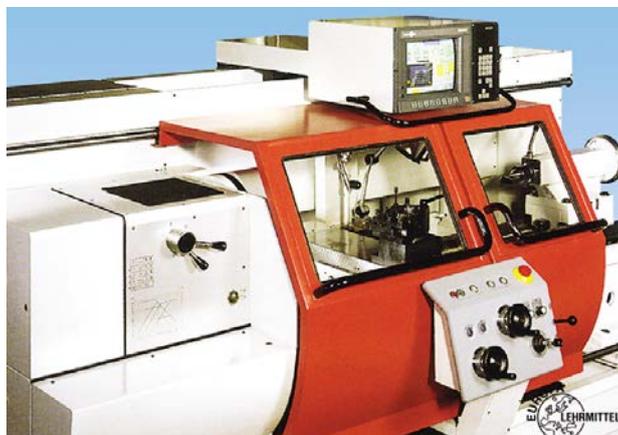


В.А.Валетов
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ПРИБОРОВ



Санкт-Петербург

2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В. А. Валетов

**ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
ПРИБОРОВ**

Учебное пособие

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2017

УДК 681.2

Валетов В.А. Технологии изготовления деталей приборов – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 149 с.

В пособии рассматриваются вопросы технологичности изделий, производства заготовок деталей приборов, обработки заготовок с использованием разнообразных технологий, обеспечения заданной геометрической точности изготавливаемых изделий, вопросы базирования изделий на различных этапах их изготовления, применения при этом инструментов и приспособлений, а также некоторые вопросы сборки изделий. В заключении излагаются предпочтительные направления развития технологий приборостроения.

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

Учебное пособие разработано в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования и предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01. – Приборостроение и 09.03.01.- Информатика и вычислительная техника.

Рекомендовано к печати Ученым советом факультета Компьютерных технологий и управления, протокол № 3 от 03.04.2017 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2017

©Валетов В.А., 2017

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Технологичность изделий и условия ее обеспечения.....	8
1.1. Общие понятия и определения.....	8
1.2. Оценка технологичности изделий.....	10
Глава 2. Технологии изготовления заготовок деталей приборов.....	11
2.1. Принцип выбора заготовительных технологий.....	11
2.2. Литейные технологии.....	12
2.3. Изготовление заготовок пластическим деформированием материала.....	24
2.4. Изготовление заготовок из проката.....	34
2.5. Порошковая металлургия.....	35
Глава 3. Изготовление деталей приборов путем удаления конструкционного материала с заготовки и методы улучшения свойств материалов.....	40
3.1 Общие сведения.....	40
3.2. Обработка заготовок на токарных станках.....	42
3.2.1. Формы обработанных поверхностей.....	43
3.2.2. Геометрическая точность обработанных поверхностей.....	45
3.2.3. Шероховатость поверхности.....	46
3.2.4. Себестоимость и производительность токарной обработки.....	46
3.2.5. Направление развития токарной обработки.....	46
3.3. Обработка заготовок на сверлильных станках.....	48
3.4. Обработка заготовок на фрезерных станках.....	52
3.5. Абразивная обработка заготовок.....	57
3.5.1. Характеристика метода шлифования.....	57
3.5.2. Схемы абразивной обработки.....	60
3.6. Электроэрозионные технологии обработки заготовок.....	71
3.7. Электроконтактная обработка.....	76
3.8. Электрохимическая обработка.....	77
3.9. Анодно-механическая.....	78
3.10. Электрохимическая обработка заготовок из металлов.....	80
3.11. Ультразвуковая обработка.....	81
3.12. Светолучевая обработка заготовок.....	83
3.13. Электроннолучевая обработка заготовок.....	84
3.14. Плазменная обработка заготовок.....	85
3.15. Термическая и химико-термическая обработка заготовок.....	90

3.16. Перспективные направления развития процессов формообразования поверхностей деталей.....	92
Глава 4. Технологический процесс и его структура.....	93
4.1. Основные определения.....	93
4.2. Классификация технологических процессов.....	94
4.3. Оформление технологической документации.....	96
4.4. Концентрация и дифференциация операции.....	98
4.5. Типы производств и их основные характеристики.....	100
Глава 5. Точность обработки заготовок приборов.....	103
5.1. Метод пробных ходов и промеров.....	104
5.2. Метод автоматического получения размеров на настроенном оборудовании.....	106
5.3. Систематические погрешности обработки.....	108
5.3.1. Погрешности, возникающие вследствие неточности, износа и деформации станков.....	109
5.3.2. Погрешности, связанные с неточностью и износом режущего инструмента.....	110
5.3.3. Погрешности, обусловленные упругими деформациями технологической системы под влиянием нагрева.....	111
5.3.4. Погрешности теоретической схемы обработки.....	112
5.3.5. Погрешности, вызываемые упругими деформациями заготовки.....	113
5.4. Случайные погрешности обработки.....	114
5.4.1. Законы рассеяния (распределения) размеров.....	114
5.4.2. Составляющие общего рассеяния размеров деталей.....	119
5.5. Суммарные погрешности изготовления деталей.....	125
5.6. Практическое применение законов распределения размеров для анализа точности обработки.....	127
5.7. Технологические размерные цепи.....	131
Глава 6. Базы и базирование в технологии приборостроения.....	133
6.1. Классификация баз по различным признакам.....	135
6.2. Разновидности технологических баз.....	139
6.3. Назначение технологических баз.....	143
6.4. Принцип совмещения (единства) баз.....	144
6.5. Принцип постоянства баз.....	147
Библиографический список.....	148

Введение

Приборостроение, которое совсем недавно занималось, главным образом, обслуживанием метрологических задач машиностроения и некоторых повседневных сторон жизни человека, превратилось в огромную и многообразную отрасль, без которой просто не мыслима современная и, тем более, будущая жизнь человека. Развитие большинства передовых направлений науки и техники было бы невозможно без современных систем измерения, контроля, управления, анализа и обработки информации.

В приборостроении, как в большинстве новых отраслей, быстро развивалось все: физические явления и процессы, используемые для измерений, способы получения, обработки, хранения и передачи информации, принципы конструирования, и даже конструкционные материалы. Появилось много новых областей приборостроения, таких как микроэлектроника, микрооптика, микроэнергетика, аддитивные технологии, программируемые материалы и многое другое. Предметная область технологии приборостроения за последние годы чрезвычайно расширилась и продолжает расширяться.

В многочисленных областях приборостроения 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, в основном, для направления «Приборостроения». Но в этом направлении много специальностей с широким спектром базовых конструкций, технологий и требованиями к конструкторско-технологической подготовке. Однако, даже трудно представить изделие приборостроения без элементов механики или, хотя бы, микромеханики. Поэтому, в данном учебном пособии будут изложены общие, в том числе, классические, проблемы технологии приборостроения, которые в различной степени, но присущи всем областям 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).

Несмотря 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.

Рациональная организация производственного процесса невозможна без проведения тщательной технической подготовки. 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. Технологичность изделий и условия ее обеспечения

«Продуктом» конструкторской подготовки любого производства является определенная конструкторская документация, которую воплощает в реальную продукцию соответствующая технологическая отрасль. Но реализуется не любая конструкторская документация, а та, которая отработана 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, 7].

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, 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.

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. Она 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 постановку размеров с учетом единства и постоянства баз;
- создание конфигурации деталей, позволяющей применять современные технологические процессы;
- создание конструкции изделия, позволяющей производить сборку методами полной или частичной взаимозаменяемости.

В процессе технологической подготовки производства «технологичность» предусматривает:

- использование расчленения конструкции на сборочные единицы;
- рациональный выбор заготовки для отдельных деталей;
- правильный выбор технологической оснастки;
- выбор оптимальной шероховатости поверхностей деталей;
- использование типовых и групповых технологических процессов изготовления и сборки.

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.

1.2. Оценка технологичности изделий

Оценка технологичности конструкции может быть качественной и количественной. Обеспечение качественной оценки технологичности конструкции достигается опытом конструктора и технолога и оценивается просто как «хорошая» или «плохая». Количественная оценка ведется с помощью системы показателей и применяется, главным образом, для сборочных единиц и специфицированных изделий.

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:

$T_{и}$ – трудоемкость изготовления изделия;

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

$C_{т}$ – технологическая себестоимость изделия;

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

Количественно уровень технологичности детали можно оценить по показателям, формулы для определения которых приводятся в многочисленных технологических справочниках, но выбирая их, лучше руководствоваться конкретными производственными условиями.:

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.

Глава 2. Технологии изготовления заготовок деталей приборов

Еще раз напомним, что технологические методы получения готовых изделий в приборостроении и в машиностроении, особенно изделий из металлических и некоторых других конструкционных материалов практически одинаковы, но многие технологические процессы существенно отличаются и главная причина этого отличия заключается в том, что в среднем точность изделий приборостроения на два квалитета выше, чем в машиностроении. Этим же объясняется и разный уровень применимости некоторых технологий в этих отраслях промышленности. Так как и степень достижения геометрической точности изготовления изделий, и производительность процессов у разных технологий разная, некоторые технологии оказываются не пригодными для обеспечения требуемой точности и/или производительности изготовления изделий. Поэтому некоторые технологии, особенно производительные, но недостаточно точные, используют для изготовления так называемых заготовок и их условно называют «заготовительными» технологиями.

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;
- аддитивные технологии.

Все эти технологии, за исключением последних, 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

Известно, что продукцию литейного производства называют отливками. Отличаясь в большей или меньшей степени по своим качественным и количественным характеристикам, литейные технологии имеют ряд общих характеристик, без которых литье принципиально не осуществимо. К таким общим по назначению операциям техпроцессов литья, содержание которых может отличаться, следует отнести:

- 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.

На рисунке 2.1 представлена схема заливки конструкционного материала в форму.

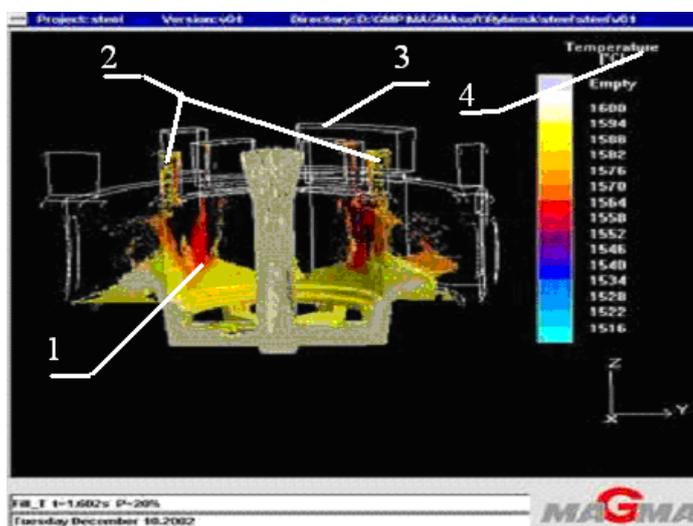


Рисунок 2.1 - Схема заливки конструкционного материала в форму: 1 – заливаемый разогретый материал; 2 – места заливки материала; 3 – форма, в которую заливают материал; 4 – температурная шкала процесса литья

Итак, процесс литейного производства состоит в получении заготовок или деталей путем заливки расплавленного конструкционного материала заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию

заготовки или детали. При охлаждении залитый материал затвердевает и сохраняет конфигурацию полости формы.

Нужно иметь в виду, что литейные технологии зародились для получения отливок из металлов и их сплавов и этим во многом определяется содержание технологических процессов литейного производства. И, хотя отливки можно получать и из других конструкционных материалов, которые могут плавиться при нагревании, превращаясь в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевать, не меняя существенно свои свойства, литейное производство использует для получения отливок в основном металлы и сплавы. Не все металлы и сплавы в одинаковой степени пригодны для изготовления отливок, особенно фасонных. Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов во многом зависит от литейных свойств металлов и сплавов.

Литейные свойства. К основным литейным свойствам металлов и сплавов относят жидкотекучесть, усадку, склонность к образованию трещин, газопоглощение и ликвацию.

Жидкотекучесть - способность расплавленного материала течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки.

Жидкотекучесть зависит от многих факторов: например, повышение температуры заливки увеличивает жидкотекучесть всех материалов. Чем выше теплопроводность материала формы, тем быстрее отводится теплота от залитого металла или сплава, тем ниже жидкотекучесть заливаемого материала. Неметаллические включения снижают жидкотекучесть сплавов. На жидкотекучесть влияет химический состав сплавов: с увеличением в исходном материале содержания серы, кислорода и хрома жидкотекучесть снижается, а с повышением содержания фосфора, кремния, алюминия и углерода — увеличивается.

Усадка - свойство металлов и сплавов уменьшаться в объеме при охлаждении: в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии, при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема отливки зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки и других факторов. Различают объемную и линейную усадки, выражаемые в процентах. В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Линейная усадка определяет размерную точность получаемых отливок, поэтому она учитывается при проектировании технологического процесса литья и изготовлении модельной оснастки. Каждый сплав имеет свою определенную линейную усадку, например: серый чугун 0,9—1,3%; алюминиевые сплавы 0,9—1,5%; стали 1,8—2,5%; магниевые сплавы 1,0—1,6%; медные сплавы 1,5—2,5%.

Газопоглощение - способность литейных материалов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Растворимость

газов зависит от химического состава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы. Ликвация - неоднородность химического состава в различных частях отливки.

Различают зональную и дендритную ликвацию. Зональная ликвация - это химическая неоднородность в объеме всей затвердевшей отливки. Дендритная ликвация — химическая неоднородность в пределах одного зерна сплава. Ликвация зависит от химического состава сплава, конфигурации отливки, скорости охлаждения и других факторов. Ликвация является нежелательным свойством, т.к. она снижает механические свойства отливки.

Приготовление литейных сплавов. Приготовление литейных сплавов связано с процессом плавления различных материалов. Плавление — переход от кристаллического состояния в аморфное. При этом нарушается устойчивость кристаллических решеток, увеличиваются колебательные движения атомов, и твердые кристаллические материалы, проходя через область неустойчивых состояний, превращаются в жидкость. Для получения заданного химического состава и определенных свойств в сплав вводят в жидком или твердом состоянии специальные легирующие элементы, например Cu, Ni, Mn, Ti, Mo.

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.

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(литье в землю)

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, желательным 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 которым 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, модели и стержневого ящика показан на рис. 2.2.

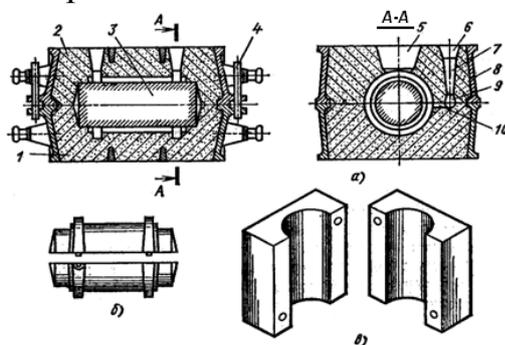


Рисунок 2.2- Пример получаемой конструкции литейной формы, модели и стержневого ящика: а- литейная форма; б- модель; в- стержневой ящик

На рисунке 2.2 показаны: нижняя 1 и верхняя 2 полуформы, опоки 8, литейный стержень 3, литниковая чаша 6, стояк 7, шлакоуловитель 9, питатель 10. Для вывода газов и контроля заполнения формы расплавленным материалом служит выпор 5.

Заливку форм расплавленным металлом ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши. После затвердевания и охлаждения отливку выбивают, очищают в дробеметной установке. Обрубку и зачистку отливки от остатков питателей, заусенцев и заливок производят шлифовальными кругами или на обрезных прессах.

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. рисунок 2.3).

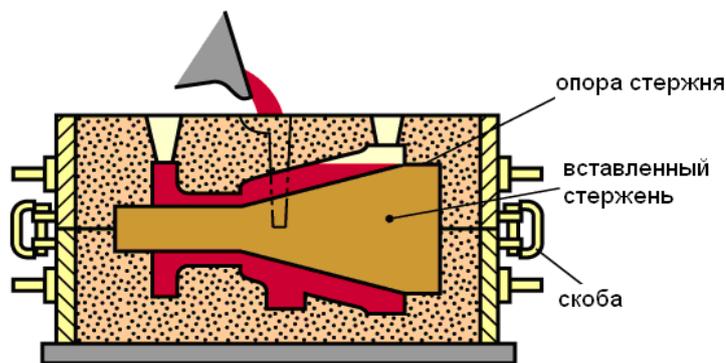


Рисунок 2.3- Процесс заливки металла

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

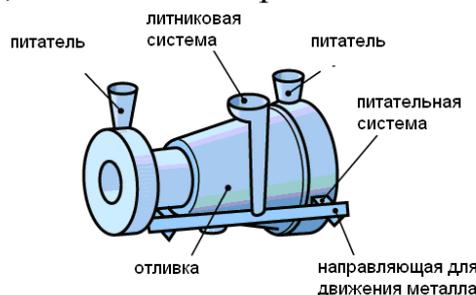


Рисунок 2.4- Готовая отливка

Как указано выше, к заливаемым в формы материалам предъявляется ряд конкретных требований, способствующих получению необходимых свойств отливок. 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 сплавы черных и цветных 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. Очень важную роль играет температура заливаемого 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. При удовлетворительном, в среднем, качестве отливок эта технология получила наибольшее распространение в единичном и мелкосерийном производствах благодаря своей дешевизне, которая, в свою очередь, объясняется дешевизной материала литейных форм и простотой их изготовления. Основными недостатками этой технологии являются ее низкая производительность и не достаточные качественные характеристики геометрической точности и шероховатости поверхностей отливок. Как известно, новые технологии появляются и приживаются тогда, когда они улучшают какие-либо недостатки существующих технологий, а так как литье в землю по праву является самым первым видом литья, то другие литейные технологии будем сравнивать с литьем в землю.

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.



Рисунок 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 рисунке 2.6 показаны образцы отливок, получаемые этим методом.



Рисунок 2.6- Образцы отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям

В нашей стране распространена несколько другая технология литья по выплавляемым моделям, но принципиально это процесс получения отливок тоже с использованием моделей из легкоплавкого материала и тоже из расплавленного металла в формах, не требующих разъема, так как рабочая полость образуется благодаря удалению легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании, но только не в печи, а в горячей воде. Последовательность процесса литья показана на рисунке 2.7.

Выплавляемые модели изготавливают из модельных составов, содержащих парафин, буроугольный воск и кубовый остаток. Модельный состав в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс-форму (рис.2.7,а). После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается, и модель выталкивают в ванну с холодной водой. Затем несколько моделей собирают в блоки с общей литниковой системой (рис. 2.7,б).

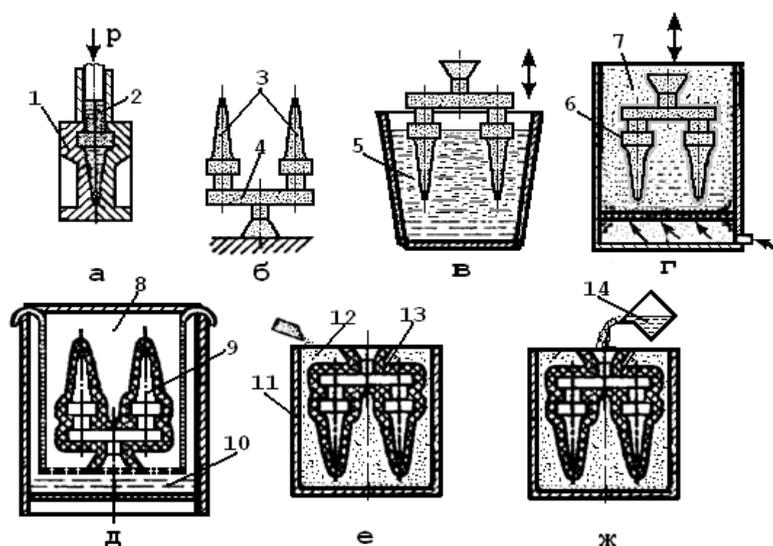


Рисунок 2.7- Схема последовательных операций литья по выплавляемым моделям: прессование моделей, объединение моделей с литниковой системой, образование литейной формы и заливка расплавленного материала

Формы по выплавляемым моделям изготавливают многократным погружением разовой модели в специальную жидкую огнеупорную смесь (рис.2.7,в), состоящую из связующего, пылевидного кварца и других компонентов, с последующей обсыпкой кварцевым песком и сушкой на воздухе. Обычно наносят 3 — 5 слоев. Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду (рис.2.7,д). Затем тонкостенные литейные формы заформовывают в опоки (рис.2.7,е) и прокаливают в печи последовательно при температурах 105°С, 400°С и 850°С с выдержками для испарения воды, удаления остатков модельного сплава и спекания материала формы. Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии (рис.2.7,ж).

Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок (точность 11-14 качества) из различных сплавов массой 0,02— 15кг с толщиной стенок 0,5—5 мм. Главным же достоинством этого вида литья является его более высокая производительность, благодаря одновременному изготовлению нескольких отливок, особенно малогабаритных. Недостатком этого способа является сложность и высокая стоимость, по сравнению с литьем в землю, оснастки для прессования моделей и модельного материала. А главным недостатком является невозможность изготовления маложестких отливок с высокой точностью и практическая невозможность получения больших отливок из-за недопустимой деформации моделей под действием собственной силы тяжести.

Литье в оболочковые формы — процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальной смеси с термореактивными связующими материалами (рис.2.8).

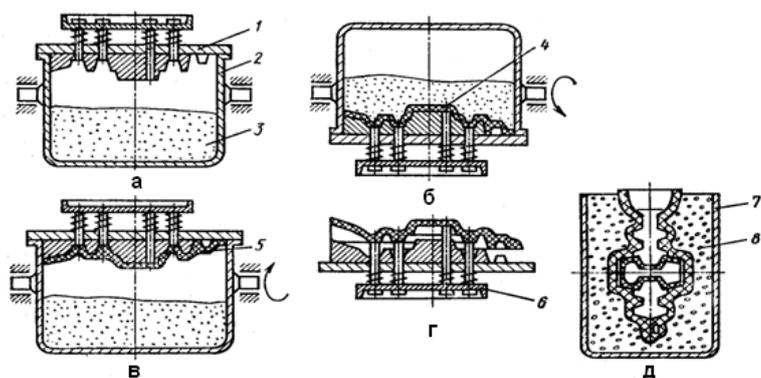


Рисунок 2.8- Схема последовательных операций формовки при литье в оболочковые формы

При изготовлении оболочковых форм модельную плиту 1, с установленной на ней металлической полумodelью, нагревают в печи до 200 — 250°С и пульверизатором наносят на закрепленную полумodelь смазочный материал для облегчения последующего съема с нее оболочки. Затем плиту 1, с установленной на ней полумodelью, закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 (рис.2.8,а) с формовочной смесью 3 и поворачивают на 180 градусов (рис.2.8,б). Формовочная смесь под действием теплоты, исходящей от модельной плиты и полумodelи, пропитывается расплавившейся терморезактивной смолой, которая отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5—15 мм. Бункер возвращается в исходное положение, излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки (рис.2.8,в). Модельную плиту с полумodelью и оболочкой (рис.2.8,г) прокалывают в печи при температуре 300 — 350°С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние и полуформа снимается с полумodelи. Аналогичным образом изготавливается вторая полуформа. Затем форма, состоящая из двух половинок, собирается и заформовывается песком 8 в металлическом ящике 7 (рис. 2.8,д). После чего форма готова для заливки расплава. В оболочковых формах изготавливают отливки массой 0,2— 50 кг и толщиной стенки 3—15 мм из всех металлов и литейных сплавов (точность 13-15 квалитеты). По сравнению с литьем в землю, эта технология более производительна.

Литье в кокиль Кокиль – это металлическая форма многоразового использования, что обеспечивает достаточно высокую производительность процесса, но требует гораздо больших затрат на ее изготовление. Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю.

Основные элементы кокиля (полуформы, поддоны, затворы и др.) обычно изготавливают из серого и высокопрочного чугунов, стали, алюминиевых сплавов литьем с последующей механической обработкой.

Отливки получают в кокилях с вертикальным и горизонтальным разъемами. Литьем в кокиль получают разнообразные отливки с толщиной стенок 3—100 мм и массой 0,1—500 кг (точность 13-15 квалитеты).

Литье под давлением

Это разновидность литья в кокили. Расплавленный материал подается в литейную форму под достаточно большим давлением поршня (50—100 МПа), 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. После охлаждения пресс-форма раскрывается или разбирается и отливка выталкивается.

На рис. 2.9 и 2.10 представлены схемы литья под давлением. Образцы отливок из алюминиевых и цинковых сплавов, полученных литьем под давлением, показаны на рис. 2.11.

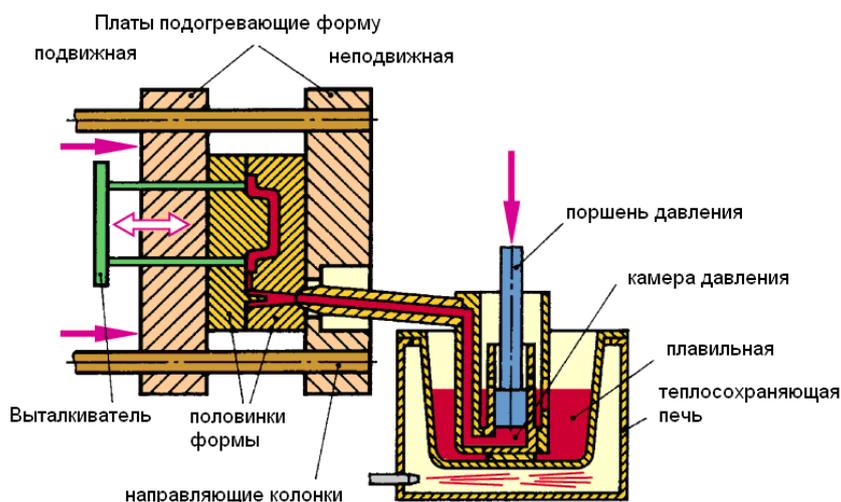


Рисунок 2.9- Процесс литья под давлением с вертикальной системой давления

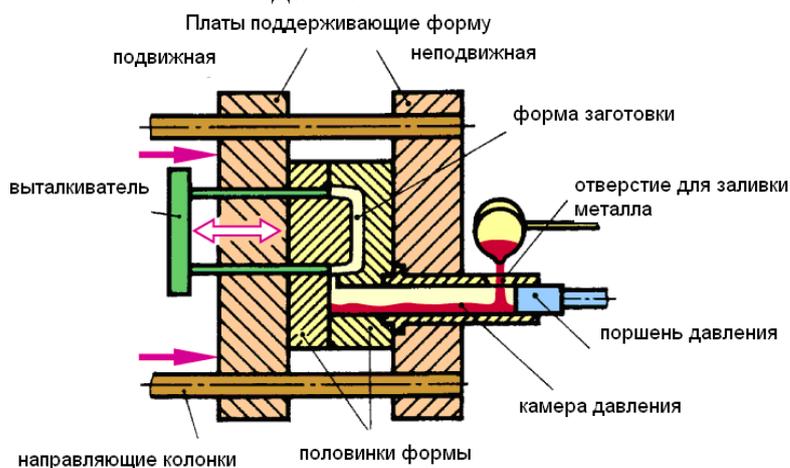


Рисунок 2.10- Литье под давлением с горизонтальной системой давления



Рисунок 2.11- 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).

Недостатком этого способа является высокая стоимость процесса из-за сложности изготовления литейной оснастки, ограниченный срок службы пресс-форм, а также опасность появления трещин в отливках.

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.

Формирование отливки осуществляется в поле действия центробежных сил, что измельчает их структуру, очищает расплав от неметаллических включений, повышает механические свойства отливки.

Центробежным литьем изготавливают отливки на специальных машинах с горизонтальной (рис.2.12,а) или вертикальной (рис.2.12,б) осями вращения.

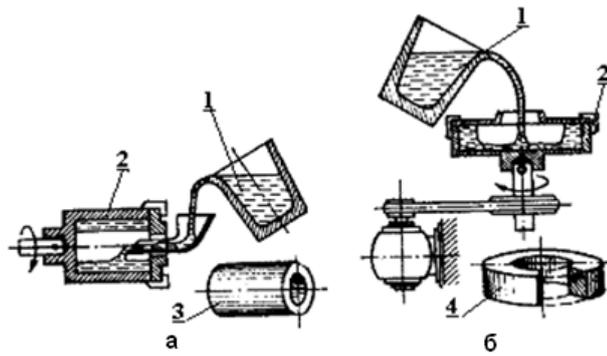


Рисунок 2.12- Схемы изготовления отливок на центробежных машинах с осью вращения: а – горизонтальной; б – вертикальной ; 1 – расплав, 2 – вращающаяся форма, 3 – отливка (труба), 4 – отливка (венец)

Расплавленный металл из ковша 1 заливают во вращающуюся форму 2 с частотой вращения 200—1400 об/мин. Попадая на внутренние стенки формы, жидкий металл образует полу осесимметричную отливку, которую после затвердевания извлекают из формы. На таких машинах получают детали и заготовки 3 и 4 типа труба, втулка, гильза (рис.2.12,а), кольца и венца зубчатого колеса (рис.2.12,б) с точностью 13-16 квалитетов. Недостатком этого способа является высокая стоимость процесса из-за сложности изготовления литейной оснастки.

2.3. Изготовление заготовок пластическим деформированием материала

Ковка – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью специального инструмента. На рис. 2.13 представлена схема механическойковки.

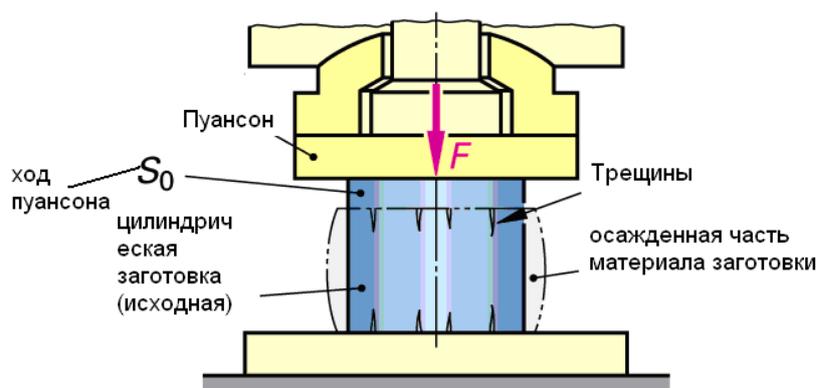


Рисунок 2.13- Процессковки

Ковка является одним из видов обработки конструкционных материалов путем пластической деформации этих материалов, но эта деформация

производится постепенно, частями, доводя изделие до нужной формы и размеров. Подчеркиваем, что каждый «шаг» или «цикл» процессаковки приводит к пластической деформации только части, чаще небольшой части, материала заготовки. Ковка может быть ручной и механизированной. первая очень древняя технология, которая в современных производственных условиях не целесообразна. Вторая использует энергию прессов. На рис. 2.14 показаны примеры конструктивных схем исполнительных механизмов ковочного оборудования.

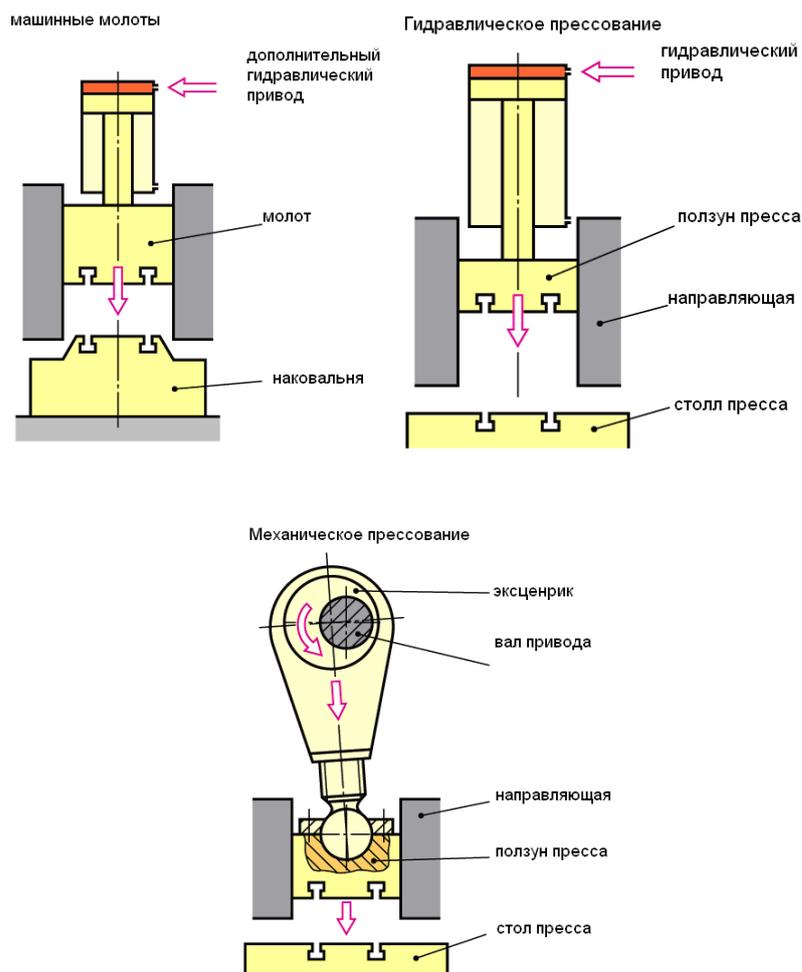


Рисунок 2.14- Схемы исполнительных механизмов оборудования для механизированнойковки

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 различный подкладной инструмент.

Ковкой получают как готовые изделия, так и заготовки для последующей механической обработки. Эти изделия называют кованными поковками, или просто поковками.

Ковка является единственно возможным способом изготовлением тяжелых поковок до 250 т типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станков 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. 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.

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. 2.15 показана классическая схема вытяжки листового материала.

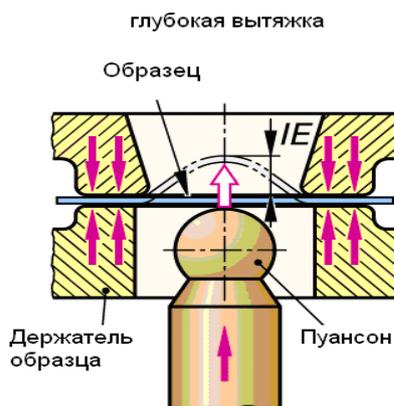


Рисунок 2.15- Схема вытяжки листового материала

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. 2.16).

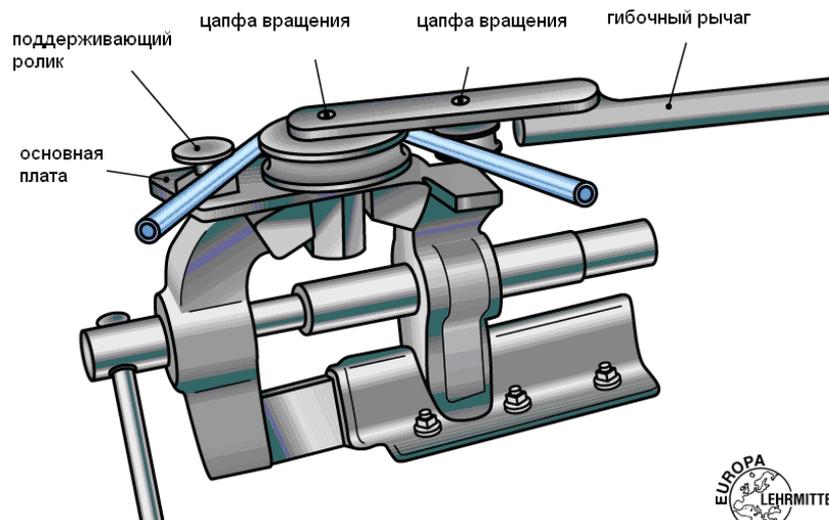


Рисунок 2.16- Устройство для гибки труб

На рисунке 2.17 показана схема процесса гибки для получения заготовки с требуемыми геометрическими параметрами. На рисунках 2.18-2.23 показаны схемы гибки различных исходных материалов и образцы изделий, получаемых с помощью гибки.

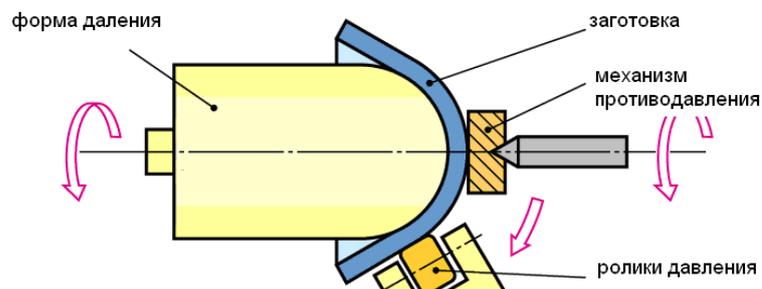


Рисунок 2.17- Гибка заготовки с заданными параметрами

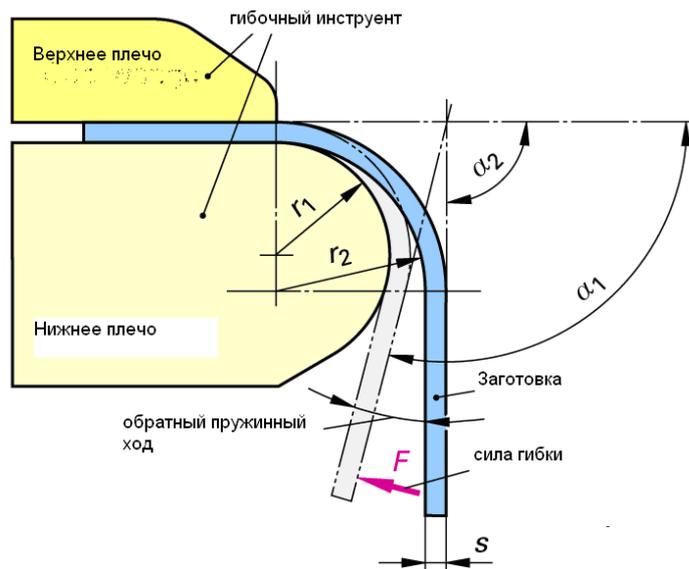


Рисунок 2.18- Процесс гибки прутка

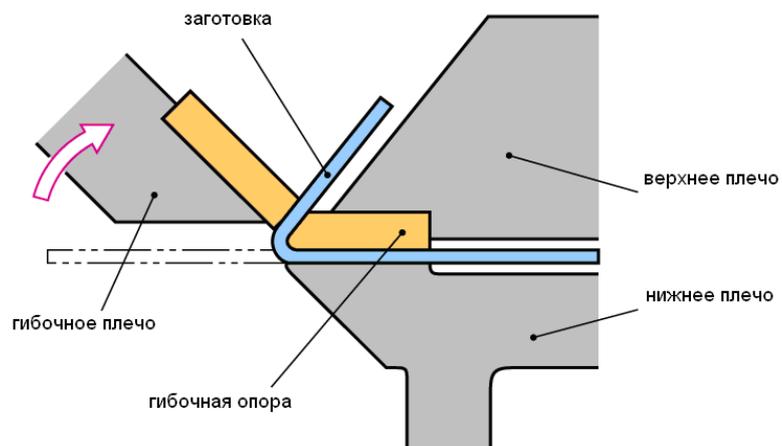


Рисунок 2.19- Процесс гибки листового материала

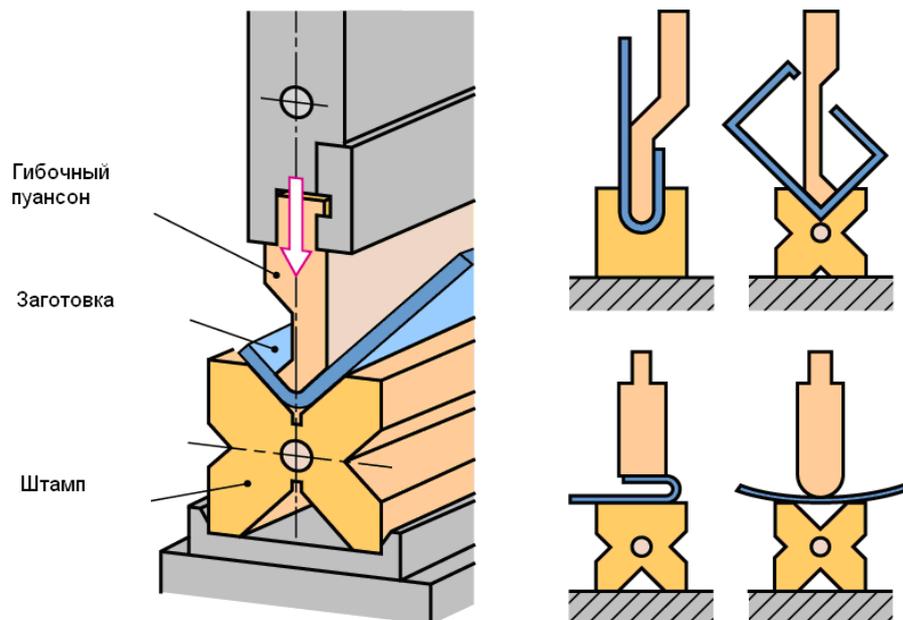


Рисунок 2.20- Гибка листового материала, получение изгибов различной формы

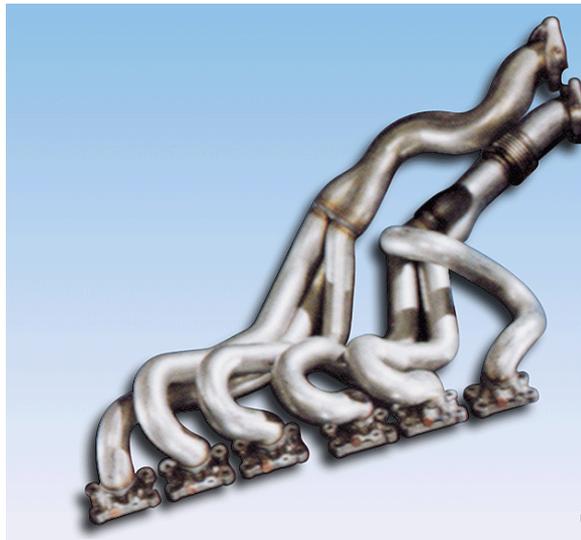


Рисунок 2.21- Результат гибки труб



Рисунок 2.22- Результат гибки

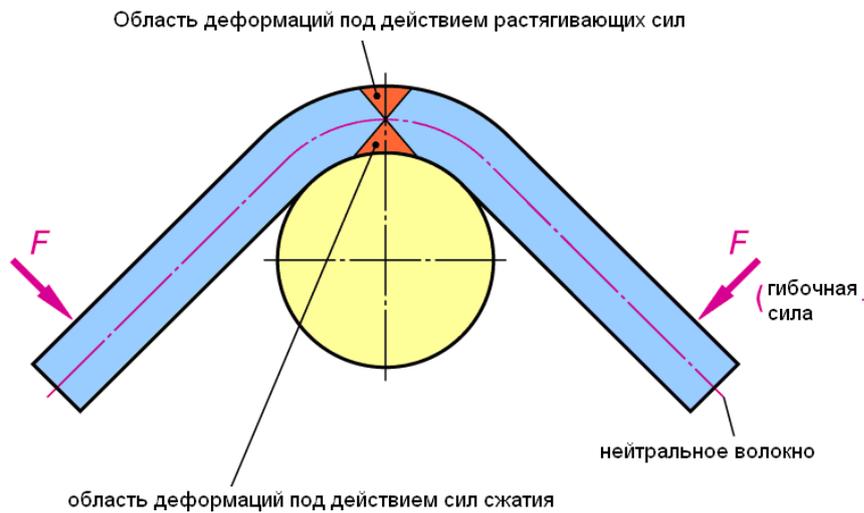


Рисунок 2.23- Процесс гибки цилиндрических изделий

На рис. 2.24 показаны схемы испытаний образцов конструкционных материалов на изгиб.

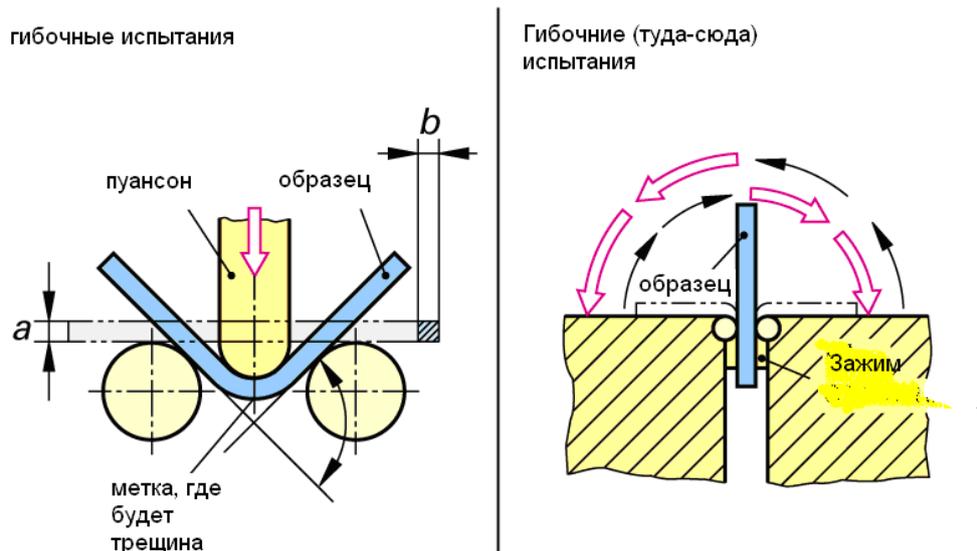


Рисунок 2.24 – Схемы испытаний образцов на изгиб

Исходными заготовками могут быть слитки, блюмы, сортовой прокат. Ковкой получают разнообразные по форме и размерам поковки массой до 300 т, которые служат заготовками для последующей обработки резанием.

Штамповка — это обработка заготовок из сортового и листового проката давлением с помощью специального инструмента — штампа.

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. 2.25). В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей и др.

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.

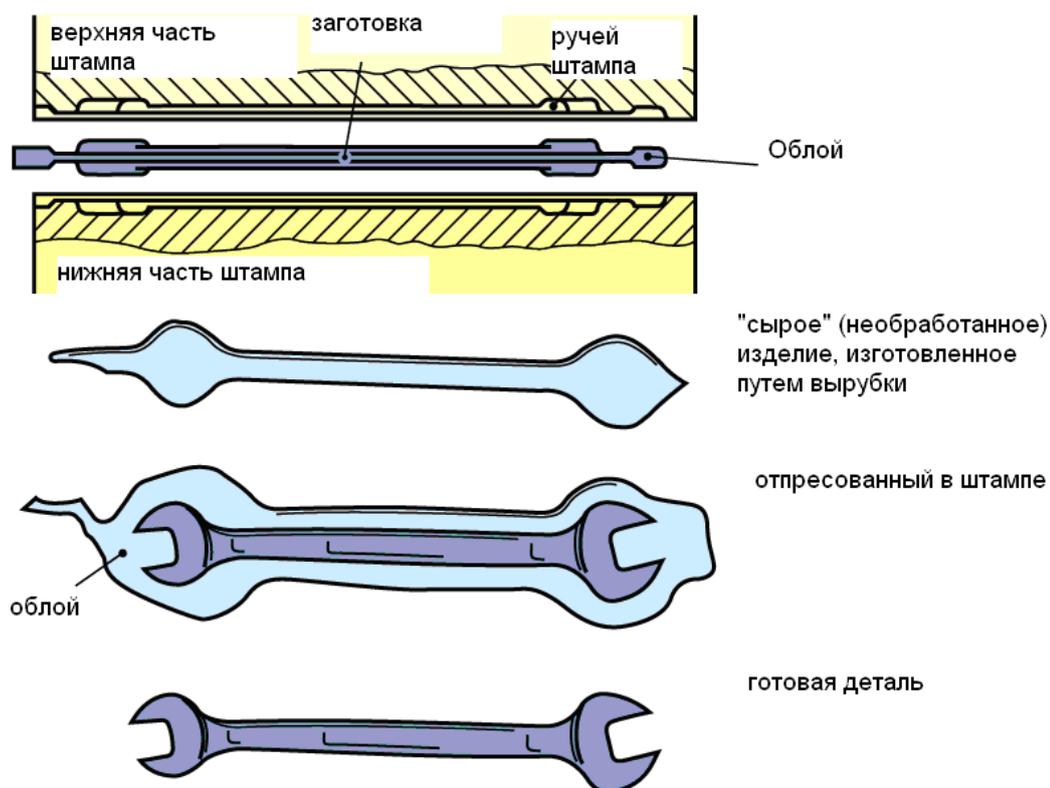


Рисунок 2.25 - Процесс штамповки гаечного ключа

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. 2.6).

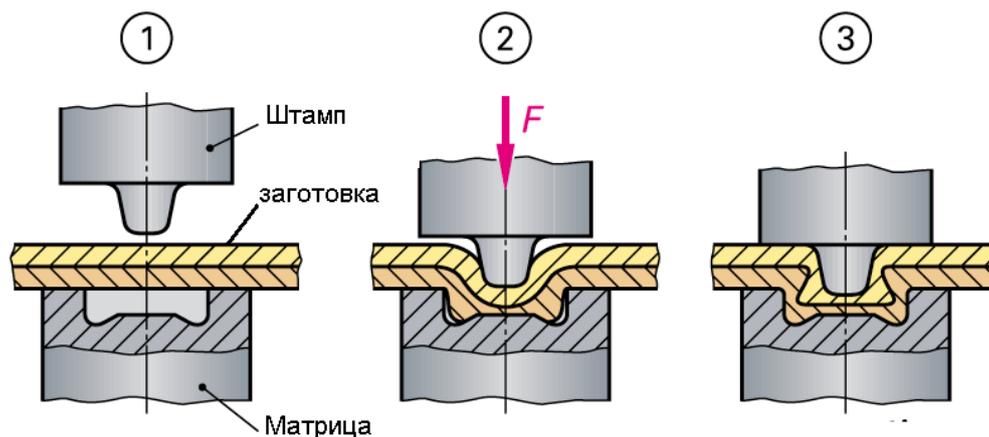


Рисунок 2.26 – Листовая штамповка. 1, 2, 3 – стадии процесса

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. 2.27, а изображена фотография гидравлического пробивного пресса, а на рис. 2.27, б, в, показаны образцы результатов работы пресса.

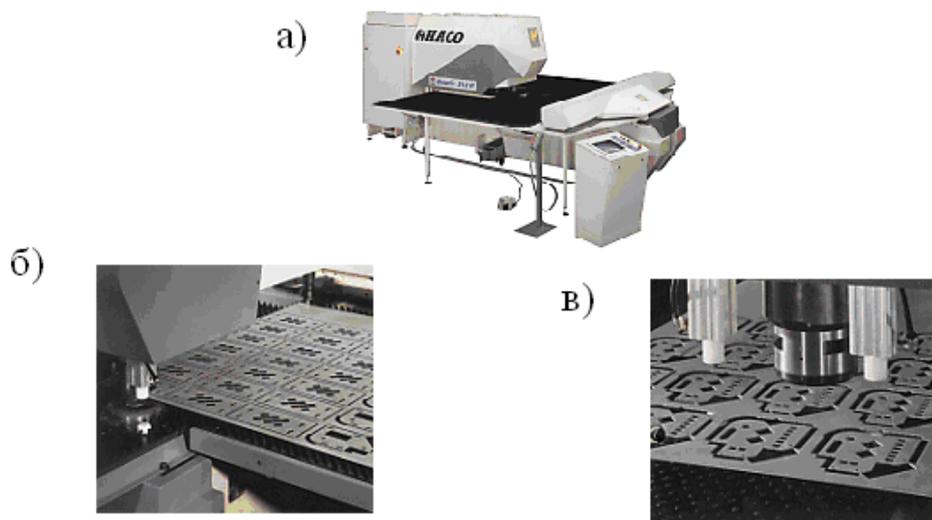


Рисунок 2.27- Гидравлический координатно-револьверный пробивочный пресс с ЧПУ фирмы НАСО (Бельгия) модели Omatic 212 RH и образцы пробивки на прессе

При открытой формовке возможность вытекания металла с образованием облоя позволяет снизить требования к точности размеров заготовок, а также облегчить процесс деформирования, вследствие чего удельные силы при открытой формовке меньше, чем при закрытой. Однако при этом возрастает расход металла на 20 – 25 %. При формовке в закрытых штампах объем заготовки должен быть точно равен объему поковки. Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложной формы, сплошные и с отверстиями. Ее широко применяют для серийного и массового производства заготовок и деталей в приборостроительной, электротехнической и других отраслях промышленности.

2.4. 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.) (см. рис.2.28).

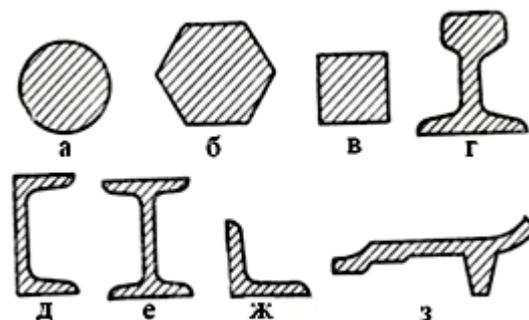


Рисунок 2.28 - Профили сортового проката: простой (а – круг, б – шестигранник, в - квадрат; фасонный (г – рельс, д. швеллер, е – двутавр, ж – уголок, з- и т.д.)

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.

Листовой прокат получают прокаткой слябов на листовых станах. Листы толщиной 4 — 160 мм относят к толстолистовой, а толщиной 0,2 — 4,0 мм к тонколистовой стали. Листы толщиной менее 0,2 мм называют фольгами.

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.

Специальные виды проката — колеса, кольца, оси, втулки, шары, сверла, зубчатые колеса, винты с крупной резьбой и т.п. — получают на деталепрокатных станах, при этом достигается большая производительность при экономном расходовании металла.

2.5. 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. Итак, исходным материалом для получения изделий методами порошковой металлургии являются порошки металлов, сплавов и неметаллических соединений. Металлические порошки изготавливают, как правило, на металлургических предприятиях, используя методы восстановления из окислов или солей, а также механические методы дробления расплавов водой или газообразными энергоносителями. Целесообразно использовать технологии порошковой металлургии при изготовлении изделий из железного, медного, латунного порошков, порошков твердых сплавов и др.

Схема производства конструкционных изделий из железного порошка представлена на рис.2.29.

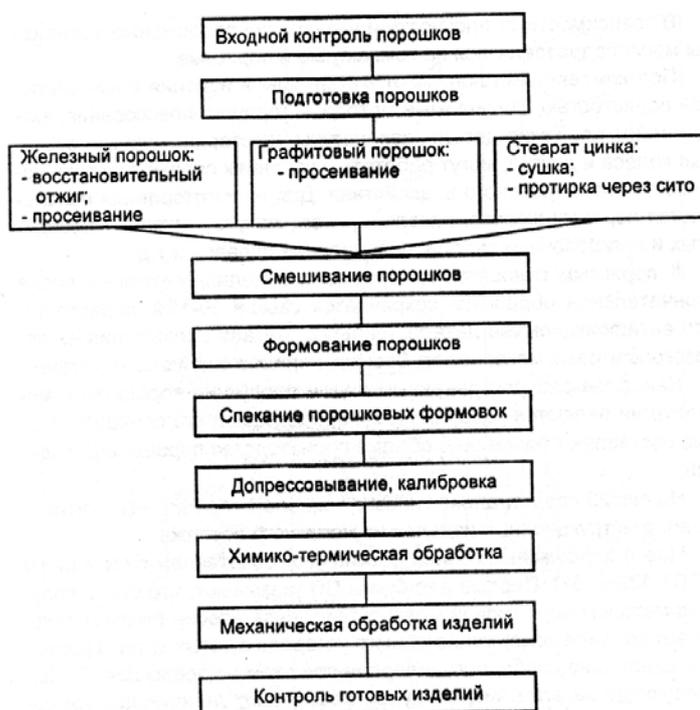


Рисунок 2.29- Структурная схема изготовления изделий из железного порошка

При входном контроле порошков определяется необходимость выполнения восстановительного отжига, который позволяет повысить пластичность порошка и удалить с поверхности окисные пленки.

Операция подготовки порошков обеспечивает оптимальные условия для последующего процесса формования. В некоторых случаях очень важным является однородность порошка по величине фракции. Поэтому перед перемешиванием проводят просеивание через сито. Смешивание порошков выполняют в смесителях различных типов, например, барабанных

Процесс формования выполняют сразу после подготовки порошков. Формование возможно без применения давления путем свободной засыпки в форму и шликерным литьем или с применением давления путем прессования порошков. Свободную засыпку порошков в форму выполняют с последующим уплотнением вибрацией или без уплотнения. Плотность порошковой формовки, в зависимости от формы частиц и фракционного состава порошка, может быть получена от 55 до 75%.

В порошковой металлургии получили распространение процессы формования с применением давления(см.рис. 2.30).

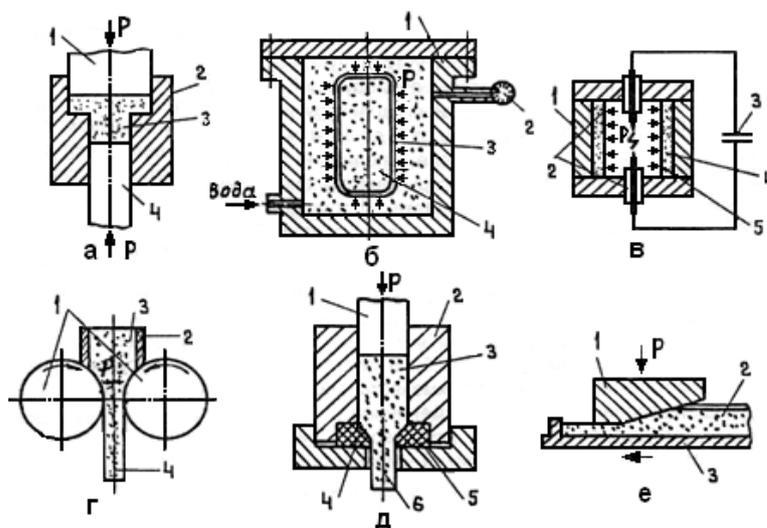


Рисунок 2.30 - Схемы прессования; а - прессование в прессформе: 1, 4 - верхний и нижний пуансоны, 2 – матрица, 3 порошок; б - формование изостатическое: 1 – корпус изостата с крышкой, 2 – манометр, 3 – эластичная оболочка, 4 – порошок; в – формование импульсное: 1 – прочный корпус с крышками, 2 – электроды, 3 – разрядное устройство, 4 – порошок, 5 – оболочка; г- прокатка металлического порошка: 1 – валки, 2 – бункер для порошка, 3 – порошок, 4 – спрессованная заготовка; д – формование мундштучное: 1 – пуансон, 2 – стакан стальной, 3 – порошок, 4 – конус, 5 матрица, 6 - спрессованная заготовка; е – прессование скошенным пуансоном: 1 – пуансон, 2 – порошок, 3 – плита

Прессование в прессформе (рис.2.30,а) в закрытой матрице 2 с помощью пуансонов 1 и 4, при этом давление создается одним пуансоном (одностороннее прессование) или двумя (двухстороннее прессование). Прессовать можно детали как простой формы, группа 1 (см.рис.2.32), так и сложной формы, группа V11, за один рабочий цикл прессования.

Изостатическое прессование со всесторонним равномерным сжатием порошка в эластичной оболочке 3 (рис.2.30,б). В качестве рабочей среды, передающей давление, чаще всего применяется жидкость.

Формование импульсное (рис.2.30,в) с применением больших скоростей нагружения или колебательным характером приложения давления. Основные преимущества: высокая плотность изделия, равномерное распределение плотности в объеме, возможность прессования изделий сложных форм и значительное снижение давления.

Прокатка металлического порошка (рис.2.30,г) применяется в основном для производства листов и лент с особыми физико-механическими свойствами, которые не могут быть получены другими способами. Прокатку можно рассматривать как непрерывное уплотнение порошка валками 1 прокатного стана.

Выдавливание порошка или смеси порошков с пластификатором через отверстие матрицы 5 (мундштучное формование) (рис.2.30, д).

Прессование скошенным пуансоном 1 (рис.2.30,е), при котором возможно непрерывное производство полосы.

Среди перечисленных наибольшее применение имеет метод прессования в прессформах. На рис.2.31 приведена поэтапная схема прессования металлического порошка с автоматической дозировкой.

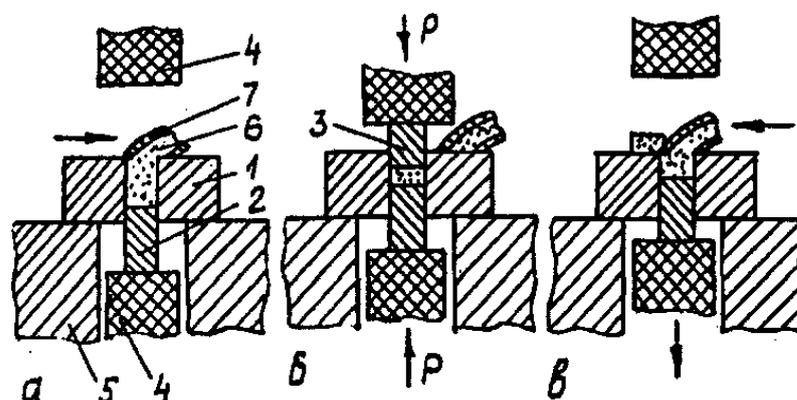


Рисунок 2.31 - Схема прессования металлического порошка с объемной автоматической дозировкой: а - засыпка порошка в матрицу; б - прессование; в - выпрессовывание порошковой формовки; 1 - матрица; 2,3 - пуансоны; 4 - плунжер пресса; 5 - плита пресса; 6 - порошок; 7 - питатель

Процесс прессования состоит из следующих операций: засыпка- дозировка порошка в прессформу (рис.2.31,а), прессование (рис.2.31,б) и выпрессовывание порошковой формовки (рис.2.31,в). Метод очень производителен и в зависимости от формы и массы изделия позволяет за одну рабочую смену изготавливать от 800 до 5000 изделий. Преимуществом этого метода является то, что получаемая порошковая формовка по форме и размерам (с учетом изменений при спекании) отвечает размерам готового изделия и не требует механической обработки.

Спекание порошковых формовок выполняют при температурах ниже температуры плавления основного компонента, так например, изделия из железных порошков спекают при температуре 1150- 1350⁰ С в течение времени, необходимом для достижения требуемой прочности. Используя различные методы формования и спекания можно получать различные материалы с пористостью более 50% или практически беспористые.

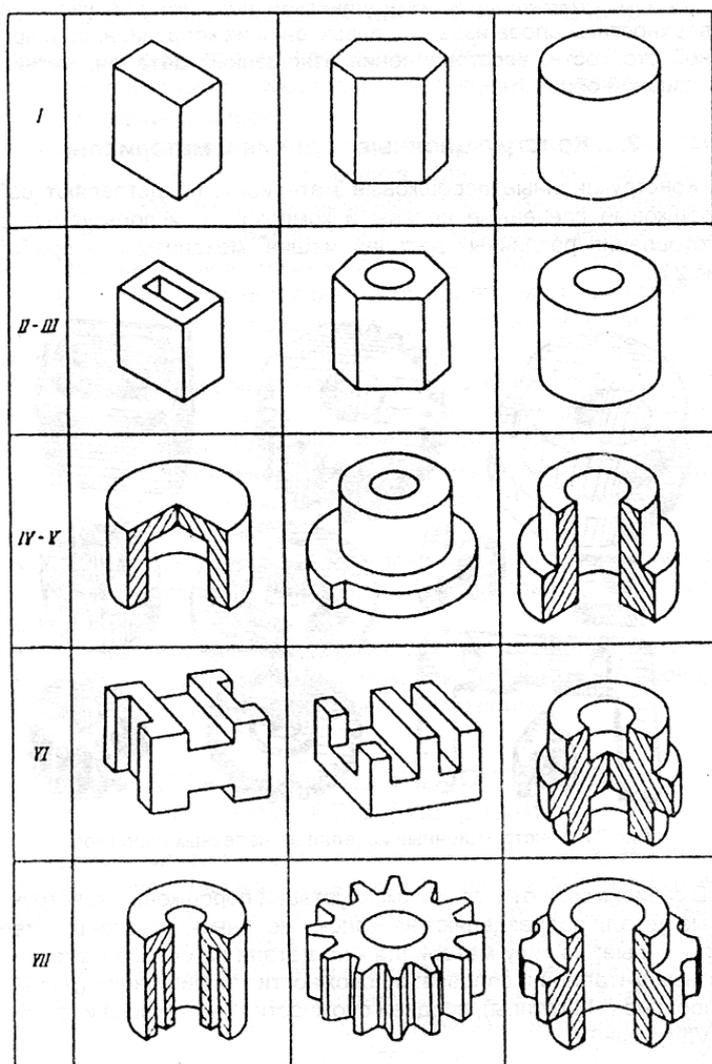


Рисунок 2.32 - Вид порошковых изделий 1- VII групп сложности

Порошковые материалы могут подвергаться механической и химико-термической обработкам так же, как и аналогичные по химическому составу металлические материалы, полученные традиционными методами. В настоящее время многие фирмы, прежде всего зарубежные, освоили серийное производство специального прессового и спекающего оборудования для порошковой металлургии.

Глава 3. Изготовление деталей приборов путем удаления конструкционного материала с заготовки и методы улучшения свойств материалов

3.1 Общие сведения

Под обработкой резанием понимают процесс образования новых поверхностей, вследствие деформирования, разрушения и отделения режущим инструментом слоя материала (припуска на обработку) в виде стружки с целью

получения необходимой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхностей детали. Лезвийная обработка заготовок или обработка резанием с точки зрения формальной логики является варварским процессом. По приближенным статистическим данным в стружку перегоняется до 40 % всех выплавливаемых 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, 8, 9]. 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.

3.2.1. Формы обработанных поверхностей

Классические токарные станки предназначены для обработки поверхностей заготовок, имеющих форму тел вращения. Под точением принято было понимать обработку наружных поверхностей заготовок. Разновидности точения: растачивание — обработка внутренних поверхностей; подрезание — обработка плоских (торцевых) поверхностей; разрезание — разделение заготовок на части. На токарных станках выполняют черновую, получистовую и чистовую обработку поверхностей заготовок.

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, выполняя дополнительно фрезерование, внецентровое сверление, шлифование и другую обработку различных поверхностей. Об этом многообразии можно судить по рис. 3.3... 3.11.

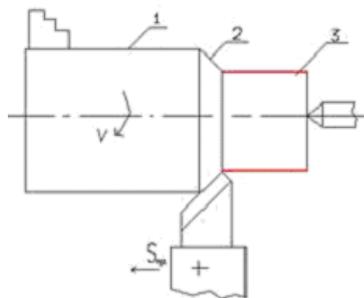


Рисунок 3.3 - Точение цилиндрической заготовки

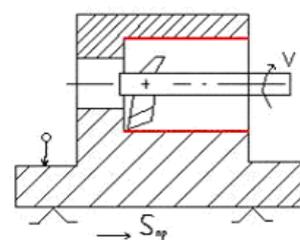


Рисунок 3.4 - Растачивание отверстий

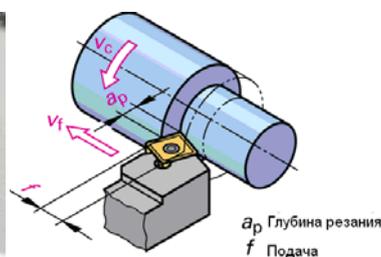
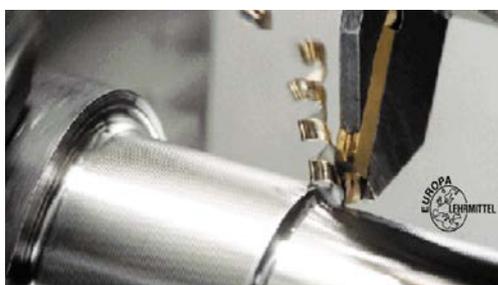


Рисунок 3.5 - Точение цилиндрического вала

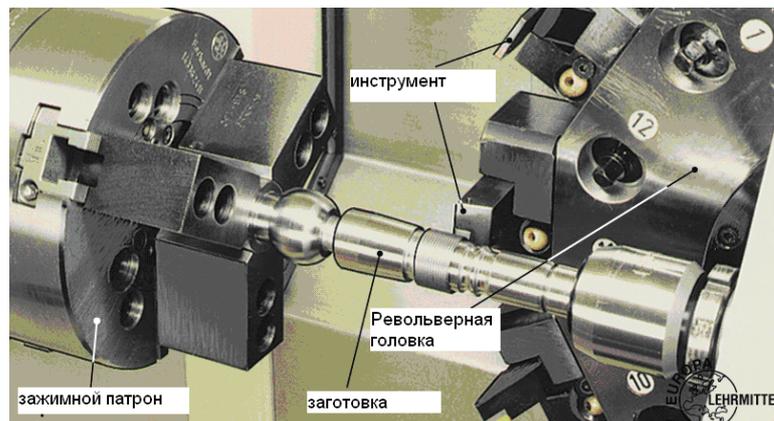


Рисунок 3.6 - Обработка на токарном станке с использованием многоинструментального барабана

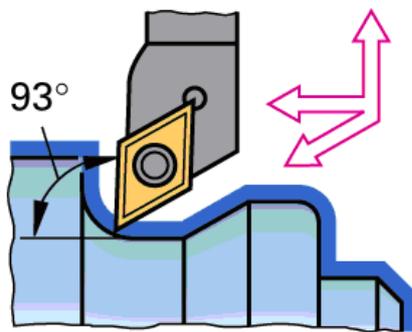


Рисунок 3.7 - Точение скруглений за счет совмещения подач

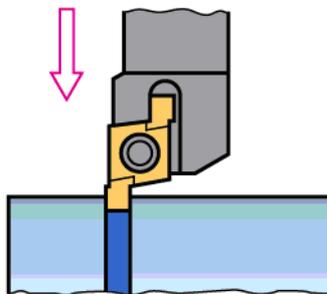


Рисунок 3.8 - Процесс протачивания канавок

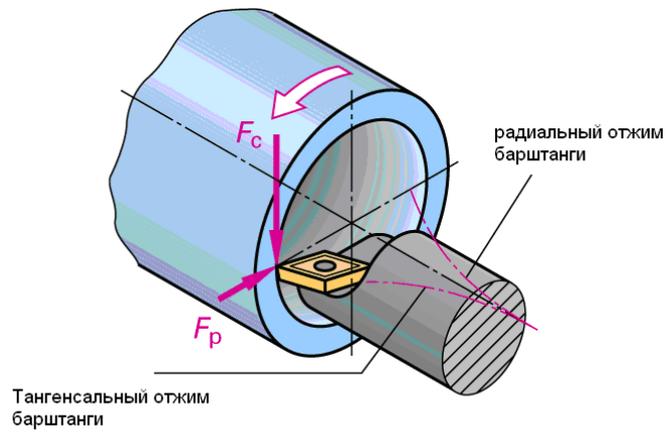


Рисунок 3.9 - Процесс расточки отверстия

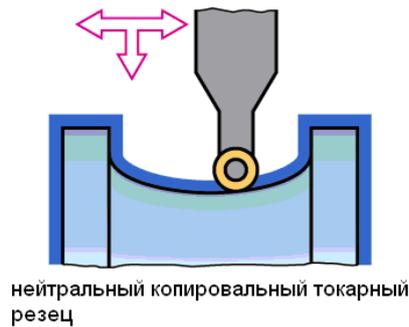


Рисунок 3.10 - Обработка фасонных поверхностей

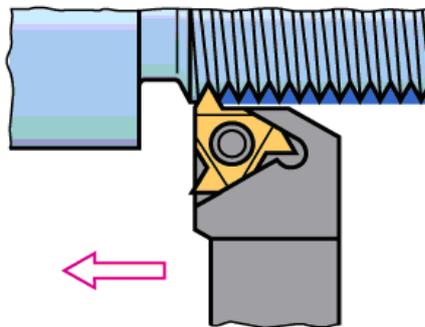


Рисунок 3.11 - Нарезка резьбы на токарном станке

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

приближенно, 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 материала 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 Ra. Следует также отметить, что выше перечисленные 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.



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

Таблица 3.1. Технические характеристики обрабатывающего центра

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

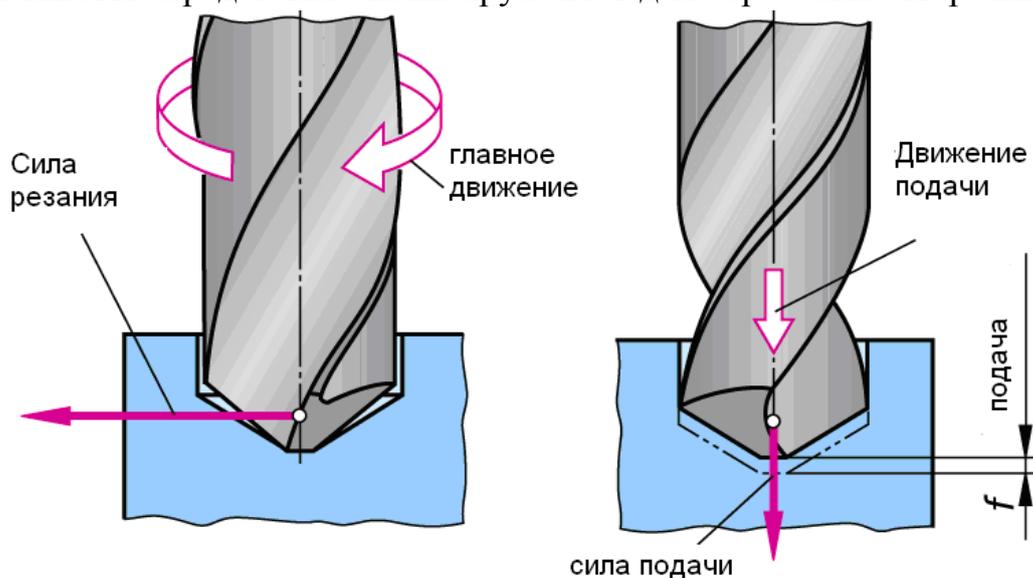
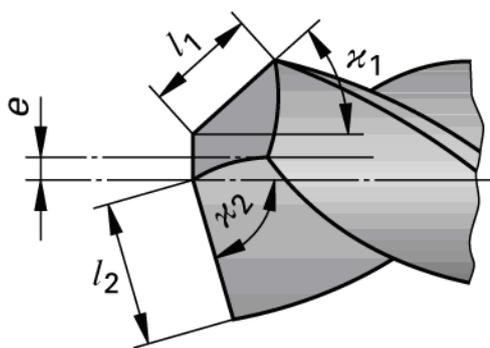


Рисунок 3.13 - Процесс сверления



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

Рисунок 3.14 - Геометрические параметры сверла

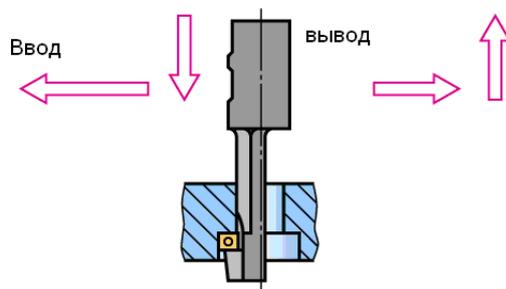


Рисунок 3.15 - Различные виды сверл

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 Rz. 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 Ra. 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 среднеэкономическим процессам, т.е. обеспечиваются оборудованием нормальной точности с участием рабочих средней квалификации.

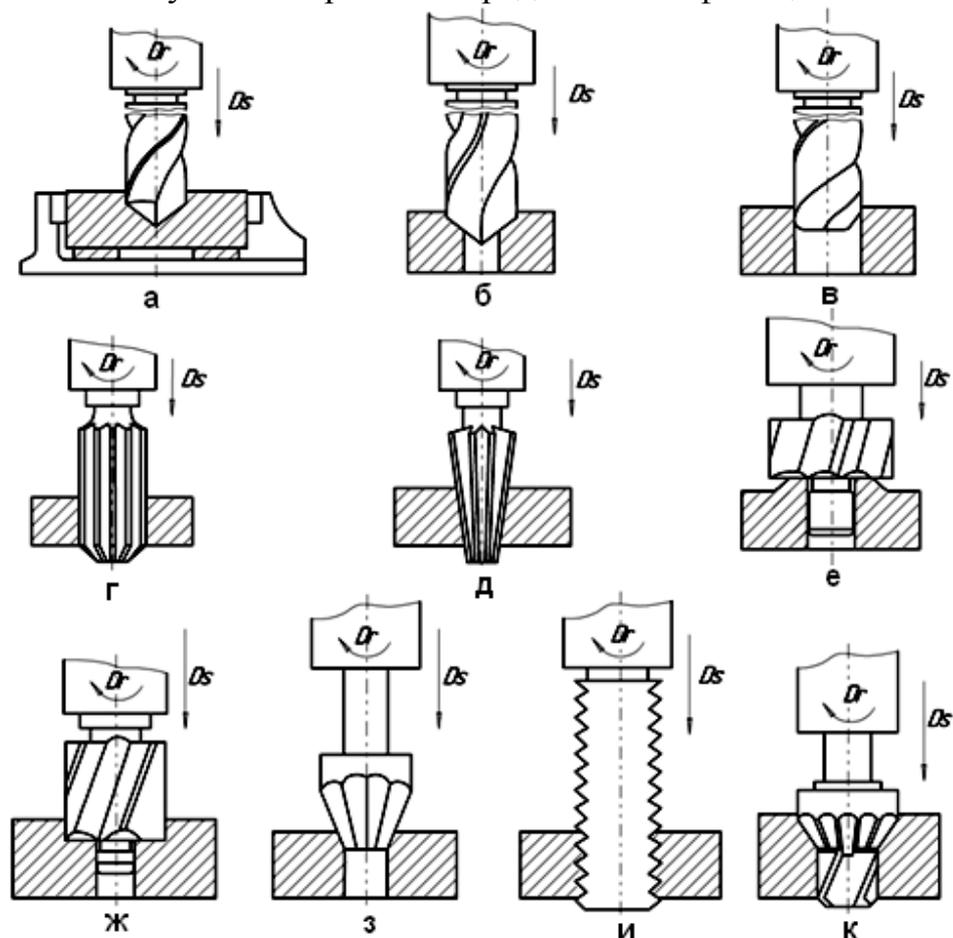


Рисунок 3.16 - Схемы обработки отверстий на сверлильных станках.

На рис. 3.16 показаны классические операции, выполняемые на сверлильных станках: а – сверление отверстия в сплошном материале; б – рассверливание; в – зенкерование; г и д – развертывание цилиндрического и конического отверстий; е и ж – цекование; з – зенкование; и – нарезание резьбы метчиком; к – комбинированная обработка (зенкерование и зенкование отверстия).

Направление развития сверлильной обработки совпадает с аналогичным направлением токарной обработки, т.е. развивается в сторону агрегатирования оборудования.

3.4. Обработка заготовок на фрезерных станках

Фрезерование – это высокопроизводительный способ формообразования поверхностей деталей многолезвийным режущим инструментом - фрезами.

Главное движение при фрезеровании представляет собой вращательное движение инструмента – фрезы. Движение подачи от независимого привода совершает стол, с закрепленной на нем заготовкой. 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. 3.176) и попутное фрезерование (рис. 3.18).

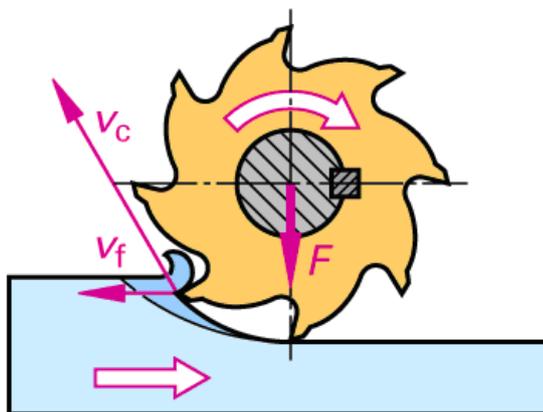


Рисунок 3.17 - Встречное фрезерование

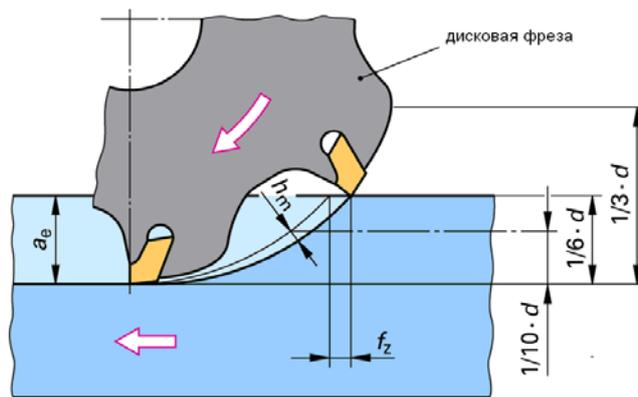


Рисунок 3.18 - Попутное фрезерование

Типовые возможности фрезерования и типовая конструкция фрезерного станка показаны на рис. 3.19...3.24 и 3.25, 3.26 соответственно. На фрезерных станках обрабатывают различные поверхности

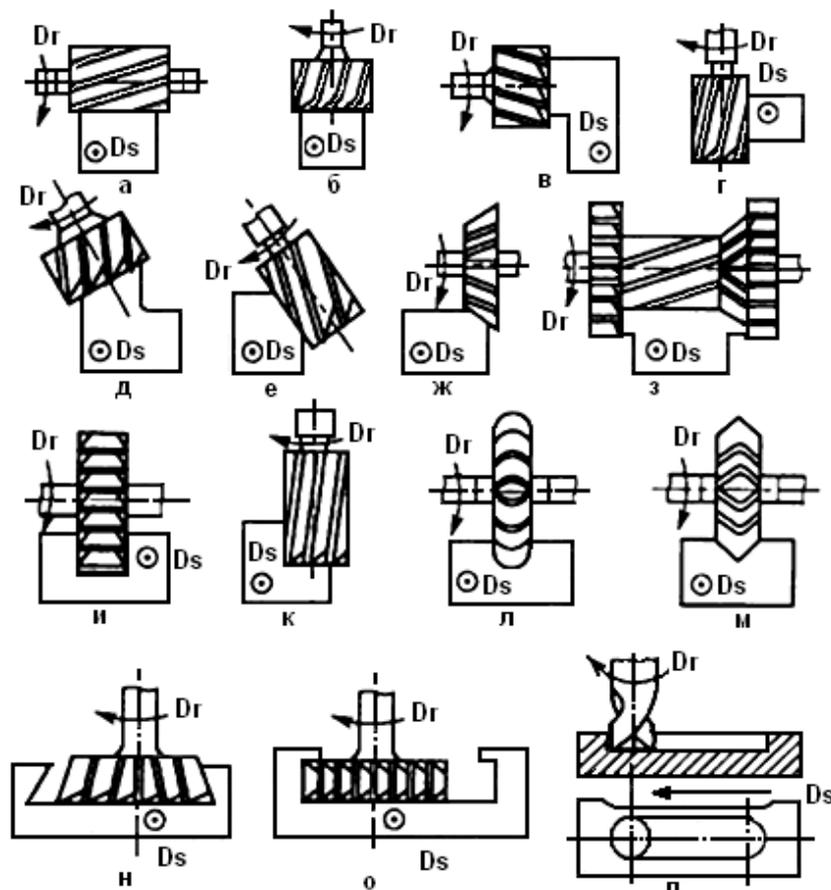
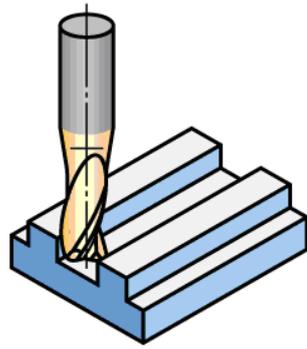


Рисунок 3.19 - Виды обрабатываемых поверхностей: а и б – горизонтальные; в и г – вертикальные; д, е и ж - наклонные поверхности; з и л - фасонные поверхности; к – уступ; и - пазы различного профиля; и – прямоугольный, н – ласточкин хвост, м – угловой, о – Т-образный, п – шпоночный, закрыт Рис.3.22. Фрезерование пазовой фрезой



Пазовая фреза (для фрезерования точнорасположенных фрезеруемых пазов)

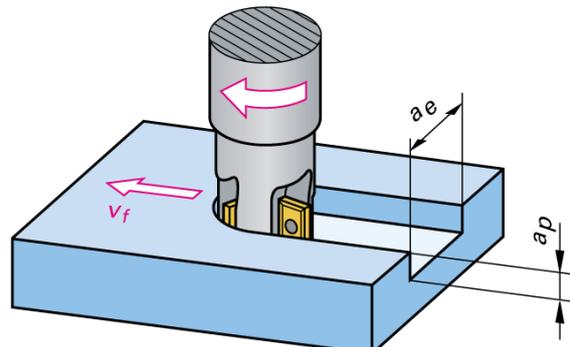
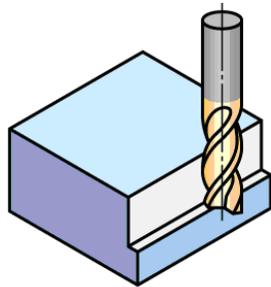


Рисунок 3.20 - Фрезерование пазовой фрезой



концевая фреза (угол 90градусов)

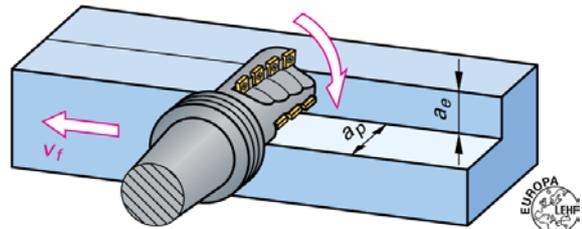


Рисунок 3.21 - Процесс фрезерования уступов

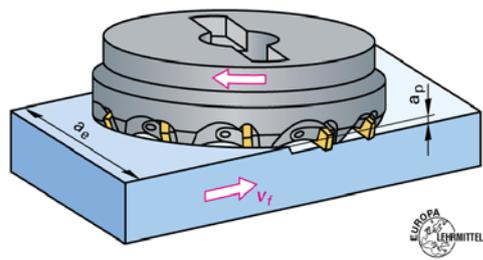
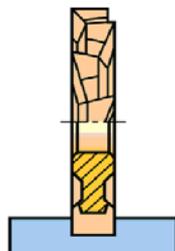
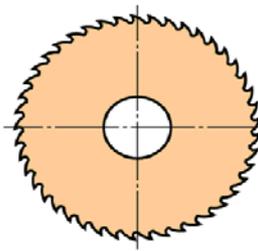


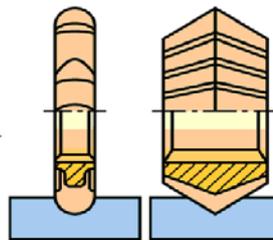
Рисунок 3.22 - Плоское фрезерование торцевой фрезой



Дисковая фреза



Фреза-пила по металлу



Фасонные дисковые фрезы (полукруглого профиля, призматического профиля).

Рисунок 3.23 - Фрезерование различными видами дисковых фрез

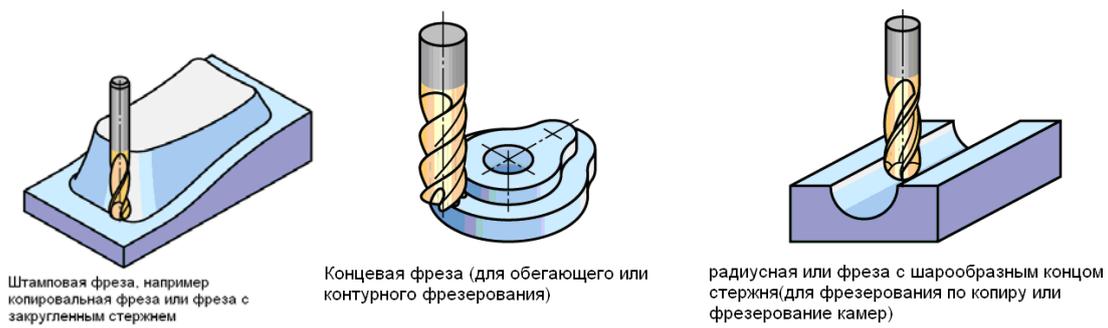


Рисунок 3.24 - Фрезерование фасонных поверхностей

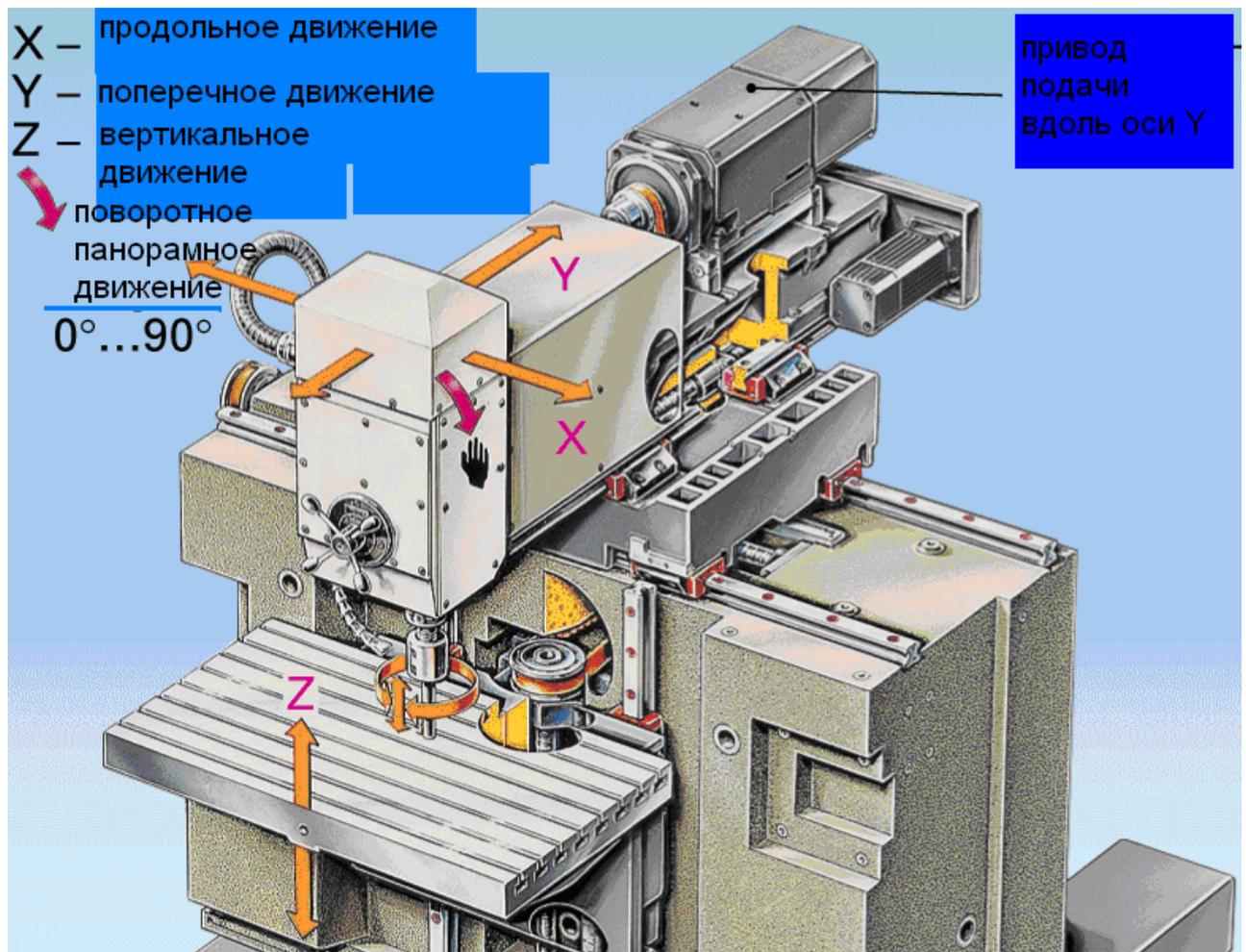


Рисунок 3.25 - Схема вертикально фрезерного станка



Рисунок 3.26 - Процесс фрезерования концевой фрезой сложной поверхности

Особенностью процесса фрезерования является прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки, до следующего врезания (см. рис. 3.17 и 3.18). 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 фасонных поверхностей, что, например, показано на рис. 3.27.

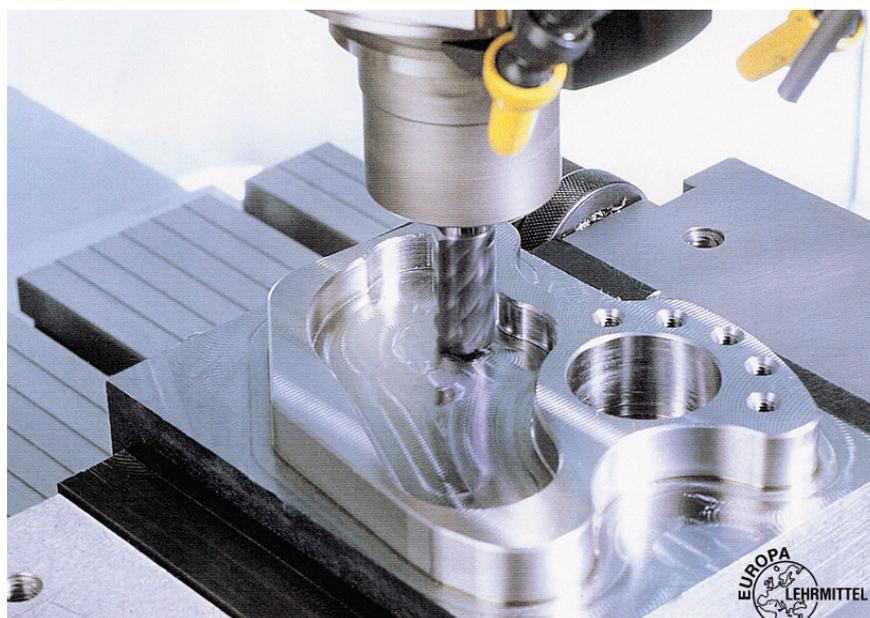


Рисунок 3.27 - Фрезерование концевой фрезой по контуру

Как известно, при классическом фрезеровании поверхностей, по сравнению с точением, возникают дополнительные вибрации, возникающие по ряду причин. При встречном фрезеровании каждый зуб в рабочем состоянии отрывает заготовку от стола, а при выходе из рабочего состояния- бросает ее. При попутном фрезеровании каждый зуб фрезы ударяет по заготовке. При различной глубине резания и при различном количестве зубьев у фрезы в каждый момент времени в работе находится разное количество зубьев. Толщина стружки при любой схеме фрезерования – переменная величина. Эти причины, особенно последняя, приводят к дополнительным колебаниям силы резания при фрезеровании, а значит, к дополнительной вибрации элементов технологической системы. Кроме того, как видно из рис. 3.17 и 3.18, большую часть рабочей траектории зуба он не срезает, а отрывает стружку. Все это 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 зёрнами. Шлифованием можно получить высокую точность размеров и формы, а также необходимую шероховатость поверхности. Абразивные зёрна расположены в круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом. При вращательном движении круга(до 100 000 об/мин) в зоне его контакта с заготовкой часть зёрен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек, а другая часть зёрен истирает материал заготовки. Абразивная обработка с преобладанием царапания называется шлифованием, а с преобладанием истирания- полированием. Шлифовальные круги срезают стружку и истирают поверхность заготовки 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. 3.28.

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

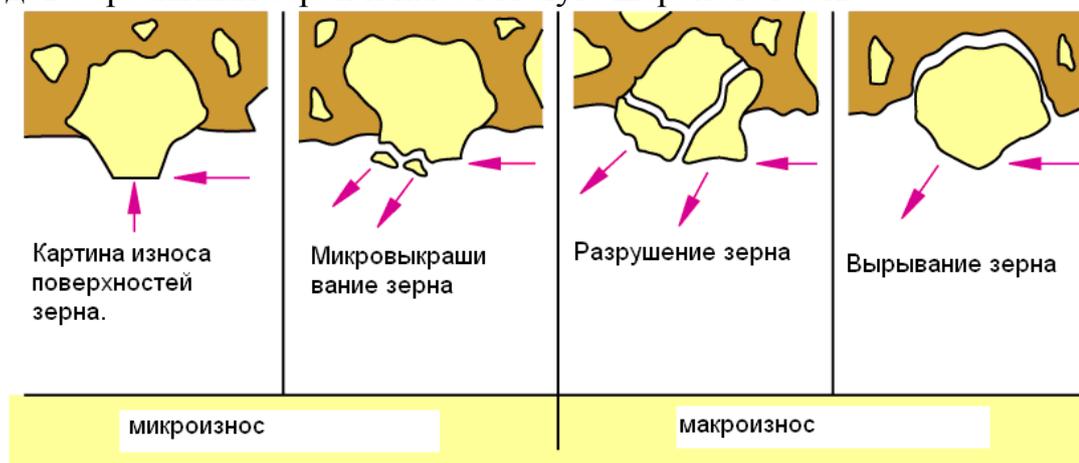


Рисунок 3.28 - Износ абразивных инструментов

Часть 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. 3.29).

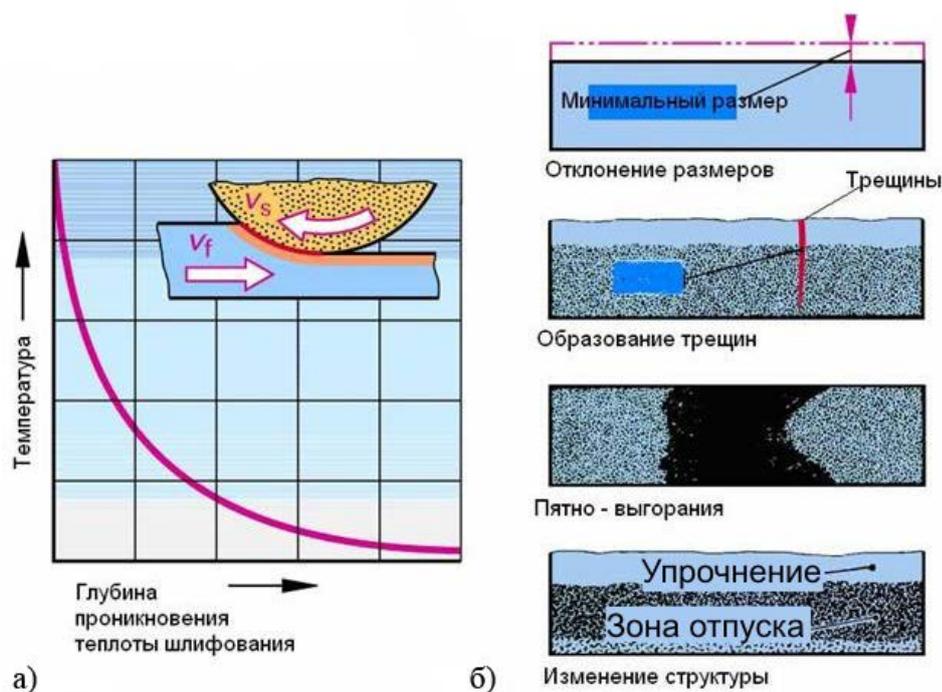


Рисунок 3.29 - Тепловые и силовые воздействия на материал заготовки при шлифовании; а)- температурные процессы в пограничной зоне заготовок б)- повреждения от шлифовального инструмента

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. Высокопроизводительным является шлифование торцом круга, так как при этом участвует в работе одновременно большое количество абразивных зерен. Высокопроизводительным может быть и периферией круга, но такой процесс должен производиться при значительном увеличении давления абразивного инструмента на заготовку и подаче СОЖ в зону резания под большим давлением. При этом используют специальный высокопористый инструмент. 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. 3.30.

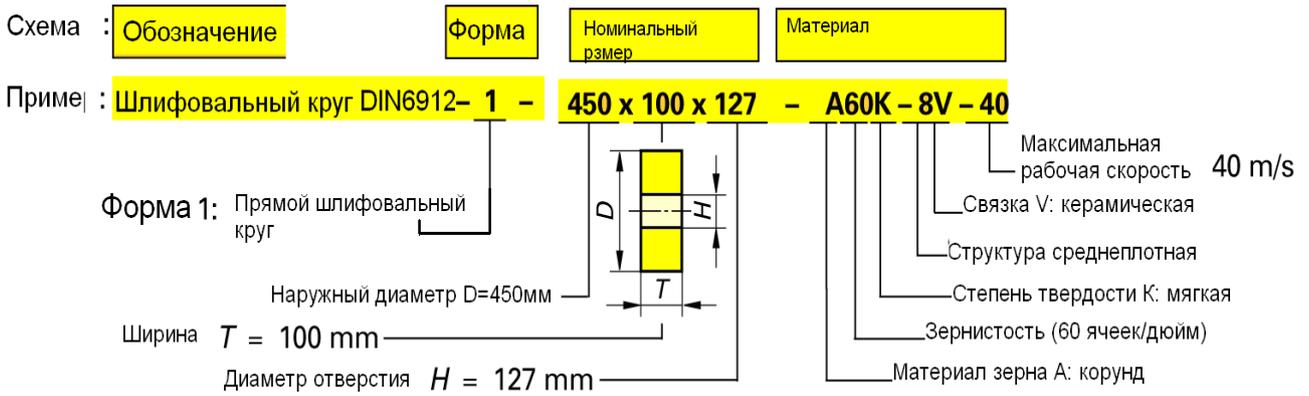


Рисунок 3.30 - Маркировка шлифовального круга

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. 3.31 представлены различные формы шлифовальных кругов.

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

Рисунок 3.31 - 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. 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 структуры.

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. 3.32), а на рис. 3.33 показан внешний вид одного из шлифовальных станков.

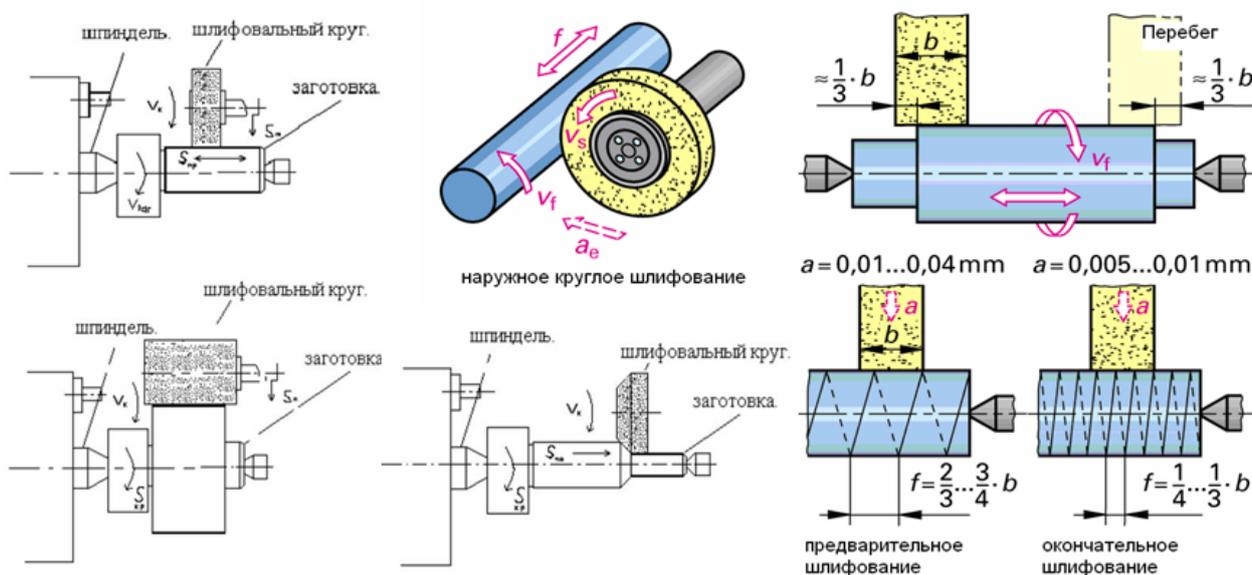


Рисунок 3.32 - Схемы наружного круглого шлифования

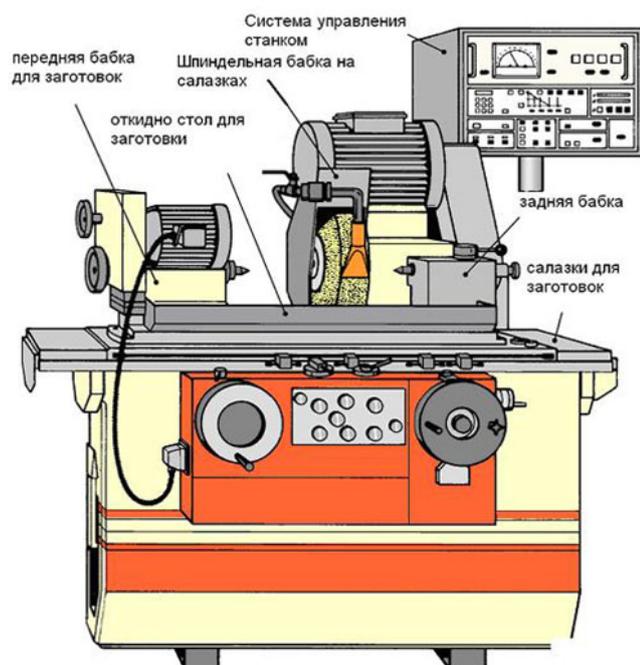


Рисунок 3.33 - Внешний вид шлифовального станка

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 ведущим кругами. Нож устанавливается так, чтобы центр заготовки находился выше или ниже центров кругов. На рис. 3.34 изображена схема бесцентрово-шлифовального станка. Схема обработки на таких станках представлена на рис. 3.35.

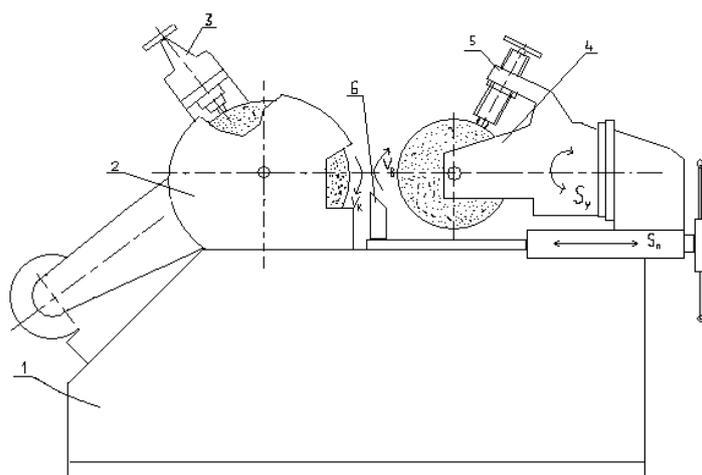


Рисунок 3.34 - Схема бесцентрово-шлифовального станка:

1 – станина; 2 – шлифующая бабка; 3 – правочный механизм; 4 – ведущая бабка; 5 – правочный механизм; 6 – нож.

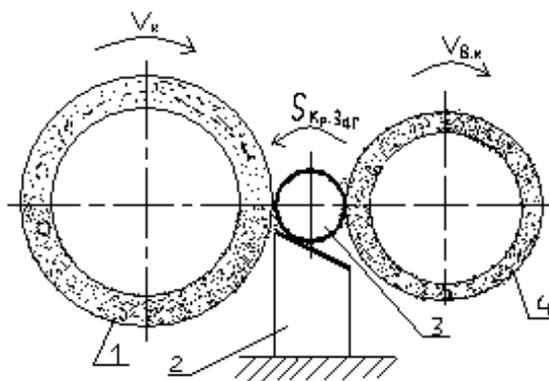


Рисунок 3.35 - Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке

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 медленном вращении заготовки и быстром вращении шлифовального круга (см. рис.3.36). или при неподвижном состоянии заготовки. 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. На рис.3.37 показаны схемы внутреннего шлифования и схема планетарного шлифования отверстия(при неподвижном положении заготовки).

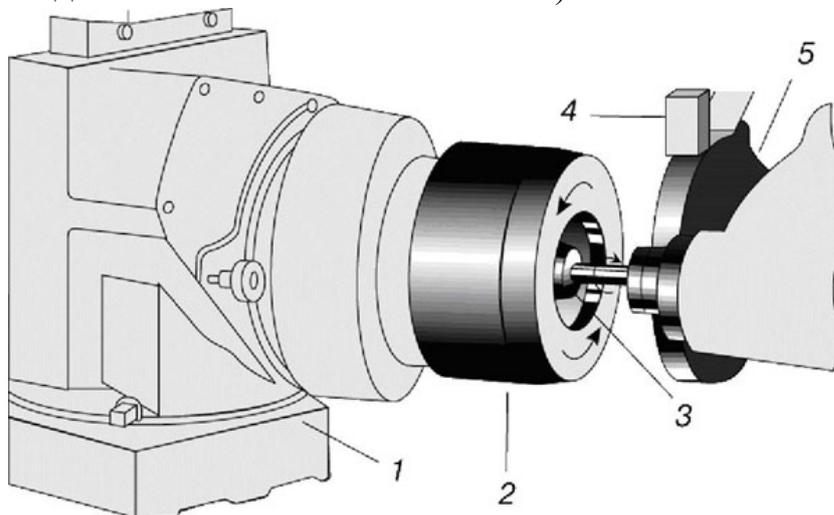


Рисунок 3.36 - Схема шлифования отверстия в осесимметричной вращающейся заготовке: 1 – делительная бабка; 2 – деталь; 3 – внутренний шлифовальный круг; 4 – отсос пыли; 5 – наружный шлифовальный круг.

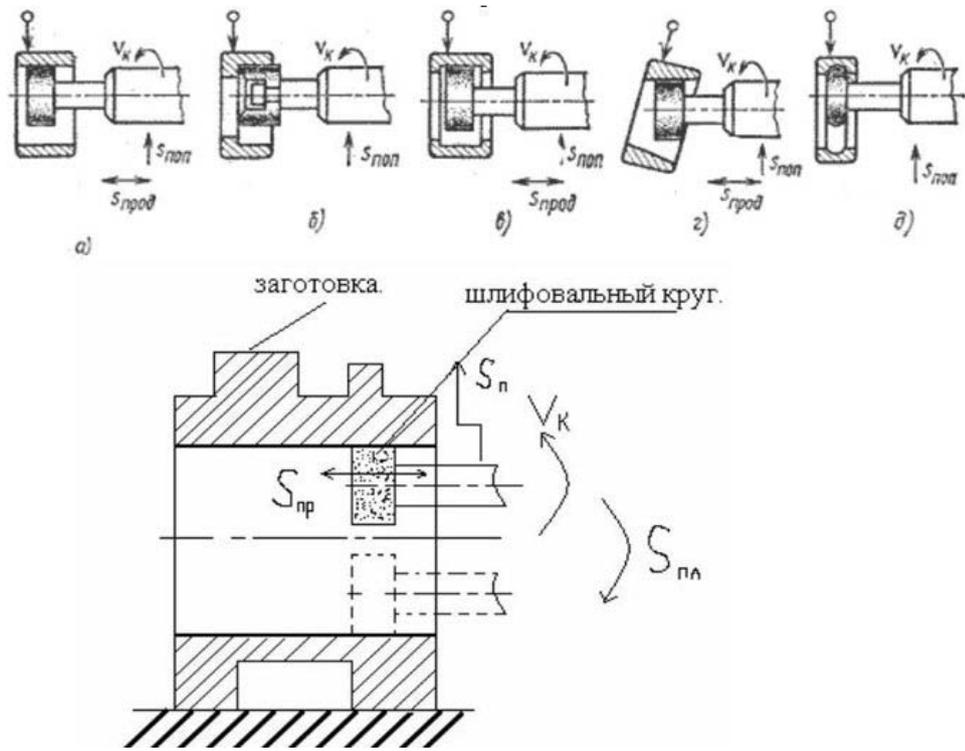


Рисунок 3.37 - Схема планетарного шлифования отверстия и схемы шлифования отверстий во вращающихся заготовках; а – гладкого цилиндрического отверстия; б – ступенчатого отверстия и торца; в – широкой канавки; г – конического отверстия; д – фасонного паза

Плоское шлифование – шлифование плоскостей осуществляется периферией или торцом круга. Кинематика этого процесса показана на рис. 3.38 и 3.39.

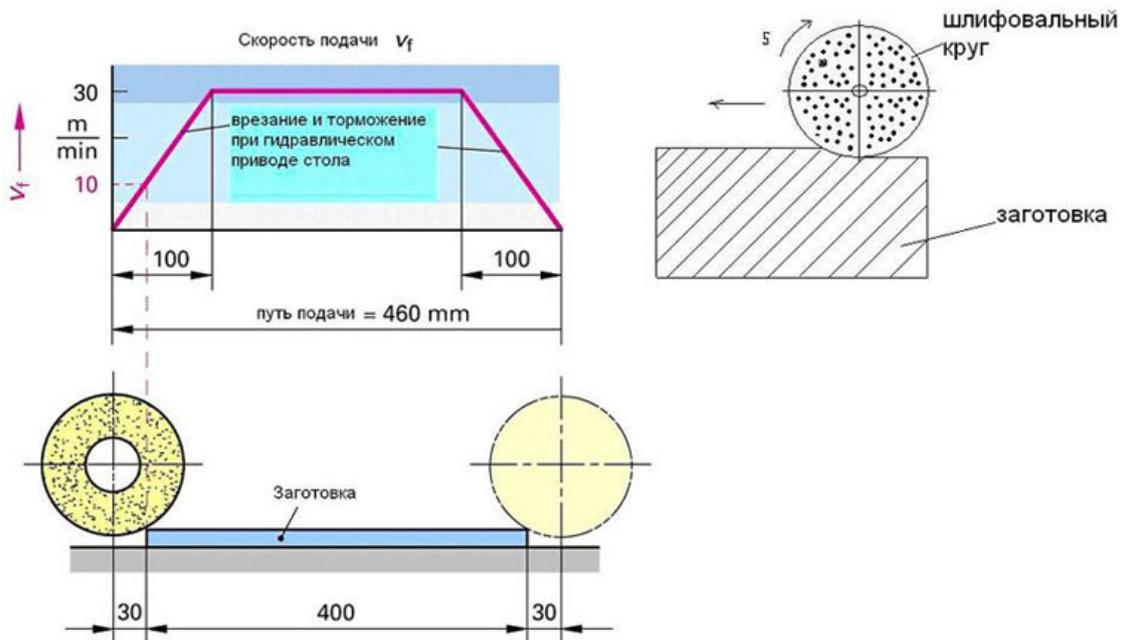


Рисунок 3.38 - Шлифование плоской поверхности периферией круга

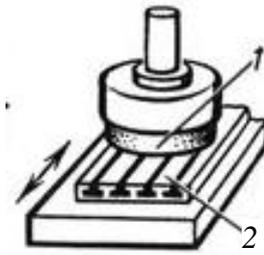


Рисунок 3.39 - Шлифование плоской поверхности торцевой поверхностью круга: 1 – шлифовальный круг; 2 – заготовка

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: метчиков, резьбовых калибров, накатных роликов, ходовых винтов металлорежущих станков и измерительных инструментов (см., например, рис. 3.40).

На резьбошлифовальных станках обрабатывают профильные резьбы шлифовальными кругами, запроваженными по форме впадины резьбы. Заготовка за один оборот перемещается на величину шага резьбы. Шлифованием получают высокую точность резьбы и малую шероховатость поверхности.

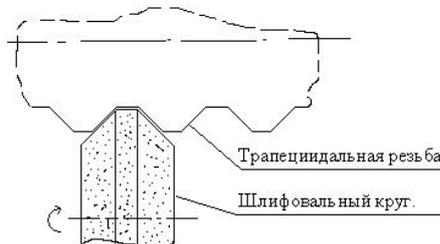


Рисунок 3.40 - Схема шлифования резьбы

Зубошлифование – шлифование зубчатых колес всех видов (см., например, рис. 3.41).

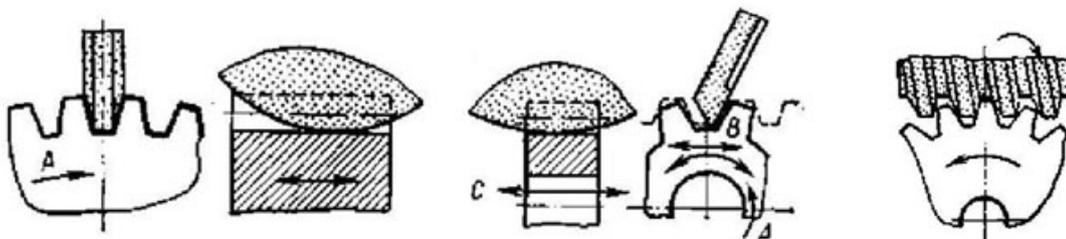


Рисунок 3.41 - Схема шлифования зубьев колеса

Зубошлифованием исправляют значительные погрешности предыдущей обработки, в частности, термической. Этот метод отделки обеспечивает высокую точность и малую шероховатость поверхности зубьев и может быть использован при обработке цилиндрических и конических зубчатых колес.

Для осуществления шлифования обкаткой необходимо произвести продольное движение подачи для обработки зубьев по всей ширине. После обработки двух боковых поверхностей зубьев, колесо поворачивается на угловой шаг.

Шлифовальные круги для зубошлифовальных станков выбирают в соответствии с формой зуба и видом зубчатого колеса, а также в зависимости от твердости материала обрабатываемой заготовки и вида обработки (черновая, чистовая). В процессе резания охлаждающая жидкость подается обычным способом или через шлифовальный круг.

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. 3.42).

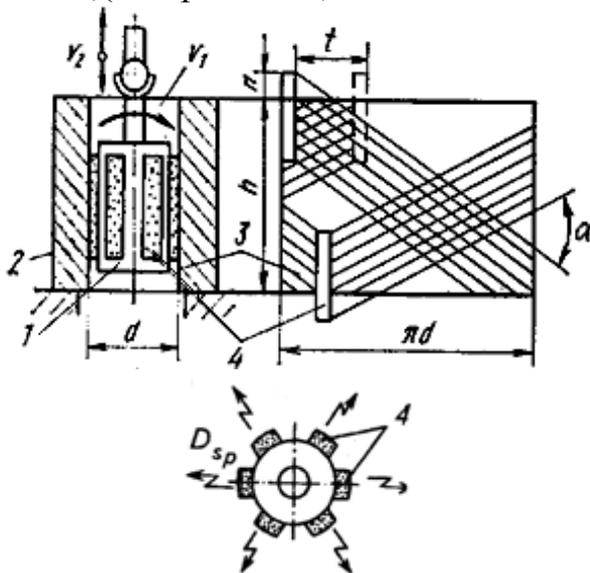


Рисунок 3.42 - Схема хонингования отверстия: 1 – хонинговальная головка; 2 – обрабатываемая заготовка (втулка); 3 - внутренняя поверхность втулки; 4 - хоны

Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия. 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 этих скоростей

(см.рис. 3.42). 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, при этом, точность обработки 5-6 квалитет, шероховатость обработанной поверхности по параметру $Ra = 0,32$ мкм. Внутренняя поверхность 3 заготовки 2 обрабатывают мелкозернистыми абразивными брусками (хонами) 4, которые закрепляют в хонинговальной головке 1, являющейся режущим инструментом. Скорость движения V_1 для заготовок из стали равна 45 — 60 м/мин, а из чугуна и бронзы 60 — 75 м/мин.

Хонингованием исправляют такие отклонения формы предшествующей обработки как овальность, конусообразность, отклонение от цилиндричности др., если общая толщина снимаемого слоя не превышает 0,01 — 0,2 мм. Хонинговальные бруски изготавливают из электрокорунда или карбида кремния, как правило, на керамической связке. Применяется также алмазное хонингование. Хонингование сопровождается охлаждением зоны резания. Смазывающе-охлаждающими жидкостями являются керосин, или смесь керосина (80%) и веретенного масла (20%), а также водно-мыльные эмульсии.

Зубохонингованием погрешность зацепления устраняется только в пределах малой толщины снимаемого металла (0,01 — 0,03 мм на толщину зуба). Процесс заключается в совместной обкатке заготовки и абразивного инструмента, имеющего форму зубчатого колеса. Оси заготовки и инструмента скрещиваются под углом $15 — 18^{\circ}$. При вращении зубчатой пары зубчатое колесо совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси.

Суперфиниширование – шлифование при малом съеме металла (10...12 мкм на диаметр) для достижения шероховатости 0,16...0,02 мкм по параметру Ra . 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. 3.43). Бруски самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности.

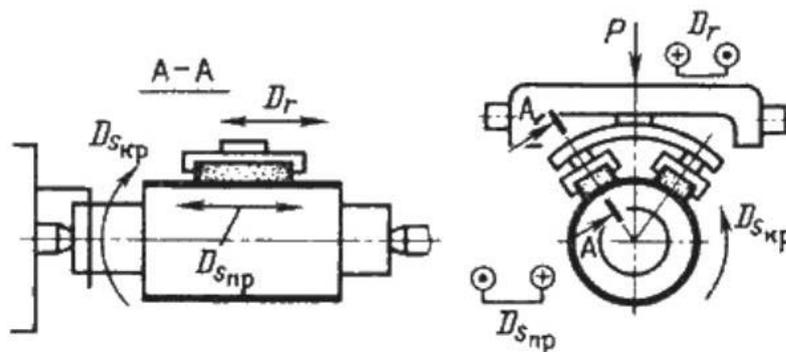


Рисунок 3.43 - Схема суперфиниширования цилиндрической поверхности

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.

Обработанная поверхность имеет сетчатый рельеф, а каждый микровыступ скругляется. Фактическая поверхность контакта с другими деталями увеличивается, чем обеспечиваются более благоприятные условия взаимодействия трущихся поверхностей. Суперфинишированием обрабатывают плоские, цилиндрические (наружные и внутренние), конические и сферические поверхности заготовок из закаленных сталей, реже — из чугуна и бронзы. Смазочный материал - смесь керосина с веретенным и турбинным маслом.

Ленточное шлифование— обработка изделия бесконечной шлифовальной лентой, изготовленной из шлифовальной шкурки на тканевой или бумажной основах. Схема ленточного шлифования упрощенно показана на рис. 3.44.

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

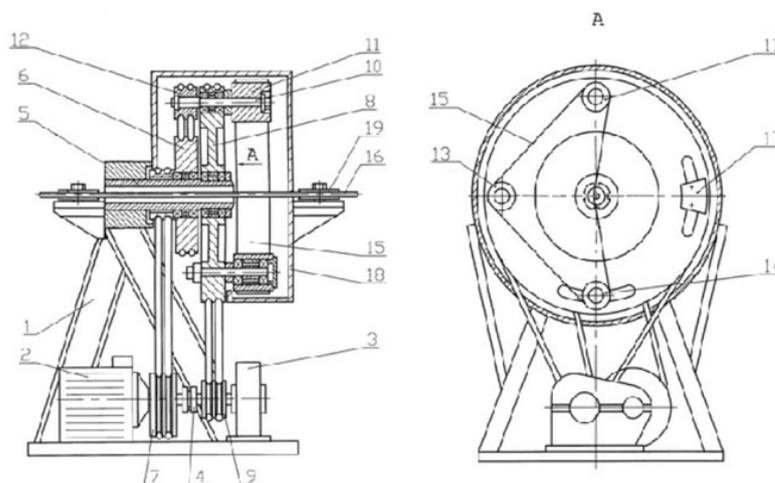


Рисунок 3.44 - Схема ленточного шлифования

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 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.

Притирка(доводка) – абразивная обработка как свободным абразивным зерном в виде суспензии и паст, так и специальными доводочными кругами и шаржированными притирами, обеспечивающими шероховатость 0,160...0,08 мкм по параметру Ra и чисте, а также высокую точность размеров и формы поверхностей, обеспечивая высокую плотность сопряжения. На рис. 3.45 показана схема притирки цилиндрического сопряжения.

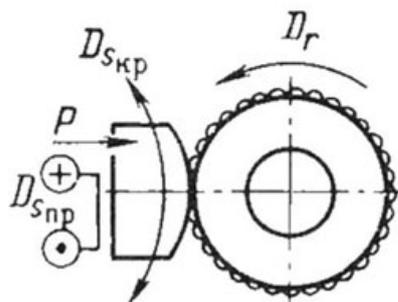


Рисунок 3.45 - Схема притирки цилиндрического сопряжения

Притиркой (доводкой) могут быть уменьшены волнистость, отклонение от плоскостности, цилиндричности и другие отклонения от идеальной формы, возникающие при обработке на поверхностях заготовок. Этим методом можно получить наименьшее отклонение размеров и малые параметры шероховатости поверхности.

Процесс осуществляется с помощью притиров, которые должны иметь соответствующую форму (рис.3.46).

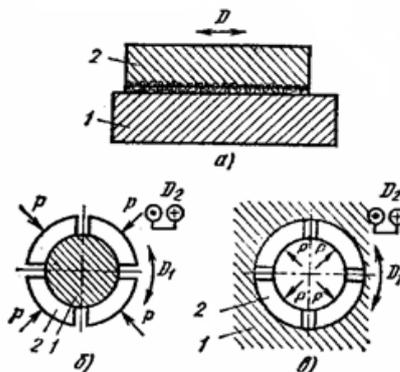


Рисунок 3.46 - Схемы притирки: а – плоской, б – наружной цилиндрической, в – внутренней цилиндрической поверхностей

Для обработки наружной цилиндрической поверхности применяют притир 2 (рис.3.46,б) в виде втулки, имеющей ряд прорезей, которые необходимы для того, чтобы обеспечить под действием силы P полное его прилегание к обрабатываемой поверхности. Притиру одновременно сообщают возвратно-вращательное движение D_1 и возвратно-поступательное движение D_2 . Возможно также равномерное вращательное движение заготовки 1. Аналогичные движения осуществляются при притирании отверстий (рис.3.46,в), однако, в этом случае притир должен равномерно разжиматься под действием силы P .

На притир 2 наносят притирочную пасту или мелкий абразивный порошок со связующей жидкостью. Материал притиров должен быть, как правило, мягче материала обрабатываемой заготовки. Паста или порошок внедряется в поверхность притира и удерживается ею, так, что при движении относительно заготовки каждое абразивное зерно может снимать весьма малую стружку. Притир можно рассматривать как очень точный абразивный инструмент. Вначале процесса притирки микронеровности соприкасаются с притиром по малой контактной площади и срезаются только вершины микронеровностей. С увеличением контактной площади уменьшается давление и снижается толщина съема металла. На последнем этапе обработки удаляются в основном оксидные пленки, образующиеся на поверхности заготовки. В качестве абразивного материала для притирочной смеси используют порошки электрокорунда, карбида кремния, карбида бора, оксида хрома, оксида железа и др. Притирочные пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ, например, олеиновой и стеариновой кислот, играющих роль одновременно и связующего материала. Материалами притиров могут быть серый чугун, бронза, красная медь и дерево. В качестве связующей жидкости используют машинное масло, керосин, стеарин и вазелин. Притиры для зубопритирки выполняют в виде зубчатых колес. В зацеплении, в результате давления между зубьями притира и обрабатываемого колеса, шлифовальный порошок (в смеси с мелом) внедряется в более мягкую поверхность притира. Благодаря скольжению, возникающему между зубьями при вращении пары, зерна порошка снимают мельчайшие стружки с поверхности зубьев обрабатываемого колеса. Таким образом, при зубопритирке происходит искусственное изнашивание материала колеса в соответствии с профилем зуба притира. Максимальная толщина слоя, удаляемого с помощью притира, не превышает 0,05 мм. **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. Схемы полирования показаны на рис. 3.47.

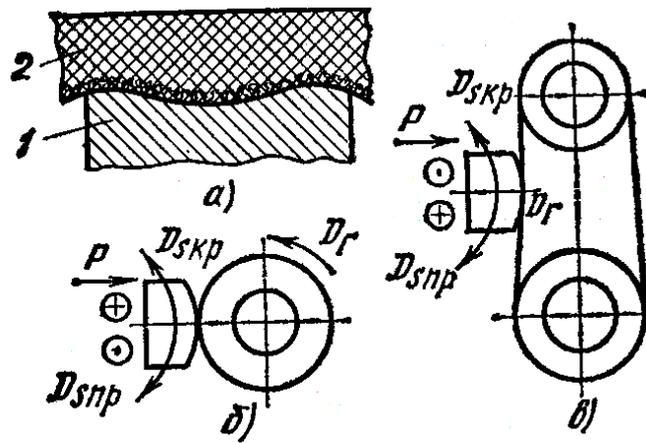


Рисунок 3.47 - Примеры полирования поверхностей: а – колеблющейся щеткой, б – эластичным кругом; в – эластичной лентой

Обработку производят полировальными пастами или абразивными зёрнами, смешанными со смазкой. Эти материалы наносят на колеблющиеся щетки 2 (рис.3.47,а), быстровращающиеся эластичные круги (рис.3.47,б) или эластичные ленты (рис.3.47,в). В процессе полирования заготовка 1 поджимается к движущемуся носителю 2 с силой Р и совершает движение подачи D_s пр. и D_s кр. в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. Носитель перемещается так, чтобы поверхность во всех своих частях подвергалась обработке. При полировании фасонных поверхностей, как правило, заготовки перемещают вручную. Для полирования плоских, цилиндрических и конических поверхностей используют полировальные станки.

Полировальные круги изготовляют из войлока, фетра, кожи, капрона, спрессованной ткани и других материалов. В качестве абразивного материала при полировании заготовок из стали применяют порошки из электрокорунда и оксида железа, при полировании заготовок из чугуна — из карбида кремния и оксида железа, а при полировании заготовок из алюминия и медных сплавов — из оксида хрома. Порошки смешивают со смазочным материалом, который состоит из смеси воска, сала, парафина и керосина. Пасты могут содержать мягкие абразивные материалы: крокус, оксид хрома, венскую известь.

В зоне полирования одновременно происходят следующие основные процессы: тонкое резание, пластическое деформирование поверхностного слоя, химические реакции — воздействие на металл химически активных веществ, находящихся в полировочной пасте. В ходе полирования происходит постепенный переход от резания к выглаживанию

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, диабаз, 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. 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. 3.48). 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. Непрерывность процесса обеспечивается за счет постоянного сближения электродов. Жидкая среда обеспечивает возникновение динамических усилий, необходимых для удаления разрушаемого материала. 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. 3.49 в виде условных этапов этого процесса.

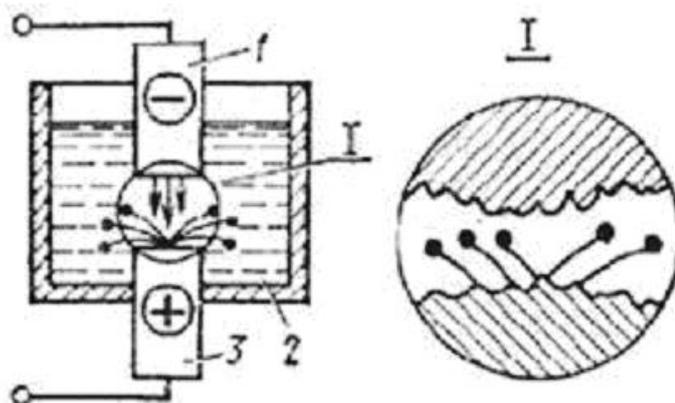


Рисунок 48 - Схема разрушения электродов при электроэрозионной обработке: 1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – обрабатываемая заготовка

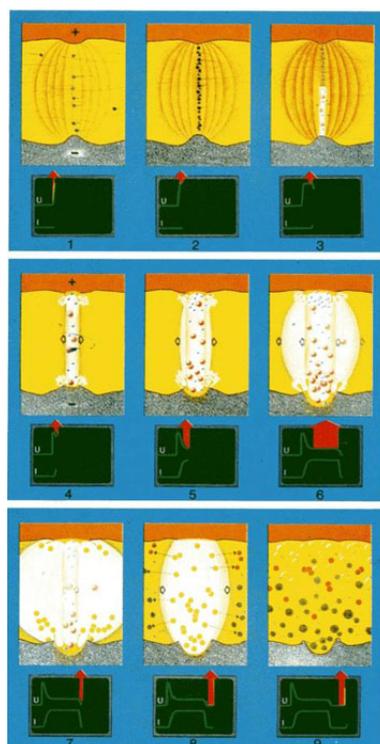


Рисунок 49 - Условная схема «этапов» искрового разреза

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

Характерные черты этого процесса: сравнительно низкая производительность обработки, большой износ электродов-инструментов, применение преимущественно релаксационных схем генерирования импульсов длительностью $10...200 \text{ мкс}$ при частоте $2...5 \text{ кГц}$, использование прямой полярности, образование на обрабатываемой поверхности тонкого дефектного слоя толщиной $0,2...0,5 \text{ мм}$ на черновых и $0,02...0,05 \text{ мм}$ 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 инструмент является катодом, а при «шлифовании», «расточивании» профильными электродами-резцами обрабатываемая заготовка – анодом. Напряжение сети при обработке не превышает 250 В .

Обычно профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого контура (рис. 3.50, а), но возможно вырезание непрофилированной проволокой

различных контуров (рис. 3.50, 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. 3.50, а). Однако формы обработанных поверхностей можно усложнять за счет усложнения траектории перемещения электрода инструмента (рис. 3.50, 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.

При электроимпульсной обработке используются электрические импульсы большой длительности, в результате чего происходит почти дуговой разряд. Электроимпульсную обработку целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, деталей из коррозионностойких и жаропрочных сплавов.

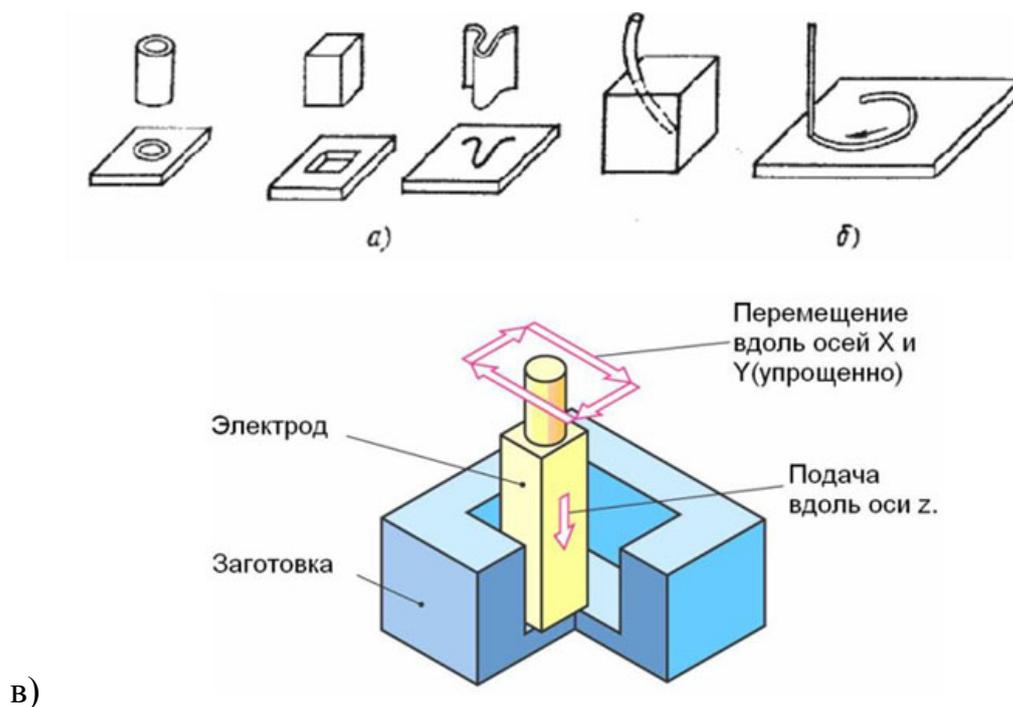


Рисунок 3.50 - Схемы электроэрозионной обработки: а – при прямолинейном вертикальном перемещении катода-инструмента; б, в, при усложненных траекториях перемещения инструмента

На грубых режимах, с большой шероховатостью обработанной поверхности и, на более мягких режимах, с шероховатостью поверхности

$Rz = 80...40$ 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. 3.51). 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.

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



Рисунок 3.51 - Электроэрозионный 5-ти координатный проволочный вырезной станок с ЧПУ мод. СКЭ250Ф5

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.

Электрофизические и электрохимические методы обработки заготовок позволяют изменять форму обрабатываемой поверхности заготовки, а также состояние поверхностного слоя. Их целесообразно применять при получении сложных поверхностей, например, внутренних полостей штампов, из труднообрабатываемых материалов: высоколегированных сталей аустенитного класса, жаро- и кислотостойких, специальных никелеферритных и никелевых

сталей, тугоплавких сплавов, а также композиционные материалы, неметаллические материалы (алмазы, рубины, германий, кремний и т.п.).

Электроискровая обработка используется для обработки заготовок из всех токопроводящих материалов. Ее применяют для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей двигателей внутреннего сгорания, сеток из таких труднообрабатываемых материалов, как твердые сплавы, тантал, вольфрам, молибден, легированные стали и сплавы.

В промышленности наибольшее распространение получили координатно-прошивочные, копировально-вырезные и универсальные копировально-прошивочные электроэрозионные станки оборудованные системами ЧПУ. Обработку ведут профильным инструментом из меди или графита (заготовка при обработке неподвижна), и непрофилированным инструментом-проволокой (диаметром 0,02 — 0,3 мм) из меди, латуни, вольфрама или молибдена).

3.7. Электроконтактная обработка

Она основана на локальном нагреве заготовок в месте ее контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или даже расплавленного металла из зоны обработки механическим способом при относительных движениях заготовки и инструмента. Источником образования теплоты в зоне обработки являются импульсные дуговые разряды и тепло, выделяющееся в этой зоне повышенного сопротивления между инструментом и заготовкой. Электроконтактную обработку применяют для черновой обработки деталей из углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов. Электроконтактная обработка не обеспечивает высокой точности и качества поверхности, но дает высокую производительность съема металла вследствие использования больших электрических мощностей (см.рис. 3.52).

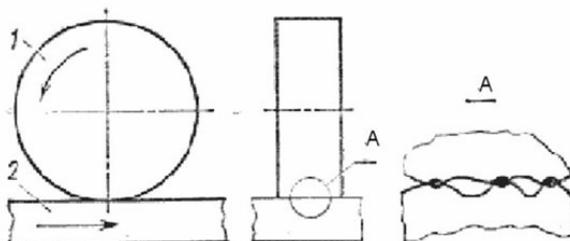


Рисунок 3.52 - Схема электроконтактной обработки:
1 – инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка

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. 3.52). 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 $3000 \text{ мм}^3/\text{с}$ при грубой поверхности и глубине измененного слоя в несколько миллиметров. На мягких режимах производительность составляет около $1 \text{ мм}^3/\text{с}$ при шероховатости поверхности $Rz = 80 \dots 20 \text{ мкм}$ и глубине микротрещин на твердых сплавах или закаливаемых сталях до $0,3 \dots 0,5 \text{ мм}$. 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 черновой обработки изделий. Он может быть использован для зачистки литых поверхностей и сварных швов.

3.8. Электрохимическая обработка

Она основана на явлении анодного растворения, происходящего при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит на поверхности анода-заготовки происходит химическая реакция с образованием химического соединения, которое переходит в раствор или удаляется механическим способом

. Производительность электрохимического процесса зависит от электрохимических свойств электролита, материала заготовки и плотности тока. Разновидностями электрохимической обработки являются полирование, размерная обработка и т.д.(см. рис.3.53).

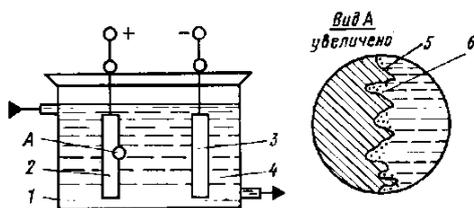


Рисунок 3.53 - Схема электрохимического полирования: 1 – ванна; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – пластина-электрод; 4 – электролит; 5 – микровыступ; 6 – продукты анодного растворения с электролитом, в качестве которого используют растворы кислот или щелочей

Электрохимическое полирование осуществляют в ванне 1(рис.3.53). При пропускании постоянного электрического тока на аноде-заготовке 2 происходит растворение вершин неровностей поверхности, так как плотность

тока на них более высокая, чем во впадинах. Шероховатость поверхности заготовки уменьшается, снимаются наклеп и остаточные напряжения, повышается коррозионная стойкость. Электрохимическое полирование применяют для подготовки поверхности детали под гальваническое покрытие, очистки и декоративной отделки поверхностей деталей.

Электрохимическая размерная обработка показана на рис.3.54.

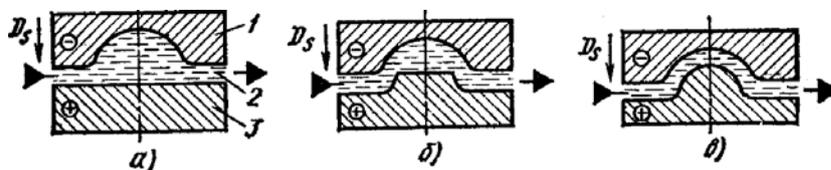


Рисунок 3.54 - Схема последовательного (а,б,в) формообразования поверхности заготовки: 1 – электрод-инструмент; 2 – струя электролита; 3 – электрод-заготовка

Эта обработка происходит в струе электролита 2 (рис.3.54,а), который подают под давлением через зазор между заготовкой-анодом 3 и инструментом-катодом 1. Анод наиболее интенсивно растворяется там, где плотность тока выше и скорость электролита больше, т.е., где зазор между анодом и катодом меньше (рис.3.54,а и б). Процесс обработки прекращают, когда съём металла по всей поверхности заготовки становится равномерным (рис.3.54,в). Этот способ рекомендуют для обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, когда требуется обеспечить высокую точность и качество обработанных поверхностей.

3.9. Анодно-механическая

Обработка заготовок 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. 3.55.

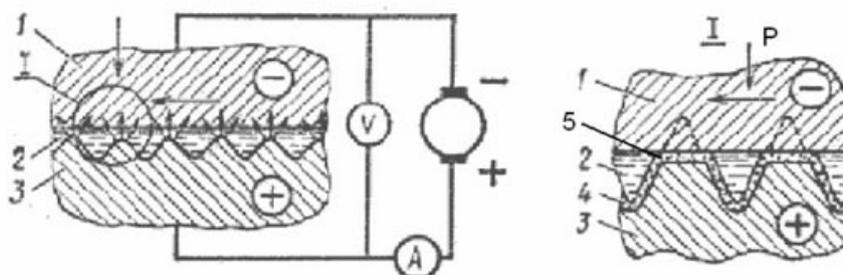


Рисунок 3.55 - Принципиальная схема анодно-механической установки и процесса обработки: 1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – заготовка анод; 4 – продукты анодного разрушения материала заготовки; 5 – межэлектродный промежуток

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. Процесс анодно-механической обработки зависит от электрического режима (плотности тока, напряжения) и механических параметров (давления на обрабатываемую поверхность, скорости движения инструмента). На рис. 3.55 (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/см² колеблется от десятых долей на чистовых операциях до нескольких сотен – на черновых. Давление инструмента Р обуславливает величину межэлектродного зазора 5 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 Rz = 500...600 мкм, и малой шероховатостью поверхности на мягких режимах, достигающей Rz < 1 мкм при небольшой производительности (около 0,01 мм³/с). На рис. 3.56, а показана схема анодно-механического долбления, а на рис. 3.56, б – схема анодно-механической резки металлов.

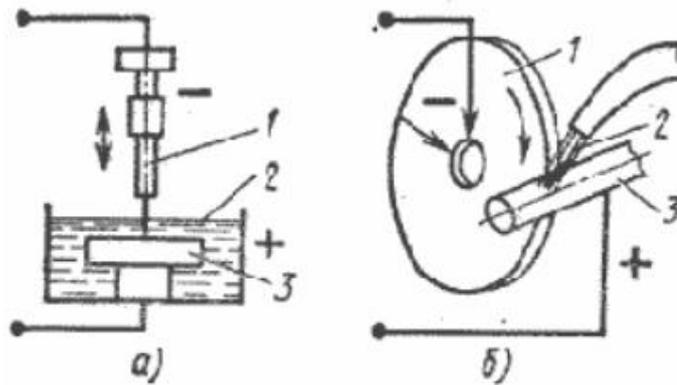


Рисунок 3.56 - Схема анодно-механического долбления (а) и резки(б):
 1 – электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – обрабатываемая заготовка

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

3.10. 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) (см.рис.3.57).

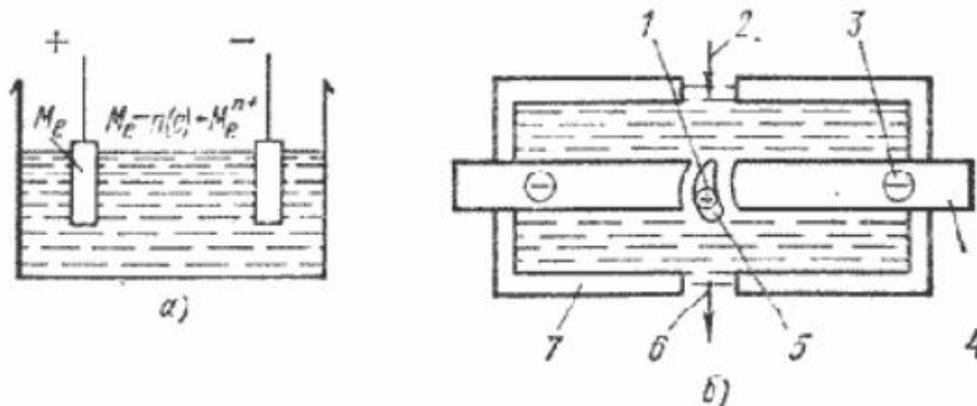


Рисунок 3.57 - Электрохимическая обработка(принципиальные схемы):

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

При электрохимической обработке происходит растворение и удаление некоторых количеств металла с обрабатываемой заготовки и их переход в неметаллическое состояние (химические соединения, рис. 3.57, а).

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 мм³/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 грата, при резке и долблении. На рис. 3.57, б приведена принципиальная схема электрохимической обработки турбинных лопаток.

3.11. 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 магнитоотрицательного 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. 3.58 изображена принципиальная схема ультразвуковой обработки.

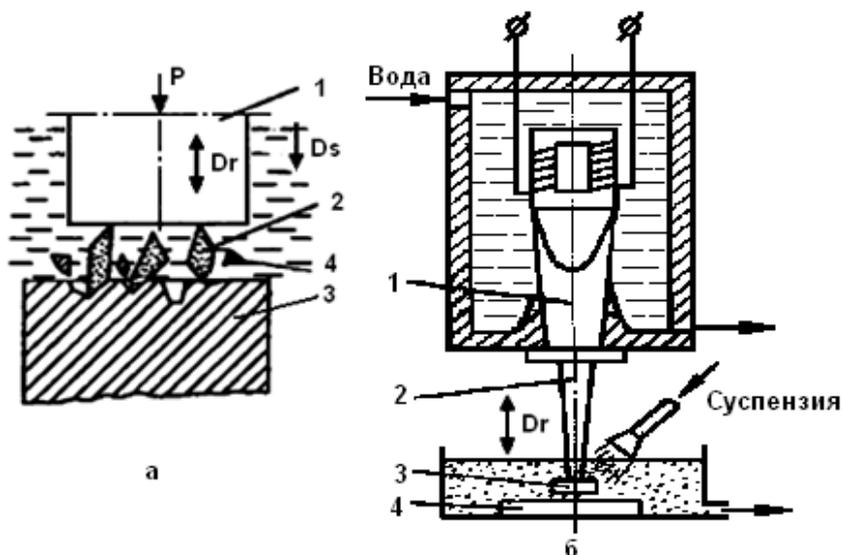


Рисунок 3.58 - Ультразвуковая обработка: а – схема разрушения обрабатываемого материала; б – схема ультразвукового станка

Для изготовления деталей со сложной наружной поверхностью из нетокопроводящих материалов используют ультразвуковую обработку. Она основана на разрушении обрабатываемого материала 3 (рис.3.58,а) абразивными зернами 2 под действием инструмента 1, колеблющегося с ультразвуковой частотой (16 — 30 кГц).

На станке (рис.3.58,б) заготовку помещают в ванну под инструментопуансоном 4. Инструмент установлен на волноводе 3, который закреплен в магнестрикционном сердечнике 1, смонтированном в кожухе 2, сквозь который прокачивают воду для охлаждения сердечника. Для возбуждения колебаний сердечника служит генератор ультразвуковой частоты и источник постоянного тока. Абразивную суспензию подают под давлением по патрубку насосом из резервуара. В качестве абразивных материалов используют карбид бора, карбид кремния, электрокорунд. Точность размеров и шероховатость поверхностей деталей, получаемых ультразвуковой обработкой, зависит от размеров абразивных зерен. Материалом инструмента служат латунь, медь, чугун. Профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого отверстия. Ультразвуковым методом обрабатывают заготовки из хрупких твердых материалов: стекла, керамики, ферритов, кремния, кварца, драгоценных минералов, алмазов

3.12 Светолучевая обработка заготовок

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

Одним из важнейших элементов твердотельного ОКГ (рис. 3.59) является рубиновый (или иной) стержень (кристалл), содержащий небольшое количество атомов хрома, и газоразрядная лампа.

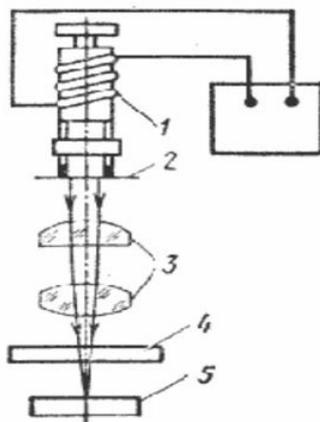


Рисунок 3.59 - Схема светолучевой обработки

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.

Процессы лазерной резки представлены на рис. 3.60.

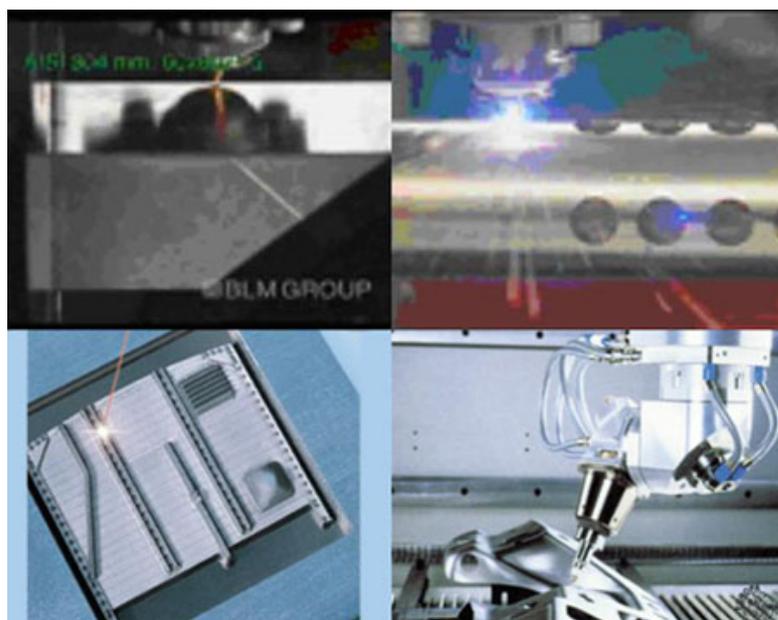


Рисунок 3.60 - Лазерная обработка

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...1,0 мкс. Промышленное использование ОКГ для размерной обработки материалов ограничивается образованием отверстий диаметром до 0,5 мкм и глубиной до 0,5 мм в нержавеющей стали, вольфраме, алмазе и других труднообрабатываемых материалах.

3.13. 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...8 тысяч градусов Цельсия, что достаточно для расплавления материала заготовки. Работа ведется в импульсном режиме, с длительностью импульсов 3...5 мкс. Применяют эту технологию для обработки легко окисляющихся материалов.

3.14. 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 вывесках, 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 освобожденные 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. 3.61 представлен процесс плазменной резки с ручным управлением, а на рис. 3.62 – 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. 3.63 представлен процесс плазменной резки.



Рисунок 3.61 - Ручная плазменная обработка

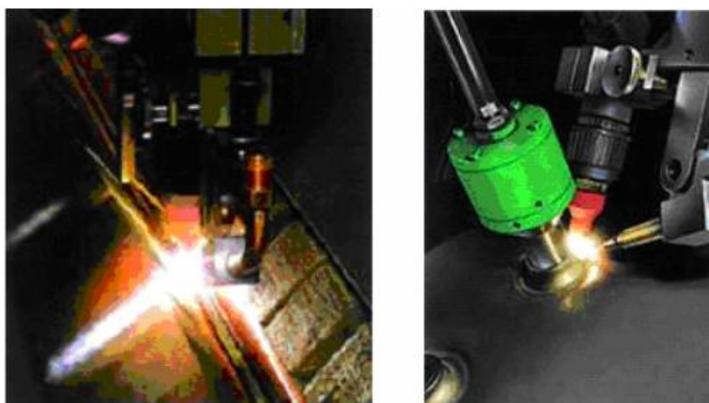


Рисунок 3.62 - Автоматизированная плазменная обработка на специализированном оборудовании



Рисунок 3.63 - 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.

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 °С) 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.

3.15. 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).

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, износоустойчивости 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, износоустойчивости 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.

3.16. Перспективные направления развития процессов формообразования поверхностей деталей

Основным направлением для повышения экономической эффективности промышленного производства является его автоматизация.

В приборостроении это прежде всего проявляется в расширении использования станков с ЧПУ. При этом совершенствуются системы ЧПУ и конструкции станков, способствующие повышению их точности и производительности.

Особое внимание уделяется расширению технологических возможностей станков с ЧПУ для обработки с одного установка большего числа поверхностей заготовки с целью повышения точности их взаимного расположения и сокращения длительности общего цикла обработки.

Токарные, фрезерные, токарно-фрезерные и фрезерно-сверлильные станки с оперативной системой управления (ОСУ) позволяют осуществлять программирование непосредственно на станке с вводом программы в устройство числового программного управления (УЧПУ) с помощью клавиатуры, дисков, вычислительной сети и других носителей информации. Совершенствование систем ЧПУ в первую очередь направляется на повышение точности обработки заготовки и компенсацию погрешностей обработки. Современные системы УЧПУ обеспечивают: - дискретность при стабильном позиционировании до 0,001мм; - бесступенчатое регулирование скорости резания при переходе на другой диаметр при обработке заготовки; - измерение размеров заготовки в процессе обработки; предотвращают появление брака в случае поломки инструмента или достижения предельных значений силы резания, крутящего момента и т. п. Уменьшение доли машинного времени достигается за счет увеличения скорости резания. Для этого повышают частоту вращения шпинделя станка. Вспомогательное время сокращают за счет увеличения скорости быстрых перемещений суппортов и столов станков с ЧПУ до 15 м/мин. В настоящее время заданную точность в машиностроении в основном обеспечивают используя метод обработки резанием. Режущий клин инструмента в процессе работы изнашивается скругляясь по активной части режущей кромки (радиус составляет от 1 и более мкм). Современные обрабатывающие центры снабжаются устройствами для контроля состояния режущего инструмента и степени его затупления по затраченной мощности, крутящему моменту, силе тока главного электродвигателя. Однако, обеспечить

снятие припуска менее радиуса скругления главной режущей кромки инструмента не представляется возможным. Это ограничивает достижение высокой точности изготовления прецизионных деталей резанием. Решением этой проблемы может быть использование аддитивной технологии, т.е. прямом выращивании деталей с помощью 3D принтера или ионной обработки, напылением на деталь тончайших слоев, составляющих доли микрометра. Одним из преимуществ нового метода изготовления деталей является отсутствие технологической оснастки, приносящей собственные погрешности размеров, формы и др., в отклонения размеров деталей.

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, 7].

Технологические процессы строятся по отдельным методам их выполнения (процессы механической обработки, сборки, литья, термической обработки, покрытий и т.д.). 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.

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.

Установка – 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 вспомогательного 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 подналадках 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 ГОСТ-ами 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 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 (см. табл. 4.1). 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. Комплектность технологических документов в зависимости от различных типов производств и степени детализации технологического процесса.

Наименование технологического документа	Номер ГОСТа	Условное обозначение	Единичное и мелкосерийное производство			Серийное производство			Крупносерийное массовое и производство			
			Описание									
			Маршрутное	Маршрутно-операционное	Операционное	Маршрутное	Маршрутно-операционное	Операционное	Маршрутное	Маршрутно-операционное	Операционное	
Маршрутная карта	Гост 3.1105 - 74	МК	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Карта технологического процесса	Гост 3.1105 - 74	КТП	+	-	+	++	-	-	-	-	-	-
Операционная карта	Гост 3.1105 - 74	ОК	-	++	+	-	++	++	-	++	++	++
Карта эскизов	Гост 3.1105 - 74	КЭ	-	+	+	+	-	-	-	+	++	++
Технологическая инструкция Комплектовочная карта	Гост 3.1105 - 74	ТИ	+	+	+	+	+	+	++	-	+	+
	Гост 3.1105 - 74	КК	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость оснастки	Гост 3.1105 - 74	ВО	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость технологических 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 небольшого 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. 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. 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.

При любом типе производства и реализации любого техпроцесса вопросы минимизации погрешностей изготовления и базирования изделий чрезвычайно важны и подлежат тщательному изучению.

Глава 5. Точность обработки заготовок приборов

Точность большинства изделий приборостроения является важнейшей характеристикой их качества [2, 3, 7]. 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).

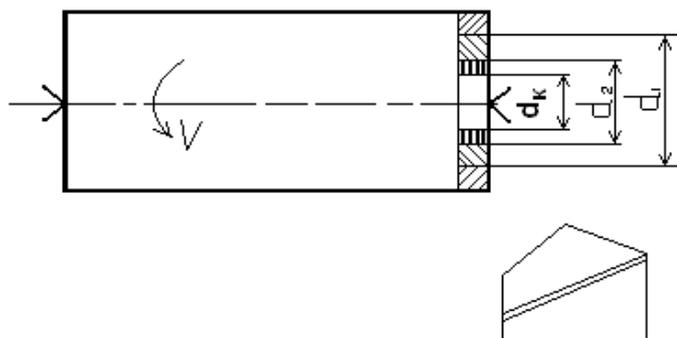


Рисунок 5.1 - Схема реализации метода пробных ходов и промеров

Таким образом, путем пробных ходов и промеров устанавливается правильное положение инструмента относительно заготовки, при котором обеспечивается требуемый размер [7]. 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.

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

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

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

4. 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. 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, 3,7]. Он представлен на рис. 5.2.

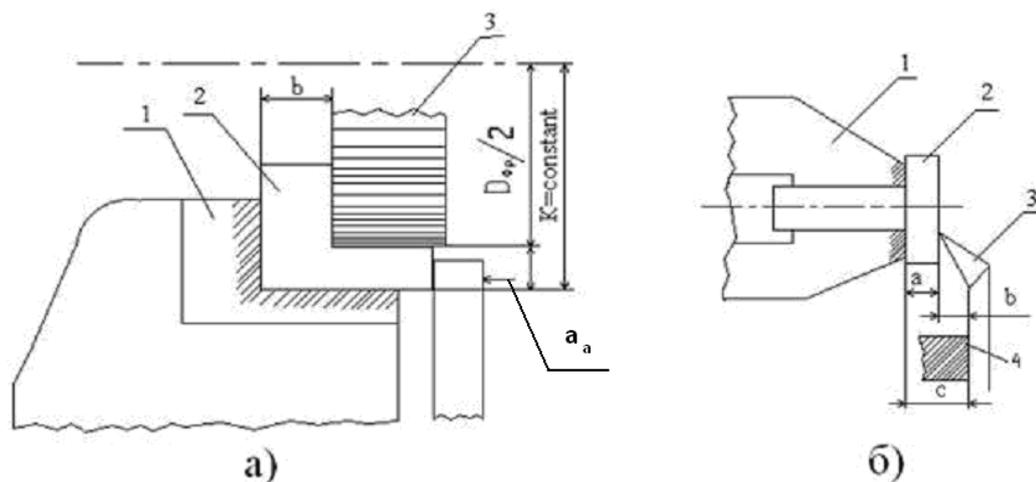


Рисунок 5.2 - Обработка заготовок по методу автоматического получения размеров на настроенном оборудовании

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 **K** и **b** остаются неизменными, то и точность размеров **a** и **b** обрабатываемых заготовок, обработанных с данной настройкой станка, должна быть одинаковой.

Равным образом при подрезке торца заготовки 2 (рис. 5.1, б) размер **a** заготовки определяется расстоянием **c** от торца зажимного приспособления 1 до

поверхности упора **4**, ограничивающего перемещение резца **3**, а также расстоянием **b** от поверхности упора **4** до вершины режущего лезвия резца. При постоянстве этих размеров, устанавливаемых в процессе предварительной настройки станка, точность размера **a** 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:

- точность обработки не зависит от минимально возможной толщины снимаемой стружки (так как припуск на обработку на настроенном станке устанавливается 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 предопределяют 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, 7]. 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 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 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 заглаживанием штрихов – следов заточки режущих граней. В этот период шероховатость обработанной поверхности обычно постепенно уменьшается.

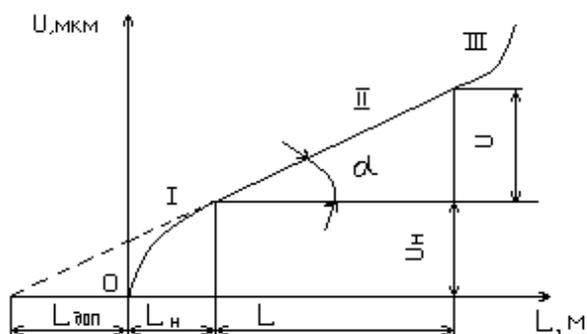


Рисунок 5.3 - Зависимость износа инструмента U от длины пути резания

Начальный износ U_n и длина снятой им стружки L_n (т.е. продолжительность приработки инструмента) зависят от материалов режущего инструмента и изделия, качества заточки 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 T15K6 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 долбьяками 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.

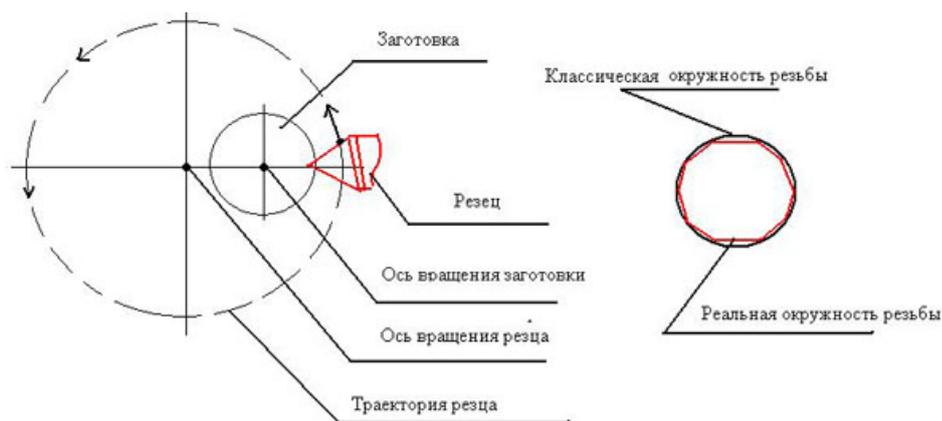


Рисунок 5.4 - Схема вихревого нарезания резьбы

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 приближена. 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).

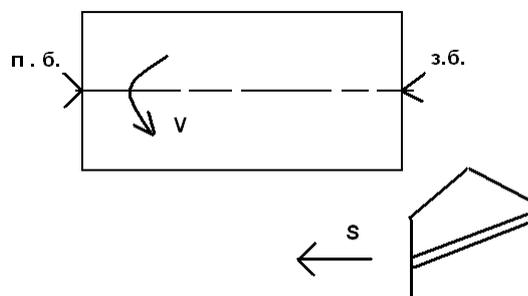


Рисунок 5.5 - Схема обработки цилиндрической заготовки в центрах токарного станка

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 отжатий 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 деталей, изготовленных 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.

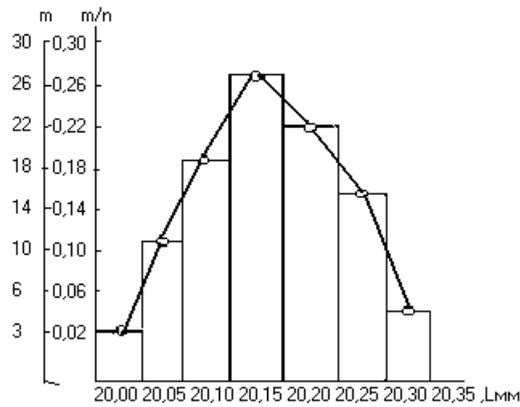


Рисунок 5.6 - Распределение действительных размеров заготовок

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, 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, проведенные 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.

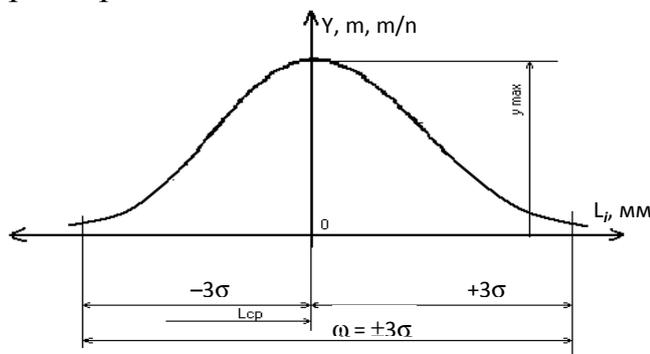


Рисунок 5.7 - Кривая нормального распределения (закон Гаусса)

Влияние сигмы на форму распределения показано на рис. 5.8.

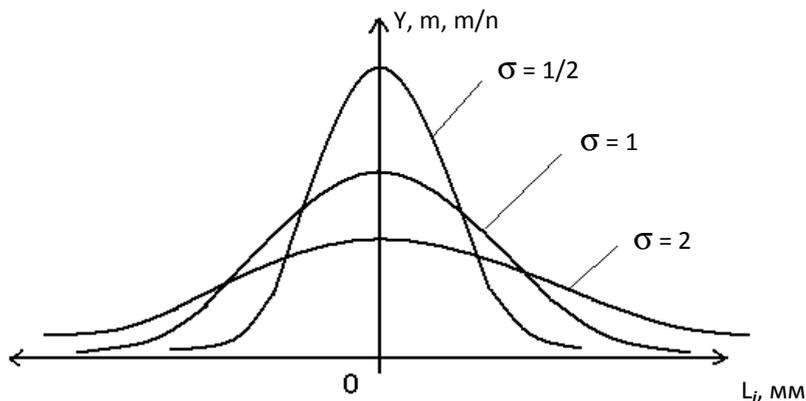


Рисунок 5.8 - Влияние среднего квадратического отклонения на форму кривой нормального распределения

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 :

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

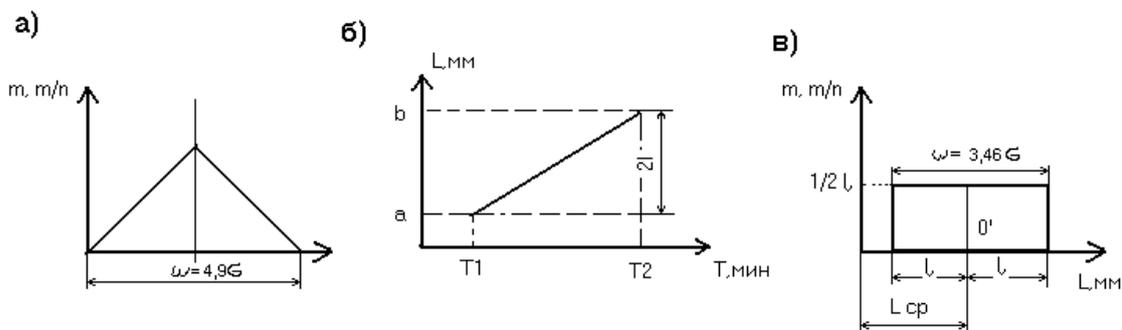


Рисунок 5.9 - Распределение размеров обработанных заготовок: по закону Симпсона (а) и по закону равной вероятности (б, в)

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, характеризуемая 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 $\omega_m^{нач}$ и $\omega_m^{конеч}$ больше, чем $\omega_m^{сп}$, в середине обработки партии (рис. 5.10, б).

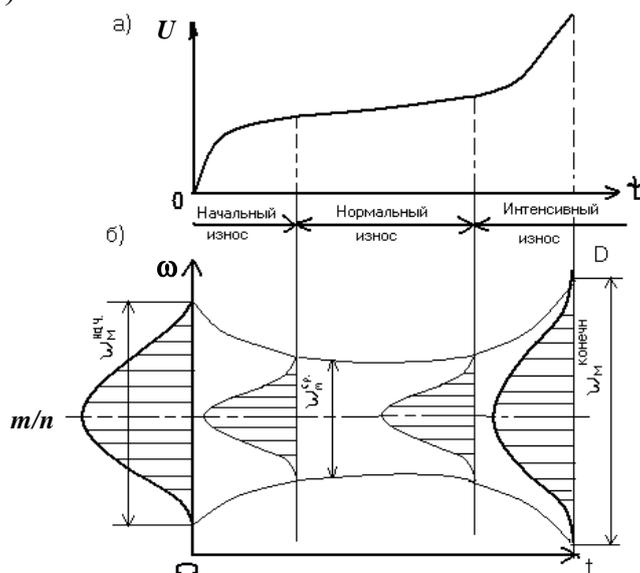


Рисунок 5.10 - Износ режущего инструмента от времени(а) и изменение поля мгновенного рассеяния размеров изнашиваемой детали (б)

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 $\Delta_\sigma = \omega_\sigma$, закрепления $\Delta_z = \omega_z$ и приспособления $\Delta_{np} = \omega_{np}$. При установке заготовки в приспособлении в ряде случаев возникает погрешность базирования $\Delta_\sigma = \omega_\sigma$, 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: $\omega_\sigma = Tb$, 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.

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

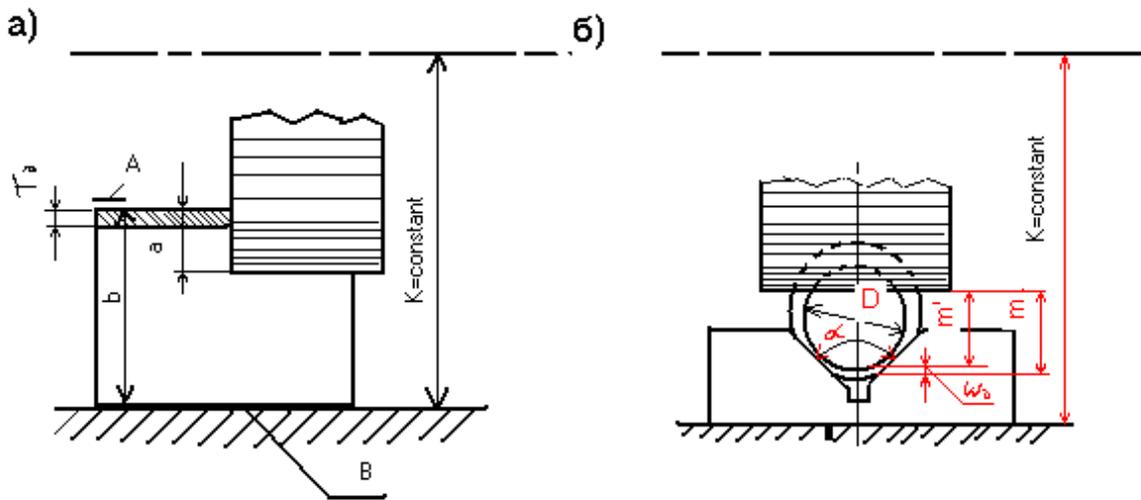


Рисунок 5.11 - Возникновение погрешностей базирования и установки заготовок

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_3 , определяемым, в большинстве случаев, экспериментальным путем.

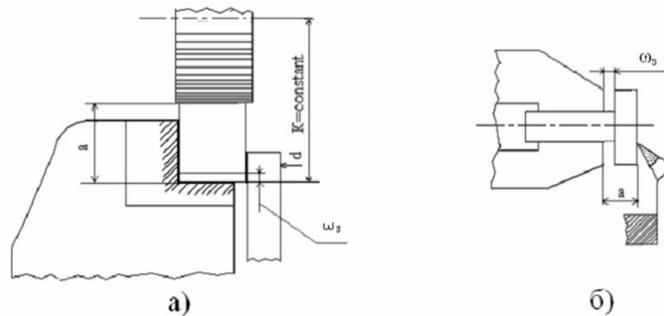


Рисунок 5.12 - Погрешность закрепления ω_3 при фрезеровании (а) и при токарной обработке (б)

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 приспособлении, 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:

$$\Delta_y = \omega_y = 1,2\sqrt{\omega_0^2 + \omega_3^2 + \omega_{np}^2} . \quad (5.10)$$

Рассеяние размеров деталей, связанное с погрешностью настройки оборудования. Погрешность настройки станка $\Delta_n = \omega_n$ изменяется как случайная величина в результате воздействия погрешности регулирования $\omega_{рег}$ положения режущего инструмента и отдельных узлов станка

относительно установленного инструмента и под влиянием погрешности измерения $\omega_{\text{еги}}$ 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 $\omega_{\text{рег}}$ 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 $\omega_{\text{изм}}$ пробных заготовок принимается равной предельной погрешности используемого измерительного инструмента. Суммарная погрешность настройки, в общем случае, определяется выражением, приведенным ниже:

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

При настройке станков по пробным заготовкам с помощью универсального измерительного инструмента на погрешность настройки оказывает дополнительное влияние величина смещения $\omega_{\text{смещ}}$ центра группирования групповых средних, которая определяется формулой, приведенной ниже.

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

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

В этом случае погрешность настройки рассчитывается следующим образом

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

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:

$$\omega = 1,2\sqrt{\omega_m^2 + \omega_o^2 + \omega_3^2 + \omega_{np}^2 + \omega_{\text{рег}}^2 + \omega_{\text{изм}}^2 + \omega_{\text{смещ}}^2} \quad (5.15)$$

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 ω_s , 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 ω_b 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.

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

Величина $\Delta_{сист}$ 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.

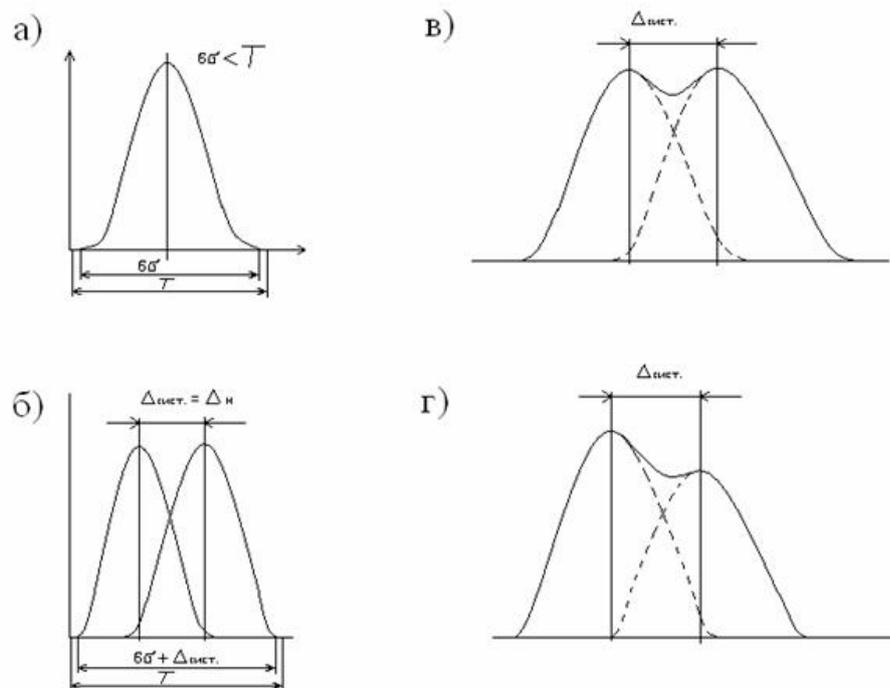


Рисунок 5.13 - Изменение формы суммарной кривой рассеяния под влиянием $\Delta_{сист}$ при обработке нескольких партий заготовок с поднастройкой станка (а – кривая Гаусса; б – смещение кривой Гаусса на величину систематической погрешности; в, г – кривая имеет несколько вершин разной высоты соответственно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

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 револьверных 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.

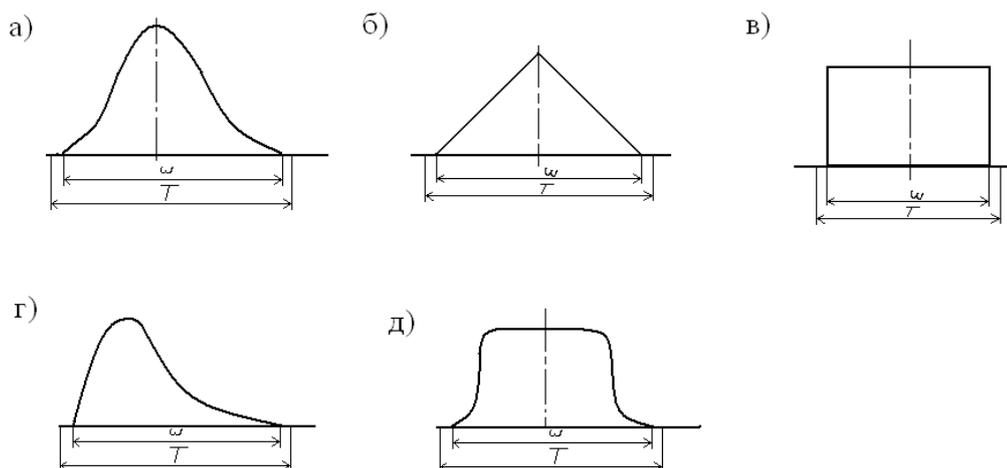


Рисунок 5.1 -. Условие обработки заготовок без брака для разных законов распределения действительных размеров

Для закона нормального распределения это выражение принимает вид $6\sigma < T$. При наличии систематической погрешности $\Delta_{\text{сист}}$, вызывающее смещение поля рассеяния, условие обработки без брака: $6\sigma + \Delta_{\text{сист}} < T$. В этом выражении часто принимается: $\Delta_{\text{сист}} = \Delta_n$ (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 $6\sigma + \Delta_{\text{сист}} < T$ 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 $6\sigma = L_{\text{max}}^{\text{доп}} - L_{\text{min}}^{\text{доп}}$. 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 $T = L_{\text{max}}^{\text{доп}} - L_{\text{min}}^{\text{доп}}$. 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.

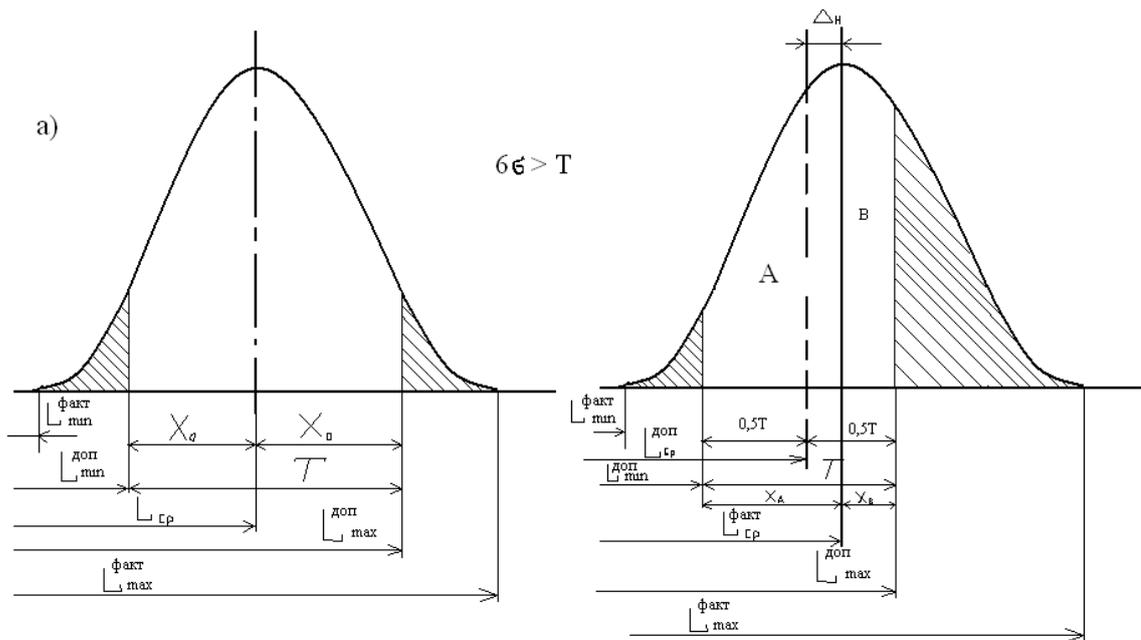


Рисунок 5.15 - Количество вероятного брака при симметричном (а) и не симметричном (б) расположении поля рассеяния относительно поля допуска

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).

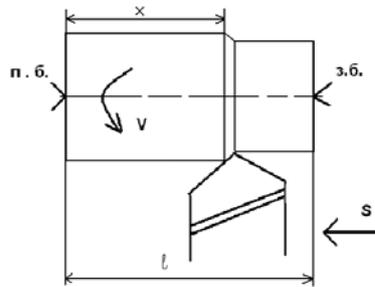


Рисунок 5.16 - Заготовка в центрах токарного станка

Наибольший прогиб заготовки будет в ее середине:

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

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:

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

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.

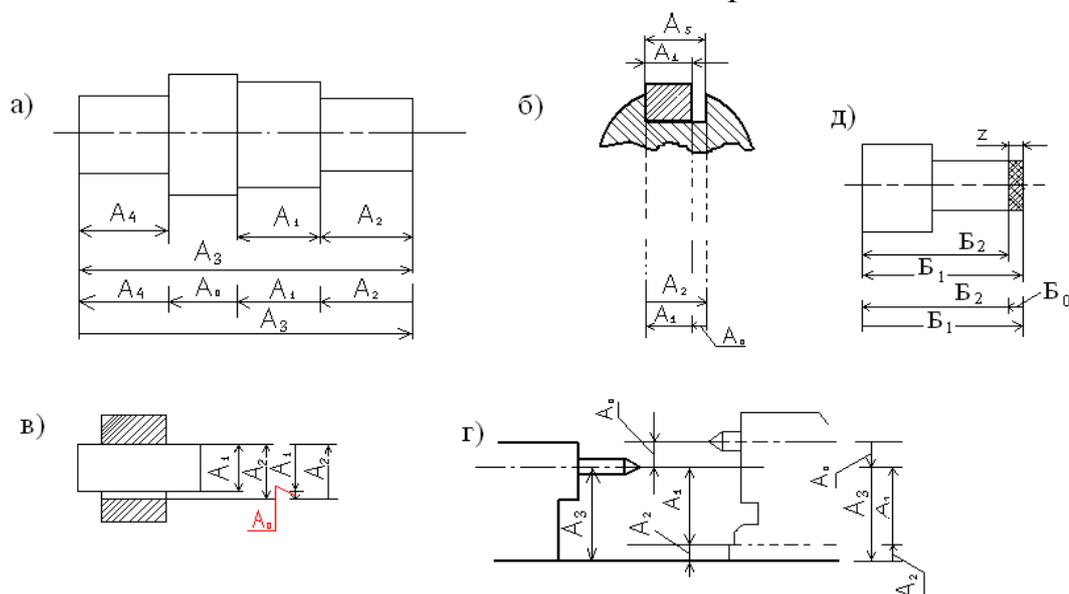


Рисунок 5.17 - Виды размерных цепей

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:

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

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, 9].

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.

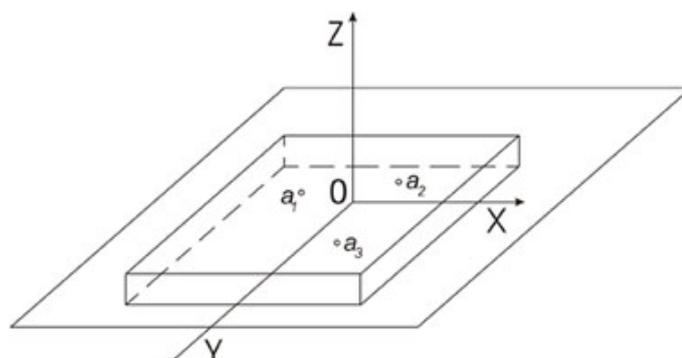


Рисунок 6.1 - Базирование призматической заготовки на плоскости магнитного стола

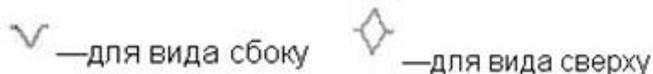
Однако при установке, т.е. в процессе базирования ничто не мешает этой заготовке занять отличное от указанного на рисунке положение вдоль осей X и Y и угла поворота вокруг оси Z. Более того, при установке каждой следующей заготовки эти три параметра будут отличаться. Такая ситуация полностью соответствует 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 шлифовать ее. Лишение такой заготовки большего количества степеней свободы потребует применения какого-либо приспособления, а размера детали в вертикальном 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.

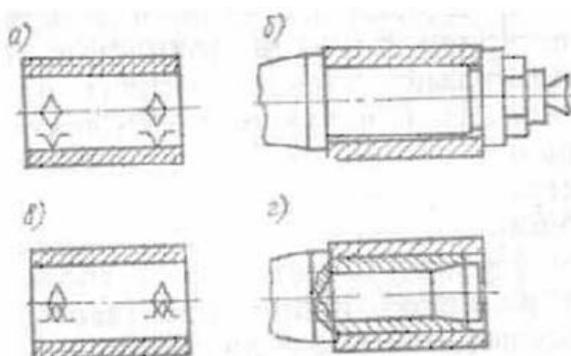


Рисунок 6.2 - Базирование втулки по материальной (явной) (а, б) и по условной (скрытой) (в, г) базам

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.

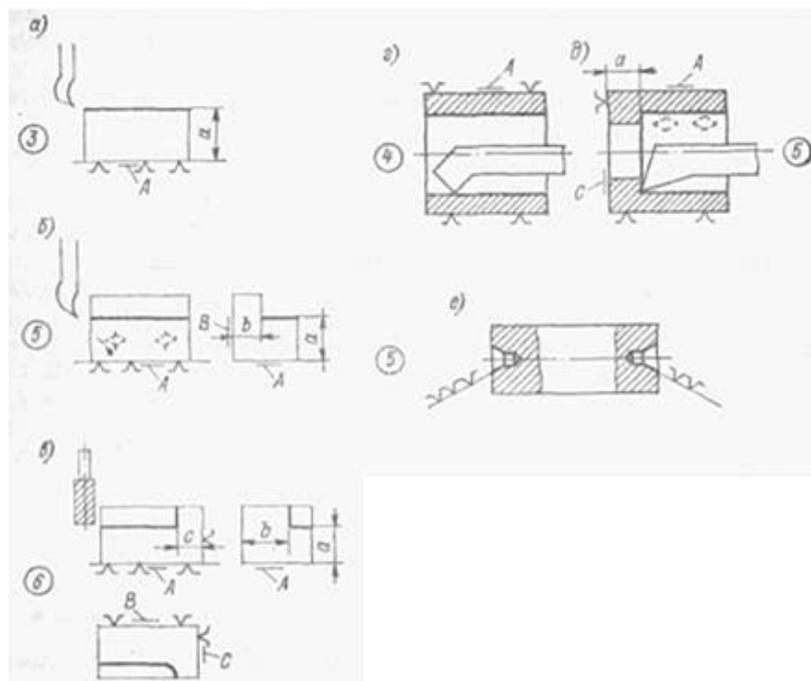


Рисунок 6.3 - Обработка заготовок при различном базировании

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 **B**, 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 **C**.

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.).

Настрочные 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 обрабатываемого инструмента. К таким поверхностям относятся контактные базы заготовки, что и предопределяет широкое их использование в крупносерийном производстве.

Таковыми 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).

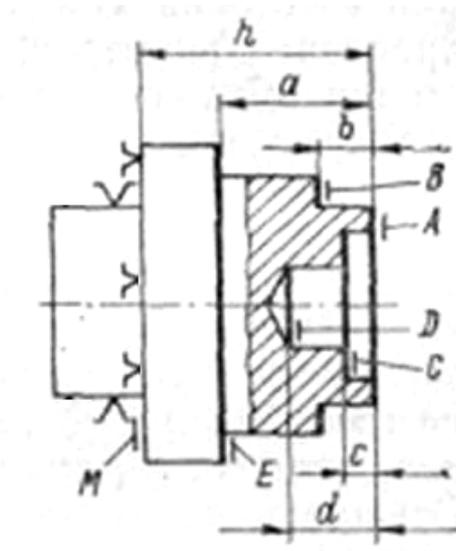


Рисунок 6.4 - Использование настроечной базы А при обработке заготовки на револьверном станке

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, многолезцовых 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 **A**, являющемуся основной конструкторской базой детали (рис. 6.5).

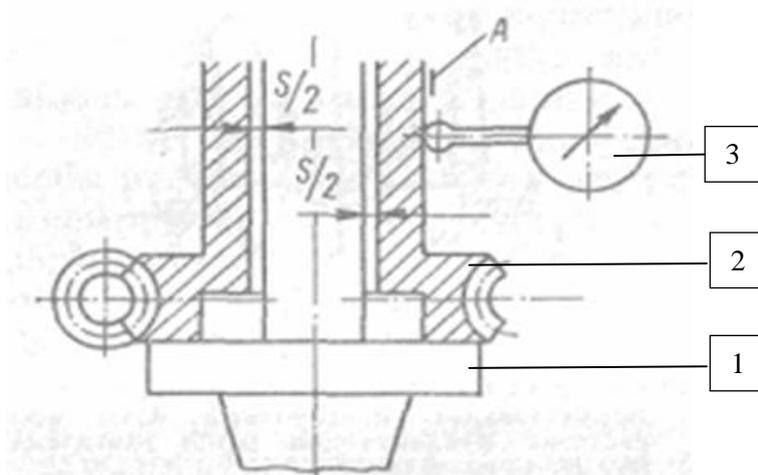


Рисунок 6.5 - Установка червячного колеса по проверочной базе

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 (эксцентricностью поверхности оправки, ориентирующей заготовку на станке по отношению к поверхности конуса оправки, которым она крепится в шпинделе зуборезного станка) и, наконец, эксцентricностью 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 10Н14 (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 с, 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).

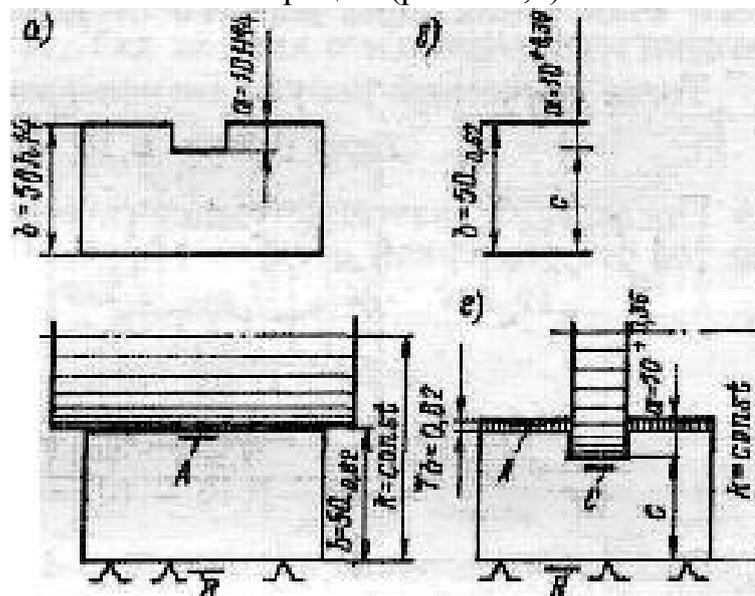


Рисунок 6.6 - Фрезерование паза от опорной технологической базы В, не совпадающей с конструкторской

Очевидно, что на операционном эскизе фрезерования паза в этом случае следует поставить технологический размер с, 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.

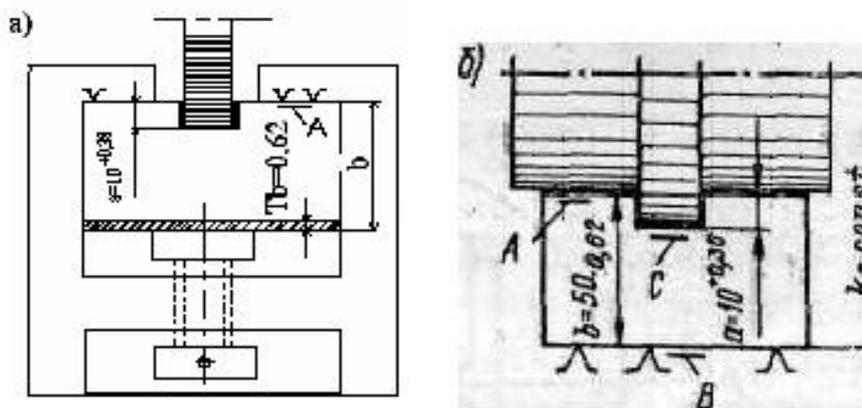


Рисунок 6.7 - Фрезерование паза от технологической базы А, совпадающей с конструкторской

Технологическая контактная база – плоскость А 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).

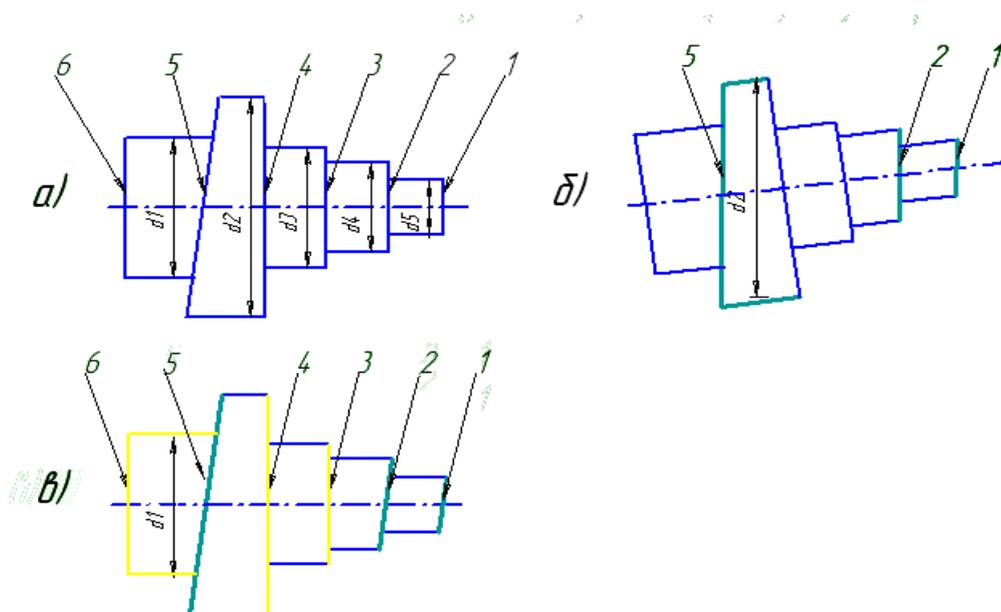


Рисунок 6.8 - Результат обработки при смене баз

На рисунке для наглядности не параллельность торцевых поверхностей **5** и **6** утрирована. Торцы **1** и **2** обрабатываем от базы, представляющей собой совокупность цилиндрической поверхности d_2 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 d_1 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).

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. Польшваный. – М.: Новый Центр, 2008 (Йошкар-Ола). – 359 с.
5. Максименко В.П. Производство металлических порошков и порошковых материалов: Учеб. пособие. СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2002, 101 с.
6. Максименко В.П. Процессы и операции формообразования Поверхностей заготовок и деталей: учеб. пособие/ В.П. Максименко.- СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2015.- 122 с.
7. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для вузов / А. А. Маталин. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
8. Основы технологии машиностроения: учеб. пособие / А. Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2010.
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.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

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.

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».

Валетов Вячеслав Алексеевич

Технологии изготовления деталей приборов

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел

Университета ИТМО

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

