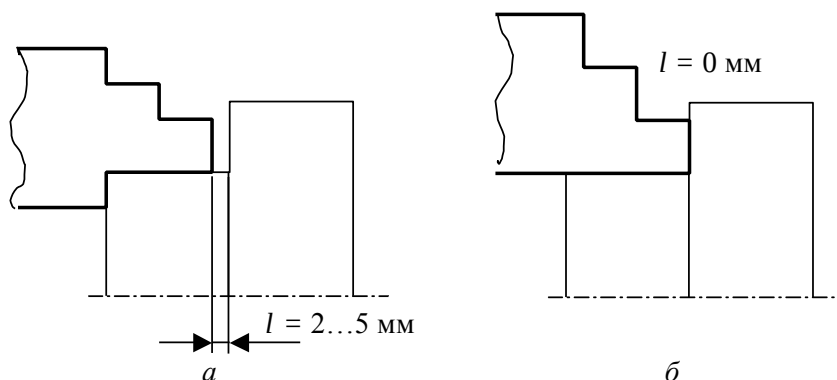


Рис.7.6. Использование базовой поверхности по длине: *a* – неполное; *б* – полное

Как уже было сказано, на величину e влияет допуск базирующей поверхности $IT_{\bar{b}}$. Отсюда следует, что после выбора базовых поверхностей технологически целесообразно ужесточить их допуски ближе к (или до) среднеэкономической точности оборудования, на котором они формируются, в том случае, если первоначальная точность этих поверхностей грубее.

Это необходимо, так как уменьшаются исходные биения обрабатываемых поверхностей и неравномерности припусков на их обработку, а в ряде случаев точность базовых поверхностей вращения напрямую сказывается на выполнении требований взаимного расположения поверхностей (ТВР), заданных конструктором. Однако повышение точности этих поверхностей не должно увеличивать стоимость операций, на которых они формируются. Исходя из этих соображений, можно дать следующие рекомендации [8]:

- поверхность, получаемая на черновой операции и используемая в дальнейшем в качестве базовой, должна выполняться по 12-му качеству точности;

- поверхность, получаемая на операции, в которой совмещаются черновая и получистовая обработки или проводится только получистовая обработка, и используемая в дальнейшем в качестве базовой, должна выполняться по 11-му качеству точности;

- поверхность, получаемая на чистовой операции и используемая в дальнейшем в качестве базовой, должна выполняться по 9-му качеству точности;

- поверхность, получаемая на шлифовальной операции и используемая в дальнейшем в качестве базовой, должна выполняться по 7-му качеству точности.

Выше указанные рекомендации кратко сведены в табл. 7.3.

**Рекомендуемые качества базовых поверхностей в зависимости
от характера их обработки при их подготовке**

Характер обработки при подготовке базы	Рекомендуемый качество	Примечание
Черновые токарные операции	12	–
Получистовые токарные операции или совмещение в одной операции черновой и получистовой токарной обработок	11	Если по плану обработки элемента назначено состояние с точностью грубее 11-го качества
Чистовые токарные операции	9	Если по чертежу требуется или по плану обработки элемента назначено состояние с точностью грубее 9-го качества
Шлифовальные операции	7	Если по чертежу требуется точность грубее 7-го качества

Используя методику составления и расчета размерных цепей биений, которая подробно рассматривается ниже, и обобщенную эмпирическую формулу (7.16) для определения величины биения ($2e$) базовой поверхности относительно оси шпинделя станка, для различных схем обеспечения ТВР между обработанными поверхностями при их окончательной обработке (см. табл. 7.4) можно рассчитать ориентировочный коэффициент a (см. табл. 7.5).

Это позволит определить тип приспособления и класс его точности для чистовых операций ТП из условия обеспечения заданных ТВР [8]. В этой методике учтены следующие упрощения и допущения: остаточные биения обработанных поверхностей составляют 10...15% от величины конструкторских ТВР; пренебрегаем параметром l , так как его влияние на биение базовой поверхности относительно оси шпинделя станка незначительно.

В табл. 7.6 представлены интервалы изменения коэффициента a и рекомендуемые типы приспособлений необходимого класса точности (Н – нормальной, П – повышенной, В – высокой).

Использование приспособлений должно надежно обеспечивать выполнение конструкторских требований взаимного расположения поверхностей. Поэтому в первую очередь необходимо рассчитывать коэффициент a при $\psi = 1,2$. Если он получается меньше 0,04, то необходимо повторить расчет коэффициента a при $\psi = 1,0$. Если и в этом случае он получается меньше 0,04, то действительно без выверки не обойтись.

Таблица 7.4

**Схемы обеспечения требований взаимного расположения поверхностей
при их окончательной обработке**

№ схе- мы	Описание схемы	Эскизы	Примечание
1	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, при одной установке (за одну операцию). В качестве базы служит обработанная поверхность (3).		На обеспечение ТВР влияют остаточные биения обработанных поверхностей (1 и 2).
2	Окончательная обработка поверхности (2) при базировании по другой окончательно обработанной поверхности (1), имеющей ТВР с рассматриваемой.		На обеспечение ТВР влияют погрешность установки заготовки (по поверхности 1) и остаточное биение обработанной поверхности (2).
3	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, в разных операциях. При обработке второй поверхности в качестве базы принимается поверхность (3), которая была обработана за одну установку с первой поверхностью на предшествующей операции.		На обеспечение ТВР влияют погрешность установки заготовки (по поверхности 3) на второй операции и остаточные биения обработанных поверхностей (1, 3 и 2).
4	Окончательная обработка поверхностей (1 и 2), имеющих ТВР, в разных операциях при базировании по одной и той же поверхности (3).		На обеспечение ТВР влияют погрешности установки заготовки (по поверхности 3) на первой и второй операциях и остаточные биения обработанных поверхностей (1 и 2).

Таблица 7.5

Формулы для расчета коэффициента a

№ схемы	$\psi = 1,2$		$\psi = 1,0$	
	$TБПО = 0,1КБП$	$TБПО = 0,15КБП$	$TБПО = 0,1КБП$	$TБПО = 0,15КБП$
2	$a = \frac{0,9КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,9КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,99КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,98КБП}{2\sqrt{IT_D}}$
3	$a = \frac{0,89КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,87КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,98КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,96КБП}{2\sqrt{IT_D}}$
4	$a = \frac{0,63КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,62КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,7КБП}{2\sqrt{IT_D}}$	$a = \frac{0,69КБП}{2\sqrt{IT_D}}$

Примечание: $TБПО$ – остаточное биение обработанной поверхности;
 $КБП$ – биение поверхностей, заданное конструктором;
 IT_D – допуск на диаметр базовой поверхности.

Таблица 7.6

**Типы приспособлений и необходимые классы их точности
в зависимости от величины коэффициента a**

Интервал значений коэффициента a	Применяемое приспособление
$]0; 0,04[$	Любое приспособление класса П, реализующее принятую на операции схему базирования с выверкой по базовому диаметру.
$[0,04; 0,06[$	Мембранный патрон (оправка). Оправка (патрон) с гидропластом. Любое другое приспособление класса П, реализующее принятую на операции схему базирования с выверкой по базовому диаметру.
$[0,06; 0,08[$	Цанговый патрон (оправка) класса В. Трехкулачковый патрон (плунжерная оправка) класса П с выверкой по базовому диаметру.
$[0,08; 0,09[$	Цанговый патрон (оправка) класса В. Трехкулачковый патрон класса В. Плунжерная оправка класса В.
$[0,09; 0,11[$	Трехкулачковый патрон класса В. Плунжерная оправка класса В. Цанговый патрон (оправка) класса П.
$[0,11; 0,12[$	Цанговый патрон (оправка) класса П. Трехкулачковый патрон класса П. Плунжерная оправка класса П.
$[0,12; 0,17[$	Трехкулачковый патрон класса П. Плунжерная оправка класса П. Цанговый патрон (оправка) класса Н.

Интервал значений коэффициента a	Применяемое приспособление
$[0,17; \text{и } >[$	Цанговый патрон (оправка) класса Н. Трехкулачковый патрон класса Н. Плунжерная оправка класса Н.

Если коэффициент a получается в интервале $[0,06; 0,08[$ ближе к 0,08 и нет технической возможности использовать на операции цанговый патрон (оправку) класса В, то необходимо повторить расчет коэффициента a при $\psi = 1,0$. Если в этом случае $a < 0,08$, то необходимо использовать трехкулачковый патрон класса П с выверкой по базовому диаметру.

Для операций предварительной обработки заготовки класс точности приспособлений целесообразно определять исходя из точности базовых поверхностей [8].

При этом можно воспользоваться следующими рекомендациями (табл. 7.7): если база черновая или предварительно обработанная по 14-му или 13-му качеству, то класс точности приспособления «Н»; если база чистовая или предварительно обработанная с точностью менее 13-го качества, то класс точности приспособления «П» или «В».

Таблица 7.7

**Класс точности применяемых приспособлений
в зависимости от точности базовой поверхности заготовки**

Характер базы заготовки и ее точность	Класс точности приспособления	Примечание
Черновая база (поверхность, полученная в исходной заготовке)	Н	—
Обработанная база с точностью 13-го или 14-го качества	Н	—
Обработанная база с точностью 12-го качества	П	—
Чистовая база с точностью 10-го или 11-го качества	П	—
Чистовая база с точностью 8-го или 9-го качества	П или В	В зависимости от величины заданных требований взаимного расположения поверхностей
Шлифованная база или полученная тонким точением	П или В	В зависимости от величины заданных требований взаимного расположения поверхностей

Теперь рассмотрим вторую задачу (см. с. 164, п. 8). Данная задача назначения структуры геометрических связей внутри каждого

операционного комплекса решается отдельно для элементов вращения и плоскостей (осей) [7].

При назначении геометрических связей для элементов вращения указывается:

- диаметр и отклонения, если элемент выполняется на операционном комплексе окончательно;
- квалитет размера, если элемент выполняется на операционном комплексе предварительно;
- структура требований взаимного расположения на выходе из операционного комплекса (по необходимости).

Наиболее сложным является назначение геометрических связей между плоскостями (осями), то есть схемы простановки операционных линейных размеров. При соблюдении основных правил базирования (правила совмещения баз и правила постоянства баз) схема простановки является наиболее рациональной.

Как известно, в тех случаях, когда технологическая база элемента не совпадает (или не имеет связи внутри операционного комплекса) с элементом, контактирующим с установочным элементом приспособления (базой системы «Обработка») возникает погрешность базирования.

В условиях работы на настроенном оборудовании при наличии погрешности базирования, выполняемые размеры могут оказаться за пределами поля допуска, так как практически невозможно уловить момент, когда следует произвести подналадку оборудования, чтобы колебания размеров, полученных на предыдущих операциях, не привели к выходу выполняемого размера за пределы поля допуска. Поэтому следует в качестве технологической базы хотя бы одного плоскостного элемента, обрабатываемого на операционном комплексе, принимать элемент контактирующий (или имеющий связь) с базой системы «Обработка», что обеспечивает отсутствие погрешности базирования.

Совмещение конструкторской и технологической баз обеспечивает непосредственное выполнение конструкторского размера. При этом размерная цепь, замыкающим звеном которой служит конструкторский размер, является двухзвенной цепью вида $K_v = T_e$. Это позволяет без каких-либо дополнительных расчетов принять допуск технологического размера, равным допуску конструкторского размера.

Правило постоянства баз дает возможность проводить координацию двух соседних состояний плоскостных элементов от одной базы. При этом размерная цепь, замыкающим звеном которой служит припуск, является трехзвенной цепью вида $z_i = T_{e1} - T_{e2}$. Это обеспечивает минимальное колебание припуска, равное сумме допусков только двух составляющих размеров цепи.

Однако, особенность структуры деталей (их элементов и связей) и способы обработки на современном оборудовании не позволяют полностью использовать правила совмещения и постоянства баз, что

вызывает увеличение числа составляющих звеньев технологических размерных цепей. В этих условиях система простановки технологических линейных размеров должна обеспечить минимально возможное число составляющих звеньев технологических размерных цепей при принятой системе базирования заготовки.

При использовании метода полной взаимозаменяемости и для обеспечения работы на серийном оборудовании (без применения специальных методов обработки) наибольшее число составляющих звеньев технологических размерных цепей, замыкающим размером которых служит конструкторский размер, не должно превышать трех, а для цепей, замыкающим звеном которых служит припуск, – четырех.

Исследования показали, что для обеспечения рационального состава технологических размерных цепей технологической базой плоскостного элемента может служить плоскостной элемент, обрабатываемый на рассматриваемом операционном комплексе, или элемент, контактирующий с базой системы «Обработка», если они обладают следующими технологическими признаками (свойствами):

1) являются окончательным состоянием конструкторской базы (обеспечивается двухзвенная размерная цепь вида $K_v = T_e$);

2) являются элементами, контактирующими с базой системы «Обработка», на операции, в которой конструкторская база получает окончательное состояние или рассматриваемый элемент получает очередное состояние (обеспечивается трехзвенная размерная цепь вида $K_v = T_{e1} \pm T_{e2}$ или $z_i = T_{e1} \pm T_{e2}$);

3) являются элементами, контактирующими с базой системы «Обработка» на операции, в которой получают состояние поставки технологические базы операции получения конструкторской базой окончательного состояния или перевода рассматриваемого элемента в следующее состояние (обеспечиваются размерные цепи вида $K_v = T_{e1} \pm T_{e2} \pm T_{e3}$; $z_i = T_{e1} \pm T_{e2} \pm T_{e3}$ или $z_i = T_{e1} \pm T_{e2} \pm T_{e3} \pm T_{e4}$);

4) являются элементами, получающими свое состояние на операции, в которой конструкторская база или предыдущее состояние рассматриваемого элемента являются элементами, контактирующими с базами системы «Обработка» и связаны с ним одним или двумя размерами (обеспечиваются трех или четырехзвенные размерные цепи).

Используя указанные правила, проставляют структуру операционных размеров каждого операционного комплекса.

Результаты разработки структуры ТСЗ оформляются в виде операционных эскизов каждого операционного комплекса, на которых указывают:

– поверхности, контактирующие с базами системы «Обработка» и поверхности, по которым проводится закрепление заготовки в системе «Обработка»;

- размеры с отклонениями, шероховатости поверхностей и технические требования для элементов вращения, в том числе резьб, фасок, канавок и т.п. элементов, которые на операционном комплексе выполняются окончательно;

- квалитеты и шероховатости поверхностей для элементов вращения, которые на операционном комплексе выполняются предварительно;

- шероховатости плоскостных элементов;

- структуру (только размерные линии) линейных размеров.

Покажем сказанное на примере.

Пример. Допустим требуется разработать техническую систему «Заготовка» при изготовлении детали «Фланец» (рис. 7.1) в условиях среднесерийного производства.

Учитывая марку материала, конфигурацию детали и тип производства в качестве исходной заготовки примем штамповку на ГKM повышенной точности.

Методы окончательной и предварительной обработки каждого элемента, назначенные с учетом принятого способа производства заготовки и экономической точности методов обработки, а также с использованием справочных данных [9], представлены в табл. 7.2. С учетом технологических возможностей токарных станков с ЧПУ, позволяющих объединить черновой и получистовой этапы в один, принципиальная схема технологического процесса изготовления детали «Фланец» будет состоять из четырех этапов: штамповочного; токарного предварительного; токарного окончательного; сверлильного.

Разработаем структуру технической системы «Заготовка», создавая ряд последовательно выполняемых операционных комплексов (рис. 7.7).

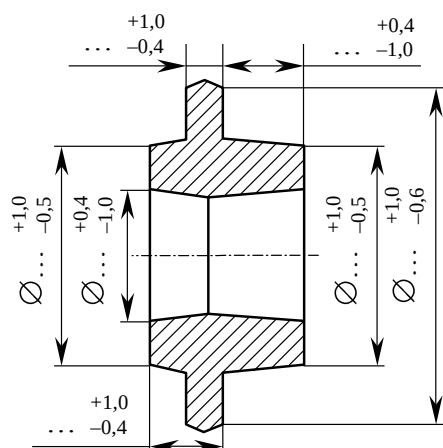
Прежде всего, определим геометрию исходной заготовки и ее технические характеристики с учетом метода – штамповка на ГKM, тем самым разработаем первый операционный комплекс (рис. 7.7,а).

Учитывая тип производства, примем метод концентрации обработки. Примем решение начать обработку заготовки с левой стороны в связи с тем, что точность обрабатываемых элементов ($\varnothing 80h12$ и $\varnothing 50H14$), технологические возможности оборудования позволяют выполнить их окончательно и использовать в дальнейшем наружную цилиндрическую поверхность $\varnothing 80h12$ в качестве технологической базы.

В чертеже детали (см. рис. 7.1) отсутствуют данные о необходимости проведения термической, гальванической или другой немеханической обработки, поэтому не нужно разделять механическую обработку на части, выполняемые до и после этапов, изменяющих физико-механические свойства отдельных элементов или заготовки в целом.

Горизонтально-ковочная
машина

$R_z 320 / \left(\begin{smallmatrix} \checkmark \\ \checkmark \end{smallmatrix} \right)$

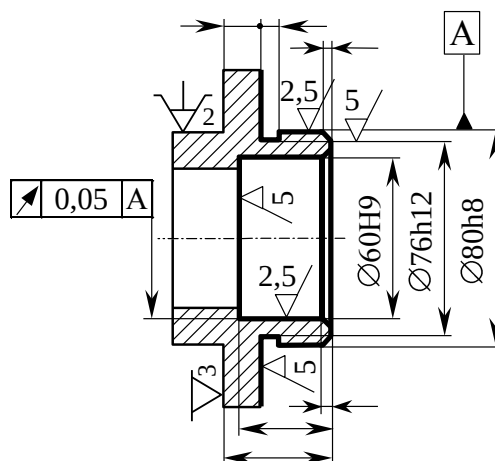


1. Штамповка повышенной точности.
2. Неуказанные штамповочные уклоны – 2° , радиусы – 2 мм.

a

Токарно-винторезный станок
с ЧПУ (16K20Ф3)

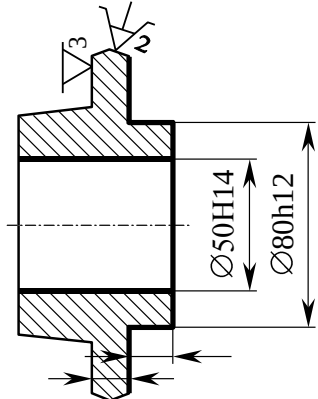
$10 / \left(\begin{smallmatrix} \checkmark \\ \checkmark \end{smallmatrix} \right)$



z

Токарно-винторезный станок
с ЧПУ (16K20Ф3)

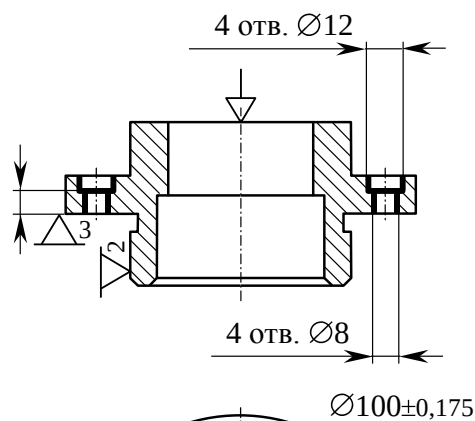
$10 / \left(\begin{smallmatrix} \checkmark \\ \checkmark \end{smallmatrix} \right)$



б

Вертикально-сверлильный станок
с ЧПУ (2P135PФ2)

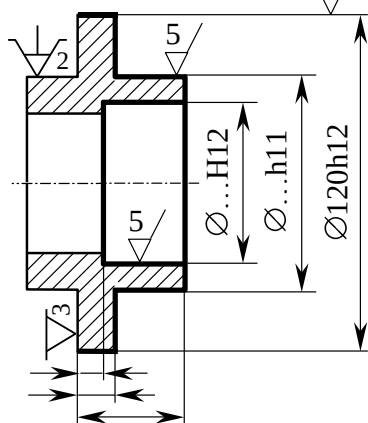
$10 / \left(\begin{smallmatrix} \checkmark \\ \checkmark \end{smallmatrix} \right)$



д

Токарно-винторезный станок
с ЧПУ (16K20Ф3)

$20 / \left(\begin{smallmatrix} \checkmark \\ \checkmark \end{smallmatrix} \right)$



в

Рис.7.7. Структура ТСЗ изготовления
детали «Фланец»:

- a* – ОК1 - 005 Штамповочный;
- б* – ОК2 - 010 Токарный с ЧПУ;
- в* – ОК3 - 015 Токарный с ЧПУ;
- г* – ОК4 - 020 Токарный с ЧПУ;
- д* – ОК5 - 025 Сверлильный с ЧПУ

Разработаем остальные операционные комплексы по изготовлению детали и примем следующую последовательность их выполнения (см. рис. 7.7).

1. На втором операционном комплексе (ОК2, рис. 7.7,б) на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 выполняем: окончательную подрезку левого торца с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм; окончательное точение наружной цилиндрической поверхности $\varnothing 80h12$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм и окончательную подрезку прилегающего к ней буртика с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм; окончательную расточку сквозного отверстия $\varnothing 50H14$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм.

2. На третьем операционном комплексе (ОК3, рис. 7.7,в) на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 выполняем: предварительную подрезку правого торца с параметром шероховатости $R_a = 20$ мкм; предварительное точение наружной цилиндрической поверхности по 11-му качеству (чертежный размер $\varnothing 80h8$) с параметром шероховатости $R_a = 5$ мкм и предварительную подрезку прилегающего к ней буртика с параметром шероховатости $R_a = 20$ мкм; окончательное точение наружной цилиндрической поверхности $\varnothing 120h12$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм; предварительную расточку отверстия по 12-му качеству (чертежный размер $\varnothing 60H9$) с параметром шероховатости $R_a = 5$ мкм и предварительную подрезку прилегающего буртика с параметром шероховатости $R_a = 20$ мкм.

3. На четвертом операционном комплексе (ОК4, рис. 7.7,г) на токарно-винторезном станке с ЧПУ модели 16K20Ф3 выполняем: окончательную подрезку правого торца с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм; окончательное точение наружной цилиндрической поверхности $\varnothing 80h8$ с параметром шероховатости $R_a = 2,5$ мкм и окончательную подрезку прилегающего к ней буртика с параметром шероховатости $R_a = 5$ мкм, а также окончательное точение наружной канавки у буртика шириной $5H12$ на $\varnothing 76h12$ с параметром шероховатости $R_a = 5$ мкм и окончательное точение наружной фаски $1 \times 45^\circ$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм; окончательную расточку отверстия $\varnothing 60H9$ с параметром шероховатости $R_a = 2,5$ мкм, окончательную подрезку прилегающего буртика с параметром шероховатости $R_a = 5$ мкм и окончательную расточку внутренней фаски $2 \times 45^\circ$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм.

4. На пятом операционном комплексе (ОК5, рис. 7.7,д) на вертикально-сверлильном станке с ЧПУ модели 2P135PФ2 выполняем: окончательную обработку 4-х сквозных отверстий $\varnothing 8H14$ и 4-х глухих отверстий $\varnothing 12H14$, расположенных на $\varnothing 100Js12$ с параметром шероховатости $R_a = 10$ мкм.

Теперь рассмотрим для каждого операционного комплекса назначение схем установки и закрепления заготовки.

1. На ОК2 (операции 010) примем следующее базирование заготовки: направляющая база (черновая) – наружная цилиндрическая поверхность максимального диаметра (чертежный размер $\varnothing 120h12$); установочная база (черновая) – прилегающий справа буртик.

2. На ОК3 (операции 015) примем следующее базирование заготовки: направляющая база (чистовая) – окончательно обработанная наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 80h12$, расположенная с левой стороны заготовки; установочная база (чистовая) – прилегающий буртик.

3. На ОК4 (операции 020), используя принцип постоянства баз, примем такое же базирование заготовки, как и на ОК3.

4. На ОК5 (операции 025) примем следующее базирование заготовки: направляющая база (чистовая) – окончательно обработанная наружная цилиндрическая поверхность $\varnothing 80h8$, расположенная с правой стороны заготовки; установочная база (чистовая) – прилегающий буртик.

Определим следующие типы и классы точности приспособлений, реализующих принятые схемы установки и закрепления заготовки.

1. Установку и закрепление заготовки на ОК2 (операции 010) проводим в трехкулачковом патроне класса Н.

2. Установку и закрепление заготовки на ОК3 (операции 015) проводим в трехкулачковом патроне класса П. Корректировать точность базовой поверхности, которая подготавливается на ОК2 (операции 010), до 11-го качества, согласно рекомендациям, представленным в табл. 7.3, в данном случае не является целесообразным. Это объясняется тем, что эта же поверхность используется в качестве базовой на ОК4 (операции 020), в котором обеспечивается выполнение заданных требований взаимного расположения (ТВР) между обработанными поверхностями $\varnothing 80h8$ и $\varnothing 60H8$ по первой схеме (см. табл. 7.4), что в свою очередь зависит лишь от остаточных биений обработанных поверхностей. Погрешность установки заготовки на ОК4 по базовой поверхности $\varnothing 80h12$, рассчитываемая по формуле (7.16), в которую одним из параметров входит допуск базовой поверхности, на прямую не влияет на обеспечение ТВР.

3. Установку и закрепление заготовки на ОК4 (операции 020) проводим также в трехкулачковом патроне класса П.

4. Установку и закрепление заготовки на ОК5 (операции 025) проводим в специальном станочном приспособлении.

При простановке операционных линейных размеров используем описанные ранее правила и нижеследующую аргументацию.

1. Так как все плоскостные элементы исходной заготовки обрабатываются в дальнейшем, то технологической базой, координирующей эти элементы в исходной заготовке, должен быть элемент, контактирующий с базой системы «Обработка» на операции, в которой обрабатывается хотя бы один плоскостной элемент. В данном

случае это ОК2 (операция 010) и таким элементом является буртик, прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с правой стороны. От него и следует задать линейные размеры в исходной заготовке (см. рис. 7.7,а).

2. На ОК2 (операции 010) окончательно обрабатываются левый торец и буртик, прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с левой стороны (см. рис. 7.7,б).

Для левого торца конструкторской базой является правый торец, который получает свое окончательное состояние на ОК4. При этом элементом, контактирующим с базой системы «Обработка», является буртик, обработанный в одной операции вместе с левым торцом. Поэтому согласно признаку №2 выбора технологических баз, в качестве технологической базы, координирующей левый торец, примем элемент, контактирующий с базой системы «Обработка», в операции (см. ОК4), в которой конструкторская база (правый торец) получает окончательное состояние, то есть буртик, обрабатываемый на одной операции с левым торцом.

Для обрабатываемого буртика с целью обеспечения отсутствия погрешности базирования в качестве технологической базы, координирующей этот обрабатываемый элемент, примем элемент, контактирующий с базой системы «Обработка» на ОК2, – другой буртик, прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с правой стороны и имеющий предварительное состояние.

3. На ОК3 (операции 015) все плоскостные элементы получают предварительное состояние. Технологической базой, координирующей эти элементы, согласно указанного ранее признака №2 выбора технологических баз, должен служить элемент, контактирующий с базой системы «Обработка», то есть буртик в окончательном состоянии, прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с левой стороны (см. рис. 7.7,в).

4. На ОК4 (операции 020) все плоскостные элементы получают окончательное состояние (см. рис. 7.7,г).

Для правого торца конструкторской базой является левый торец, уже обработанный на ОК2, но не используемый для базирования заготовки на ОК4. Заготовка на ОК4 базируется по буртику, который обрабатывается совместно с левым торцом и является для него технологической базой на ОК2. В то же время (согласно признаку №2 выбора технологических баз) технологической базой, координирующей правый торец, должен служить элемент (то есть тот же самый буртик), контактирующий с базой системы «Обработка» на операции (см. ОК3), в которой рассматриваемый элемент (правый торец) получает очередное (предварительное) состояние.

Согласно признаку №1 выбора технологических баз для наружной фаски, внутренней фаски и внутреннего буртика, технологической базой,

координирующей эти элементы, должен служить элемент, являющийся окончательным состоянием конструкторской базы, то есть правый торец.

Для плоскостного элемента, ограничивающего канавку справа, согласно признаку №1 выбора технологических баз, технологической базой, координирующей этот элемент, должен служить элемент, являющийся окончательным состоянием конструкторской базы, то есть буртик, ограничивающий канавку слева и прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с правой стороны.

В свою очередь для этого буртика, согласно признаку №1 выбора технологических баз, технологической базой, координирующей этот элемент, должен служить элемент, являющийся окончательным состоянием конструкторской базы, то есть буртик, прилегающий к наружной поверхности максимального диаметра с левой стороны.

5. На ОК5 (операции 025) буртики глухих отверстий получают окончательное состояние.

Для обеспечения отсутствия погрешности базирования технологической базой, координирующей эти буртики, следует принять элемент, контактирующий с базой системы «Обработка», что мы можем выполнить согласно признаку №4 выбора технологических баз (см. рис. 7.7,д).

Таким образом, разработана структура технической системы «Заготовка» (определен маршрут изготовления рассматриваемой детали). В структуре ТСЗ остаются неизвестными некоторые технологические размеры, которые следует рассчитывать на этапе размерного анализа проектируемого технологического процесса.

Размерный анализ технологического процесса изготовления детали

Целью размерного анализа является проведение всех расчетов по определению операционных размеров и анализ возможности выполнения конструкторских размеров и технических требований взаимного расположения элементов с заданной точностью на выбранном оборудовании автоматически при установке заготовки без выверки или с применением выверки [7].

При проведении размерного анализа для деталей типа корпусов, кронштейнов, рычагов, плит и других деталей, не принадлежащих к типу тел вращения, следует выполнить построение размерных схем технологического процесса по линейным размерам в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (в каждой плоскости строится своя размерная схема).

При проведении размерного анализа для деталей типа тел вращения следует выполнить построение размерной схемы биений (для определения неравномерности припуска и проверки возможности

выполнения технических требований взаимного расположения элементов вращения) и размерной схемы линейных размеров.

Исходной информацией для построения размерных схем технологического процесса по линейным размерам являются операционные эскизы всех формообразующих операций (операционных комплексов). При построении схемы линейных размеров вычерчивают эскиз детали.

Для деталей типа корпусов, кронштейнов, рычагов, плит на эскизе готовой детали (в каждой координатной плоскости) изображают припуски на обработку каждого плоскостного элемента и положение осей отверстий в ходе выполнения технологического процесса. При этом эскиз готовой детали должен быть таким, чтобы проводимые вертикальные или горизонтальные линии, соответствующие каждому состоянию плоскостных элементов или осей отверстий, не совпадали между собой. Под эскизом и (или) рядом с ним строят граф конструкторских линейных размеров, припусков и несоосностей, обозначая каждый конструкторский размер K_i , припуск z_i , несоосность e_i (i – порядковый номер размера, припуска, несоосности).

Для деталей типа тел вращения эскиз детали при необходимости растягивают вдоль основной оси вращения детали так, чтобы проводимые вниз вертикальные линии, соответствующие каждому состоянию плоскости, не совпадали между собой. На эскизе готовой детали изображают припуски на обработку каждой плоскости. Под эскизом строят граф конструкторских линейных размеров и припусков, обозначая конструкторский линейный размер K_i и припуск z_i .

Затем строят графы операционных линейных размеров каждого операционного комплекса (каждой операции) в порядке их выполнения – начиная с заготовительных операций и кончая последней операцией механической обработки. Каждый технологический линейный размер обозначают T_i (i – порядковый номер).

При построении размерных схем линейных размеров следует помнить, что суммарное количество конструкторских размеров, припусков и несоосностей должно быть равно количеству технологических размеров.

После построения размерных схем составляют систему уравнений технологических размерных цепей, принимая в качестве замыкающих звеньев конструкторские размеры, припуски и несоосности. При составлении уравнений, если движение по графу операционных линейных размеров происходит в положительном направлении числовой оси, то технологический размер входит в уравнение со знаком плюс, в противном случае – со знаком минус. Начинать движение по графу следует с левой границы замыкающего звена, а заканчивать – на его правой границе.

Решение уравнений проводят методом полной взаимозаменяемости. В зависимости от замыкающего звена уравнения

могут быть трех видов:

- замыкающим звеном служит конструкторский размер;
- замыкающим звеном служит припуск;
- замыкающим звеном служит несоосность.

Решение уравнения, замыкающим звеном которого служит конструкторский размер, наиболее целесообразно проводить способом средних значений по следующему алгоритму.

1. Вычисляют среднее значение всех известных размеров размерной цепи, то есть проводят перерасчет номиналов известных размеров, чтобы отклонения стали симметричными относительно нового номинала ($A_i^{cp} \pm IT/2$);

2. Вычисляют среднее значение неизвестного составляющего размера по формулам

$$A_{yв}^{cp} = A_{\Delta}^{cp} - \sum_{m-1} A_{yв i}^{cp} + \sum_n A_{yм i}^{cp}; \quad (7.17)$$

$$A_{yм}^{cp} = \sum_m A_{yв i}^{cp} - \sum_{n-1} A_{yм i}^{cp} - A_{\Delta}^{cp}, \quad (7.18)$$

где $A_{yв}^{cp}$ – среднее значение неизвестного технологического размера, являющегося увеличивающим звеном размерной цепи;

$A_{yм}^{cp}$ – среднее значение неизвестного технологического размера, являющегося уменьшающим звеном размерной цепи;

A_{Δ}^{cp} – среднее значение замыкающего звена;

$\sum_m A_{yв i}^{cp}$ – сумма средних значений известных технологических размеров, являющихся увеличивающими звеньями размерной цепи;

m – число увеличивающих звеньев;

$\sum_n A_{yм i}^{cp}$ – сумма средних значений известных технологических размеров, являющихся уменьшающими звеньями размерной цепи;

n – число уменьшающих звеньев.

3. Используя основное положение метода полной взаимозаменяемости $IT_{\Delta} = \sum IT_i$, вычисляют допуск неизвестного составляющего размера по формуле

$$IT = IT_{\Delta} - \sum_{m+n-1} IT_i, \quad (7.19)$$

где IT – допуск неизвестного технологического размера;

IT_{Δ} – допуск замыкающего звена;

$\sum_{m+n-1} IT_i$ – арифметическая сумма допусков составляющих звеньев размерной цепи без учета допуска неизвестного технологического размера.

4. Проводят анализ вычисленного допуска неизвестного технологического размера.

Если искомый допуск больше нуля, то следует проверить условие: искомый допуск возможно достичь при выбранном способе обработки на выбранном оборудовании автоматически. Если такой возможности нет, то следует провести ужесточение допусков известных технологических размеров до точности, соответствующей методу обработки и повторить расчет по пунктам 1...3.

Если и после ужесточения искомый допуск невозможно достичь на выбранном оборудовании, то следует:

- пересмотреть технологический процесс, вплоть до выделения обработки рассматриваемого элемента в отдельный операционный комплекс;
- изменить структуру операционных размеров;
- выбрать более точное оборудование, работающее по принятому методу обработки;
- изменить метод обработки;
- изменить системы базирования на операционных комплексах технологического процесса.

После выполнения хотя бы одного из выбранных действий вновь составляется размерная схема, и проводятся технологические расчеты.

Аналогичные действия по ужесточению технологических размеров проводятся, если искомый допуск отрицателен, так как допуск – величина положительная и он не может быть меньше или равен нулю.

5. Если условие возможности достижения искомого допуска на выбранном оборудовании выполнимо, то определяют номинал и отклонения искомого размера по формулам

- размер координат положения оси:

$$A = A^{cp}; \quad ES = IT/2; \quad EI = -IT/2; \quad (7.20)$$

- охватываемый размер:

$$A = A^{cp} + IT/2; \quad es = 0; \quad ei = -|IT|; \quad (7.21)$$

- охватывающий размер:

$$A = A^{cp} - IT/2; \quad ES = +IT; \quad EI = 0. \quad (7.22)$$

6. Проводят округление искомого размера (желательно до десятых долей миллиметра) при возможности уменьшения расчетного поля допуска и расположении поля скорректированного допуска в пределах поля расчетного допуска.

Решение уравнений, замыкающим звеном которых служит припуск, проводится по следующему алгоритму.

1. Определяют величину минимального припуска $z_{\min}$ по формуле (7.10).

2. Определяют минимальное (для увеличивающих) или максимальное (для уменьшающих) значение искомого размера по формулам

$$A_{\min} = z_{\min} + \sum_n A_{y_{\text{м}} i \max} - \sum_{m-1} A_{y_{\text{в}} i \min}; \quad (7.23)$$

$$A_{\max} = \sum_m A_{y_{\text{в}} i \min} - \sum_{n-1} A_{y_{\text{м}} i \max} - z_{\min}. \quad (7.24)$$

3. Выбирают допуск на искомый размер A с учетом метода обработки и точности оборудования.

4. Определяют номинал и отклонения искомого размера, проводят необходимые округления в сторону увеличения минимального припуска и рассчитывают фактические значения минимального и максимального припуска.

Решение уравнений, замыкающим звеном которых служит несоосность проводится по следующему алгоритму.

1. Принимают номинальную величину несоосности $e^H = 0$.

2. Определяют номинал искомого размера A^H .

3. Выбирают допуск на искомый размер A с учетом метода обработки и точности оборудования.

4. Рассчитывают фактические значения верхнего и нижнего отклонений несоосности, из которых принимают наибольшее по модулю значение. Это значение несоосности используют для дальнейших расчетов промежуточных диаметров элементов вращения.

Для деталей типа тел вращения кроме размерных схем линейных размеров строят размерную схему биений, возникающих в ходе всего технологического процесса.

При построении схемы биений вычерчивают эскиз детали, который при необходимости сжимают вдоль и растягивают поперек основной оси вращения так, чтобы проводимые вправо горизонтальные линии, соответствующие каждому состоянию поверхности вращения, не совпадали между собой. На эскизе готовой детали изображают припуски на обработку каждой поверхности вращения. Затем для всех операций условными векторами изображают биения элементов вращения в исходной заготовке (для операций изготовления заготовки методом литья или штамповки), а также базовых, обрабатываемых и обработанных элементов вращения относительно некоторой идеальной поверхности вращения. При этом идеальная поверхность в исходной заготовке может быть мысленно представлена как цилиндрическая поверхность, образуемая вращением некоторого отрезка прямой линии вокруг некоторой идеальной оси заготовки, а на операциях механической обработки заготовки идеальная поверхность может быть мысленно представлена как цилиндрическая поверхность, образуемая вращением некоторого отрезка прямой линии вокруг оси шпинделя станка или оси базового элемента системы «Обработка». Если представить, что радиус идеальной поверхности вращения стремится к нулю, то в какой-то момент он достигнет такого значения, что им можно пренебречь. Поэтому, условно, мы можем рассматривать не идеальную цилиндрическую поверхность, а ее ось, и вести дальнейшие

рассуждения, используя понятие «ось», подразумевая идеальную цилиндрическую поверхность. Тогда для упрощения построения схемы биений можно принять, что векторы биений, возникающих на каждой операции ТП, будут направлены от идеальной оси заготовки к каждому элементу, выполняемому в исходной заготовке, и от баз системы «Обработка» (от оси вращения шпинделя станка или от оси базового элемента системы «Обработка») к каждому базовому, обрабатываемому и обработанному элементу. При заготовке из проката биения, вызванные отклонениями формы, учитывают на первой операции механической обработки и специально не указывают. Векторы обозначают B_i^j , где i – номер элемента и его состояние; j – номер операции, для которой определяется биение.

После построения размерной схемы проводится расчет величин биений элементов исходной заготовки, биений базовых, обрабатываемых и обработанных элементов относительно базы обработки и между собой, неравномерности припусков и проверяется возможность выполнения технических требований взаимного расположения элементов при выбранных системах базирования и на выбранных приспособлениях по следующему алгоритму.

1. Определяют биения элементов исходной заготовки относительно ее идеальной оси, вызванные погрешностью формы и пространственными отклонениями по формулам

– для литой заготовки

$$B_i^j = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{кор}})^2 + (\Delta_{\text{см}})^2 + (\Delta_{\text{пер}})^2}; \quad (7.25)$$

– для штампованной заготовки

$$B_i^j = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{кор}})^2 + (\Delta_{\text{см}})^2}, \quad (7.26)$$

где $\Delta_{\text{кор}}$ – коробление поверхности в литье или в штамповке;

$\Delta_{\text{см}}$ – смещение оси поверхности от его номинального положения;

$\Delta_{\text{пер}}$ – перекося оси отверстия в литье.

Величины $\Delta_{\text{кор}}$, $\Delta_{\text{см}}$, $\Delta_{\text{пер}}$ определяются по справочным данным, представленным в [9].

2. Определяют биения базовых элементов относительно базы системы «Обработка» (оси шпинделя) на всех операциях, вызванные погрешностью установки, используя справочные данные [9] или следующие эмпирические формулы [5].

При установке в трехкулачковых патронах и на плунжерных оправках

$$B_i^j = 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{IT_6} \cdot (1 + 0,02 \cdot l), \quad (7.27)$$

где a_1 – коэффициент, зависящий от категории установки и точности приспособления: $a_1 = 0,17$ – нормальная точность, $a_1 = 0,11$ –

повышенная точность, $a_1 = 0,08$ – высокая точность;

IT_6 – допуск на диаметр базовой поверхности;

l – длина участка базовой поверхности, неиспользуемая для базирования заготовки (см. рис. 7.6, в отличие от указанной в [5] величины вылета заготовки из патрона).

При установке в цанговых патронах и на цанговых оправках

$$B_i^j = 2 \cdot a_2 \cdot \sqrt{IT_6} \cdot (1 + 0,01 \cdot l), \quad (7.28)$$

где $a_2 = 0,12$ – нормальная точность; $a_2 = 0,09$ – повышенная точность; $a_2 = 0,06$ – высокая точность установки.

При установке в патронах и на оправках с гидропластом, в мембранных патронах (на мембранных оправках)

$$B_i^j = 0,08 \cdot \sqrt{IT_6} \cdot (1 + 0,01 \cdot l). \quad (7.29)$$

При установке заготовки в центрах

$$B_i^j = 2 \cdot (a_3 \cdot \sqrt{D} + b \cdot L), \quad (7.30)$$

где D – диаметр центральной фаски;

L – общая длина заготовки;

a_3 и b – коэффициенты, зависящие от точности установки: $a_3 = 0,006$ и $b = 0,00005$ – нормальная точность установки, $a_3 = 0,0018$ и $b = 0,000015$ – повышенная точность установки, $a_3 = 0,0009$ и $b = 0,000007$ – высокая точность установки.

При установке на жесткой оправке с зазором величина биения равна удвоенному максимальному радиальному зазору.

3. Определяют биения обрабатываемых элементов относительно баз системы «Обработка». Прежде всего, составляют размерные цепи биений, принимая в качестве замыкающих звеньев искомые биения. Составление и решение таких цепей имеет некоторые особенности. Поскольку звенья размерных цепей представляют собой параметры, номинальные значения которых равны нулю, то отпадает необходимость определять номинал и предельные значения замыкающего звена – составляется только уравнение допусков

$$\bar{B}_i^j = \sum_q^1 \bar{B}_s,$$

где q – число составляющих звеньев.

Другая особенность расчета является следствием векторных свойств звеньев цепи. Так как направление векторов предугадать затруднительно, то используется способ геометрического суммирования

$$B_i = \sqrt{\sum_q^1 (B_s)^2}. \quad (7.31)$$

4. Определяют биения обработанных элементов относительно базы системы «Обработка» по формуле

$$B_i^j = K_y \cdot B_{i-1}^j, \quad (7.32)$$

где B_i^j – допустимое биение обработанной поверхности i относительно базы обработки;

B_{i-1}^j – допустимое биение обрабатываемой поверхности $i-1$ (поверхность i в предыдущем состоянии) относительно базы обработки;

K_y – коэффициент уточнения, выбираемый по [9].

5. Определяют биение между обрабатываемым и обработанным элементом (удвоенная неравномерность припуска – $2e_{max}$) по формуле

$$B_{Zi} = B_{i-1}^j - B_i^j, \quad (7.33)$$

то есть учитывается положение: остаточное биение не увеличивает, а уменьшает величину неравномерности припуска [5, 6].

6. Проводят расчет промежуточных размеров и припусков на элементы вращения, используя следующие формулы.

Промежуточные диаметральные размеры рассчитываются по формулам

– для вала

$$D_{i-1} = D_i + 2 z_{i \min} + |ei|_{i-1}; \quad (7.34)$$

– для отверстия

$$D_{i-1} = D_i - 2 z_{i \min} - |ES|_{i-1}, \quad (7.35)$$

где D_i – диаметр рассматриваемой ступени обработки;

D_{i-1} – диаметр предшествующей ступени обработки;

$z_{i \min}$ – минимальное значение припуска, определяемого по формуле (7.10);

$|ei|_{i-1}$ – модуль нижнего отклонения размера, получаемого на предыдущей ступени обработки;

$|ES|_{i-1}$ – модуль верхнего отклонения размера, получаемого на предыдущей ступени обработки.

Расчет межоперационных размеров желательно выполнять в табличной форме.

Покажем сказанное выше на конкретном примере.

Пример №1. Провести размерный анализ технологического процесса изготовления детали «Фланец», операционные эскизы всех операционных комплексов (формообразующих операций) которого представлены на рис. 7.7, а чертеж – на рис. 7.1.

Построим размерные схемы линейных размеров и биений, которые представлены на рис. 7.8 и 7.9.

Используя размерную схему линейных размеров (рис. 7.8), составим уравнения технологических размерных цепей, принимая в качестве замыкающих звеньев конструкторские размеры и припуски.

$$K_1 = T_4 + T_{11}; \quad K_2 = T_{13}; \quad K_3 = T_{14}; \quad K_4 = T_9 - T_{15}; \quad K_5 = T_9;$$

$$K_6 = T_{10}; \quad K_7 = T_{11} - T_9; \quad K_8 = T_{12}.$$

$$z_1 = T_1 - T_5 - T_4; \quad z_2 = T_2 - T_5; \quad z_3 = T_{12} - T_{11} + T_6; \quad z_4 = T_7 - T_9;$$

$$z_5 = T_5 - T_7; \quad z_6 = T_8 - T_{11}; \quad z_7 = T_5 + T_3 - T_8.$$

Проведем расчет уравнений методом полной взаимозаменяемости.

$$K_4 = T_9 - T_{15}.$$

$$K_4 = 6^{+0,3} = 6,15 \pm 0,15 \text{ мм}; \quad T_9 = 10_{-0,15} = 9,925 \pm 0,075 \text{ мм}.$$

$$T_{15}^{\text{cp}} = T_9^{\text{cp}} - K_4^{\text{cp}} = 9,925 - 6,15 = 3,775 \text{ мм}.$$

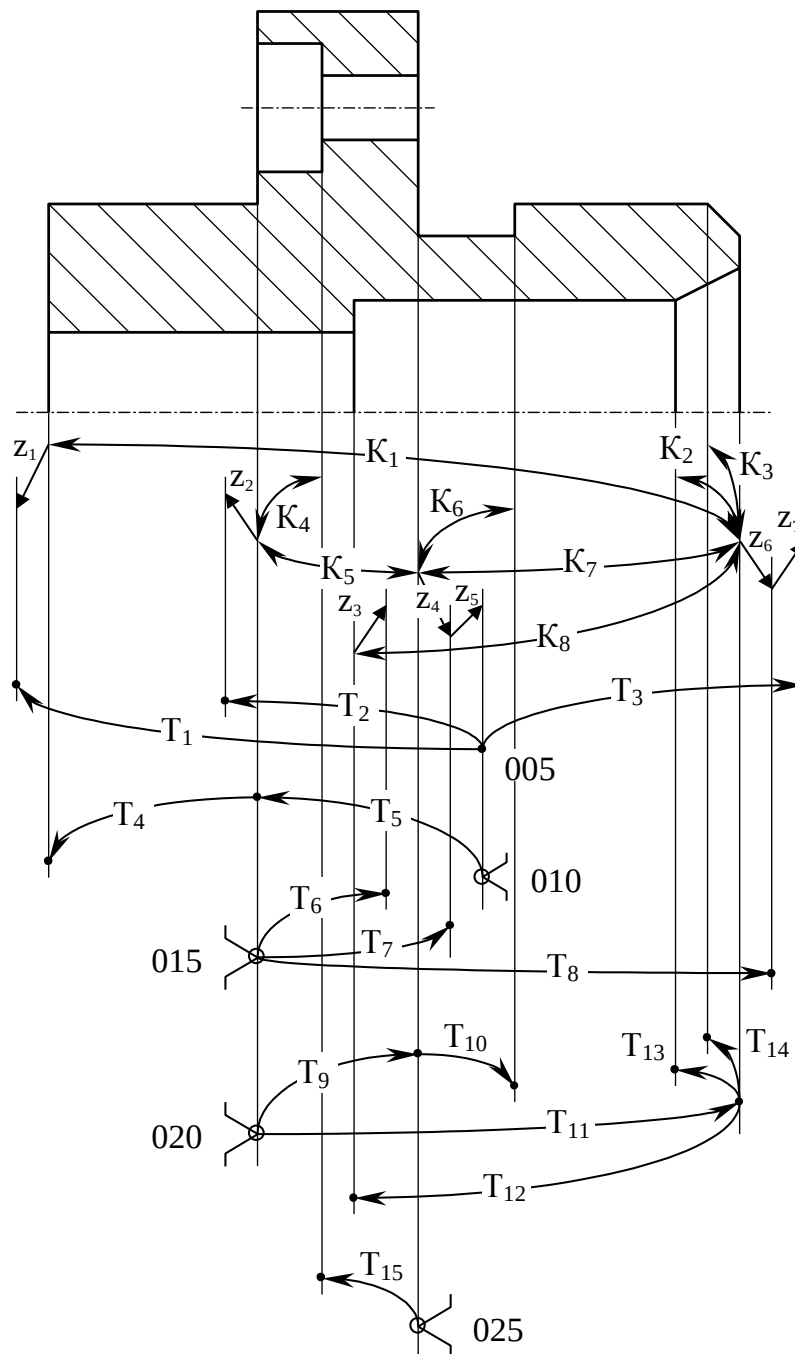


Рис.7.8. Схема линейных размеров

$IT_{K4} = IT_{T9} + IT_{T15} \Rightarrow IT_{T15} = IT_{K4} - IT_{T9} = 0,3 - 0,15 = 0,15$ мм (12...13-й квалитет), что может быть обеспечено станком при зенкерования отверстия $\varnothing 12$ мм. T_{15} – двусторонний размер. Тогда

$$T_{15} = T_{15}^{cp} \pm IT_{T15} / 2 = 3,775 \pm 0,075 = 3,85_{-0,15} \text{ мм.}$$

Примем $T_{15} = \boxed{3,85_{-0,12}}$ мм (по 12-му квалитету).

Проверка

$$K_{4min}^{\phi} = T_{9min} - T_{15max} = 9,85 - 3,85 = 6,0 \text{ мм} \geq K_{4min}^{зад} = 6,0 \text{ мм.}$$

$$K_{4max}^{\phi} = T_{9max} - T_{15min} = 10 - 3,73 = 6,27 \text{ мм} \leq K_{4max}^{зад} = 6,3 \text{ мм.}$$

$$\underline{K_7 = T_{11} - T_9.}$$

$$K_7 = 40^{+0,62} = 40,31 \pm 0,31 \text{ мм; } T_9 = 10_{-0,15} = 9,925 \pm 0,075 \text{ мм.}$$

$$T_{11}^{cp} = K_7^{cp} + T_9^{cp} = 40,31 + 9,925 = 50,235 \text{ мм.}$$

$IT_{K7} = IT_{T11} + IT_{T9} \Rightarrow IT_{T11} = IT_{K7} - IT_{T9} = 0,62 - 0,15 = 0,47$ мм (13...14-й квалитет), что может быть обеспечено станком. T_{11} – двусторонний размер. Тогда

$$T_{11} = T_{11}^{cp} \pm IT_{T11} / 2 = 50,235 \pm 0,235 = 50,47_{-0,47} \text{ мм.}$$

Примем $T_{11} = \boxed{50,4_{-0,3}}$ мм (по 12 квалитету).

Проверка

$$K_{7min}^{\phi} = T_{11min} - T_{9max} = 50,1 - 10 = 40,1 \text{ мм} \geq K_{7min}^{зад} = 40,0 \text{ мм.}$$

$$K_{7max}^{\phi} = T_{11max} - T_{9min} = 50,4 - 9,85 = 40,55 \text{ мм} \leq K_{7max}^{зад} = 40,62 \text{ мм.}$$

$$\underline{K_1 = T_4 + T_{11}.}$$

$$K_1 = 70_{-0,74} = 69,63 \pm 0,37 \text{ мм; } T_{11} = 50,4_{-0,3} = 50,25 \pm 0,15 \text{ мм.}$$

$$T_4^{cp} = K_1^{cp} - T_{11}^{cp} = 69,63 - 50,25 = 19,38 \text{ мм.}$$

$IT_{K1} = IT_{T4} + IT_{T11} \Rightarrow IT_{T4} = IT_{K1} - IT_{T11} = 0,74 - 0,25 = 0,49$ мм (13...14-й квалитет), что может быть обеспечено станком. T_4 – односторонний размер. Тогда

$$T_4 = T_4^{cp} \pm IT_{T4} / 2 = 19,38 \pm 0,245 = 19,135^{+0,49} \text{ мм.}$$

Примем $T_4 = \boxed{19,2^{+0,33}}$ мм (по 13-му квалитету).

Проверка

$$K_{1min}^{\phi} = T_{4min} + T_{11min} = 19,2 + 50,1 = 69,3 \text{ мм} \geq K_{1min}^{зад} = 69,26 \text{ мм.}$$

$$K_{1max}^{\phi} = T_{4max} + T_{11max} = 19,53 + 50,4 = 69,93 \text{ мм} \leq K_{1max}^{зад} = 70,0 \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_4 = T_7 - T_9.}$$

$$Z_{4min}^{расч} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i max} = 0,1 + 0,1 + 0,05 = 0,25 \text{ мм.}$$

$$R_{Z i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.188, табл.25}].$$

$$h_{i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.188, табл.25}].$$

$$e_{i \max} = e_y^{\text{oc}} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.42, табл.13}].$$

$$Z_{4\min} = T_{7\min} - T_{9\max} \Rightarrow T_{7\min} = Z_{4\min} + T_{9\max} = 0,25 + 10 = 10,25 \text{ мм.}$$

Примем $IT_{T_7} = 0,18 \text{ мм}$ (12-й квалитет). T_7 – двусторонний размер.

Тогда

$$T_{7\max} = T_{7\min} + IT_{T_7} = 10,25 + 0,18 = 10,43 \text{ мм.}$$

Примем $T_7 = \boxed{10,5_{-0,18}} \text{ мм.}$

$$Z_{4\min}^{\phi} = T_{7\min} - T_{9\max} = 10,32 - 10 = 0,32 \text{ мм.}$$

$$Z_{4\max}^{\phi} = T_{7\max} - T_{9\min} = 10,5 - 9,85 = 0,65 \text{ мм.}$$

$$Z_4 = 0,32^{+0,33} \text{ мм.}$$

$$Z_6 = T_8 - T_{11} .$$

$$Z_{6\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i \max} = 0,1 + 0,1 + 0,05 = 0,25 \text{ мм.}$$

$$R_{Z \ i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.188, табл.25}].$$

$$h_{i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.188, табл.25}].$$

$$e_{i \max} = e_y^{\text{oc}} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.42, табл.13}].$$

$$Z_{6\min} = T_{8\min} - T_{11\max} \Rightarrow T_{8\min} = Z_{6\min} + T_{11\max} = 0,25 + 50,4 = 50,65 \text{ мм.}$$

Примем $IT_{T_8} = 0,46 \text{ мм}$ (13-й квалитет). T_8 – двусторонний размер.

Тогда

$$T_{8\max} = T_{8\min} + IT_{T_8} = 50,65 + 0,46 = 51,11 \text{ мм.}$$

Примем $T_8 = \boxed{51,2_{-0,46}} \text{ мм.}$

$$Z_{6\min}^{\phi} = T_{8\min} - T_{11\max} = 50,74 - 50,4 = 0,34 \text{ мм.}$$

$$Z_{6\max}^{\phi} = T_{8\max} - T_{11\min} = 51,2 - 50,1 = 1,1 \text{ мм.}$$

$$Z_6 = 0,34^{+0,76} \text{ мм.}$$

$$Z_3 = T_{12} - T_{11} + T_6 .$$

$$Z_{3\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i \max} = 0,1 + 0,1 + 0,05 = 0,25 \text{ мм.}$$

$$R_{Z \ i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.188, табл.25}].$$

$$h_{i-1} = 100 \text{ мкм} = 0,1 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.188, табл.25}].$$

$$e_{i \max} = e_y^{\text{oc}} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм} [9, \text{т.1, с.42, табл.13}].$$

$$Z_{3\min} = T_{12\min} - T_{11\max} + T_{6\min} \Rightarrow T_{6\min} = Z_{3\min} - T_{12\min} + T_{11\max} = 0,25 - 44,875 + 50,4 = 5,775 \text{ мм.}$$

Примем $IT_{T_6} = 0,18 \text{ мм}$ (13-й квалитет). T_6 – двусторонний размер.

Тогда

$$T_{6\max} = T_{6\min} + IT_{T_6} = 5,775 + 0,18 = 5,955 \text{ мм.}$$

Примем $T_6 = \boxed{6_{-0,18}} \text{ мм.}$

$$Z_{3\min}^{\phi} = T_{12\min} - T_{11\max} + T_{6\min} = 44,875 - 50,4 + 5,82 = 0,295 \text{ мм.}$$

$$Z_{3\max}^{\phi} = T_{12\max} - T_{11\min} + T_{6\max} = 45,125 - 50,1 + 6 = 1,025 \text{ мм.}$$

$$Z_3 = 0,295^{+0,73} \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_5 = T_5 - T_7 .}$$

$$Z_{5\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i\max} = 0,16 + 0,2 + 0,05 = 0,41 \text{ мм.}$$

$$R_{Z\ i-1} = 160 \text{ мкм} = 0,16 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$h_{i-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$e_{i\max} = e_y^{\text{oc}} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм [9, т.1, с.42, табл.13].}$$

$$Z_{5\min} = T_{5\min} - T_{7\max} \Rightarrow T_{5\min} = Z_{5\min} + T_{7\max} = 0,41 + 10,5 = 10,91 \text{ мм.}$$

Примем $IT_{T_5} = 0,27 \text{ мм (13-й квалитет)}$. T_5 – двусторонний размер.

Тогда

$$T_{5\max} = T_{5\min} + IT_{T_5} = 10,91 + 0,27 = 11,18 \text{ мм.}$$

Примем $T_5 = \boxed{11,2_{-0,27}^{}} \text{ мм.}$

$$Z_{5\min}^{\phi} = T_{5\min} - T_{7\max} = 10,93 - 10,5 = 0,43 \text{ мм.}$$

$$Z_{5\max}^{\phi} = T_{5\max} - T_{7\min} = 11,2 - 10,32 = 0,88 \text{ мм.}$$

$$Z_5 = 0,43^{+0,45} \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_7 = T_5 + T_3 - T_8 .}$$

$$Z_{7\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i\max} = 0,16 + 0,2 + 0,05 = 0,41 \text{ мм.}$$

$$R_{Z\ i-1} = 160 \text{ мкм} = 0,16 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$h_{i-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$e_{i\max} = e_y^{\text{oc}} = 50 \text{ мкм} = 0,05 \text{ мм [9, т.1, с.42, табл.13].}$$

$$Z_{7\min} = T_{5\min} + T_{3\min} - T_{8\max} \Rightarrow T_{3\min} = Z_{7\min} - T_{5\min} + T_{8\max} = 0,41 - 10,93 + 51,2 = 40,68 \text{ мм.}$$

Размер T_3 выполняется в заготовке с отклонениями $ES = +0,4 \text{ мм}$ и $EI = -1,0 \text{ мм}$. Тогда

$$T_3^H = T_{3\min} + |EI| = 40,68 + |-1,0| = 41,68 \text{ мм.}$$

Примем $T_3 = \boxed{41,7_{-1,0}^{+0,4}} \text{ мм.}$

$$Z_{7\min}^{\phi} = T_{5\min} + T_{3\min} - T_{8\max} = 10,93 + 40,7 - 51,2 = 0,43 \text{ мм.}$$

$$Z_{7\max}^{\phi} = T_{5\max} + T_{3\max} - T_{8\min} = 11,2 - 42,1 + 50,74 = 2,56 \text{ мм.}$$

$$Z_7 = 0,43^{+2,13} \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_2 = T_2 - T_5 .}$$

$$Z_{2\min}^{\text{расч}} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i\max} = 0,16 + 0,2 + 0,12 = 0,48 \text{ мм.}$$

$$R_{Z\ i-1} = 160 \text{ мкм} = 0,16 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$h_{i-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм [9, т.1, с.186, табл.12].}$$

$$e_{i\max} = e_y^{\text{oc}} = 120 \text{ мкм} = 0,12 \text{ мм [9, т.1, с.42, табл.13].}$$

$$Z_{2\min} = T_{2\min} - T_{5\max} \Rightarrow T_{2\min} = Z_{2\min} + T_{5\max} = 0,48 + 11,2 = 11,68 \text{ мм.}$$

Размер T_2 выполняется в заготовке с отклонениями $es = +1,0 \text{ мм}$ и $ei = -0,4 \text{ мм}$. Тогда

$$T_2^H = T_{2min} + |ei| = 11,68 + |-0,4| = 12,08 \text{ мм.}$$

Примем $T_2 = \boxed{12,1^{+1,0}_{-0,4}} \text{ мм.}$

$$Z_{2min}^\phi = T_{2min} - T_{5max} = 11,7 - 11,2 = 0,5 \text{ мм.}$$

$$Z_{2max}^\phi = T_{2max} - T_{5min} = 13,1 - 10,93 = 2,17 \text{ мм.}$$

$$Z_2 = 0,5^{+1,67} \text{ мм.}$$

$$Z_1 = T_1 - T_5 - T_4.$$

$$Z_{1min}^{расч} = (R_Z + h)_{i-1} + e_{i max} = 0,16 + 0,2 + 0,12 = 0,48 \text{ мм.}$$

$$R_{Z i-1} = 160 \text{ мкм} = 0,16 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.186, табл.12}].$$

$$h_{i-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.186, табл.12}].$$

$$e_{i max} = e_y^{oc} = 120 \text{ мкм} = 0,12 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.42, табл.13}].$$

$$Z_{1min} = T_{1min} - T_{5max} - T_{4max} \Rightarrow T_{1min} = Z_{1min} + T_{5max} + T_{4max} = 0,48 + 11,2 + 19,53 = 31,21 \text{ мм.}$$

Размер T_1 выполняется в заготовке с отклонениями $es = +1,0 \text{ мм}$ и $ei = -0,4 \text{ мм}$. Тогда

$$T_1^H = T_{1min} + |ei| = 31,25 + |-0,4| = 31,65 \text{ мм.}$$

Примем $T_1 = \boxed{31,7^{+1,0}_{-0,4}} \text{ мм.}$

$$Z_{1min}^\phi = T_{1min} - T_{5max} - T_{4max} = 31,3 - 11,2 - 19,53 = 0,57 \text{ мм.}$$

$$Z_{1max}^\phi = T_{1max} - T_{5min} - T_{4min} = 32,7 - 10,93 + 19,2 = 2,57 \text{ мм.}$$

$$Z_1 = 0,57^{+2,0} \text{ мм.}$$

Результаты расчета линейных технологических размеров заносим в операционные эскизы, представленные на рис. 7.10.

Используя размерную схему биений (рис. 7.9), проведем расчеты биений элементов в исходной заготовке относительно ее идеальной оси, биений базовых, обрабатываемых и обработанных поверхностей относительно баз системы «Обработка» и между собой, а также определим неравномерности припусков элементов вращения.

Операция 005. Биения элементов 41, 11, 21 и 32 (см. рис. 7.9) в исходной заготовке относительно ее идеальной оси определим по формуле (7.26).

$$B_{41}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{кор})^2 + (\Delta_{см})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,5^2 + 0,63^2} \approx 1,608 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{кор} = \Delta_{экс} = 0,5 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.186, табл.17}].$$

$$\Delta_{см} = 0,63 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.186, табл.17}].$$

$$B_{11}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{кор})^2 + (\Delta_{см})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,4^2 + 0,5^2} \approx 1,28 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{кор} = \Delta_K \cdot l = 20 \cdot 20 = 400 \text{ мкм} = 0,4 \text{ мм.}$$

$$\Delta_K = 20 \text{ мкм/мм} [9, \text{ т.1, с.187, табл.19}]; \quad l = 20 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{см} = 0,5 \text{ мм} [9, \text{ т.1, с.187, табл.20}].$$

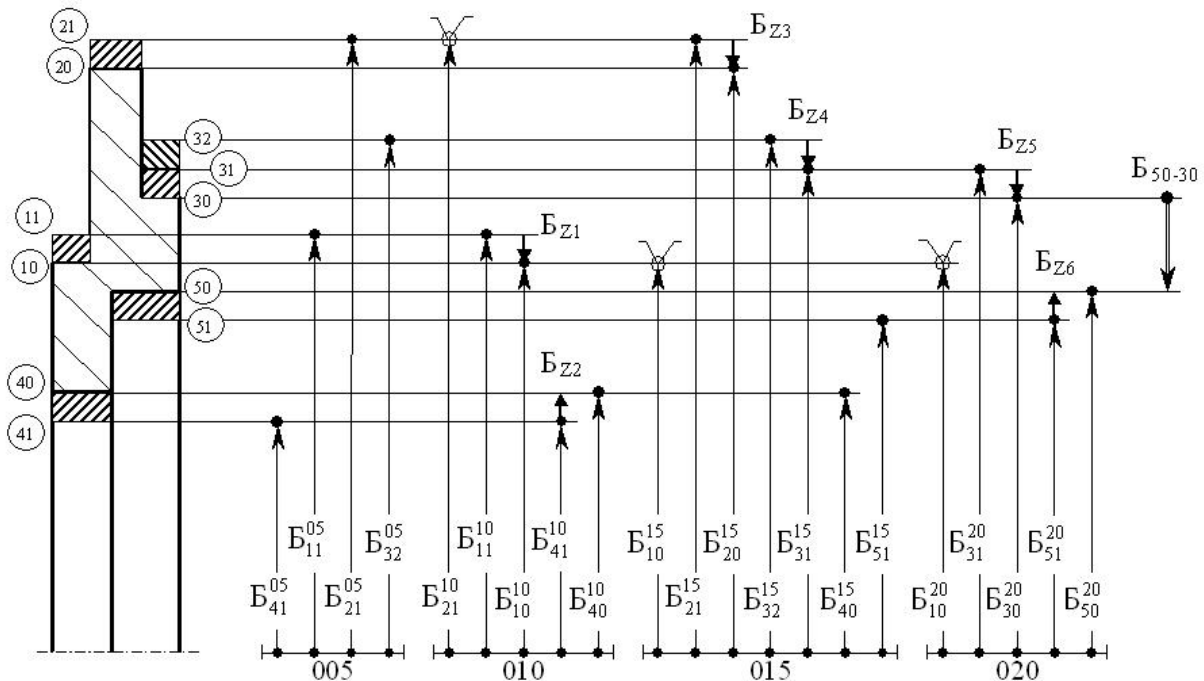


Рис.7.9. Схема биений

$$B_{21}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{кор}})^2 + (\Delta_{\text{см}})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,2^2 + 0,5^2} \approx 1,078 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot l = 20 \cdot 10 = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{к}} = 20 \text{ мкм/мм [9, т.1, с.187, табл.19];} \quad l = 10 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{см}} = 0,5 \text{ мм [9, т.1, с.187, табл.20].}$$

$$B_{32}^{05} = 2 \cdot \sqrt{(\Delta_{\text{кор}})^2 + (\Delta_{\text{см}})^2} = 2 \cdot \sqrt{0,8^2 + 0,5^2} \approx 1,887 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot l = 20 \cdot 40 = 800 \text{ мкм} = 0,8 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{к}} = 20 \text{ мкм/мм [9, т.1, с.187, табл.19];} \quad l = 40 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{см}} = 0,5 \text{ мм [9, т.1, с.187, табл.20].}$$

Операция 010. Биение базового элемента 21 (рис. 7.9) относительно базы системы «Обработка» (оси шпинделя) определим по формуле (7.27) с учетом установки в трехкулачковый патрон нормальной точности

$$B_{21}^{10} = 2 \cdot a_1 \cdot \sqrt{IT_6} \cdot (1 + 0,02 \cdot l) = 2 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{1,6} \cdot (1 + 0,02 \cdot 5) = 0,473 \text{ мм.}$$

Биение обрабатываемого элемента 11 (рис. 7.9) относительно базы системы «Обработка» (оси шпинделя) на операции 010 определим, составив уравнение размерной цепи с использованием формулы (7.31)

$$B_{11}^{10} = \sqrt{(B_{21}^{10})^2 + (B_{21}^{05})^2 + (B_{11}^{05})^2} = \sqrt{0,473^2 + 1,078^2 + 1,28^2} \approx 1,739 \text{ мм.}$$

Биение обработанного элемента 10 (рис. 7.9) относительно базы системы «Обработка» (оси шпинделя) на операции 010 определим по формуле (7.32), учитывая, что, согласно [9], коэффициент уточнения после полуступового точения равен 0,05

$$B_{10}^{10} = K_y \cdot B_{11}^{10} = 0,05 \cdot 1,739 = 0,087 \text{ мм.}$$

Аналогично

$$B_{41}^{10} = \sqrt{(B_{21}^{10})^2 + (B_{21}^{05})^2 + (B_{41}^{05})^2} = \sqrt{0,473^2 + 1,078^2 + 1,608^2} \approx 1,993 \text{ мм.}$$

$$B_{40}^{10} = K_y \cdot B_{41}^{10} = 0,06 \cdot 1,993 \approx 0,12 \text{ мм.}$$

Операция 015. Аналогично определяем биения базового, обрабатываемых и обработанных элементов относительно базы системы «Обработка» (рис. 7.9). При этом биение элемента 10 определяем с учетом установки в трехкулачковый патрон повышенной точности. Биения обрабатываемых элементов 21, 32 и элемента 40, который является заготовкой для элемента 51, определяем, составляя уравнения размерных цепей. Биения обработанных элементов 20, 31 и 51 определяем с учетом, что, согласно [9], коэффициент уточнения после полустачкового точения равен 0,05.

$$B_{10}^{15} = 2 \cdot 0,11 \cdot \sqrt{0,3} \cdot (1 + 0,02 \cdot 0) \approx 0,121 \text{ мм.}$$

$$B_{21}^{15} = \sqrt{(B_{10}^{15})^2 + (B_{10}^{10})^2 + (B_{21}^{10})^2} = \sqrt{0,121^2 + 0,087^2 + 0,473^2} \approx 0,496 \text{ мм.}$$

$$B_{20}^{15} = K_y \cdot B_{21}^{15} = 0,05 \cdot 0,496 \approx 0,025 \text{ мм.}$$

$$B_{32}^{15} = \sqrt{(B_{10}^{15})^2 + (B_{10}^{10})^2 + (B_{21}^{10})^2 + (B_{21}^{05})^2 + (B_{32}^{05})^2} = \\ = \sqrt{0,121^2 + 0,087^2 + 0,473^2 + 1,078^2 + 1,887^2} \approx 2,229 \text{ мм.}$$

$$B_{31}^{15} = K_y \cdot B_{32}^{15} = 0,05 \cdot 2,229 \approx 0,112 \text{ мм.}$$

$$B_{40}^{15} = \sqrt{(B_{10}^{15})^2 + (B_{10}^{10})^2 + (B_{40}^{10})^2} = \sqrt{0,121^2 + 0,087^2 + 0,12^2} \approx 0,191 \text{ мм.}$$

$$B_{51}^{15} = K_y \cdot B_{40}^{15} = 0,05 \cdot 0,191 \approx 0,01 \text{ мм.}$$

Операция 020. Аналогично определяем биения базового, обрабатываемых и обработанных элементов относительно базы системы «Обработка» (рис. 7.9). Биение элемента 10 определяем с учетом установки в трехкулачковый патрон повышенной точности. Биения обрабатываемых элементов 31 и 51, определяем, составляя уравнения размерных цепей. Биения обработанных элементов 30 и 50 определяем с учетом, что, согласно [9], коэффициент уточнения после чистового точения равен 0,04.

$$B_{10}^{20} = B_{10}^{15} = 0,121 \text{ мм.}$$

$$B_{31}^{20} = \sqrt{(B_{10}^{20})^2 + (B_{10}^{15})^2 + (B_{31}^{15})^2} = \sqrt{0,121^2 + 0,121^2 + 0,112^2} \approx 0,205 \text{ мм.}$$

$$B_{30}^{20} = K_y \cdot B_{31}^{20} = 0,04 \cdot 0,205 \approx 0,008 \text{ мм.}$$

$$B_{51}^{20} = \sqrt{(B_{10}^{20})^2 + (B_{10}^{15})^2 + (B_{51}^{15})^2} = \sqrt{0,121^2 + 0,121^2 + 0,01^2} \approx 0,171 \text{ мм.}$$

$$B_{50}^{20} = K_y \cdot B_{51}^{20} = 0,04 \cdot 0,171 \approx 0,007 \text{ мм.}$$

Проверим технические требования, заданные конструктором, составив уравнение размерной цепи

$$B_{50-30} = \sqrt{(B_{50}^{20})^2 + (B_{30}^{20})^2} = \sqrt{0,007^2 + 0,008^2} \approx 0,011 \text{ мм} \leq 0,05 \text{ мм}.$$

При наихудшем варианте, когда вектора направлены в разные стороны,

$$B_{50-30} = B_{50}^{20} + B_{30}^{20} = 0,007 + 0,008 \approx 0,015 \text{ мм} \leq 0,05 \text{ мм}.$$

Таким образом, требования чертежа выполнены.

Рассчитаем неравномерности припусков элементов вращения, используя формулу (7.33).

$$B_{Z1} = 2e_{Z1} = B_{11}^{10} - B_{10}^{10} = 1,739 - 0,087 = 1,652 \text{ мм};$$

$$e_{Z1} = B_{Z1} / 2 = 1,652 / 2 = 0,826 \text{ мм}.$$

$$B_{Z2} = 2e_{Z2} = B_{41}^{10} - B_{40}^{10} = 1,993 - 0,12 = 1,873 \text{ мм};$$

$$e_{Z2} = B_{Z2} / 2 = 1,873 / 2 \approx 0,937 \text{ мм}.$$

$$B_{Z3} = 2e_{Z3} = B_{21}^{15} - B_{20}^{15} = 0,496 - 0,025 = 0,471 \text{ мм};$$

$$e_{Z3} = B_{Z3} / 2 = 0,471 / 2 \approx 0,236 \text{ мм}.$$

$$B_{Z4} = 2e_{Z4} = B_{32}^{15} - B_{31}^{15} = 2,229 - 0,112 = 2,117 \text{ мм};$$

$$e_{Z4} = B_{Z4} / 2 = 2,117 / 2 \approx 1,059 \text{ мм}.$$

$$B_{Z5} = 2e_{Z5} = B_{31}^{20} - B_{30}^{20} = 0,205 - 0,008 = 0,197 \text{ мм};$$

$$e_{Z5} = B_{Z5} / 2 = 0,197 / 2 \approx 0,099 \text{ мм}.$$

$$B_{Z6} = 2e_{Z6} = B_{51}^{20} - B_{50}^{20} = 0,171 - 0,007 = 0,164 \text{ мм};$$

$$e_{Z6} = B_{Z6} / 2 = 0,164 / 2 = 0,082 \text{ мм}.$$

Расчет промежуточных диаметральных размеров проводим таблично [7], используя формулы (7.10), (7.34) и (7.35). Результаты расчета сводим в табл. 7.8.

Расчет фактических припусков на обработку проводим также таблично (см. табл. 7.8), используя формулы

– для вала

$$Z_{i \min}^{\phi} = \frac{D_{(i-1) \min} - D_{i \max}}{2}; \quad Z_{i \max}^{\phi} = \frac{D_{(i-1) \max} - D_{i \min}}{2};$$

– для отверстия

$$Z_{i \min}^{\phi} = \frac{D_{i \min} - D_{(i-1) \max}}{2}; \quad Z_{i \max}^{\phi} = \frac{D_{i \max} - D_{(i-1) \min}}{2}.$$

Таблица 7.8

Расчет промежуточных диаметральных размеров

Маршрут обработки элемента	№ операц.	Диаметр, мм		Отклонен.	Составляющие припуска, мм			$Z_{i \min}^{\text{расч}}$, мм	Фактический припуск, мм	
		Расч.	Окр.		$R_{Z(i-1)}$	$h_{(i-1)}$	$e_{\max i}$		$Z_{i \min}$	$Z_{i \max}$
Ø80h8 _(-0,046) Чист. точ. (h8)	020	80	80	-0,046	0,025	0,025	0,099 ^{*3}	0,149	0,19	0,323
П/чист. точ.(h11)	015	80,518	80,6	-0,22	0,1	0,1	0,053 ^{*2}	0,253	0,265	0,81
Черн. точ. (h14)	015	81,976	82,0	-0,87	0,16	0,2	1,059 ^{*1}	1,419	1,45	2,635
Штамповка ГKM	005	85,338	85,4	+1,0 -0,5	-	-	-	-	-	-
Ø80h12 _(-0,3) П/чист. точ.(h12)	010	80	80	-0,3	0,1	0,1	0,042 ^{*5}	0,242	0,265	0,85
Черн. точ. (h14)	010	81,354	81,4	-0,87	0,16	0,2	0,826 ^{*4}	1,186	1,2	2,385
Штамповка ГKM	005	84,272	84,3	+1,0 -0,5	-	-	-	-	-	-
Ø120h12 _(-0,35) П/чист. точ.(h12)	015	120	120	-0,35	0,1	0,1	0,012 ^{*7}	0,212	0,25	0,925
Черн. точ. (h14)	015	121,424	121,5	-1,0	0,16	0,2	0,236 ^{*6}	0,596	0,6	1,9
Штамповка ГKM	005	123,292	123,3	+1,0 -0,6	-	-	-	-	-	-
Ø50H14 ^(+0,62) Черн. раст.(H14)	010	50	50	+0,62	0,16	0,2	0,937 ^{*8}	1,297	1,3	2,31
Штамповка ГKM	005	47,006	47	+0,4 -1,0	-	-	-	-	-	-
Ø60H9 ^(+0,074) Чист. раст.(H9)	020	60	60	+0,074	0,03	0,035	0,082 ^{*10}	0,147	0,15	0,337
П/чист.раст.(h12)	015	59,406	59,4	+0,3	0,1	0,1	0,004 ^{*9}	0,204	0,23	0,75
Черн. раст.(h14)	015	58,252	58,2	+0,74	-	-	-	-	-	-

Примечание к табл. 7.8

$$e_{\max i}^{*1} = e_{Z4} = 1,059 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*2} = e_{\max i}^{*1} \cdot K_y = 1,059 \cdot 0,05 \approx 0,053 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*3} = e_{Z5} = 0,099 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*4} = e_{Z1} = 0,826 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*5} = e_{\max i}^{*4} \cdot K_y = 0,826 \cdot 0,05 \approx 0,042 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*6} = e_{Z3} = 0,236 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*7} = e_{\max i}^{*6} \cdot K_y = 0,236 \cdot 0,05 \approx 0,012 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*8} = e_{Z2} = 0,937 \text{ мм.}$$

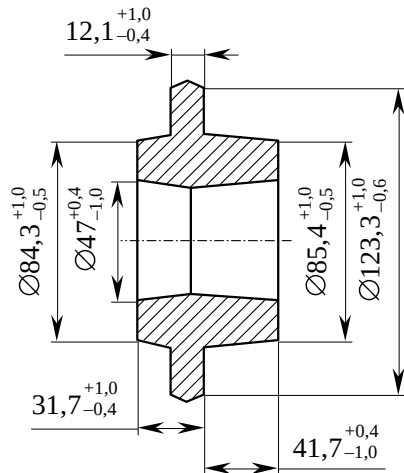
$$e_{\max i}^{*9} = \left(\frac{B_{40}^{15} - B_{51}^{15}}{2} \right) \cdot K_y = \left(\frac{0,191 - 0,01}{2} \right) \cdot 0,04 \approx 0,004 \text{ мм.}$$

$$e_{\max i}^{*10} = e_{Z6} = 0,082 \text{ мм.}$$

По результатам размерного анализа ТП окончательно оформляются операционные эскизы, которые представлены на рис. 7.10.

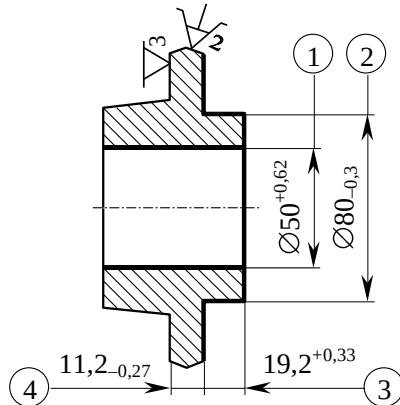
Таким образом, на примере детали типа тело вращения рассмотрено проектирование ТСЗ и проведение размерного анализа ТП ее изготовления.

005 Штамповка ГKM

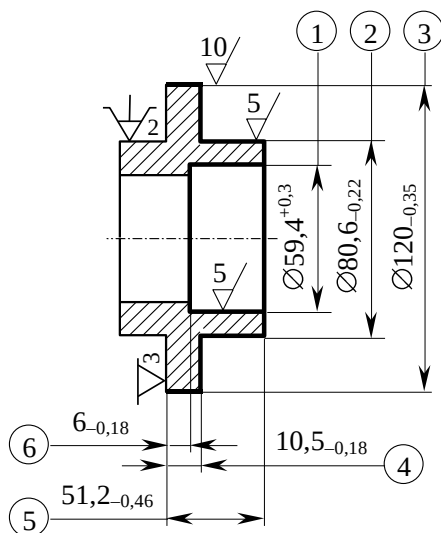
 R_{z320} (✓)

1. Штамповка повышенной точности.
2. Неуказанные штамповочные уклоны – 2° , радиусы – 2 мм.

010 Токарная с ЧПУ 16K20Ф3

 $10/$ (✓)

015 Токарная с ЧПУ 16K20Ф3

 $20/$ (✓)

020 Токарная с ЧПУ 16K20Ф3

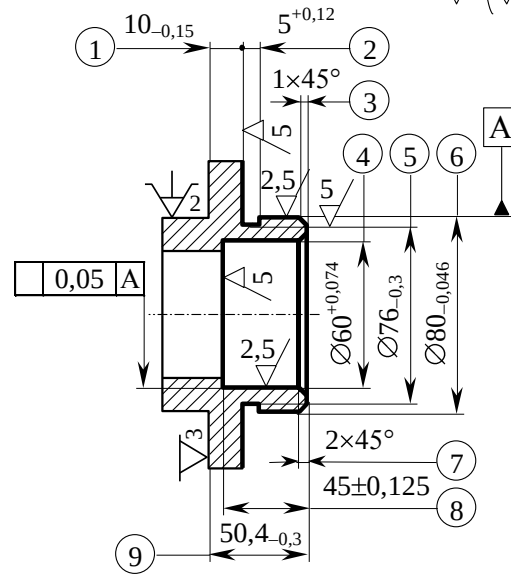
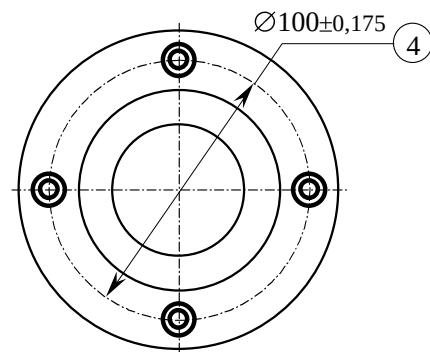
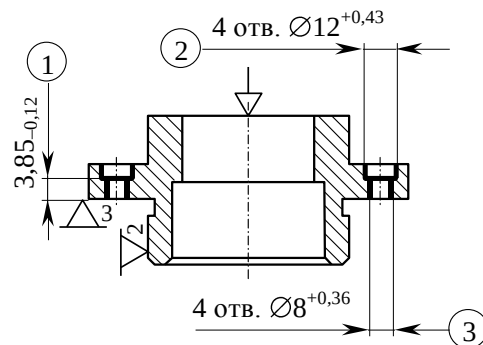
 $10/$ (✓)025 Сверлильная с ЧПУ 2P135PФ2 $10/$ (✓)

Рис.7.10. Операционные эскизы технологического процесса изготовления детали «Фланец»

Пример для корпусной детали рассмотрен в Приложении Б.

Глава 8. Проектирование сборочных техпроцессов

Сборка – образование разъёмных и неразъёмных соединений составных частей деталей или изделий. Она осуществляется: соединением; запрессовкой; свинчиванием; сваркой; пайкой; клёпкой; склеиванием.

Сборку классифицируют по следующим признакам.

– По объёму работ различают общую (объект сборки – изделие в целом) и узловую (объект сборки – составная часть изделия) сборку. В единичном и мелкосерийном производстве бо́льшая часть работ выполняется по общей сборке. В массовом и крупносерийном производстве объёмы узловой и общей сборки приблизительно равны, а иногда объём узловой сборки больше общей.

– По стадиям процесса различают предварительную (сборка изделия, которое в последующем подлежит разборке) и промежуточную (выполняется для сборки изделий с целью их дальнейшей обработки) сборку, сборку под сварку и окончательную сборку (не предусматривается последующая разборка при изготовлении).

– По методу образования соединений различают слесарную сборку, монтаж, электромонтаж, сварку, пайку, клепку и склеивание.

Вид организационной формы сборки зависит от типа и условий производства.

1. Непоточная сборка

1.1. Непоточная стационарная сборка – характеризуется тем, что весь процесс выполняется на одной сборочной позиции (стенде).

Она проходит в двух формах:

1.1.1. Непоточная стационарная сборка без расчленения сборочных работ. Вся сборка проводится одной бригадой рабочих с начала и до конца.

Достоинства:

– положение базовой детали неизменно, поэтому достигается высокая точность;

– применяются универсальные приспособления и инструмент, что сокращает время и стоимость подготовки производства.

Недостатки:

– большой цикл сборки, т.к. все операции выполняются последовательно;

– высокая квалификация рабочих;

– требуется для сборки длительное время занимать производственную площадь.

Применяется: в единичном и мелкосерийном производстве; экспериментальных и ремонтных цехах.

1.1.2. Непоточная стационарная сборка с расчленением сборочных работ. Предполагает дифференциацию на узловую и общую сборку,

которые делаются в одно время.

Достоинства:

- сокращается цикл процесса;
- сокращается трудоёмкость операций за счет:
 - а) специализации рабочих мест;
 - б) специализации рабочих – сборщиков;
 - в) лучшей организации труда;
- снижается потребность в дефицитной рабочей силе сборщиков высокой квалификации;
- рационально используются помещения цехов;
- сокращается себестоимость работ.

1.2. Непоточная подвижная сборка – характеризуется последовательным перемещением собираемого изделия от одной позиции к другой. Перемещение может быть свободным и принудительным.

Свободное – рабочий, закончив свою операцию, с помощью механизмирующих средств или вручную перемещает собираемую сборочную единицу на следующую рабочую позицию.

Принудительное – объект сборки передвигается при помощи конвейера или тележек, замкнутых ведомой цепью. Сборка может выполняться как на конвейере, так и возле него. Организация подвижной сборки возможна только на основе расчленения сборочных работ. Продолжительность выполнения операций в этом случае зависит от квалификации рабочего и от интенсивности его труда. Такая форма применяется в серийном производстве.

2. Поточная сборка.

Поточная сборка характеризуется тем, что при построении ТП отдельные операции выполняются за одинаковый промежуток времени (такт) или за промежуток времени кратный такту. Синхронизация операций обеспечивается путем уменьшения числа переходов или механизацией их, или включением дополнительных работ, когда трудоёмкость меньше такта.

Поточная сборка может быть организована со свободным и принудительным ритмом. В первом случае изделие передается на операцию по мере выполнения предыдущей операции. Во втором случае момент передачи определяется сигналом или скоростью конвейера (сигнал звуковой или световой).

Межоперационные перемещения изделия осуществляются: вручную, тележками; наклонным лотком или рольгангом; распределительным конвейером; конвейером с периодическим перемещением; непрерывно движущимся конвейером.

Достоинства:

- Сокращается цикл производственного процесса;
- Уменьшаются межоперационные заделы;
- Повышается специализация рабочих;

- Повышается степень автоматизации операций;
- Снижается трудоемкость на 30...35%.

Условие обеспечения организации поточной сборки – обеспечение высокой взаимозаменяемости собираемых узлов и отдельных деталей, входящих в поточную сборку. В случае необходимости использования пригоночных работ они должны осуществляться за пределами потока на операциях предварительной сборки, а пригнанные детали узлы должны подаваться на поточную сборку в окончательно скомплектованном и проконтролированном виде. Эта операционная форма сборки используется в массовом и крупносерийном производстве, рентабельна при большом объеме выпуска изделий.

2.1. Поточная стационарная сборка – характеризуется тем, что собираемое изделие находится на месте, а передвигается рабочий или бригада (например, по сигналу). Такая форма применяется при сборке крупных и громоздких изделий.

Преимущества:

- наименьшие затраты на организацию сборочного процесса;
- равномерный выпуск продукции;
- высокая производительность.

Используется в серийном производстве.

2.2. Поточная подвижная сборка – характеризуется применением непрерывно или периодически перемещающегося конвейера.

Преимущества:

- работа с тактом;
- возможность почти полного совмещения времени, затрачиваемого на транспортировку изделия со временем сборки.

Одним из основных направлений совершенствования технологии сборки является проведение широкой механизации сборочных работ путем применения разнообразных сборочных приспособлений и стандов, а также механизированных универсальных, унифицированных и специальных сборочных инструментов.

Ручной механизированный инструмент, используемый при сборке узлов и изделий, классифицируют по следующим признакам.

– По роду используемой энергии различают гидравлический, пневматический и электрический инструмент. Пневматический инструмент может быть с вращательным движением рабочего органа (сверлильные машины, гайковерты, механические отвертки), ударного (молотки) и давящего (поддержки) действия. Электрический инструмент может быть с вращательным (электродрели, резьбонарезатели, шлифовальные машинки, одно- и многошпиндельные электрогайко- и шпильковерты, полировальные машинки) или поступательным движением рабочего органа (электронапильники и электромолотки).

– По назначению различают инструмент для резки материалов и подготовки кромок под сварку, сверлильный, резьбонарезной,

шлифовально-полировальный и зачистной, гайко-винтозавертывающий, а также специальный (притирочный, шабровочный и т.п.) инструмент.

Сборочные приспособления, используемые при сборке узлов и изделий, классифицируют по следующим признакам.

– По назначению различают: приспособления-зажимы (для закрепления собираемых изделий, узлов или деталей в требуемом положении, а также для придания устойчивости собираемому узлу и обеспечения его сборки); установочные приспособления (для правильной и точной установки соединяемых деталей или узлов относительно друг друга, что гарантирует получение требуемых монтажных размеров); рабочие приспособления (для обеспечения выполнения отдельных операций ТП сборки – вальцевания, запрессовки, постановки и снятия пружин и т.д.).

– По типу привода различают механические, гидравлические, пневматические и пневмогидравлические приспособления.

Контроль, которому подвергают каждый узел и каждое изготовленное изделие, имеет целью проверить соответствие точности формы, относительного положения и перемещения их исполнительных поверхностей установленным нормам. Эффективность всякого контроля тем выше, чем ближе результаты измерений контролируемых параметров к их действительным значениям. Степень приближения измеренного значения к действительному зависит от следующих факторов: раскрытия смысла контролируемого параметра и явлений, порождающих возникновение погрешностей; правильности выявления взаимосвязи различных параметров и умения выделить контролируемый параметр; правильности выбора или разработки средств контроля; техники осуществления контроля.

Учет взаимосвязи контролируемого параметра с другими параметрами, влияющими на точность изделия, можно проиллюстрировать следующим примером: точность определения расстояния между двумя плоскими поверхностями детали зависит от точности поворота и формы этих поверхностей, поэтому в первую очередь необходимо контролировать форму, затем поворот и в последнюю очередь расстояние между плоскими поверхностями детали.

Контроль некоторых параметров требует материализации геометрических представлений. Нельзя, например, непосредственно измерить расстояние между осями двух отверстий в деталях изделия, поскольку оси отверстий являются геометрическим образом, в природе их не существует, или невозможно измерить отклонение от плоскостности поверхности детали без материализации идеальной плоскости, проходящей через три выступающие точки контролируемой поверхности. Геометрические представления материализуют с помощью специальных деталей или устройств. Так, чтобы измерить расстояние между осями отверстий в корпусной детали, в отверстия вставляют

оправки, измеряют расстояние между их образующими и делают соответствующий пересчет. Идеальную плоскость при определении отклонения от плоскостности поверхности детали воспроизводят с помощью контрольной плиты.

Так как все это связано с введением в измерительные размерные цепи дополнительных звеньев, имеющих погрешности, то большое значение имеет собственная точность всех деталей и устройств, используемых при проверках, а также точность их установки. При этих условиях считается допустимой погрешность познания контролируемого параметра, не превышающая 10...20% его поля допуска.

Технологический процесс сборки является заключительным этапом изготовления механизма (аппарата, прибора – изготавливаемого изделия) и в значительной степени определяет основные эксплуатационные качества последнего.

Условия достижения высоких эксплуатационных качеств изготавливаемого изделия не ограничиваются созданием его удачной конструкции, применением высококачественных материалов, высокоточным изготовлением деталей с обеспечением оптимального состояния поверхностных слоев их сопряженных или рабочих поверхностей. Процесс изготовления изделия может гарантировать достижение всех требуемых его эксплуатационных показателей, а также надежности и долговечности лишь при условии высококачественного проведения всех этапов его сборки (то есть сборки и регулировки отдельных сборочных единиц и общей сборки и испытаний изготавливаемого изделия). В результате сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их исполнительные (функциональные) поверхности или сочетания этих поверхностей в своем относительном движении, а также в стабильном состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации изделия [7].

Для обеспечения качественных показателей сборочной единицы или изделия необходимо, прежде всего, выбрать наиболее рациональный в данных производственных условиях метод достижения точности каждого параметра изготавливаемого изделия. Этот вопрос решается конструктором при разработке конструкции предмета производства, так как исследование того или иного метода достижения точности замыкающих звеньев сборочных размерных цепей связано с применением в сборочных единицах определенных конструктивных элементов и установлением допусков составляющих звеньев размерных цепей.

Технологу необходимо вскрыть заложенные в конструкцию изделия методы достижения его точности (если они не указаны в конструкторской документации), оценить, удачен ли их выбор при заданном объеме выпуска, проверить правильность простановки размеров и допусков на чертежах изделия.

Для успешного выполнения этой работы необходимо изучить конструкторские размерные цепи или выявить их, если схемы размерных цепей изделия не приложены к чертежам. При выявлении размерных цепей необходимо иметь в виду, что поставленную задачу можно решить только единственной правильно построенной размерной цепью, так как *размерные связи между деталями и сборочными единицами объективны и каждая размерная цепь дает решение только одной задачи*. Обычно замыкающим звеном в сборочной размерной цепи является расстояние или относительный поворот поверхностей (или их осей) деталей, относительное положение которых требуется обеспечить.

Составляющими звеньями размерной цепи могут быть либо расстояния (относительные повороты) между поверхностями (их осями) деталей, образующих замыкающее звено, и основными базами этих деталей, либо расстояния (относительные повороты) между поверхностями вспомогательных и основных конструкторских баз деталей.

Руководствуясь указанными положениями, для выявления размерной цепи следует двигаться от замыкающего звена к основным конструкторским базам базированной детали (первой детали, определяющей положение замыкающего звена в размерной цепи), от них – к основным конструкторским базам следующей детали базированной первую (предыдущую) деталь, учитывая отдельными звеньями несовпадения основных и вспомогательных конструкторских баз и т.д., вплоть до вспомогательных конструкторских баз базированной детали сборочной единицы (последней детали, определяющей положение замыкающего звена в размерной цепи) и образования замкнутого контура.

Точность замыкающего звена при сборке может быть достигнута одним из следующих методов: полной, неполной и групповой взаимозаменяемостью, пригонкой и регулированием.

Наиболее простым и надежным является метод полной взаимозаменяемости, так как сборка в этом случае сводится к простому соединению деталей или сборочных единиц и осуществляется без брака. При этом сумма допусков составляющих звеньев, заданных по рабочим чертежам, не должна превышать допуск замыкающего звена, то есть должно выполняться основное условие метода расчета размерных цепей на максимум-минимум, выраженное следующим уравнением

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi| \cdot TA_i, \quad (8.1)$$

где TA_{Δ} – допуск замыкающего звена;

TA_i – допуск составляющего звена;

ξ – передаточное отношение, которое в общем случае есть частная производная: $\partial A_{\Delta} / \partial A_i$; для линейных цепей с параллельными

звеньями: $\xi = 1$ для увеличивающих и $\xi = -1$ для уменьшающих звеньев;

m – общее количество звеньев размерной цепи.

Координата середины поля допуска размера определяется по формуле

$$E_c A_i = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}, \quad (8.2)$$

где ESA_i, EIA_i – соответственно верхнее и нижнее отклонения размера.

Координата середины поля допуска замыкающего звена связана с координатами середины полей допусков составляющих звеньев следующим уравнением

$$E_c A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi \cdot E_c A_i. \quad (8.3)$$

Предельные отклонения размера определяются следующими уравнениями

$$ESA_i = E_c A_i + \frac{TA_i}{2}; \quad EIA_i = E_c A_i - \frac{TA_i}{2}. \quad (8.4)$$

Если указанное выше условие (8.1) не выполняется, полная взаимозаменяемость при заданных допусках невозможна.

Тогда следует проанализировать каждое составляющее звено размерной цепи, рассмотреть при этом какой детали и сборочной единице оно принадлежит и на каких технологических операциях при обработке обеспечивается заданная точность звена. Если применяемые методы обработки имеют резерв точности и возможно выдержать более высокую точность без существенного усложнения и удорожания технологического процесса, то технолог устанавливает технологически более жесткие допуски на составляющие звенья и заново рассчитывает размерную цепь с целью обеспечения полной взаимозаменяемости при сборке, внося соответствующие изменения в рабочие чертежи.

В многозвенных размерных цепях при высоких требованиях к точности замыкающего звена метод полной взаимозаменяемости может оказаться невыполнимым даже после экономически целесообразного технологического ужесточения допусков на составляющие звенья или нерентабельным ввиду слишком жестких допусков на эти звенья и трудности, а иногда и невозможности их обеспечения при обработке. В этом случае может быть применен метод неполной взаимозаменяемости. При проверке возможности осуществления сборки этим методом предусматривается некоторый экономически допустимый процент риска получения брака, а допуск замыкающего звена рассчитывается по формуле

$$TA_{\Delta} = t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot TA_i^2}, \quad (8.5)$$

где t – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска и равный: 1 – при проценте риска 32; 1,65 – при проценте риска 10; 2 – при проценте риска 4,5; 3 – при проценте риска 0,27 и т. д.

λ_i – коэффициент относительного рассеяния. Для закона нормального распределения $\lambda_i^2 = 1/9$, для закона Симпсона $\lambda_i^2 = 1/6$, для закона равной вероятности $\lambda_i^2 = 1/3$.

Сборка по методу групповой взаимозаменяемости (селективная сборка или сборка по методу подбора) применяется главным образом для размерных цепей, состоящих из небольшого числа звеньев (трех, иногда четырех), например размерных цепей типа «отверстие-вал-зазор», а также для сборочных соединений особо высокой точности, практически недостижимой методом полной взаимозаменяемости (шариковые подшипники, плунжерные пары и т.п.). Замыкающим звеном в таких случаях является зазор, регламентированный на основе эксплуатационных требований.

При осуществлении метода сначала определяется число групп n_{ep} , на которые должны быть рассортированы сопрягаемые детали, рассчитываются величины полей групповых допусков и предельных отклонений групповых размеров (групповой допуск размера меньше чертежного допуска этого размера в n_{ep} раз). Число групп при заданном допуске TA_{Δ} замыкающего звена определяется по формуле

$$n_{ep} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} TA'_i}{TA_{\Delta}},$$

где TA'_i – экономически приемлемые технологические допуски составляющих размеров.

Групповой допуск составляющего размера определяется по формуле

$$TA_{epi} = TA'_i / n_{ep}.$$

Все детали, изготавливаемые по чертежным допускам, сортируются по группам в пределах их групповых допусков и поступают на сборку групповыми комплектами. Соединение валов и отверстий общей группы производится без всякого дополнительного подбора, то есть по методу полной взаимозаменяемости.

Групповая взаимозаменяемость (селективная сборка) при неточном изготовлении собираемых деталей позволяет теоретически обеспечить сколь угодно высокую точность собираемых изделий, практически же часть поля допуска не может быть меньше цены деления измерительного инструмента. Есть еще одно ограничение. Из практики известно, что если поле допуска собираемых деталей разбивается более чем на шесть частей, то затраты на сортировку деталей превышают выгоду от достигаемой точности. Основной

недостаток селективной сборки заключается в том, что практически она оправдывает себя в условиях длительного массового производства. При ограниченном серийном производстве получается большой процент не сборки, и чем меньше серийность, тем больше этот процент.

Для расширения области применения селективной сборки на серийное и даже мелкосерийное производство сотрудником Университета Ильменау (Германия), доктором К.-П. Цохером разработан принцип адаптивно-селективной сборки [1, 3]. Он предусматривает возможность в условиях автоматизированного производства менять центры рассеяния действительных размеров собираемых деталей, а если этого недостаточно, то менять и количество групп допусков, на которые разбиваются исходные поля допусков этих деталей.

Адаптивно-селективная сборка является одной из новейших сборочных методик, обеспечивающая высокую точность узлов и изделий в условиях серийного производства при одновременном снижении себестоимости изделия за счет учета производственно-технических возможностей предприятия и изготовления комплектующих по расширенным допускам.

При использовании методов пригонки или регулирования в конструкцию изделия вводится специальная деталь – компенсатор, размеры которого могут изменяться при сборке путем удаления слоя металла пригонкой (в чертежах сборочных единиц или изделий указывается, по каким поверхностям каких деталей производится пригонка) или регулироваться при сборке (с помощью винтовой пары, набором прокладок, каждая из которых имеет свой размер и не подвергается дополнительной обработке, и т.п.).

Наибольшая возможная компенсация δ_k и величина поправки Δ_k к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена при методе пригонки определяются по формулам

$$\delta_k = TA'_\Delta - TA_\Delta, \quad (8.6)$$

$$\Delta_k = \delta_k / 2 + E_c A'_\Delta - E_c A_\Delta, \quad (8.7)$$

где TA'_Δ , $E_c A'_\Delta$ – допуск и координата середины поля допуска замыкающего звена, получаемые по методу полной взаимозаменяемости;

TA_Δ , $E_c A_\Delta$ – допуск и координата середины поля допуска замыкающего звена, определяемые служебным назначением или поставленной задачей (по данным сборочного чертежа).

Новая координата середины поля допуска составляющего звена, выбранного в качестве пригоняемого компенсатора, определяется по формуле

$$E_c A_i^k = E_c A_i + \Delta_k. \quad (8.8)$$

Далее рассчитываются новые верхнее и нижнее отклонения компенсатора по формулам (8.4).

При методе регулирования используются следующие формулы.

Число ступеней N компенсатора

$$N = \delta_k / (TA_{\Delta} - TA_k), \quad (8.9)$$

где TA_k – допуск на изготовление компенсатора.

Величина поправки к значению координаты середины поля допуска компенсирующего звена при условии совмещения нижних границ допусков замыкающих звеньев

$$\Delta_k = \delta_k / 2 - E_c A'_{\Delta} + E_c A_{\Delta}. \quad (8.10)$$

При определении величины $E_c A'_{\Delta}$ следует принять координату середины поля допуска компенсирующего звена равной нулю. Величина $E_c A^k_i$ определяется по формуле

$$E_c A^k_i = 0 \pm \Delta_k. \quad (8.11)$$

Здесь знак плюс применяется, если компенсирующее звено увеличивающее, а минус – если оно уменьшающее.

Величина ступени компенсации

$$C = TA_{\Delta} - TA_k. \quad (8.12)$$

Для каждой ступени компенсации определяется координата середины поля допуска компенсирующего звена $E_c A^n_k$ по формуле

$$E_c A^n_k = E_c A^k_i + (n - 1)C, \quad (8.13)$$

где n – номер ступени компенсации, $n = I, II, III \dots N$.

Далее для каждой ступени компенсации рассчитываются верхнее и нижнее отклонения компенсирующего звена по формулам (8.4).

Обеспечение требуемой точности изделия, достигаемой в процессе его сборки, исследуется посредством составления технологических размерных цепей. Совпадение технологической размерной цепи с конструкторской возможно лишь при обеспечении точности ее замыкающего звена одним из перечисленных выше методов взаимозаменяемости. Применение других методов, использование в процессе сборки различных приспособлений и контрольных устройств, точность которых сказывается на результатах сборки, приводит к возникновению в процессе сборки размерных связей, отличающихся от тех, что действуют в работающей машине.

Отличие размерных связей в технологическом процессе сборки изделия от размерных связей в его конструкции приводит к необходимости расчета технологических размерных цепей, с помощью которых при избранном методе и оснастке будет в действительности достигаться точность изделия. Такой расчет приводит к ограничению допусков составляющих звеньев технологической размерной цепи, которыми могут быть не только размеры деталей, но и размеры технологической оснастки, измерительных устройств, а также размеры, учитывающие погрешности установки одних и других.

Следствием расчета сборочных размерных цепей являются изменения в ту или иную сторону значений допусков в рабочих чертежах деталей изготавливаемого изделия.

Поясним изложенное на примерах.

На рис. 8.1 представлены: часть общего вида шестеренчатого насоса; размерная цепь, обеспечивающая радиальный зазор между зубчатым колесом и корпусом; данные составляющих звеньев этой размерной цепи.

Для легкого вращения зубчатых пар необходимо, чтобы зазор между зубчатым колесом и корпусом (радиальный зазор) находился в пределах: $A_{\Delta} = 0,07 \dots 0,17$ мм.

Размерная цепь, обеспечивающая этот зазор, имеет следующий вид

$$A_{\Delta} = -A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5.$$

Номинал замыкающего звена согласно чертежам деталей

$$A_{\Delta} = -47,85 + 0 + 0 + 0 + 48,75 = 0.$$

Поле допуска замыкающего звена, если обеспечивать его точность по методу полной взаимозаменяемости, можно определить по формуле (8.1)

$$TA_{\Delta} = 0,016 + 0,03 + 0,07 + 0,05 + 0,062 = 0,228 \text{ мм.}$$

Координату середины поля допуска замыкающего звена определим по формуле (8.3)

$$\begin{aligned} E_c A_{\Delta} &= -E_c A_1 + E_c A_2 + E_c A_3 + E_c A_4 + E_c A_5 = \\ &= -(-0,008) + 0 + 0 + 0 + 0,111 = 0,119 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена определим по формулам (8.4)

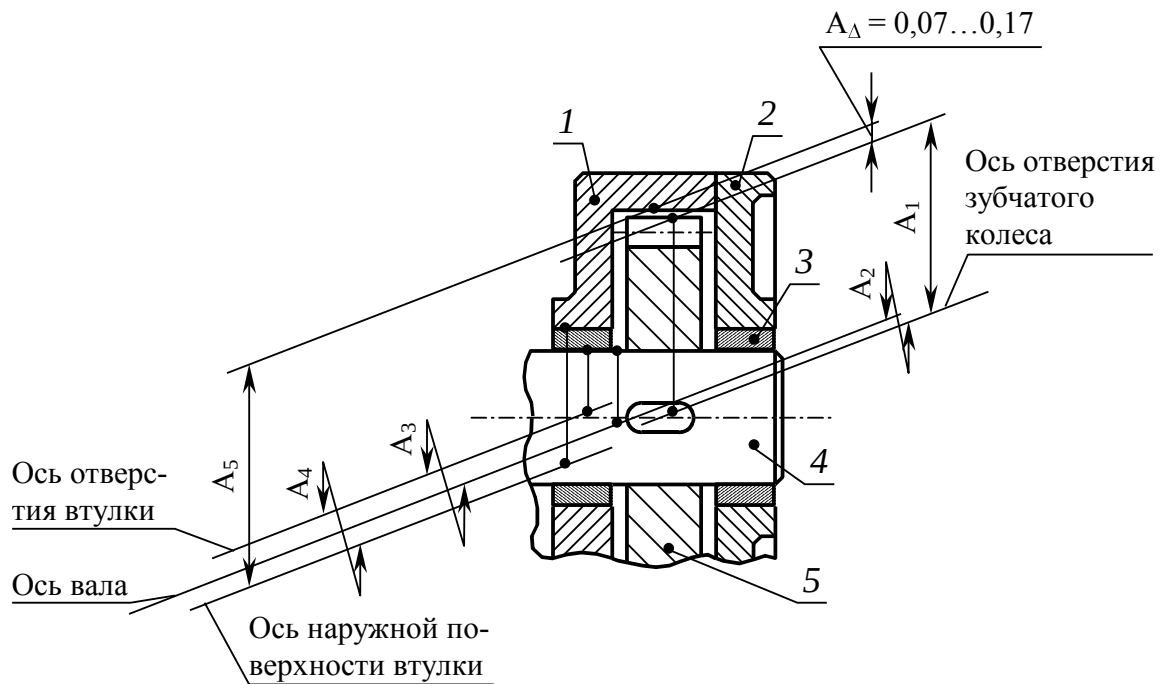
$$ESA_{\Delta} = 0,119 + \frac{0,228}{2} = 0,233 \text{ мм;}$$

$$EIA_{\Delta} = 0,119 - \frac{0,228}{2} = 0,005 \text{ мм,}$$

в то время как техническими требованиями, указанными выше, зазор задан в пределах $0,07 \dots 0,17$ мм (см. рис. 8.1).

Таким образом, при допусках на размеры деталей и технических требованиях взаимного расположения их поверхностей, заданных конструкторскими чертежами, рассчитывать на достижение требуемого значения радиального зазора методом полной взаимозаменяемости не приходится.

Насос изготавливается в условиях крупносерийного производства. Поэтому возможно использовать метод неполной взаимозаменяемости.



Данные составляющих звеньев цепи

Зве- но	Номинал A_i , мм	Допуск ΔA_i , мм	Координата середин ны поля допуска $E_c A_i$, мм	Сущность допустимого отклонения
A_1	48,75	0,016	-0,008	Отклонения радиуса зубчатого колеса $\varnothing 97,5_{-0,032}$ мм
A_2	0	0,03	0	Предельное значение биения вершин зубьев относительно отверстия
A_3	0	0,07	0	Верхнее предельное значение зазора в подшипнике: вал - $\varnothing 15h8_{(-0,027)}$ мм и отверстие втулки - $\varnothing 15F8^{(+0,043)}_{(+0,016)}$ мм
A_4	0	0,05	0	Предельное значение биения наружной поверхности втулки относительно ее отверстия
A_5	48,75	0,062	0,111	Глубина расточки в корпусе $48,75^{+0,142}_{+0,08}$ мм

Рис.8.1. Часть общего вида шестеренчатого насоса:
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – втулка; 4 – вал; 5 – колесо зубчатое

Проверим возможность достижения радиального зазора в требуемых пределах по методу неполной взаимозаменяемости при

риске 0,27% ($t = 3$) и при условии, что рассеяние погрешностей составляющих звеньев подчинено закону нормального распределения ($\lambda_{Ai}^2 = 1/9$). Допуск замыкающего звена определим по формуле (4.6)

$$TA_{\Delta} = 3\sqrt{1/9(0,016^2 + 0,03^2 + 0,07^2 + 0,05^2 + 0,062^2)} = 0,112 \text{ мм};$$

$$ESA_{\Delta} = 0,119 + \frac{0,112}{2} = 0,175 \text{ мм};$$

$$EIA_{\Delta} = 0,119 - \frac{0,112}{2} = 0,063 \text{ мм}.$$

Как видим, при заданных конструктором допусках на размеры деталей, невозможно выполнить требования по достижению заданного зазора и методом неполной взаимозаменяемости. Использование других методов в данном случае невозможно, так как имеется мгновенная цепь, и нет детали, которую можно было бы принять в качестве компенсатора.

Анализ конструкции насоса позволяет уменьшить зазор в подшипниках, значение которого обычно назначают для насоса среднего давления в пределах 0,002...0,003 диаметра вала. В данном случае для вала диаметром 15 мм допустим зазор 0,03...0,045 мм. Назначим: вал – $\varnothing 15h6(-0,011)$; отверстие во втулке – $\varnothing 15F7(+0,034/+0,016)$, что выполнимо в условиях рассматриваемого производства без удорожания изготовления деталей на обычных серийных станках. Тогда верхнее предельное значение зазора в подшипнике $TA_3 = 0,045$ мм. Определим для этих условий допуски отклонения замыкающего звена методом неполной взаимозаменяемости

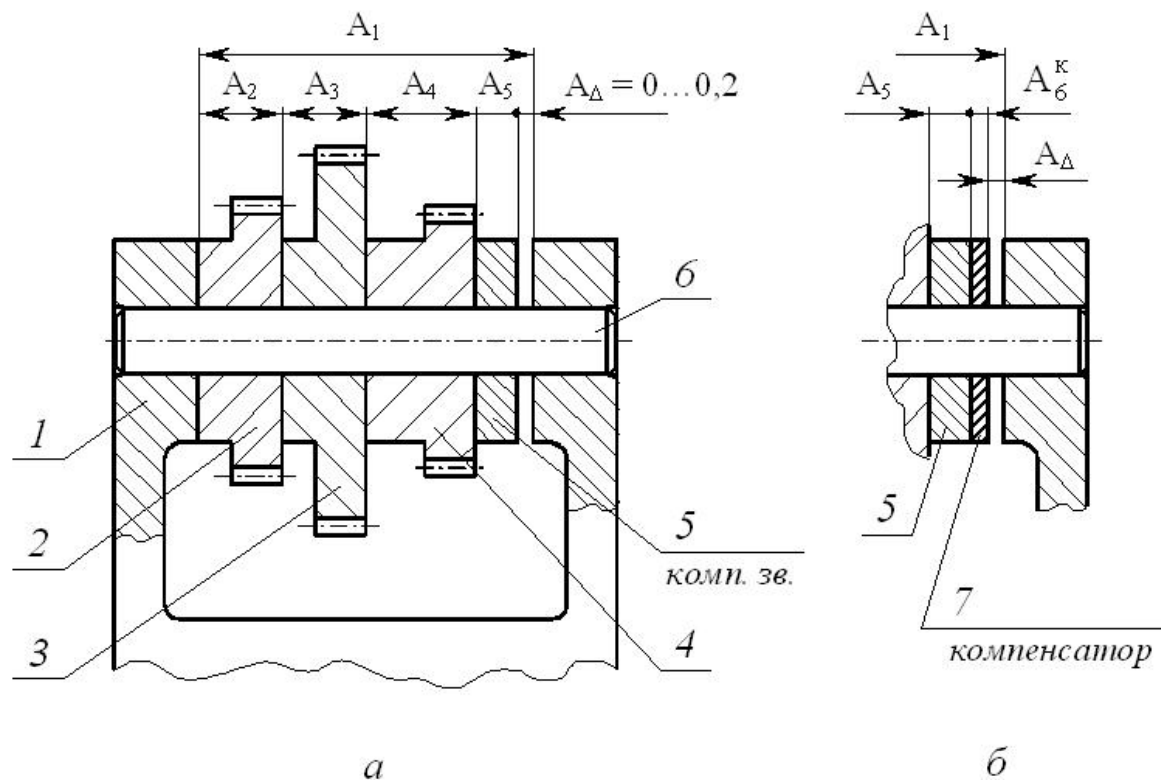
$$TA_{\Delta} = 3\sqrt{1/9(0,016^2 + 0,03^2 + 0,045^2 + 0,05^2 + 0,062^2)} = 0,098 \text{ мм};$$

$$ESA_{\Delta} = 0,119 + \frac{0,098}{2} = 0,168 \text{ мм};$$

$$EIA_{\Delta} = 0,119 - \frac{0,098}{2} = 0,07 \text{ мм}.$$

Таким образом, проведены, указанные выше, изменения допусков деталей 4 (вал) и 3 (втулка) (см. рис. 8.1) и обеспечивается радиальный зазор по методу неполной взаимозаменяемости при риске 0,27%, что вполне допустимо при заданном объеме выпуска.

На рис. 8.2, а представлена часть сборочного чертежа механизма, изготовление которого осуществляется в условиях мелкосерийного производства. Для нормальной работы механизма необходимо обусловить осевой зазор в пределах 0...0,2 мм. Обеспечение этого осевого зазора предусматривается выполнить методом пригонки. В качестве компенсирующего звена конструктор предлагает использовать втулку (поз. 5, см. рис. 8.2, а) и проводить компенсацию путем шлифования ее по торцу.



Данные составляющих звеньев цепи

Вариант а			Вариант б		
Размер с отклонениями, мм	Допуск TA_i , мм	Координата середины поля допуска $E_c A_i$, мм	Размер с отклонениями, мм	Допуск TA_i , мм	Координата середины поля допуска $E_c A_i$, мм
$A_1 = 125^{+0,25}$	0,25	0,125	$A_1 = 125^{+0,25}$	0,25	0,125
$A_2 = 20_{-0,13}$	0,13	-0,065	$A_2 = 20_{-0,13}$	0,13	-0,065
$A_3 = 35_{-0,1}$	0,1	-0,05	$A_3 = 35_{-0,1}$	0,1	-0,05
$A_4 = 55_{-0,19}$	0,19	-0,095	$A_4 = 55_{-0,19}$	0,19	-0,095
$A_5 = 15_{+0,07}^{+0,13}$	0,06	0,1	$A_5 = 13_{-0,11}$	0,11	-0,055
			$A_6 = 2$	0,04	

Рис.8.2 Часть сборочного чертежа механизма и его размерные цепи:

а – в условиях мелкосерийного производства;

б – в условиях среднесерийного производства

Технолог должен провести соответствующие размерные расчеты и определить размеры детали поз. 5, с которыми она должна поступить на сборку и обеспечить пригонку.

Уравнение размерной цепи в данном случае будет иметь вид

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5.$$

$$A_{\Delta} = 0^{+0,2} \text{ мм}; \quad TA_{\Delta} = 0,2 \text{ мм}; \quad E_c A_{\Delta} = 0,1 \text{ мм}.$$

Определим допуск замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости по формуле (8.1) и координату середины поля допуска по формуле (8.3)

$$TA'_{\Delta} = 0,25 + 0,13 + 0,1 + 0,19 + 0,06 = 0,73 \text{ мм}.$$

$$E_c A'_{\Delta} = 0,125 - (-0,065) - (-0,05) - (-0,095) - 0,1 = 0,235 \text{ мм}.$$

Наибольшая величина компенсации определяется по формуле (8.6)

$$\delta_k = 0,73 - 0,2 = 0,53 \text{ мм}.$$

Поправку к середине поля допуска компенсирующего звена в случае пригонки определим по формуле (8.7)

$$\Delta_k = \frac{0,53}{2} + 0,235 - 0,1 = 0,4 \text{ мм}.$$

Тогда координату середины поля допуска компенсирующего звена с учетом поправки определим по формуле (8.8)

$$E_c A_5^k = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ мм}.$$

Предельные отклонения компенсирующего звена определим по формулам (8.4)

$$ESA_5^k = 0,5 + \frac{0,06}{2} = 0,53 \text{ мм};$$

$$EIA_5^k = 0,5 - \frac{0,06}{2} = 0,47 \text{ мм}.$$

Компенсирующее звено должно поступить на сборку, имея размер $A_5 = 15^{+0,53}_{+0,47}$ мм, что заносится в рабочий чертеж этой детали.

Если сборка механизма, представленного на рис. 8.2, производится в условиях среднесерийного производства, то использование метода пригонки экономически не оправдано, так как увеличение объема выпуска приводит к резкому удорожанию пригоночных работ.

Поэтому конструктором в этих условиях предусмотрено достижение заданной точности методом регулирования с введением дополнительного компенсирующего звена – шайбы (поз. 7, см. рис. 8.2, б).

Технолог должен провести необходимые размерные расчеты, определить количество и размеры компенсаторов.

Уравнение размерной цепи в данном случае имеет вид

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6^k.$$

$$A_{\Delta} = 0^{+0,2} \text{ мм}; \quad TA_{\Delta} = 0,2 \text{ мм}; \quad E_c A_{\Delta} = 0,1 \text{ мм}.$$

При заданных допусках составляющих звеньев допуск замыкающего звена по методу полной взаимозаменяемости

$$TA'_{\Delta} = 0,25 + 0,13 + 0,1 + 0,19 + 0,11 + 0,04 = 0,82 \text{ мм}.$$

Наибольшая величина возможной компенсации

$$\delta_k = 0,82 - 0,2 = 0,62 \text{ мм.}$$

Число ступеней компенсатора определим по формуле (8.9)

$$N = \frac{0,62}{0,2 - 0,04} = 3,87 \approx 4.$$

Определим координату середины расширенного поля допуска замыкающего звена, условно принимая координату середины поля допуска компенсирующего звена $E_c A_6 = 0$

$$E_c A'_\Delta = 0,125 - (-0,065) - (-0,05) - (-0,095) - (-0,055) - 0 = 0,39 \text{ мм.}$$

Поправку к координате середины поля допуска компенсирующего звена при методе регулирования определим по формуле (8.10)

$$\Delta_k = \frac{0,62}{2} - 0,39 + 0,1 = 0,02 \text{ мм.}$$

Так как компенсирующее звено является уменьшающим, поправку учитываем с обратным знаком. Поэтому новая координата середины поля допуска компенсирующего звена определяемая по формуле (8.11) равна

$$E_c A_6^k = 0 - 0,02 = -0,02 \text{ мм.}$$

Координаты середины полей допусков каждой последующей ступени будут отличаться от координат середин полей допусков предшествующей ступени на величину ступени компенсации, определяемой по формуле (8.12)

$$C = 0,2 - 0,04 = 0,16 \text{ мм.}$$

Тогда, используя формулу (8.13) получим

$$E_c A_k^I = E_c A_6^k + 0 \cdot C = -0,02 + 0 \cdot 0,16 = -0,02 \text{ мм;}$$

$$E_c A_k^{II} = E_c A_6^k + 1 \cdot C = -0,02 + 1 \cdot 0,16 = 0,14 \text{ мм;}$$

$$E_c A_k^{III} = E_c A_6^k + 2 \cdot C = -0,02 + 2 \cdot 0,16 = 0,30 \text{ мм;}$$

$$E_c A_k^{IV} = E_c A_6^k + 3 \cdot C = -0,02 + 3 \cdot 0,16 = 0,46 \text{ мм.}$$

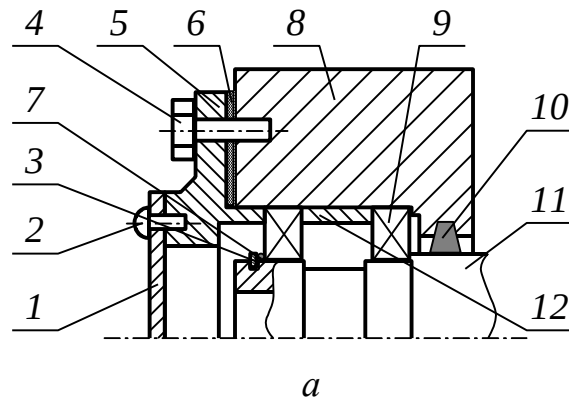
Используя формулы (8.4), окончательно получим следующие размеры компенсаторов:

$$\text{I ступень} - 2_{-0,04}^{+0,16}; \text{II} - 2_{+0,12}^{+0,32}; \text{III} - 2_{+0,28}^{+0,48}; \text{IV} - 2_{+0,44}^{+0,64}.$$

Для каждой сборочной единицы поставляют весь комплект компенсаторов.

После выполнения необходимых исследований сборочных размерных цепей, внесения технологических ограничений в рабочие чертежи разрабатывается технологическая схема сборки, которая является моделью динамического развития ТСИ (технической системы «Изделие») во времени. На схеме сборки каждый элемент системы обозначается прямоугольником, в котором указывают наименование элемента, его номер и количество.

Разработка схемы сборки начинается с определения базовой детали (или сборочной единицы) и деления изделия на сборочные единицы и детали. От прямоугольника с изображением базового элемента до прямоугольника, изображающего готовое изделие, проводят горизонтальную линию. Над ней располагают в порядке последовательности сборки прямоугольники, изображающие детали, а под ней прямоугольники, изображающие сборочные единицы. Для каждой сборочной единицы строят свои схемы. Пример построения технологической схемы сборки показан на рис. 8.3.



Эскиз ролика: 1 – крышка; 2 – винт (4 шт.); 3 – кольцо стопорное; 4 – винт (4 шт.); 5 – фланец; 6 – прокладка; 7 – кольцо компенсационное; 8 – ролик; 9 – подшипник (2 шт.); 10 – кольцо уплотнительное; 11 – валик; 12 – втулка

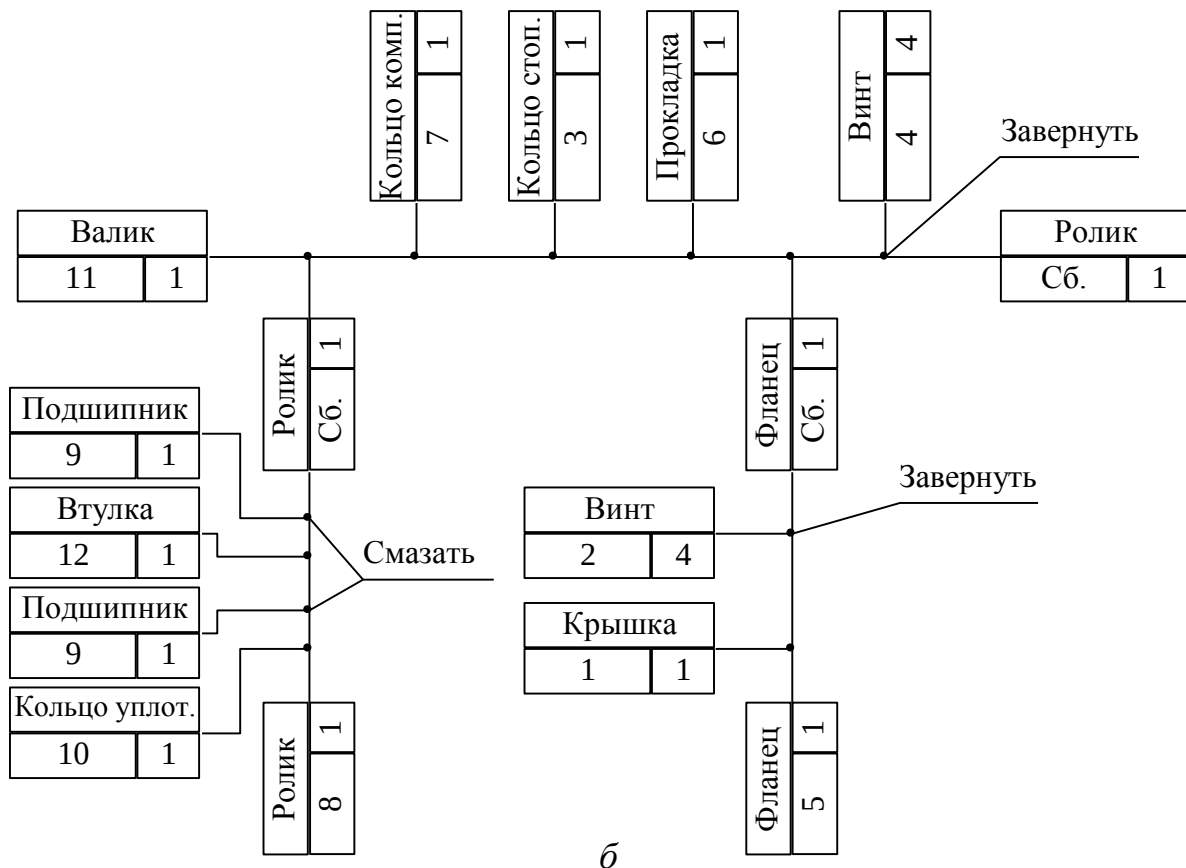


Рис.8.3. Эскиз сборки (а) и технологическая схема сборки (б)

Технологическая схема сборки является основой для проектирования технологического процесса сборки.

После разработки схем сборки устанавливают состав сборочных, регулировочных, пригоночных, подготовительных и контрольных работ и определяют содержание технологических операций и приемов.

В единичном производстве разрабатывают маршрутные технологические карты и схемы сборки.

В серийном производстве разрабатывают маршрутно-операционные и операционные технологические карты и при необходимости выпускаются технологические инструкции, комплектовочные карты, ведомость оснастки и другие документы, т.е. описание ТП сборки более подробное.

Методика проектирования технологического процесса сборки изделия предусматривает что, основными этапами проектирования ТП сборки являются:

- сбор исходной информации (описание конструкции изделия, производственная обстановка, объем выпуска, организация производства);

- анализ исходной операции (выявление требований к качеству изделия, анализ соответствия служебному назначению его норм точности; выявление задач по достижению требуемой точности и конструкторских размерных целей, обеспечивающих решение этих задач; выбор методов и средств достижения заданной точности; выявление технологических размерных цепей и их расчет);

- расчет такта выпуска или производственной партии, выбор организационной формы сборки;

- разработка последовательности сборки изделия, дифференциация и концентрация процесса сборки, разработка технологических схем сборки;

- нормирование сборочных работ;

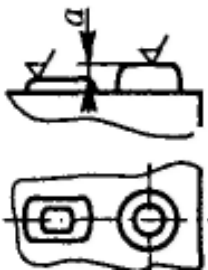
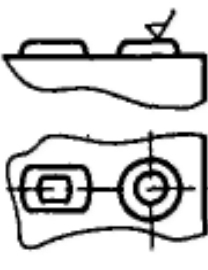
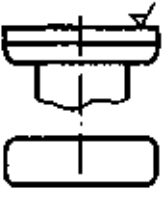
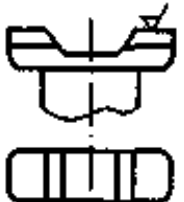
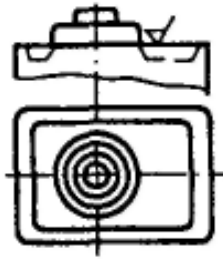
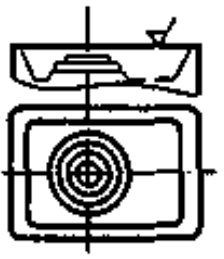
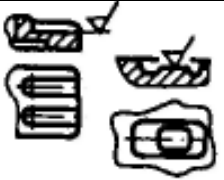
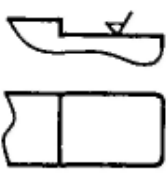
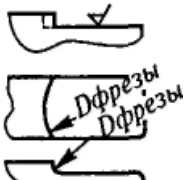
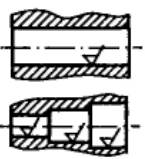
- выбор или проектирование технологического оснащения, средств механизации и автоматизации;

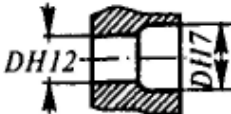
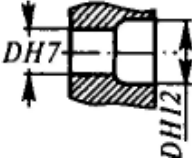
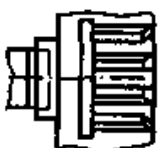
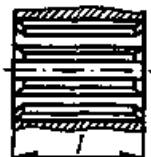
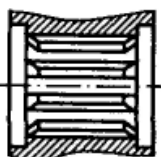
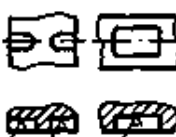
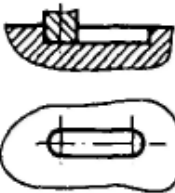
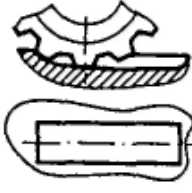
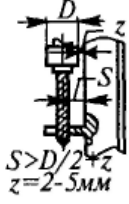
- оформление технологической документации.

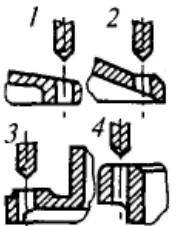
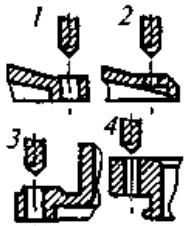
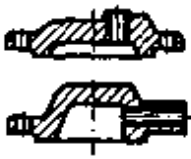
Библиографический список

1. *Валетов, В. А.* Новые технологии в приборостроении: учеб. пособие / В. А. Валетов, С. В. Бобцова. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2004. – 120 с.
2. *Валетов, В. А.* Основы технологии приборостроения: учеб. пособие / В. А. Валетов, В. Б. Мурашко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 180 с.
3. *Валетов, В. А.* Технология приборостроения: учеб. пособие / В. А. Валетов, Ю. П. Кузьмин, А. А. Орлова, С. Д. Третьяков. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 336 с.
4. *Зерний, Ю. В.* Основы технологии приборостроения: учеб. пособие / Ю. В. Зерний, А. Г. Полываный. – М.: Новый Центр, 2008 (Йошкар-Ола). – 359 с.
5. *Иващенко, И. А.* Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации / И. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.
6. *Маталин, А. А.* Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
7. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / А. Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010.
8. *Помпеев, К. П.* Выбор приспособлений при автоматизированном проектировании надежных технологий / К. П. Помпеев, Л. В. Одинцова // Инструмент и технологии, №17-18. – СПб.: Изд-во Инструмент и технологии, 2004. – С.187-192.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.
10. Технология конструкционных материалов / под ред. А. М. Дальского. – М.: Машиностроение, 1985. – 580 с.

Примеры технологичных и нетехнологичных конструкций

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Обрабатываемые плоскости следует располагать на одном уровне			1. Возможность обработки за один ход производительными методами – торцовым фрезерованием, плоским шлифованием и протягиванием 2. Возможность обработки нескольких заготовок одновременно 3. Упрощение контроля
Обрабатываемые плоскости не должны быть сплошными			1. Уменьшение расхода шлифовальных кругов 2. Повышение точности и снижения шероховатости обработки 3. Снижение трудоемкости
Обрабатываемые плоскости должны быть открытыми. Узкие и длинные поверхности должны быть расположены так, чтобы их можно было обрабатывать вдоль плоскости			1. Возможность обработки торцовым фрезерованием 2. Повышение производительности и точности обработки
Обрабатываемые плоскости не должны располагаться в углублениях			1. Применение производительных методов обработки 2. Снижение трудоемкости
Закрытые плоскости должны иметь переходную поверхность, соответствующую размерам и виду инструмента			1. Снижение трудоемкости 2. Применение производительных методов обработки и нормализованного режущего инструмента
В отверстиях не должно быть обрабатываемых выточек			1. Снижение трудоемкости 2. Возможно применение производительных методов обработки

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
В ступенчатых отверстиях наиболее точную ступень следует делать сквозной			1. Снижение трудоемкости обработки 2. Повышение точности обработки и стойкости инструмента 3. Упрощение конструкции инструмента
Шлицевые отверстия должны быть непрерывными			1. Предохранение инструмента от поломок и повышение его стойкости 2. Снижение трудоемкости обработки отверстия
Следует избегать глухих шлицевых отверстий			Возможность обработки отверстия производительным методом – протягиванием
Следует избегать глубоких шлицевых отверстий			1. Упрощение конструкции инструмента и повышение его стойкости 2. Упрощение процесса обработки
Следует избегать закрытых гнезд и несквозных пазов			1. Сокращение числа рабочих ходов 2. Упрощение конструкции режущего инструмента 3. Снижение трудоемкости обработки
Следует избегать закрытых пазов, обрабатываемых концевыми фрезами			1. Применение более производительного инструмента 2. Улучшение условий работы инструмента и особенно его врезания 3. Снижение трудоемкости обработки
Для сокращения длины обрабатываемого отверстия следует обеспечить условия для наилучшего направления инструмента			1. Повышение точности обработки 2. Увеличение жесткости инструмента 3. Повышение производительности
Отверстия должны быть расположены так, чтобы можно было работать инструментом нормальной длины			1. Применение нормализованного инструмента и более полное его использование 2. Повышение точности обработки

Основные технологические требования	Конструкция		Преимущества технологичной конструкции
	нетехнологичная	технологичная	
Возможность нормального входа и выхода режущего инструмента			1. Предохранение инструмента от поломок 2. Повышение точности сверления 3. Повышение производительности
Следует избегать наклонного расположения оси отверстия			1. Упрощение конструкции приспособления 2. Возможность одновременно обрабатывать другие отверстия при параллельном расположении осей 3. Снижение трудоемкости обработки отверстий
Глухие отверстия с резьбой должны иметь канавки для выхода инструмента или в них должен быть предусмотрен сбег резьбы			1. Улучшение качества резьбы 2. Улучшение условий 3. Снижение трудоемкости
Конструкция отверстия с резьбой должна давать возможность работать резьбовым инструментом на проход			1. Повышение производительности 2. Улучшение условий работы инструмента 3. Применение инструмента, обладающего лучшими режущими свойствами

В Приложении Б рассмотрен пример разработки технической системы «Заготовка» изготовления детали «Кронштейн» в условиях среднесерийного производства (рис. ПБ.1).

Учитывая марку материала, конфигурацию детали, тип производства и необходимую точность, в качестве метода получения исходной заготовки примем литье в землю 1-го класса точности, которое обеспечивается формовкой по металлическим моделям с механизированным выемом моделей из форм и заливкой металла в сырые и подсушенные формы.

Назначим методы окончательной и предварительной обработок каждого элемента с учетом принятого способа производства исходной заготовки и экономической точности методов обработки, используя справочные данные [9].

Отверстие 47Js7, $R_a = 1,25$ мкм окончательно будем обрабатывать методом тонкого растачивания, которому будет предшествовать чистовое растачивание с точностью 9-го качества, $R_a = 2,5$ мкм. Перед чистовым растачиванием выполним черновое растачивание, обеспечивающее 11-й качество, $R_a = 10$ мкм, которому предшествует черновое зенкерование отлитого отверстия с точностью 13-го качества, $R_a = 20$ мкм. Заготовкой служит литье ($ES = 0,8$ мм, $EI = -0,3$ мм; $R_z = 400$ мкм).

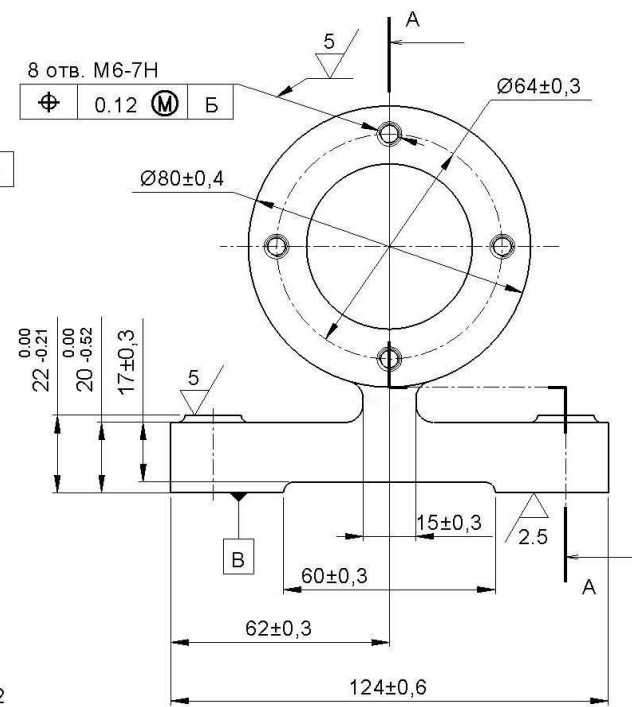
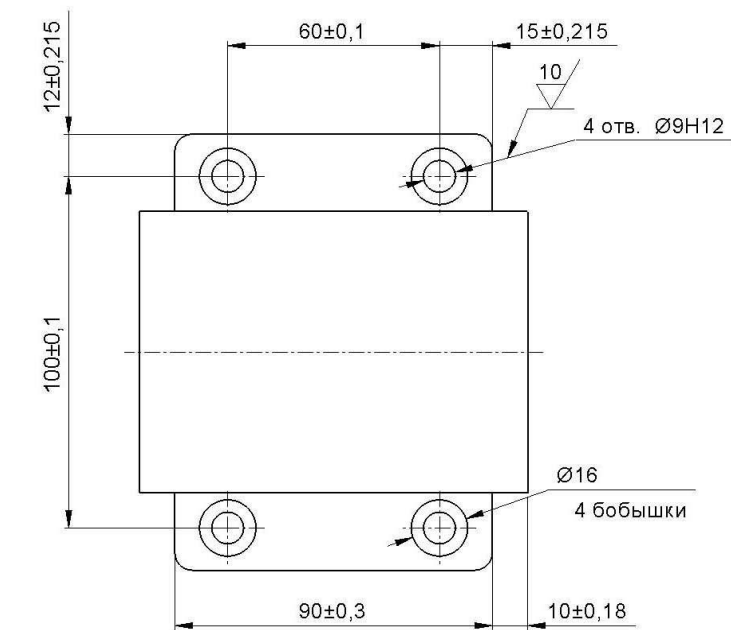
Отверстия 9H12 будем обрабатывать сверлением, в заготовке этих отверстий нет.

Плоскости будем обрабатывать чистовым фрезерованием, которому предшествует черновое фрезерование, обеспечивающее параметр шероховатости $R_a = 10$ мкм.

Нарезать резьбу будем метчиком после сверления отверстия.

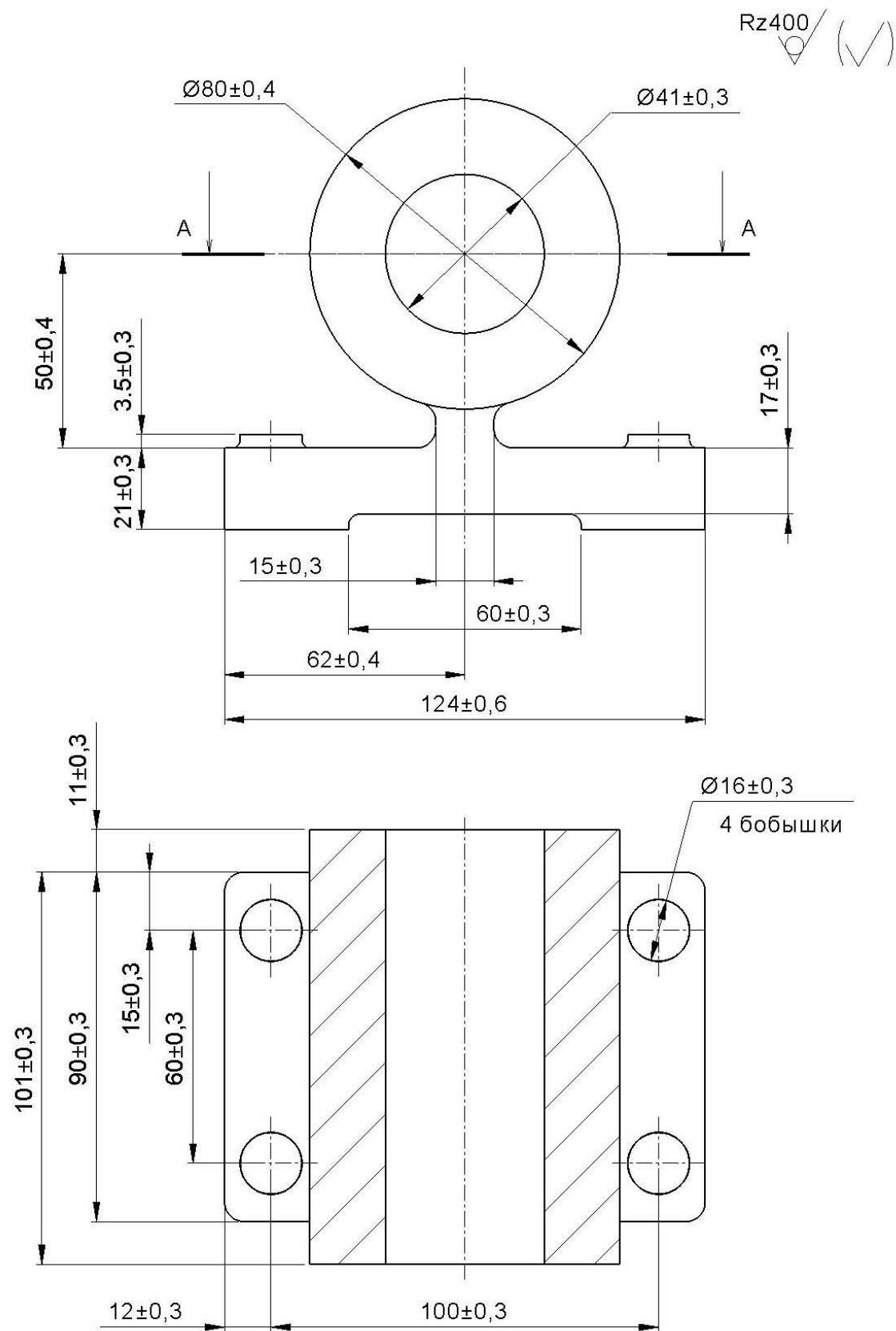
Разработаем структуру технической системы «Заготовка», создавая ряд последовательно выполняемых операционных комплексов.

Прежде всего, определим геометрию исходной заготовки и ее технические характеристики с учетом метода – литье в землю по металлической модели (рис. ПБ.2).



1. Сталь 25Л.
2. Н14, h14, $\pm IT14/2$.

Рис.ПБ.1. Кронштейн



1. Неуказанные радиусы $R=3$ мм.
2. Коробление $\leq 0,5$ мм.
3. Смещение оси отверстия $\leq 0,5$ мм.

Рис.ПБ.2. ОК-005 – Литье

Учитывая тип производства, примем метод концентрации операций и разработаем операционные комплексы по обработке заготовки [7], используя типовую схему изготовления деталей рассматриваемого класса – «Корпусы», и следующие рассуждения:

1. Корпусные детали устанавливают в системе «Обработка», используя правило постоянства баз. При обработке деталей этого класса широкое распространение получил метод установки заготовки по плоскости и двум точным отверстиям. Для обеспечения такого способа установки технологически назначим для двух отверстий в основании $\varnothing 9,1H8(^{+0,022})$.

2. На первом операционном комплексе проводим черновое и чистовое фрезерования плоскости основания, сверление двух отверстий $\varnothing 9H12$, сверление и развертывание двух отверстий $\varnothing 9,1H8$. Обработку выполняем на вертикальном сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ (модель 2254ВМФ4). Устанавливаем заготовку на необрабатываемые три взаимно-перпендикулярные плоскости (рис. ПБ.3).

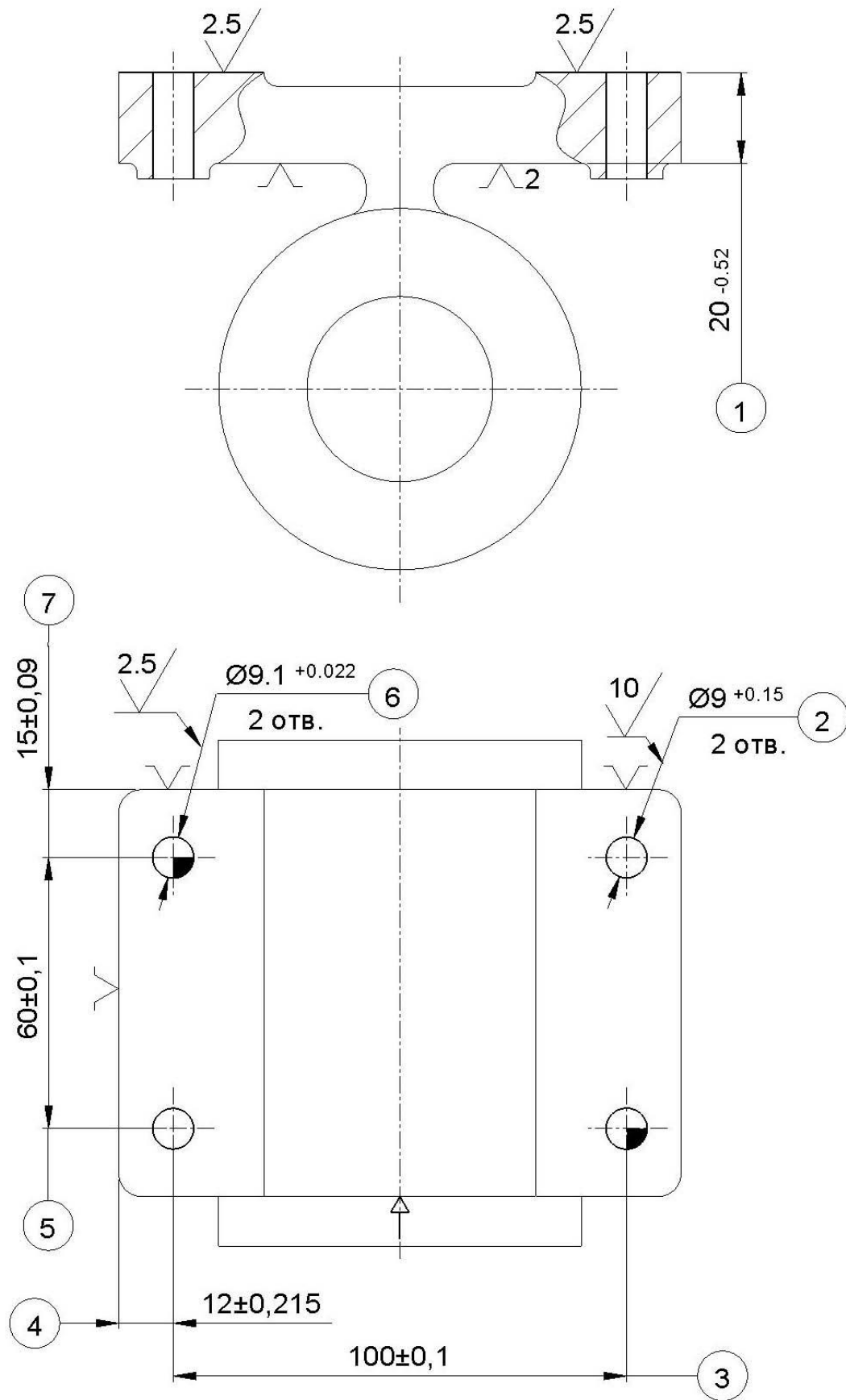
3. На втором операционном комплексе проводим зенкерование и растачивание отверстия, черновое и чистовое фрезерования торцов, сверление отверстий и нарезание резьбы, фрезерование плоскости бобышек. Обработку выполняем на горизонтальном сверлильно-фрезерно-расточном станке (модель ИР500ВМФ4) при установке заготовки на плоскость основания и два точных отверстия, используя установочные пальцы $\varnothing 9,1f7(-0,028)$ (рис. ПБ.4).

При простановке операционных линейных размеров в исходной заготовке (операционный комплекс 005) используются следующие правила:

– плоскостные элементы (оси), которые получают окончательное состояние в исходной заготовке, координируются между собой и связаны с обрабатываемыми элементами через поверхности, контактирующие с базами системы «Обработка» на первом операционном комплексе механической обработки (см. размеры 2, 3, 10 и др. на рис. ПБ.2);

– обрабатываемые плоскостные элементы координируются от элементов, контактирующих с базами системы «Обработка» на первом операционном комплексе механической обработки (см. размер 17, 11, 15, 16, 13 и др. на рис. ПБ.2).

Простановка операционных линейных размеров на операционных комплексах 010 и 015 проводилась по основным правилам, изложенным ранее (см. рис. ПБ.3 и ПБ.4).



Станок модели 2254ВМФ4

Рис.ПБ.3. ОК-010 – Сверлильно-фрезерно-расточной



Станок модели ИР500ВМФ4

Рис.ПБ.4. ОК-015 – Сверлильно-фрезерно-расточной

Таким образом, разработана структура технической системы «Заготовка» (определен маршрут изготовления рассматриваемой детали).

Следующим важнейшим этапом проектирования технологии изготовления детали (технической системы «Заготовка») является размерный анализ этого проектируемого технологического процесса.

Так как деталь является корпусной деталью, то посмотрим размерные схемы линейных размеров в трех плоскостях, которые представлены на рис. ПБ.5.

Составим уравнения размерных цепей, замыкающими звеньями которых служат конструкторские размеры, припуски и несоосности.

$$\begin{array}{lll}
 K_1 = T_6; & K_{11} = T_{13}; & Z_1 = T_3 - T_5 - T_9; \\
 K_2 = T_7; & K_{12} = T_{16}; & Z_2 = T_2 + T_5 - T_{10}; \\
 K_3 = T_8; & K_{13} = T_{15}; & Z_3 = T_{19} - T_{23}; \\
 K_4 = T_9 + T_{10}; & K_{14} = T_{17}; & Z_4 = T_{21} + T_{23} - T_{24}; \\
 K_5 = T_1; & K_{15} = T_{18} + T_{17}; & e_1 = T_{18} = T_{17} - T_{14}; \\
 K_6 = T_4; & K_{16} = T_{25}; & e_2 = T_{22} + T_{23} - T_{25}. \\
 K_7 = T_5; & K_{17} = T_{24}; & \\
 K_8 = T_{11}; & K_{18} = T_{23}; & \\
 K_9 = T_{10} - T_5; & K_{19} = T_{20}; & \\
 K_{10} = T_{12}; & &
 \end{array}$$

Проведем решение уравнений методом полной взаимозаменяемости

$$\underline{K_9 = T_{10} - T_5.}$$

Известно:

$$K_9 = 10 \pm 0,18 \text{ мм.}$$

$$T_5 = 15 \pm 0,215 \text{ мм.}$$

$IT_{K9} = IT_{T10} + IT_{T5}; \quad IT_{T10} = IT_{K9} - IT_{T5} = 0,36 - 0,43 = -0,07 \text{ мм,}$ а этого не может быть, так как допуск – величина положительная.

Размер T_5 задан от черной базы и его можно выполнять с максимальной точностью только 12-го качества. Ужесточим допуск на размер T_5 до 12-го качества, равный 0,18 мм, т.е.

$$\underline{T_5 = 15 \pm 0,09 \text{ мм.}}$$

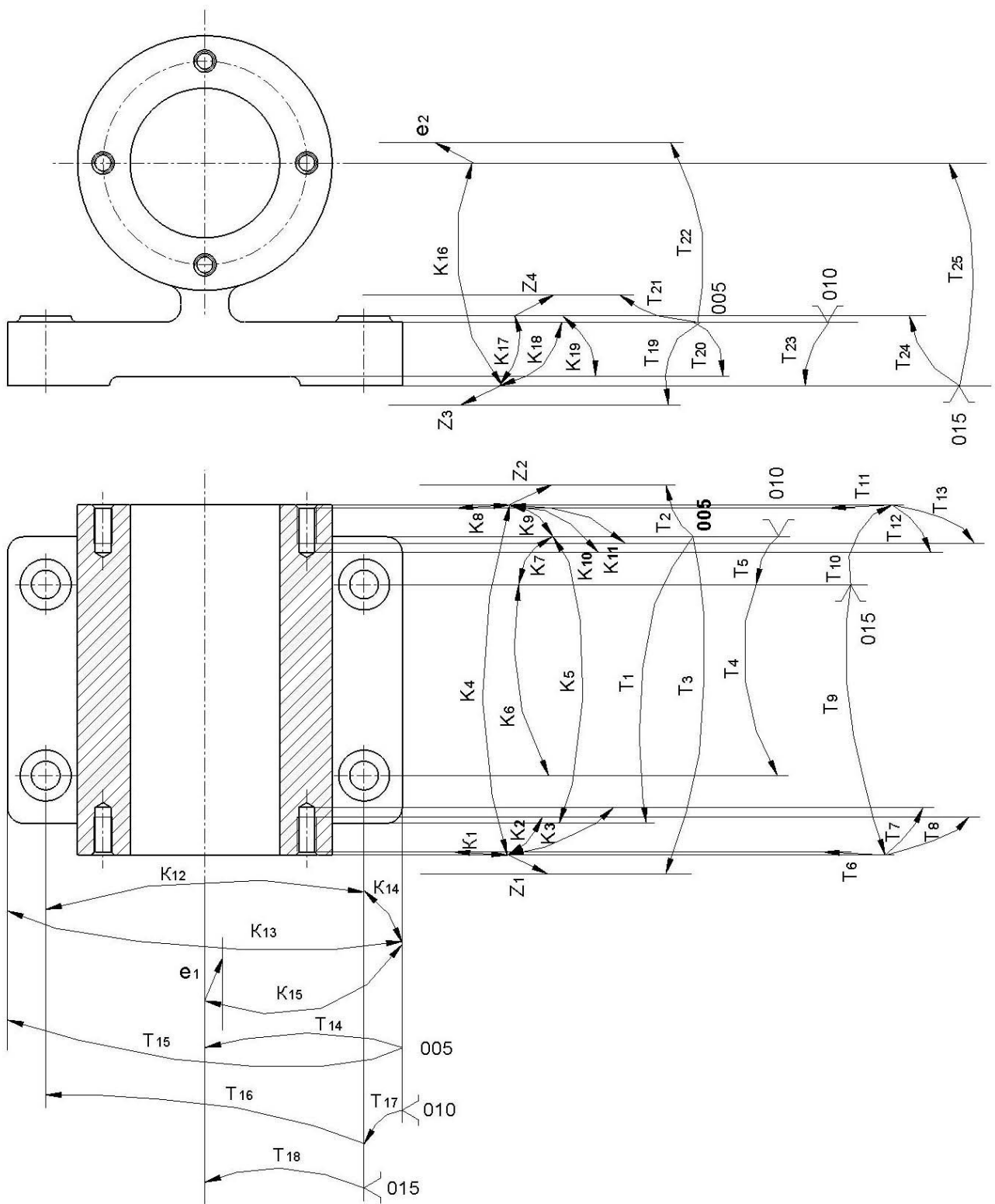


Рис.ПБ.5. Размерная схема технологического процесса изготовления детали «Кронштейн»

Тогда $T_{T10} = 0,36 - 0,18 = 0,18$ мм, что может быть выполнено на принятом оборудовании.

$$T_{10} = K_9 + T_5 = 10 + 15 = 25 \text{ мм},$$

$$T_{10} = 25 \pm 0,09 \text{ мм},$$

так как этот размер определяет положение оси отверстия.

$$\underline{K_4 = T_9 + T_{10} .}$$

Известно:

$$K_4 = 110_{-0,54} = 109,73 \pm 0,27 \text{ мм}; \quad T_{10} = 25 \pm 0,09 \text{ мм}.$$

$$T_9 = K_4 - T_{10} = 109,73 - 25 = 84,73 \text{ мм}.$$

$$IT_{K4} = IT_{T9} + IT_{T10}; \quad IT_{T9} = IT_{K4} - IT_{T10} = 0,54 - 0,18 = 0,36 \text{ мм}.$$

$$T_9 = 84,73 \pm 0,18 \text{ мм}.$$

Учитывая точность оборудования, примем окончательно

$$\underline{T_9 = 84,7 \pm 0,11 \text{ мм} .}$$

Проверка:

$$K_{4\min} = T_{9\min} + T_{10\min} = 84,59 + 24,91 = 109,5 \geq 109,46 \text{ мм};$$

$$K_{4\max} = T_{9\max} + T_{10\max} = 84,81 + 25,09 = 109,9 \leq 110 \text{ мм}.$$

$$\underline{Z_1 = T_3 - T_5 - T_9 .}$$

$$Z_{1\min} = (R_Z + h)_{i-1} + \Delta + e_y ,$$

где $(R_Z + h)_{i-1} = 0,3 \text{ мм}$, по литью 1-го класса [9];

Δ – величина коробления, определяемая по формуле:

$$\Delta = \Delta_k \cdot l = 1,5 \cdot 80 = 120 \text{ мкм} = 0,12 \text{ мм};$$

e_y – погрешность установки, равная максимальному зазору в соединении: отверстие $\varnothing 9,1^{+0,022}$ – палец $\varnothing 9,1_{-0,028}$, т.е. $e_y = 0,05 \text{ мм}$.

Тогда

$$Z_{1\min} = 0,3 + 0,12 + 0,05 = 0,47 \text{ мм}.$$

$$T_5 = 15 \pm 0,09 \text{ мм}; \quad T_9 = 84,7 \pm 0,11 \text{ мм}.$$

$$Z_{1\min} = T_{3\min} - T_{5\max} - T_{9\max};$$

$$T_{3\min} = T_{5\max} + T_{9\max} + Z_{1\min} = 15,09 + 84,81 + 0,47 = 100,37 \text{ мм};$$

Размер T_3 выполняется в литье с отклонениями $\pm 0,4 \text{ мм}$.

Тогда

$$T_3 = T_{3\min} + |ei_{T3}| = 100,37 + 0,4 + 100,77 \text{ мм}.$$

Округляя, получим

$$\underline{T_3 = 101 \pm 0,4 \text{ мм};}$$

$$Z_{1\min} = T_{3\min} - T_{5\max} - T_{9\max} = 100,6 - 15,09 - 84,81 = 0,7 \text{ мм};$$

$$Z_{1\max} = T_{3\max} - T_{5\min} - T_{9\min} = 101,4 - 14,91 - 84,59 = 1,9 \text{ мм}.$$

$$\underline{Z_2 = T_2 + T_5 - T_{10} .}$$

Аналогично

$$Z_{1\min} = Z_{2\min} = 0,47 \text{ мм};$$

$$T_5 = 15 \pm 0,09 \text{ мм}; \quad T_{10} = 25 \pm 0,09 \text{ мм}.$$

$$Z_{2\min} = T_{2\min} + T_{5\min} - T_{10\max};$$

$$T_{2\min} = T_{10\max} + Z_{2\min} - T_{5\min} = 25,09 + 0,47 - 14,91 = 10,65 \text{ мм}.$$

Размер T_2 выполняется в литье с отклонениями $\pm 0,3$ мм.

Тогда

$$T_2 = T_{2\min} + |ei_{T_2}| = 10,65 + 0,3 = 10,95 \text{ мм.}$$

Округляя, получим

$$\underline{T_2 = 11 \pm 0,3 \text{ мм.}}$$

$$Z_{2\min} = T_{2\min} + T_{5\min} - T_{10\max} = 10,7 + 14,91 - 25,09 = 0,52 \text{ мм;}$$

$$Z_{2\max} = T_{2\max} + T_{5\max} - T_{10\min} = 11,3 + 15,09 - 24,91 = 1,48 \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_3 = T_{19} - T_{23}.$$

$$Z_{3\min} = (R_Z + h)_{i-1} + \Delta + e_y,$$

где $(R_Z + h)_{i-1} = 0,3$ по литью [9];

$$\Delta = \Delta_k \cdot l = 0,15 \cdot 124 = 186 \text{ мкм} = 0,186 \text{ мм;}$$

$$e_y = 0 \text{ (см. рис. 4.16).}$$

$$Z_{3\min} = 0,3 + 0,186 = 0,486 \text{ мм; } T_{23} = 20_{-0,52} \text{ мм.}$$

$$Z_{3\min} = T_{19\min} - T_{23\max};$$

$$T_{19\min} = T_{23\max} + Z_{3\min} = 20 + 0,486 = 20,486 \text{ мм.}$$

Размер T_{19} получен в литье с отклонениями $\pm 0,3$ мм.

Тогда

$$T_{19} = T_{19\min} + |ei_{T_{19}}| = 20,486 + 0,3 = 20,786 \text{ мм.}$$

Округляя, получим

$$\underline{T_{19} = 21 \pm 0,3 \text{ мм.}}$$

$$Z_{3\min} = T_{19\min} - T_{23\max} = 20,7 - 20 = 0,7 \text{ мм;}$$

$$Z_{3\max} = T_{19\max} - T_{23\min} = 21,3 - 19,48 = 1,82 \text{ мм.}$$

$$\underline{Z_4 = T_{21} + T_{23} - T_{24}.$$

$Z_{4\min}$ аналогично $Z_{3\min}$ равен 0,486 мм;

$$T_{23} = 20_{-0,52} \text{ мм; } T_{24} = 22_{-0,21} \text{ мм.}$$

$$Z_{4\min} = T_{21\min} + T_{23\min} - T_{24\max};$$

$$T_{21\min} = T_{24\max} + Z_{4\min} - T_{23\min} = 22 + 0,486 - 19,48 = 3,006 \text{ мм.}$$

Размер T_{21} выполняется в литье с отклонениями $\pm 0,3$ мм.

Тогда

$$T_{21} = T_{21\min} + |ei_{T_{21}}| = 3,006 + 0,3 = 3,306 \text{ мм.}$$

Округляя, получим

$$\underline{T_{21} = 3,5 \pm 0,3 \text{ мм.}}$$

$$Z_{4\min} = T_{21\min} + T_{23\min} - T_{24\max} = 3,2 + 19,48 - 22 = 0,68 \text{ мм;}$$

$$Z_{4\max} = T_{21\max} + T_{23\max} - T_{24\min} = 3,8 + 20 - 21,76 = 2,01 \text{ мм.}$$

$$\underline{K_{15} = T_{18} + T_{17}.$$

Известно:

$$K_{15} = 62 \pm 0,3 \text{ мм; } T_{17} = 12 \pm 0,215 \text{ мм;}$$

$$T_{18} = K_{15} - T_{17} = 62 - 12 = 50 \text{ мм;}$$

$$IT_{K_{15}} = IT_{T_{18}} + IT_{T_{17}} \Rightarrow IT_{T_{18}} = IT_{K_{15}} - IT_{T_{17}} = 0,6 - 0,43 = 0,17 \text{ мм,}$$

что находится между 11-м и 12-м квалитетами и может быть достигнуто

на выбранном оборудовании.

Примем окончательно по 11-му качеству:

$$\underline{T_{18} = 50 \pm 0,08 \text{ мм.}}$$

$$\underline{e_1 = T_{17} + T_{18} - T_{14}.$$

Известно:

$$T_{17} = 12 \pm 0,215 \text{ мм}; T_{18} = 50 \pm 0,08 \text{ мм.}$$

Номинальное значение несоосности e_1 равно нулю, так как оси отверстия после литья и после обработки номинально совпадают. Отсюда номинал $e_1^H = 0$.

Из уравнения найдем номинал неизвестного размера T_{14} .

$$T_{14}^H = T_{17}^H + T_{18}^H - e_1^H = 12 + 50 - 0 = 62 \text{ мм.}$$

Размер T_{14} выполняется в литье с отклонениями $\pm 0,4$ мм [9], т.е. $T_{14} = 62 \pm 0,4$ мм.

Тогда

$$es_{e1} = es_{T17} + es_{T18} - ei_{T14} = 0,215 + 0,08 - (-0,4) = 0,695 \text{ мм.}$$

$$ei_{e1} = ei_{T17} + ei_{T18} - es_{T14} = (-0,215) + (-0,08) - 0,4 = -0,695 \text{ мм.}$$

$$\underline{e_1 = 0 \pm 0,695 \text{ мм.}}$$

Это значит, что ось обработанного отверстия будет правее или левее оси отверстия после литья на 0,695 мм. Для определения величины припуска следует принять один из случаев, т.е. $e_1 = 0,695$ мм.

$$\underline{e_2 = T_{22} + T_{23} - T_{25}.$$

Известно:

$$T_{23} = 20_{-0,52} \text{ мм}; T_{25} = 70 \pm 0,05 \text{ мм};$$

Аналогично предыдущему номинал $e_2^H = 0$.

Тогда

$$T_{22}^H = T_{25}^H - T_{23}^H + e_2^H = 70 - 20 = 50 \text{ мм.}$$

Размер T_{22} выполняется в литье с отклонениями $\pm 0,4$ мм, т.е.

$$\underline{T_{22} = 50 \pm 0,4 \text{ мм.}}$$

Тогда

$$es_{e2} = es_{T22} + es_{T23} - ei_{T25} = 0,4 + 0 - (-0,05) = 0,45 \text{ мм};$$

$$ei_{e2} = ei_{T22} + ei_{T23} - es_{T25} = (-0,4) + (-0,52) - 0,05 = -0,97 \text{ мм};$$

$$\underline{e_2 = 0_{-0,97}^{+0,45} \text{ мм.}}$$

Для расчета величины припуска следует принять наихудший случай, т.е. $e_2 = 0,97$ мм.

Так как смещение проходит и в горизонтальной, и в вертикальной плоскостях, то суммарное смещение, вызванное координируемыми линейными размерами, определим по правилу геометрического суммирования:

$$e_l = \sqrt{(e_1)^2 + (e_2)^2} = \sqrt{0,695^2 + 0,97^2} = 1,19 \text{ мм.}$$

Проведем расчеты межпереходных диаметральных размеров, используя формулы (7.35), (7.14). Результаты сведем в табл. ПБ.1.

Таблица ПБ.1

**Результаты расчета диаметральных размеров
(отверстие $\varnothing 47 \pm 0,0125$)**

Технологический маршрут обработки элемента	№ операции	Размер, мм		Отклонения, мм	Элементы припуска, мм			Расчетный припуск $Z_{\min}$, мм	Фактический припуск, мм	
		Расчетный	Округленный		R_{Zi-1}	h_{i-1}	$e_{\max}$		$Z^{\phi}_{\min}$	$Z^{\phi}_{\max}$
Тонкое растачивание	015	47	46,9875	+0,025	0,02	0,02	0,02 ^{*4}	0,06	0,063	0,106
Чистовое растачивание	015	46,8055	46,8	+0,062	0,04	0,05	0,03 ^{*3}	0,12	0,12	0,231
Получистовое растачивание	015	46,4	46,4	+0,16	0,05	0,05	0,12 ^{*2}	0,22	0,505	0,78
Черновое растачивание	015	45,57	45	+0,39	0,15	0,15	1,32 ^{*1}	1,62	1,85	2,35
Литье	005	41,46	41	$\pm 0,3$	-	-	-	-	-	-

Примечания к табл. ПБ.1:

*1. Максимальная величина неравномерности припуска в данном случае определяется по формуле

$$e_{\max}^{*1} = \sqrt{(e_l)^2 + (\Delta_{см})^2 + (\Delta_k)^2 + (e_{\delta})^2} + e_{инд.},$$

где e_l – величина несоосности, вызванная координируемыми линейными размерами и равная 1,19 мм;

$\Delta_{см}$ – величина смещения оси, вызванная смещением стержня при отливке и равная 0,5 мм (см. рис. ПБ.2);

Δ_k – величина коробления, определяемая по формуле

$$\Delta_k = \Delta_{уд} \cdot l = 1,5 \cdot 110 = 165 \text{ мкм} = 0,165 \text{ мм.}$$

e_{δ} – погрешность базирования, равная максимальному зазору в соединении отверстие $\varnothing 9,1^{+0,022}$ – палец $\varnothing 9,1_{-0,028}$, т.е. $e_{\delta} = 0,05$ мм.

$e_{инд}$ – погрешность индексации при смене инструмента, равная для станка ИР500ВМФ4 – 0,015 мм.

Тогда

$$e_{\max}^{*1} = \sqrt{1,19^2 + 0,5^2 + 0,165^2 + 0,05^2} + 0,015 = 1,32 \text{ мм.}$$

- *2. Так как обработка проводится на одной операции за одну установку, то величину неравномерности припуска следует определять по формуле

$$e_{\max}^{*2} = K_y \cdot e_{\max}^{*1} + e_{\text{инд}} = 0,08 \cdot 1,32 + 0,015 = 0,12 \text{ мм.}$$

*3.
$$e_{\max}^{*3} = K_y \cdot e_{\max}^{*2} + e_{\text{инд}} = 0,06 \cdot 0,12 + 0,015 = 0,03 \text{ мм.}$$

*4.
$$e_{\max}^{*4} = K_y \cdot e_{\max}^{*3} + e_{\text{инд}} = 0,04 \cdot 0,03 + 0,015 = 0,02 \text{ мм.}$$

Проведены все необходимые расчеты и можно окончательно оформлять операционные эскизы.

После оформления операционных эскизов проектирование ТСЗ заканчивается, и приступают к разработке технических систем «Обработка».



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009-2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механических технологий и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором Александром Павловичем Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен ВУЗа более двух тысяч квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги: профессора Николай Павлович Соболев, Андрей Александрович Маталин, Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, профессором С.П. Митрофановым были разработаны научные основы группового производства, за что он был удостоен Ленинской премии СССР. Методы группового производства с успехом применяются в промышленности и развиваются его учениками. Заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, Заслуженным изобретателем СССР Юрием Григорьевичем Шнейдером разработаны метод и инструментарий нанесения регулярного микрорельефа на функциональной поверхности, которые развиваются и внедряются в производство его учениками.

В настоящее время, кафедра осуществляет выпуск бакалавров, магистров, специалистов и аспирантов по направлениям «Приборостроение», «Информатика и вычислительная техника». В разработке магистерских программ принимал участие весь преподавательский состав кафедры.

Сейчас на кафедре реализуются четыре магистерские программы: «Технологическая подготовка производства приборов и систем», «Управление жизненным циклом приборов и систем», «Проектирование интегрированных автоматизированных систем технической подготовки производства приборов и систем», «Интегрированные системы в проектировании и производстве».

Вячеслав Алексеевич Валетов

Кирилл Павлович Помпеев

Технология приборостроения

Учебное пособие

В авторской редакции

Компьютерный набор и верстка

В.А. Валетов
К.П. Помпеев

Дизайн обложки

К.П. Помпеев

Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО
Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ № _____

Тираж 200 экз.

Отпечатано на ризографе