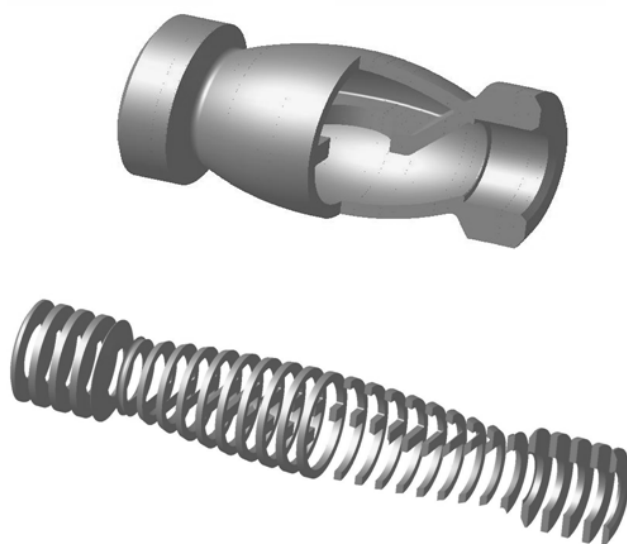


**В.А. Валетов
В.Б. Мурашко**

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



**Санкт - Петербург
2006**

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Санкт - Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики**

В.А. Валетов, В.Б. Мурашко

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие



Санкт - Петербург
2006

УДК 681.2

Валетов В. А., Мурашко В.А. Основы технологии приборостроения. / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006 – 180с.

Учебное пособие « Основы технологии приборостроения» предназначено для студентов всех специальностей направления «Приборостроения», в которых изучаются проблемы технологического характера. Для студентов специальностей 1901 и 1910 учебным планом предусматривается изучение дисциплины с таким названием. Кроме того, изложенные в данном учебном пособии технологии используются в процессе проектирования изделий.

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

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 551500 – Приборостроение и направлению подготовки дипломированных специалистов 653700 – Приборостроение.

© Санкт – Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2006

© В.А. Валетов, В.Б. Мурашко, 2006

Содержание

Введение	5
1. Структура ТПП	8
1.1. Основные понятия и определения	8
2. Изготовление заготовок деталей и приборов	9
2.1. Принцип выбора заготовительных технологий	9
2.2. Литейные технологии	9
2.3. Ковка и штамповка	18
2.4. Изготовление заготовок из проката	27
2.5. Порошковая металлургия	28
2.6. Изготовление изделий из пластмасс	30
3. Лезвийная обработка заготовок деталей	33
3.1. Общие сведения	33
3.2. Обработка на токарных станках	34
3.3. Обработка заготовок на сверлильных станках	40
3.4. Обработка заготовок на фрезерных станках	42
4. Абразивная обработка заготовок деталей	48
4.1. Характеристика метода шлифования	48
4.2. Схемы абразивной обработки	51
5. Электрофизические и электрохимические технологии изготовления деталей	60
5.1. Электроэрозионные технологии	60
5.2. Анодно-механическая обработка	64
5.3. Электрохимическая обработка заготовок	65
5.4. Электрофизические способы обработки	67
5.5. Светолучевая обработка	69
5.6. Электроннолучевая обработка материалов	71
5.7. Плазменная	71
6. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры	78
6.1. Кремний готовится уйти из электронного мира	79
6.2. Технологии настоящего и будущего	79
6.3. Струйная печать как способ изготовления электронных плат	81
7. Производственные и технологические процессы в приборостроении	85
7.1. Технологический процесс и его структура	91
7.2. Типы производств и их основные характеристики	85
8. Точность изготовления деталей приборов и методы ее обеспечения	90
8.1. Методы пробных ходов и промеров	91
8.2. Метод автоматического получения размеров на настроенных станках	93
8.3. Систематические погрешности обработки	95
8.4. Случайные погрешности обработки	100

8.5. Суммарные погрешности изготовления	109
8.6. Практическое применение законов распределения размеров для анализа точности обработки.....	112
8.7. Технологические размерные цепи.....	115
9. База и базирование в технологии приборостроения.....	117
9.1. База и опорные точки.....	117
9.2. Понятие о базах	123
9.3. Количество баз, необходимых для базирования, и их обозначения в технологической документации.....	128
9.4. Скрытые (условные) базы	130
9.5. Базирующая роль направленных зажимов	132
9.6. Конструкторские и технологические базы	136
9.7. Искусственные технологические базы.....	142
9.8. Дополнительные опорные поверхности	143
9.9. Назначение технологических баз	144
9.10. Принцип совмещения и (единства)баз.....	145
9.11. Принцип постоянства баз	148
10. Характеристики поверхностного слоя деталей приборов и технологии их обеспечения и контроля.....	151
10.1. Микрогеометрия поверхностей и ее оптимизация	151
10.2. Оптимизация технологических остаточных напряжений.....	157
10.3. Покрытия поверхностей деталей	163
11. Типовая технологическая документация и основные принципы ее разработки.....	171
11.1. Классификация технологических процессов	171
11.2. Оформление технологической документации	172
11.3. Концентрация и дифференциация операций.....	174
11.4. Проектирование единичных техпроцессов	175
Список литературы	178

Введение

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

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

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

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

200101- "Приборостроение";

200103- "Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы";

200107 - "Технология приборостроения".

Все эти специальности ориентированны, в основном, на разнообразные электромеханические приборы с электронными блоками обработки информации и

имеют в учебных планах базовый курс: "Основы технологии приборостроения" или его аналоги.

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 использующее 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 важной задачу отбора информации и определение степени глубины его изложения, которая, в свою очередь, меняется в зависимости от поставленных перед конструкторско-технологической подготовкой задач и количества выделенных на изучение 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.

1. Структура ТПП

Для лучшего понимания содержания учебного пособия в первом разделе целесообразно дать основные понятия, определения и термины, постоянно используемые в области технологии приборостроения.

1.1 Основные понятия и определения

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

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

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

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

Ответственной и трудоемкой частью технической подготовки производства является технологическое проектирование, трудоемкость которого составляет 30-40% (от общей трудоемкости подготовки производства) в условиях 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.

2. Изготовление заготовок деталей приборов

В данном разделе использованы материалы из учебника «Технология конструкционных материалов» под редакцией А.М. Дальского [3]

2.1 Принципы выбора заготовительных технологий

Детали приборов по размерам и форме, по конструкционным материалам и функциональному значению и т.п. чрезвычайно разнообразны. 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;
- принимать во внимание серийность производства.

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

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

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

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

2.2 Литейные технологии

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

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

На рисунке 2.1 представлен процесс заливки металла в форму.

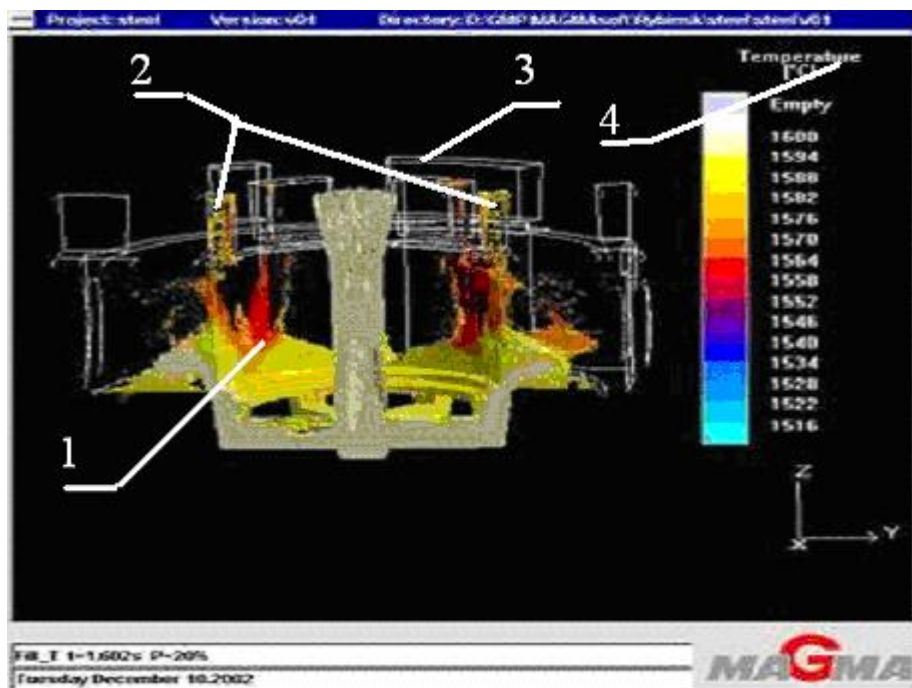


Рис. 2.1 Заливка металла в оболочковую форму

- 1 - заливаемый разогретый металл;
- 2 - места заливки металла;
- 3 - форма в которую заливают материал;
- 4 - температурная шкала процесса литья.

Многообразие литейных технологий не исключает однообразия основных технологических этапов:

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

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

Литье в песчано-глинистые формы. Это самый древний вид литья. При всей внешней простоте диапазон особенностей этой технологии настолько широк, что простирается от примитивной простоты и дешевизны до тончайшего совершенства, имя которому искусство.

Изготовление литейных форм по своей физической сущности аналогично строительству норки ребенком в песочнице. Ребенок кладет одну ручку на песок, засыпает ее сверху песочком, желательно влажным, и утрамбовывает его второй ручкой. После утрамбовки песка ручку из него ребенок вытаскивает и там остается "норка", по размерам и форме напоминающая его засыпаемую

песком ручку. В реальной технологии литья в землю вместо руки ребенка используется модель того изделия, которое будут отливать. Модели чаще всего изготавливают из дерева, реже- из пластмассы, еще реже- из металлических материалов.

В подавляющем большинстве случаев модели приходится изготавливать разъемными, при этом плоскости разъема чаще всего совпадают с плоскостями симметрии изделий.

Аналогичным образом изготавливают и модели литниковой системы "каналов", по которой расплавленный материал будет поступать в литейную форму. Половинки моделей, включая модели литниковой системы, укладывают плоскостями разъема на модельную плиту, на которую ставят и опоку- своеобразный "ящик" без дна и крышки и эту опоку заполняют специальной песчано-глинистой смесью(формовочной смесью).

Эту смесь утрамбовывают и опоки (верхнюю и нижнюю) с утрамбованной смесью вместе с половинками моделей переворачивают. Половинки моделей осторожно извлекают из утрамбованной смеси и в опоках остаются полуформы моделей и литниковой системы.

Для получения литейных форм достаточно соединить верхнюю и нижнюю опоки плоскостями, которые лежали на модельной плите.

Пример получаемой конструкции литейной формы показан на рисунке 2.2.

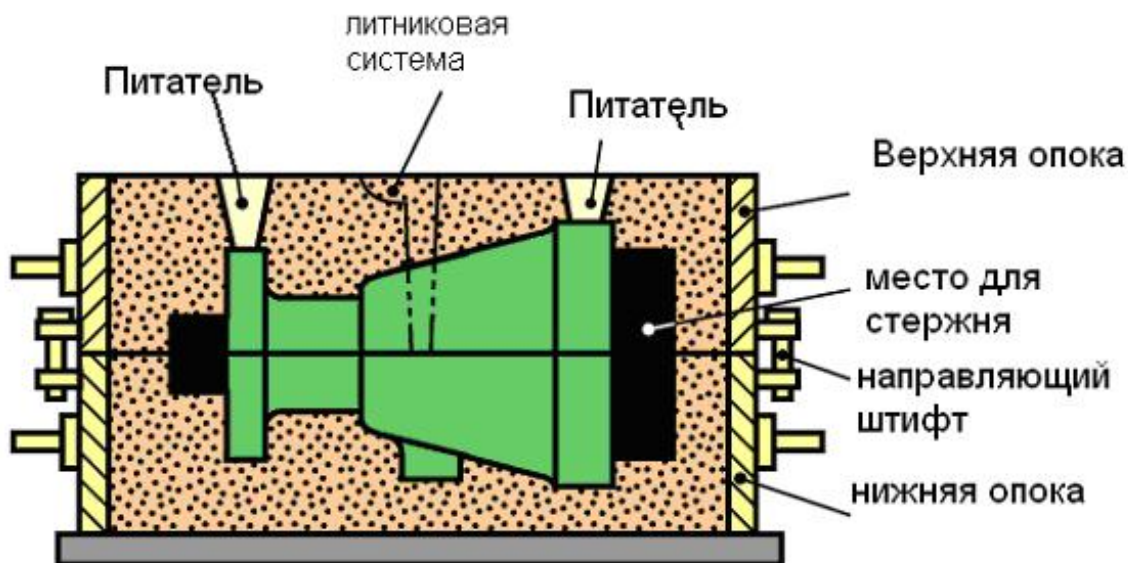


Рис. 2.2 Подготовленная для заливки форма(литье в землю)

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

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

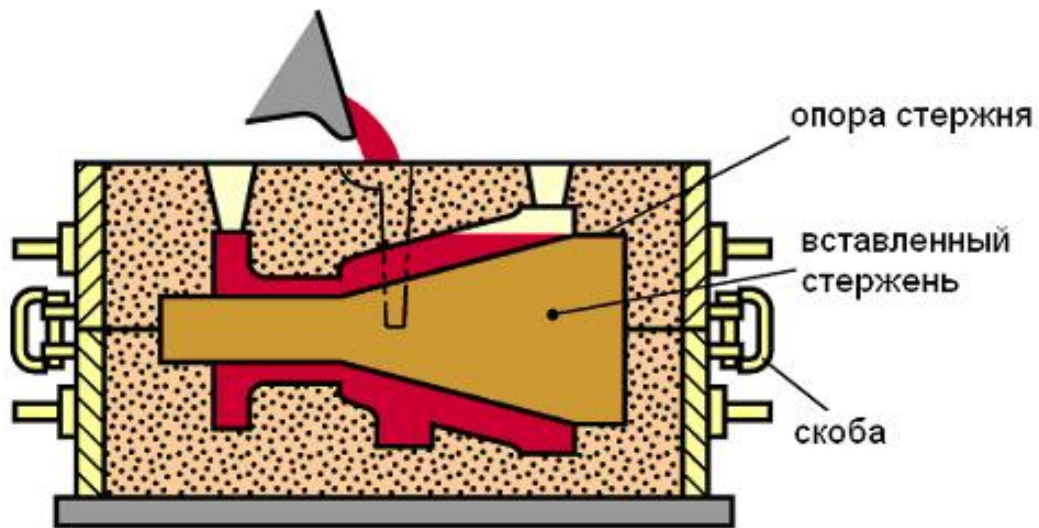


Рис. 2.3 Процесс заливки металла

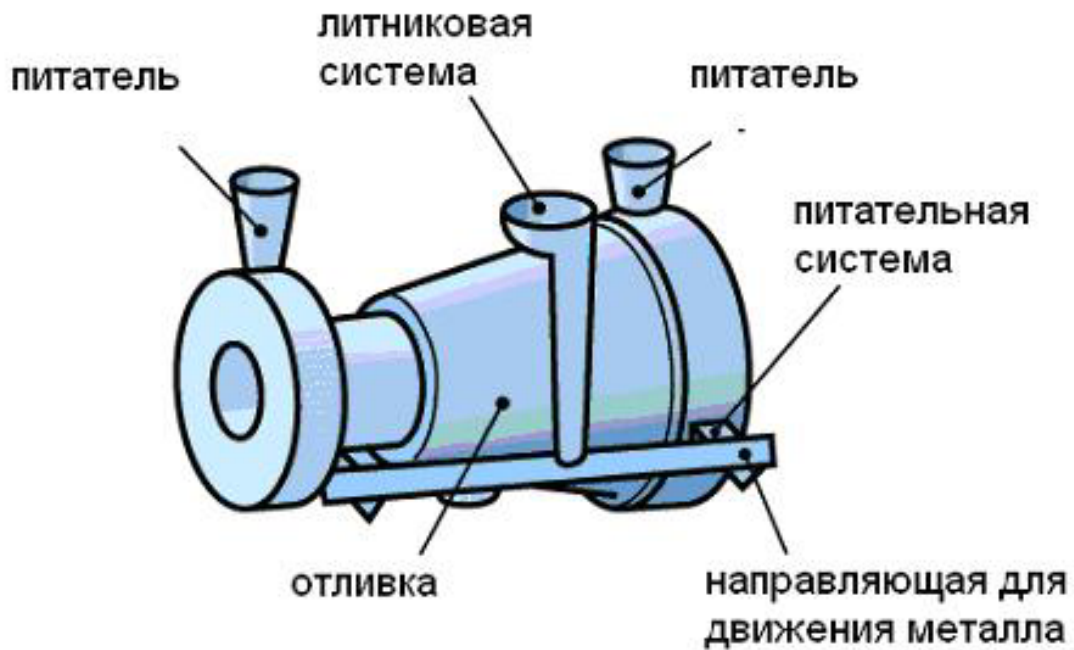


Рис. 2.4 Готовая отливка

Качественные отливки можно получить из тех конструкционных материалов, которые обладают хорошими литейными свойствами: прежде всего, высокой жидкотекучестью, малой усадкой, малой склонностью к образованию трещин и т.п.

Для производства отливок чаще всего используют сплав черных металлов:

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

В расплавленном состоянии металлы и сплавы могут поглощать значительное количество различных газов как из окружающей среды, так и из материала песчано-глинистых форм и стержней, что является причиной образования раковин и пористости.

Поэтому расплавленный конструкционный материал перед его заливкой в форму целесообразно подвергать дегазации путем вакуумирования, а влажность форм и стержней должна быть предельно низкой.

Заполнение литейной формы расплавленным материалом производится из ковшей различного конструктивного исполнения. При этом очень важную роль играет температура расплавленного материала.

Ее повышение улучшает жидкотекучесть материала и заполняемость литейной формы, но одновременно это повышает газонасыщенность и окисляемость материала, а также затрудняет процесс регулировки охлаждения материала в форме. В среднем рекомендуется заливать расплавленный материал при температуре на 100-150 градусов Цельсия выше температуры Ликвидуса.

Литье по выплавляемым моделям. Само название технологии раскрывает ее суть. 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. Затем все это помещают в печь или кипяток, где легкоплавкий материал моделей расплавляется и вытекает из форм и они помещаются в печь для прокаливания. Получается прочная, но хрупкая оболочка, в которую заливают расплавленный материал, а после затвердевания отливки форма легко разрушается от небольшой динамической нагрузки, например, от удара молотком или от большого 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- 170x120x75 мм, min- 5x5x5 мм Вес отливок: max- 25 кг, min- 0.03-0.04 кг. На рисунке 2.5 представлены фрагменты технологии 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. На рисунке 2.6 показаны образцы отливок, получаемые этим методом

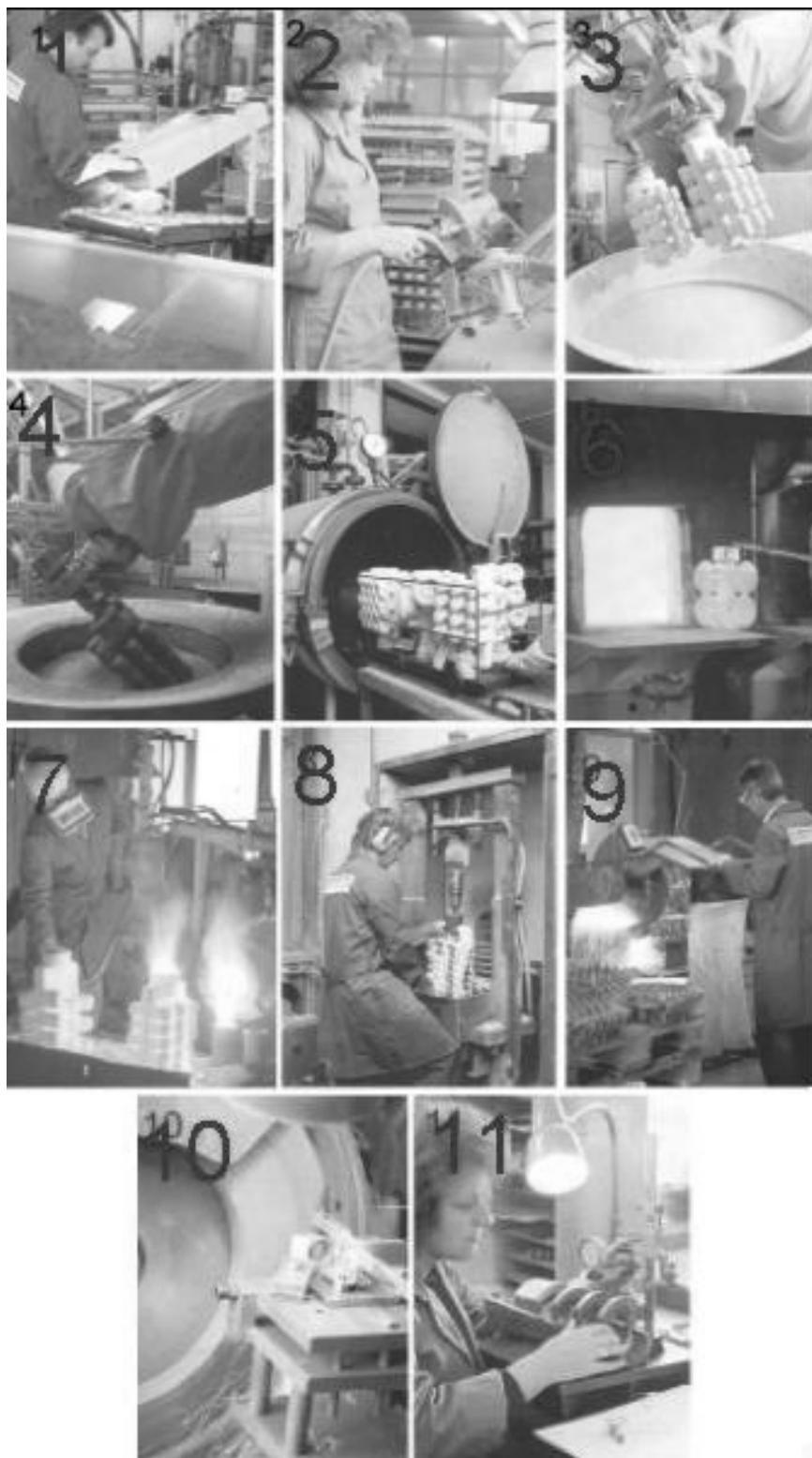


Рис. 2.5 Этапы получения заготовок с помощью литья по выплавляемым моделям



Рис. 2.6 Образцы отливок, полученных литьем по выплавляемым моделям

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

Литье в кокиль. Кокиль - это металлическая форма многократного использования, что обеспечивает достаточно высокую производительность процесса, но требует гораздо больших затрат на ее изготовление.

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

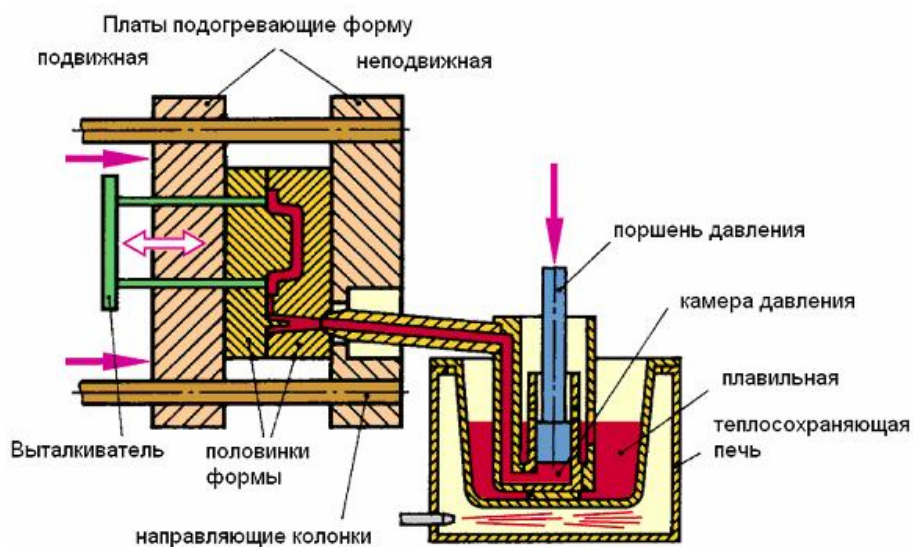


Рис. 2.7 Процесс литья под давлением с вертикальной системой давления

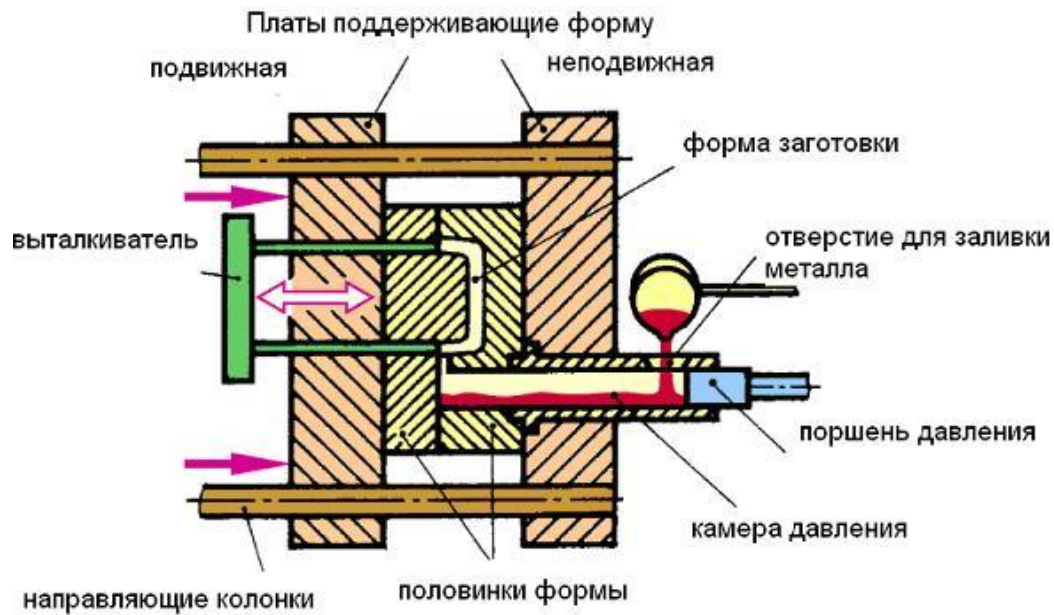


Рис. 2.8 Литье под давлением с горизонтальной системой давления

Образцы отливок из алюминиевых и цинковых сплавов, полученных литьем под давлением, показаны на рисунке 2.9. Габариты отливок: max- 300x400x100 мм min- 30x50x10 мм

Вес отливок: max- 15 кг min- 0.1 кг.



Рис. 2.9 Образцы отливок, полученных литьем под давлением

В практике наибольшее применение нашли следующие процессы литья под давлением: литье под низким давлением, литье под низким давлением с проти-

водавлением, литье вакуумным всасыванием, литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением (вакуумно - компрессионное литье).

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

Непрерывно-циклическое литье намораживанием. Этот вид литья представлен на рисунке 2.10.

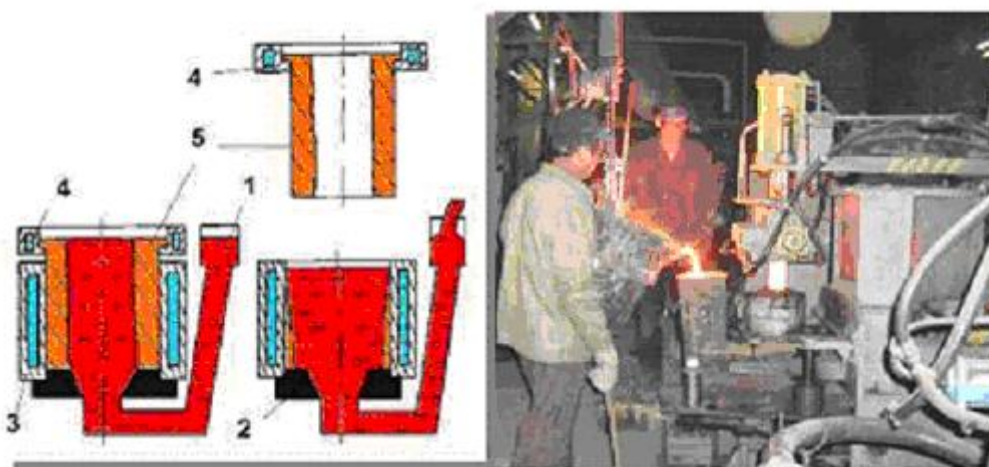


Рис. 2.10 Непрерывное - циклическое литье намораживанием

1- заливочная чаша; 2- соединительный элемент; 3- неподвижный кристаллизатор; 4 – подвижный кристаллизатор.

Данная технология предназначена для получения полых цилиндрических литых заготовок мерной длины из специальных износостойких чугунов (СЧ - серого с пластинчатым графитом; ВЧШГ - высокопрочного с шаровидным графитом; БВХЧ - белого высокохромистого с карбидами тригонального типа), а также бронз. Она позволяет в непрерывно-циклическом режиме получать отливки с заранее заданными структурой и физико-механическими свойствами за счет направленного затвердевания и термообработки, объединенных в единый технологический процесс. Процесс литья включает заполнение стального водоохлаждаемого кристаллизатора расплавленным металлом снизу, выдержку для формирования отливки и ее извлечение из кристаллизатора вверх с одновременным доливанием новой порции расплава. Подача металла в кристаллизатор производится с использованием разового металлопровода, футерованного огнеупорным материалом. Процесс выполняется в непрерывно-циклическом режиме, темп которого задается скоростью затвердевания в кристаллизаторе отливки требуемой толщины. Полуавтоматическая литейная установка позволяет в непрерывном режиме разливать без переналадки до 2500 кг металла.

2.3 Ковка и штамповка

2.3.1. Ковка

Ковка - вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью специального инструмента. На рисунке 2.11 представлена схема механической ковки.

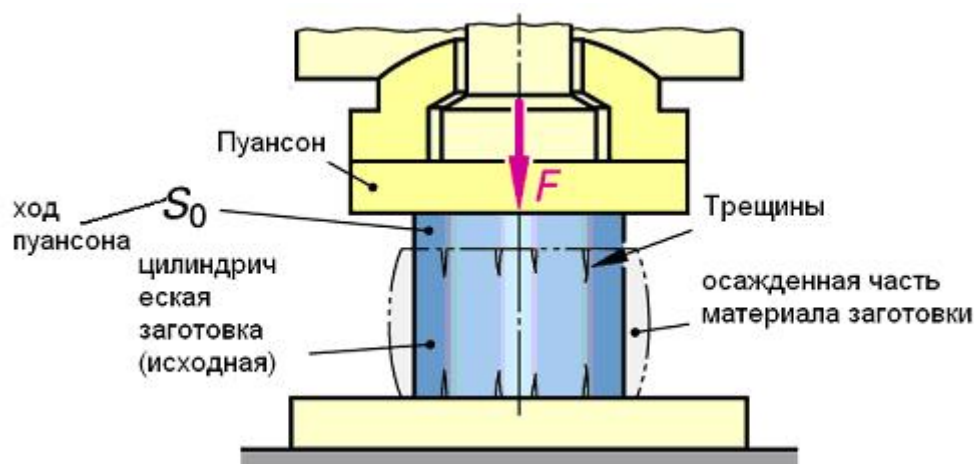


Рис. 2.11 Процесс ковки

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

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

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

Ковка является единственным возможным способом изготовления тяжелых поковок до 250т типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т.д., поэтому в приборостроении применяется редко. Поковки меньшей массы можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производствах ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовления специального инструмента штампа при небольшой партии одинаковых поковок экономически не выгодно. Исходными заготовками для ковки 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:

$$Y = \frac{F_n}{F_k}$$

где F_n - начальная площадь поперечного сечения,

F_k - конечная площадь поперечного сечения.

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 рисунке 2.13 показана классическая схема вытяжки листового материала.

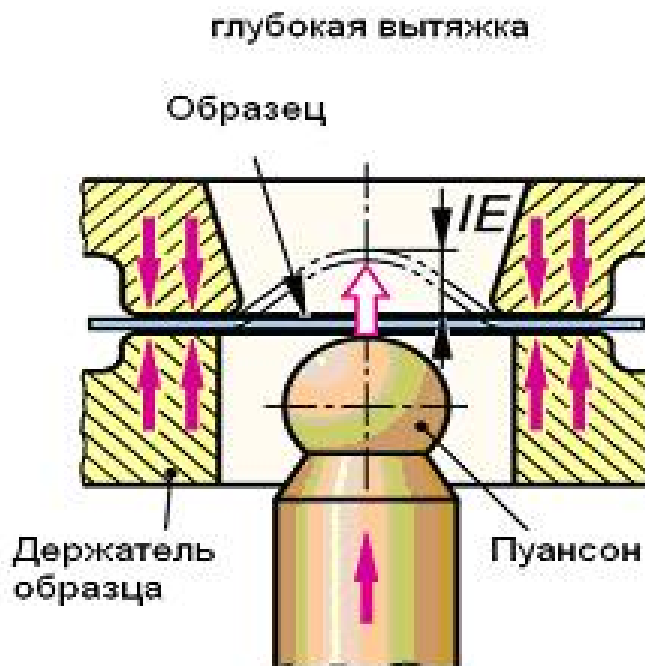


Рис. 2.13 Схема вытяжки листового материала

3. Раскат 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 поволоков 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 несколько коротких, а также для удаления излишков металла на концах поволоков.

Гибка - операция придания заготовке изогнутой формы по заданному контуру. Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны и т.п. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в зоне изгиба, называемым утяжкой. Для компенсации утяжки в зоне изгиба заготовке придают увеличенные поперечные размеры. При гибке возможно образование складок по внутреннему контуру и

трещин по наружному. Во избежание этого явления по заданному углу изгиба подбирают соответствующий радиус скругления. (см. рис 2.14)

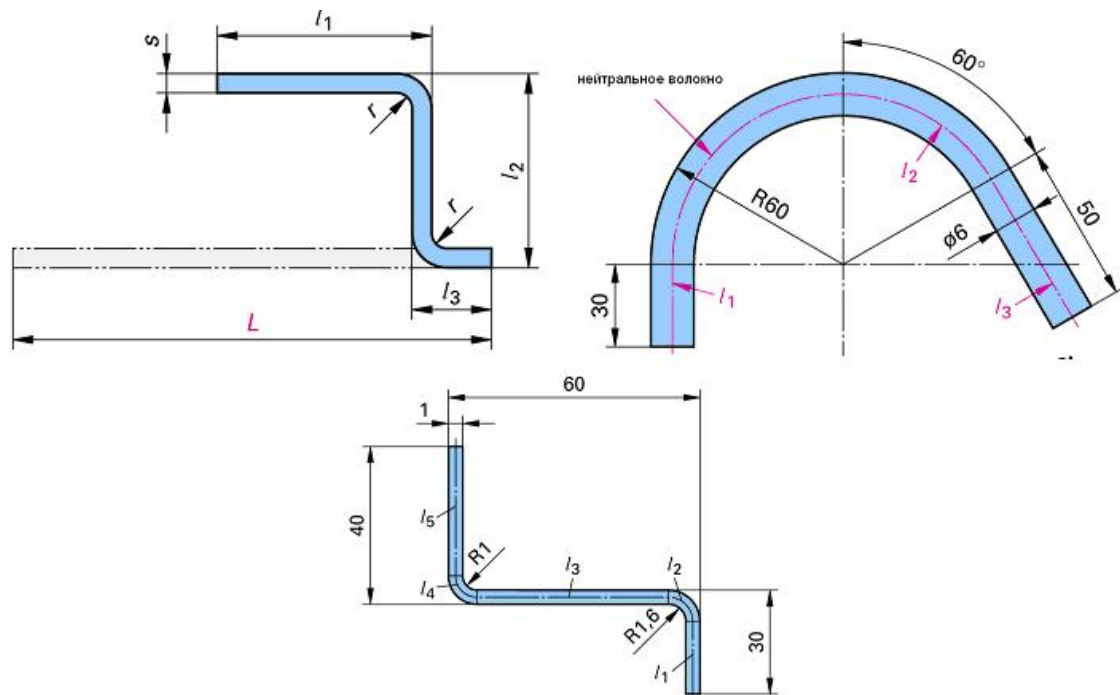


Рис. 2.14 Образцы заготовок, полученных в процессе гибки

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

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

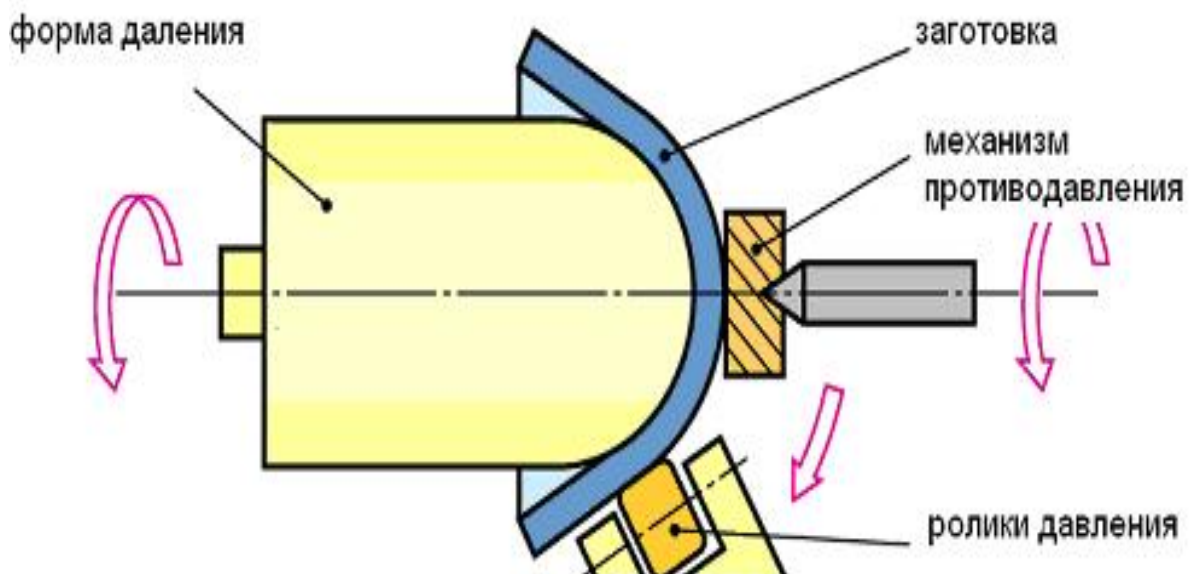


Рис. 2.15 Гибка заготовки с заданными параметрами

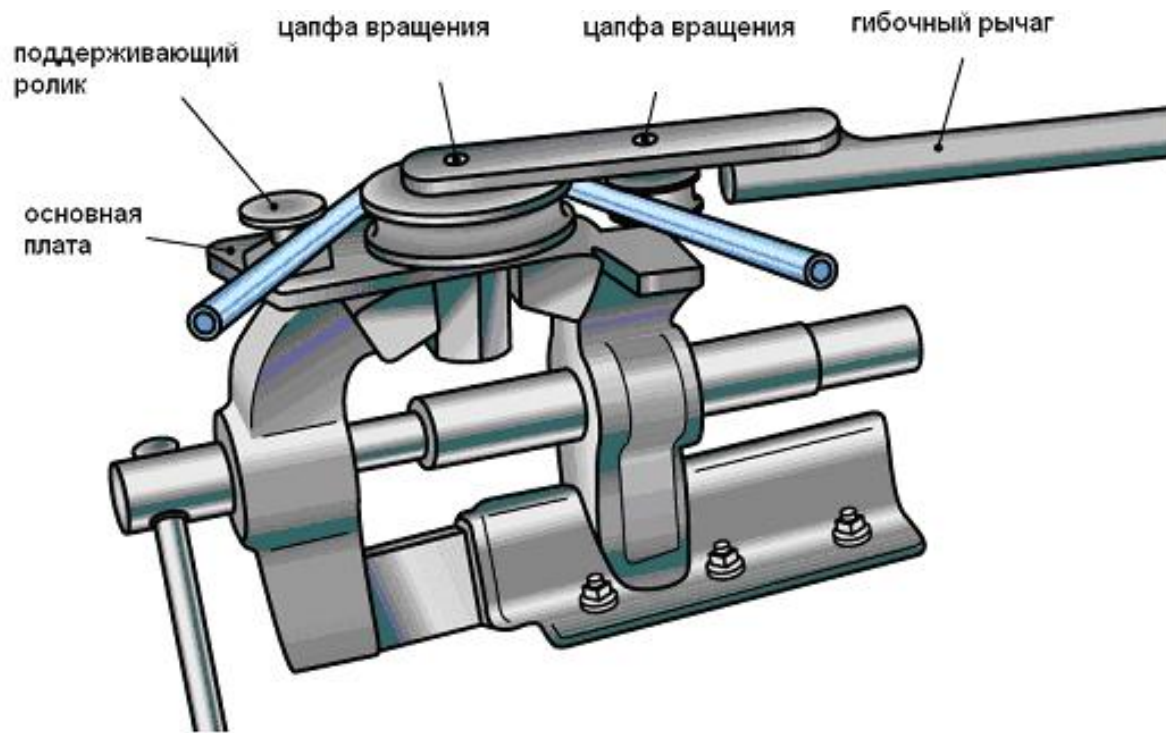


Рис. 2.16 Устройство для гибки труб

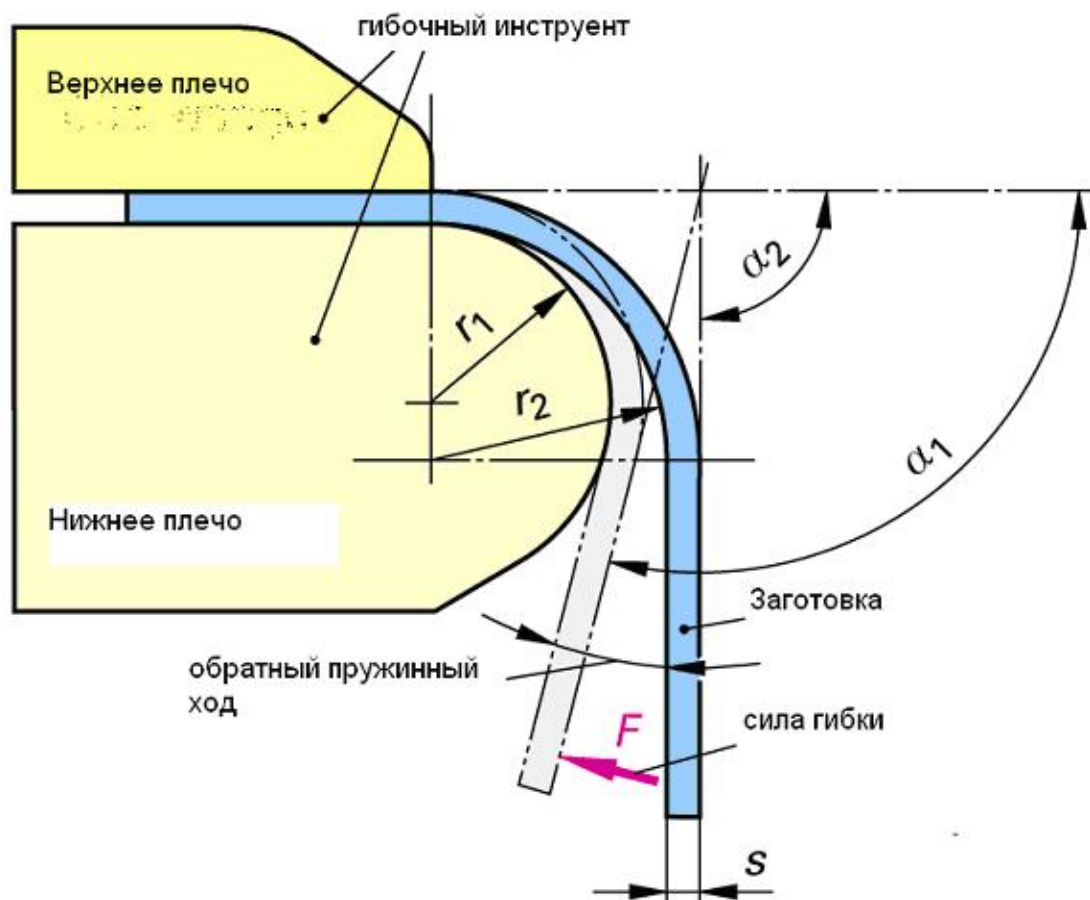


Рис. 2.17 Процесс гибки прутка

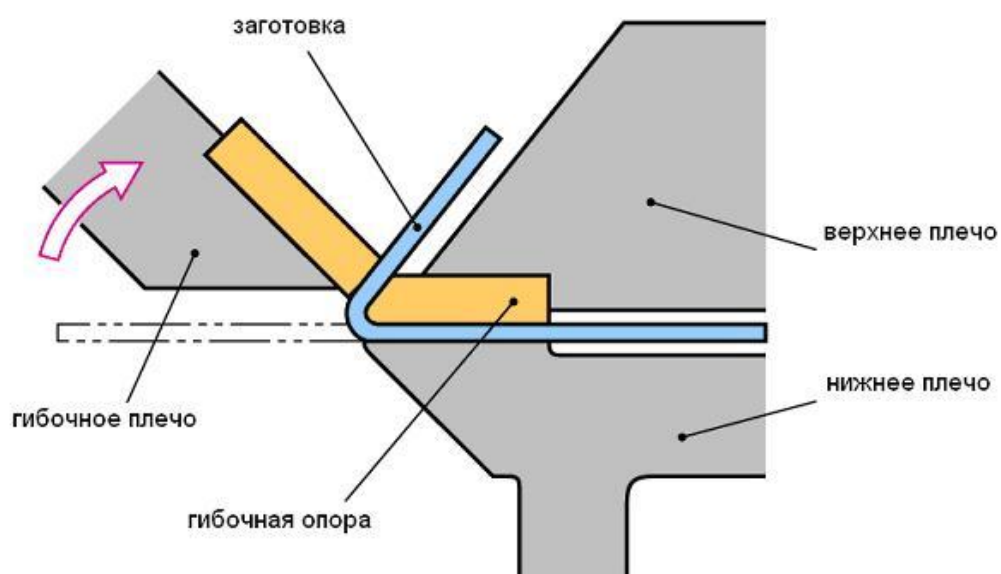


Рис. 2.18 Процесс гибки листового материала

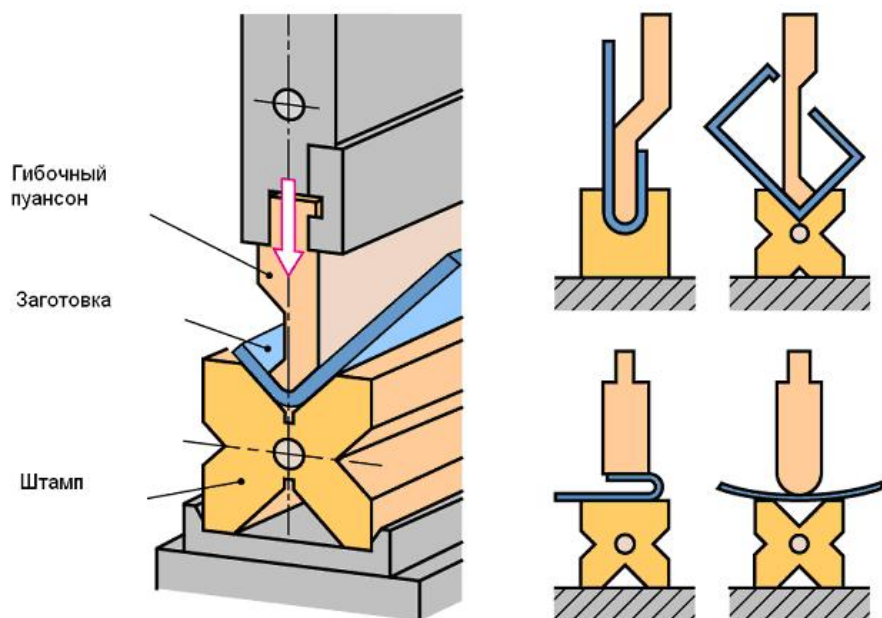


Рис. 2.19 Гибка листового материала, получение изгибов различной формы

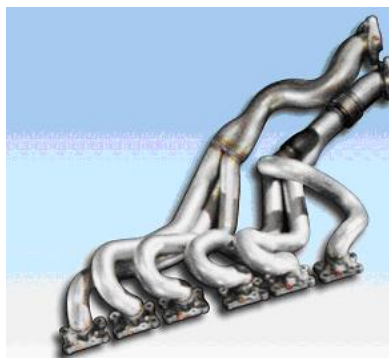


Рис. 2.20 Результат гибки труб



Рис. 2. 21 Результат гибки

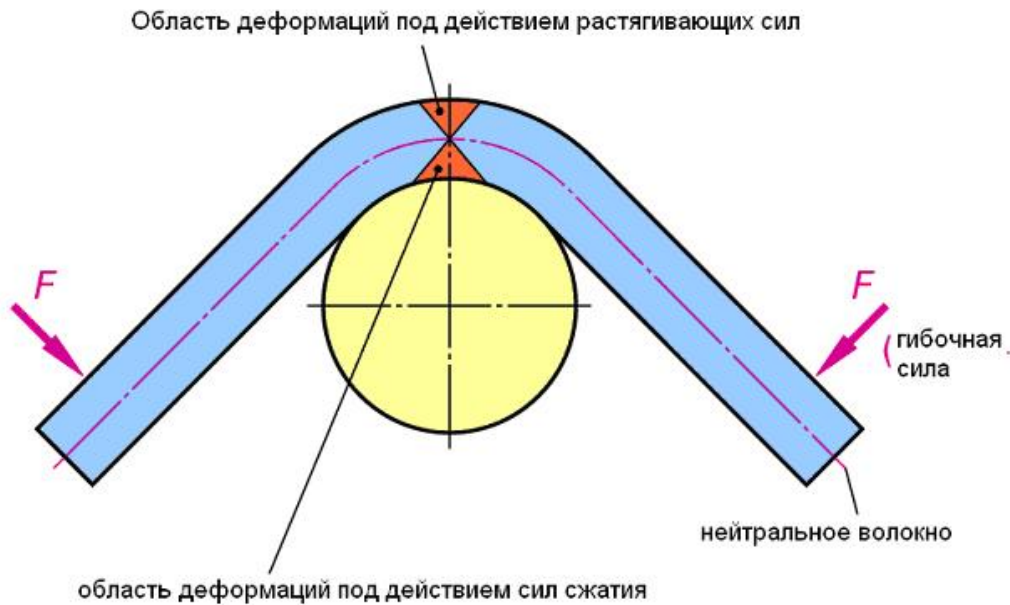


Рис. 2.22 Процесс гибки цилиндрических изделий

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

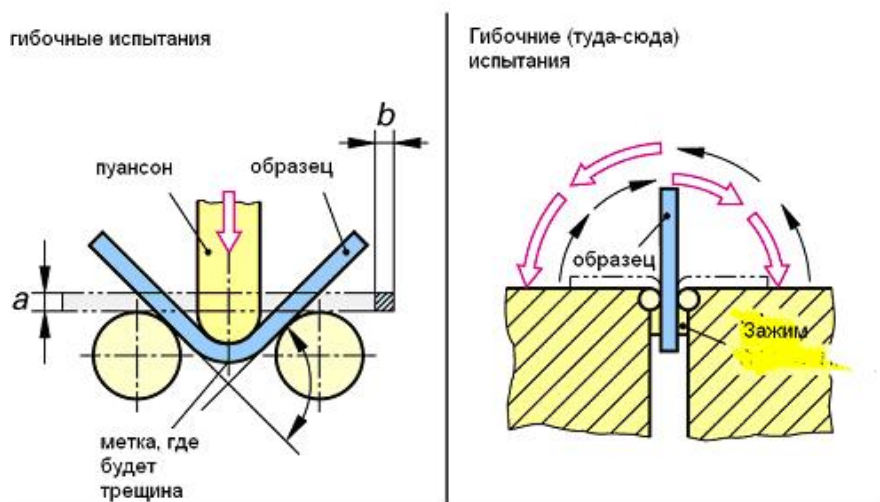


Рис. 2.23 Схемы испытаний образцов на изгиб

2.3.2 Штамповка

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

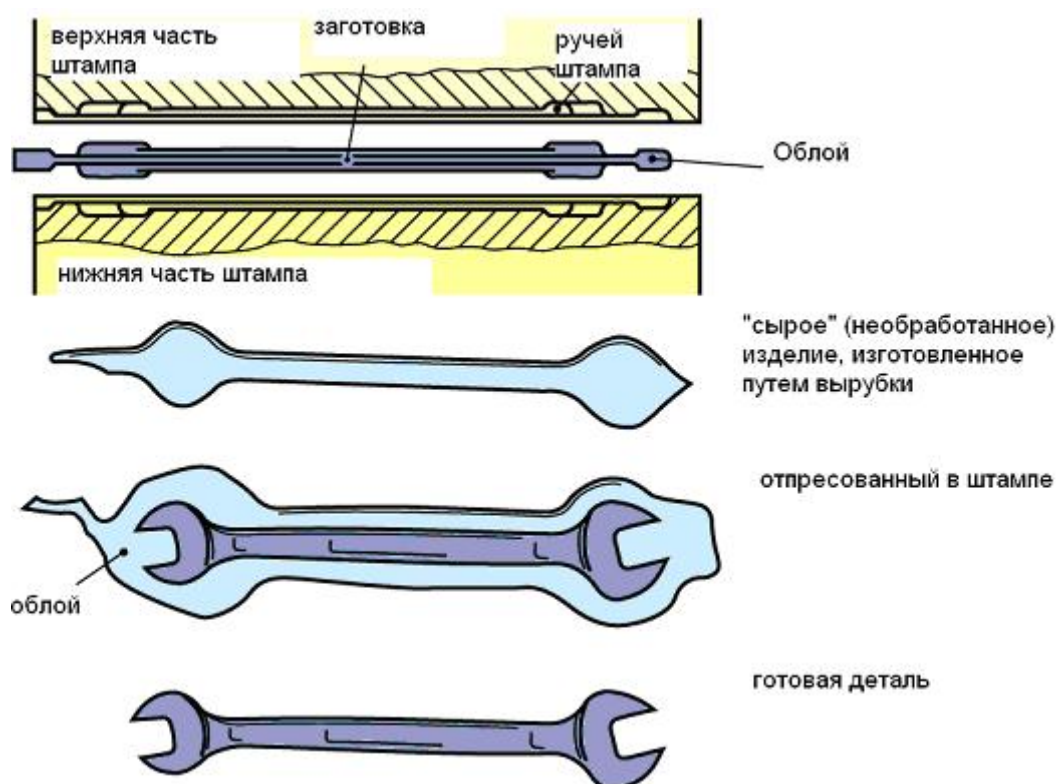


Рис. 2.24 Процесс штамповки гаечного ключа

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. В следствие 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.

Производительность штамповки значительно вышековки.

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

Есть два способа горячей объемной штамповки:

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

Холодная штамповка.

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

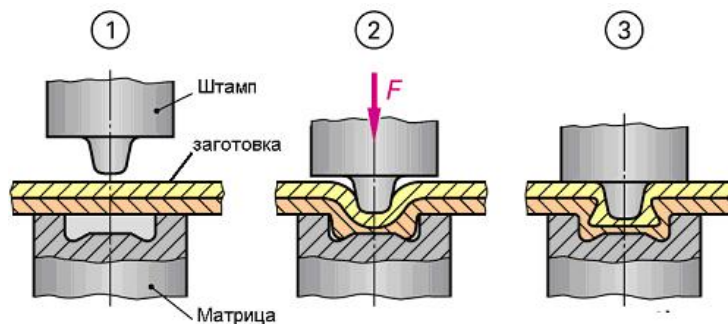


Рис. 2.25 Листовая штамповка. 1,2,3 – стадии процесса

Такое подразделение целесообразно потому, что характер деформирования, применяемые операции и конструкции штампов для объемной и листовой штамповкой 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 рисунке 2.26 – а изображена фотография гидравлического пробивного пресса, а на рисунке 2.26 – б, в, показаны образцы результатов работы пресса.

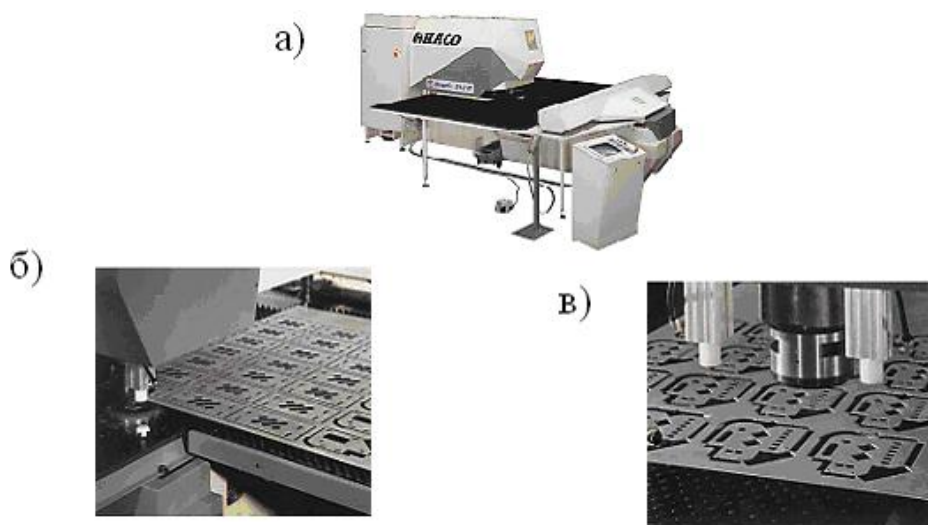


Рис 2.26 Гидравлический координатно-револьверный пробивочный пресс с ЧПУ фирмы HACO (Бельгия) модели Otatic 212 RH и образцы пробивки на прессе

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 тавровые профили и т.д.) круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5-250 мм; шестигранную - с диаметром вписанного круга 6 -100мм; полосовую - шириной 10-200 мм и толщиной 4-60мм.

Листовой прокат - из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жечь и т.д. Расширяется

производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовыми покрытиями.

Трубы - разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30 - 650мм с толщиной стенки 2- 160мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные - диаметром 5 - 2500мм с толщиной стенки 0.5 - 16мм из углеродистых и низколегированных сталей. К специальным видам проката - относятся колеса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки. Получение заготовок деталей из прокатных профилей сводится к отрезке от подходящего проката требуемой для заготовки его длины.

2.5 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 добав-

ляют необходимое количество порошка требуемой зернистости из так называемого "летучего" материала, который при спекании испаряется, оставляя на своем месте поры. Пористые сплавы нашли широчайшее применение в технике, в частности, для изготовления металлических фильтров. Прессование порошковой смеси можно производить в обычных штампах, но в связи с широким распространением этой технологии на рынке появилось и специальное оборудование. В качестве примера, на рисунке 2.27 показаны специальные прессы фирмы "TITANO".

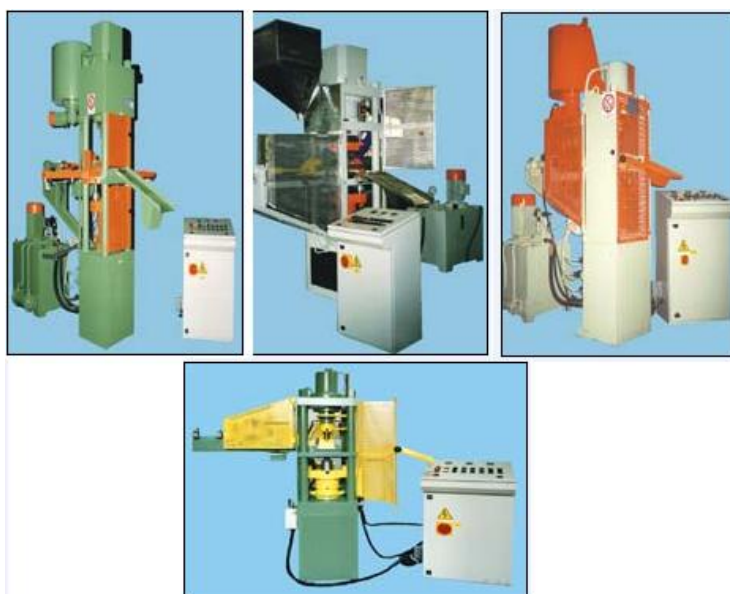


Рис. 2.27 Прессы серии "TITANO" (усилие от 30 до 300 тонн)

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



Рис. 2.28 Оборудование для спекания спрессованной порошковой смеси

Это оборудование используется для получения твёрдых металлов и металлических сплавов. На следующем рисунке показаны некоторые изделия порошковой металлургии.



Рис. 2.29 Изделия, полученные прессованием порошков

2.6 Изготовление изделий из пластмасс

Пластмассы в настоящее время получили столь широкое распространение во многих областях техники и особенно в приборостроении, что производство самих пластмасс и изделий из них превратилось в большую специальную область науки и техники. Мы здесь не ставим задачу подробного освещения этой области, что просто не реально в рамках данного учебного пособия, однако необходимо показать принципиальные возможности использования пластмасс в приборостроении. Наиболее распространены технологии изготовления изделий из пластмассы путем их прессования в разнообразных прессформах. Типовые конструкции прессформ показаны на рисунке 2.30. Примером современного оборудования, используемого для изготовления изделий из пластмасс является конструкция, изображенная на рисунке 2.31.

Это оборудование обладает следующими возможностями:

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

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

Огромное многообразие пластмасс принято делить на две группы: термопластические(термопласты) и термореактивные(реактопласты). Принципиальное отличие их состоит в том что первые при нагреве размягчаются и разжижаются, позволяя получать из них в пресс-формах изделия самого разного назначения. При этом, такие пластмассы можно многократно нагревать и использовать для изготовления других изделий без существенного изменения их свойств.

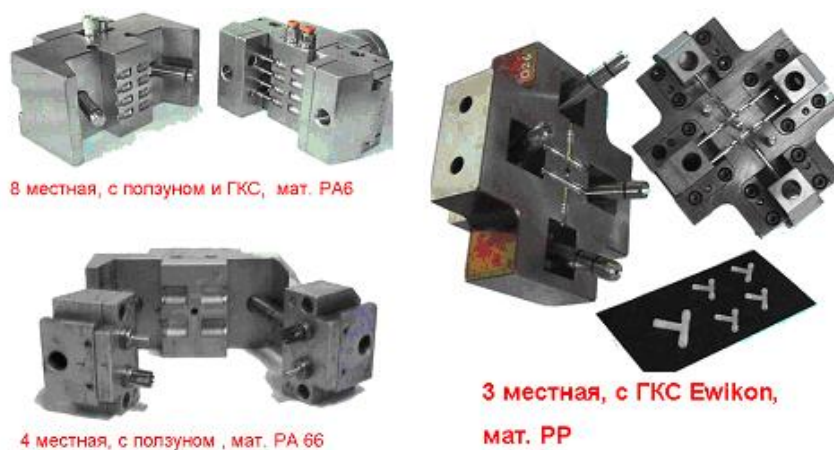


Рис. 2.30 Виды прессформ для изготовления деталей из пластмасс



Рис. 2.31 Оборудование фирмы BABYPLAST для изготовления деталей из пластмасс



Рис. 2 .32 Цех изготовления деталей из пластмасс

Вторые - это многокомпонентные вещества, компоненты которых вступают в химическую реакцию, в результате которой происходит отверждение материа-

ла. При повторном нагревании эти материалы не расплавляются, а горят т.е. являются материалами однократного использования. Изделия, изготовленные из реактопластов, после прекращения их использования необходимо утилизировать по специальным технологиям. На рисунке 2.33 показаны образцы изделий, изготовленные из различных пластмасс.



Рис. 2.33 Примеры деталей из пластмассы

3. Лезвийная обработка заготовок деталей приборов

В данном разделе использованы материалы технического университета Ильменау (Германия), а также материалы из Internet.

3.1 Общие сведения

Лезвийная обработка заготовок или обработка резанием с точки зрения формальной логики является варварским процессом. По приближенным статистическим данным в стружку перегоняется до 40 % всех выплавляемых в мире металлов и сплавов.

С учетом стоимости современного оборудования инструментов, приспособлений, производственных помещений, выплачиваемых зарплат и затрат времени определение "варварский" вполне заслуженное. Однако до настоящего времени человечество не придумало технологии, которая бы позволяла обеспечивать геометрическую точность и качество поверхности деталей, 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.

Физическая сущность процессов резания, а также конструкции станков и инструментов изучается 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.

Движение 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 рисунке 3.1.а показаны углы, лежащие в глав-

ной секущей плоскости, а на рисунке 3.1.б схемы среднестатистических изменений этих углов по величине.

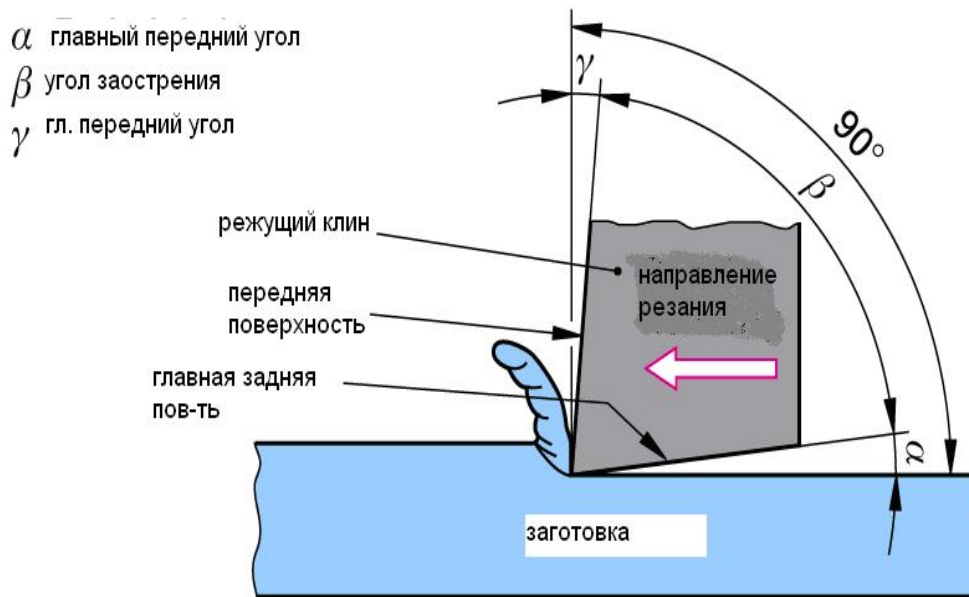


Рис. 3.1 Геометрия режущего клина

а) углы режущего клина лежащего в главной секущей плоскости; б) среднестатистические пределы изменения углов, лежащих 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 3х видов станков: токарных, сверлильных и фрезерных. Остальные типы станков, при общности теории резания, призваны решать сравнительно узкие, специфические задачи. Вся лезвийная обработка характеризуется 3-мя параметрами режима резания: скоростью резания, подачей и глубиной резания. Под скоростью резания принято понимать скорость относительного перемещения точек режущего лезвия инструмента и материала заготовки. Обозначается скорость резания через V , классическая размерность - метр/сек, однако в технологической практике чаще используют размерность м/мин. Под подачей понимают скорость перемещения инструмента или заготовки, обеспечивающего непрерывность снятия стружки. Обозначается подача буквой S , наиболее распространенные размерности м/мин, мм/мин, мм/об, мм/1 зуб, мм/1 дв. ход. Эти размерности охватывают практически все виды классической лезвийной обработки. Под глубиной резания понимают расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренные по перпендикуляру к последней. Обозначается глубина резания буквой T и измеряется в мм.

3.2 Обработка заготовок на токарных станках

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



Рис. 3.2 Токарный станок с ЧПУ

3.2.1 Формы обработанных поверхностей

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

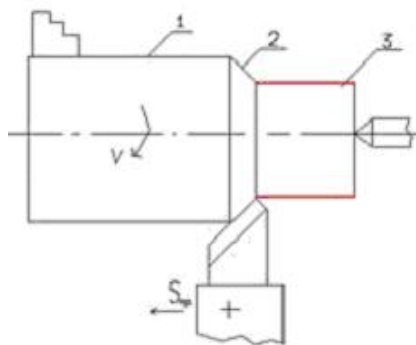


Рис. 3.3 Точение цилиндрической заготовки

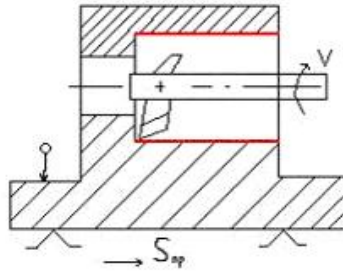


Рис 3.4 Растачивание внутреннего отверстия

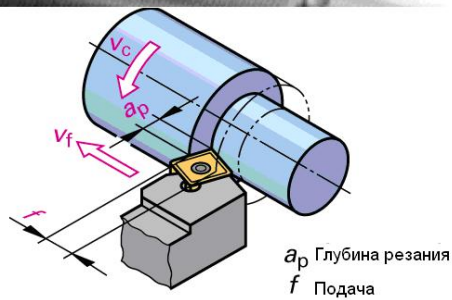


Рис. 3.5 Точение цилиндрического вала

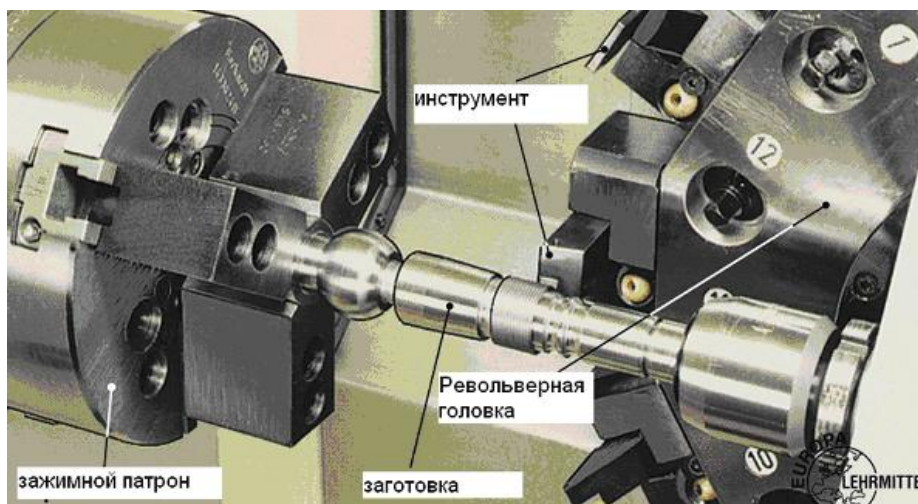


Рис. 3.6 Обработка на токарном станке с использованием многоинструментального барабана

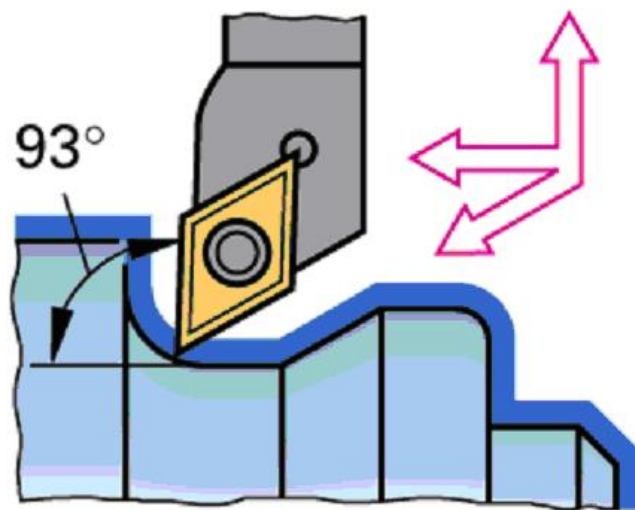


Рис. 3.7 Точение скруглений за счет совмещения подач

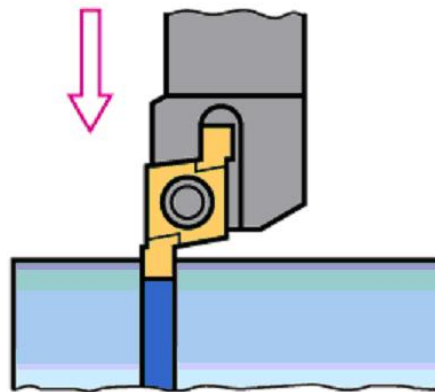


Рис. 3.8 Процесс протачивания канавок

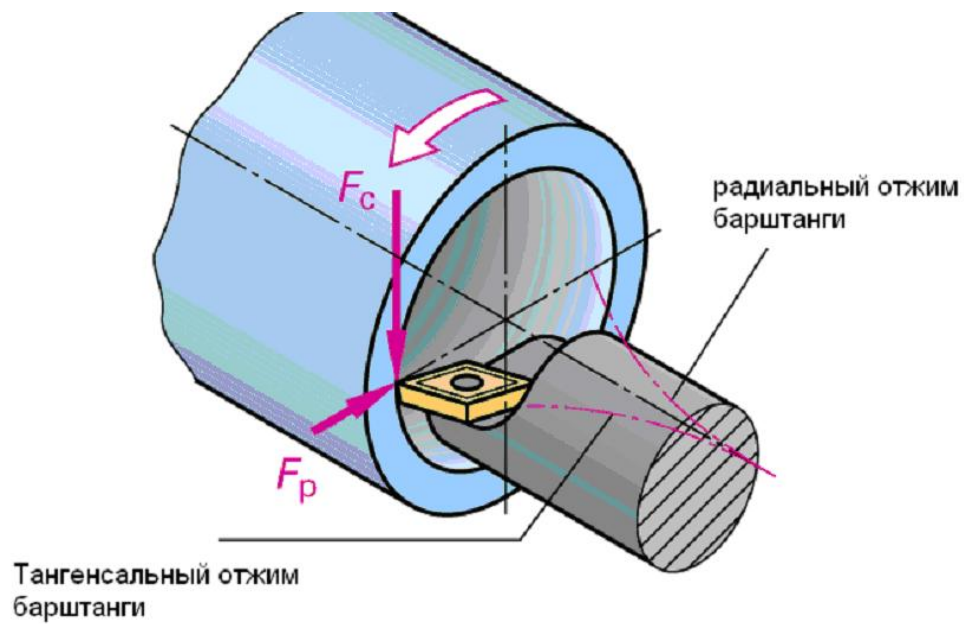


Рис. 3.9 Процесс расточки отверстия

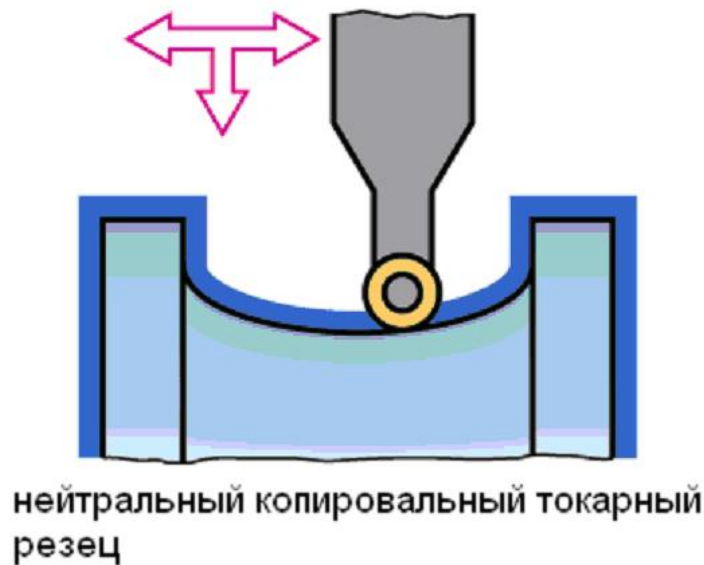


Рис. 3.10 Обработка фасонных поверхностей

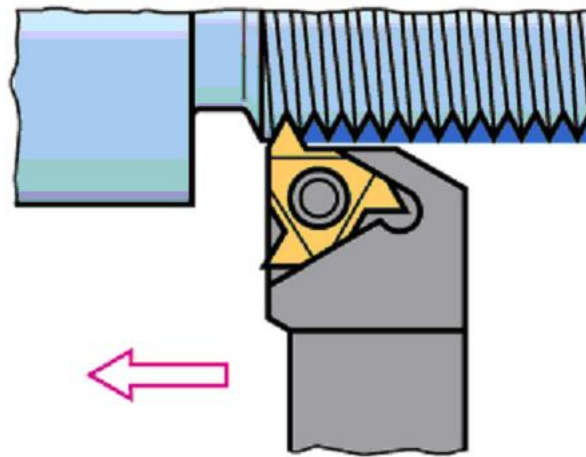


Рис. 3.11 Нарезка резьбы на токарном станке

3.2.2 Геометрическая точность обработанных поверхностей

Говоря о геометрической точности обработанных поверхностей целесообразно различать так называемую среднеэкономическую точность и максимально возможную точность. Под среднеэкономической точностью принято понимать такую, которая обеспечивается при использовании оборудования нормальной точности, рабочих средней квалификации с приемлемыми производительностью и себестоимостью изготовления изделий. Возможности современных токарных станков столь многообразны, что среднеэкономическую геометрическую точность можно оценить лишь приблизительно, при чем 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 R_a .

Следует так же отметить, что вышеперечисленные факторы, влияющие на шероховатость обработанных на токарных станках поверхностей, позволяют в широких пределах изменять не только высотные параметры шероховатости, но и геометрическую структуру микрорельефа в целом.

3.2.4 Себестоимость и производительность токарной обработки

Очевидно, что речь может идти не о конкретных себестоимости и производительности, выраженных количественно с указанием размерности, а о сравнительной оценке этих характеристик для различных видов лезвийной обработки. С этой точки зрения токарная обработка является предпочтительной для получения цилиндрических и конических поверхностей, в основном наружных и в известной степени внутренней. Безусловное предпочтение следует отдавать токарной обработки 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 таблице 3.1 приведены его технические характеристики.



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

Таблица 3.1

Основные технические характеристики.	
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 X 520
Максимальная загрузка стола, кг	700
Характеристики координатных осей	
Скорость быстрой подачи(X,Y и Z), м/мин	30

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 рисунках 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.

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 обеспечивают 12 - 14 квалитет и шероховатость поверхностей от единиц до десятков мкм по параметру Rz. Для повышения гео-

метрической 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.

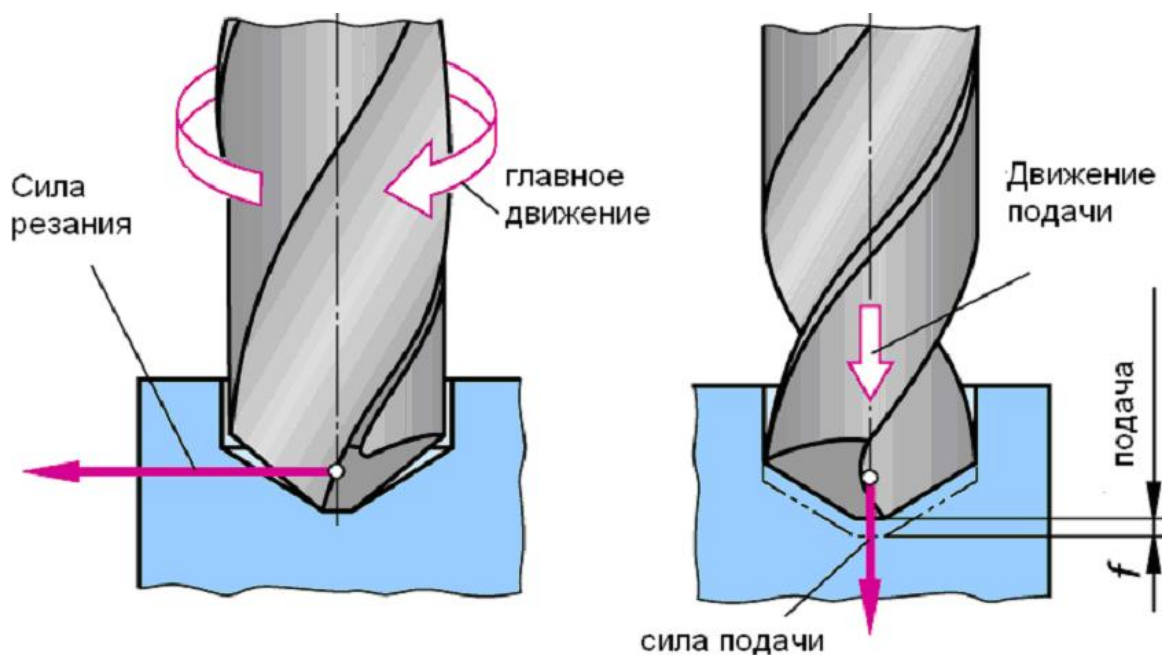


Рис. 3.13 Процесс сверления

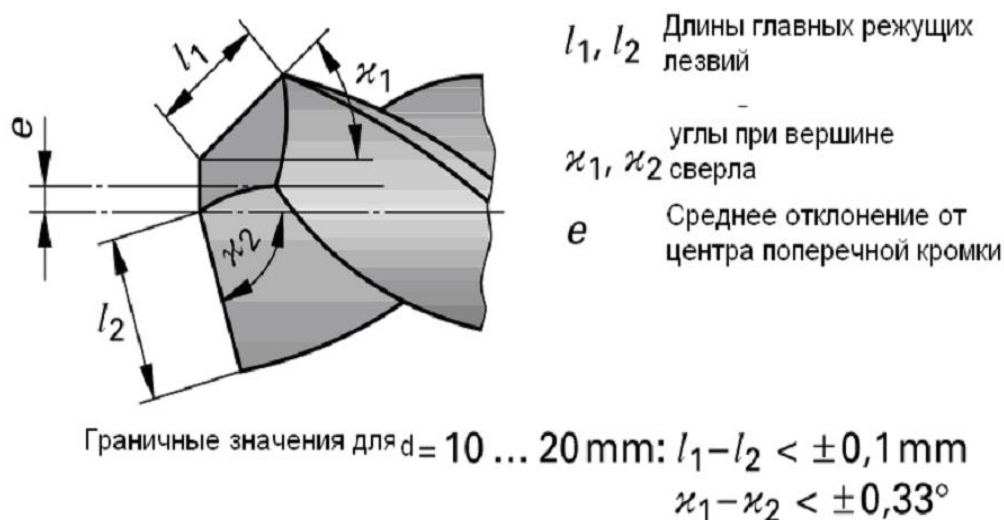


Рис. 3.14 Геометрические параметры сверла



Рис. 3.15 *Различные виды сверл*

Производительность и себестоимость процесса обработки на сверлильных станках относятся, в основном, к так называемым среднеэкономическим процессом, т.е. обеспечивается оборудованием нормальной точности с участием рабочих средней квалификации. Направление развития сверлильной обработки совпадает с аналогичных направлением токарной обработки, т.е. развивается в сторону агрегатирования оборудования.

3.4 Обработка заготовок на фрезерных станках

Главное движение при фрезеровании представляет собой вращательное движение инструмента - фрезы. Движение подачи от независимого привода совершает заготовка, закрепленная на столе станка. Основными перемещениями стола фрезерного станка являются его горизонтальные перемещения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (продольная и поперечная подача).

В качестве дополнительного движения стола используется его дискретное вертикальное перемещение. Многообразие форм фрезерования можно свести к двум основным схемам - встречное фрезерование (рис. 3.16) и попутное фрезерование (рис. 3.17).

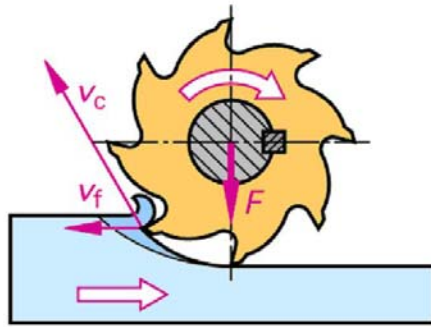


Рис. 3.16 Встречное фрезерование

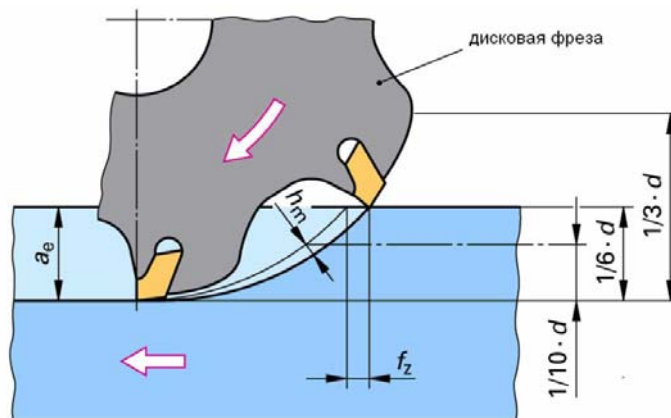


Рис. 3.17 Попутное фрезерование

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



Рис. 3.18 Процесс фрезерования концевой фрезой сложного контура

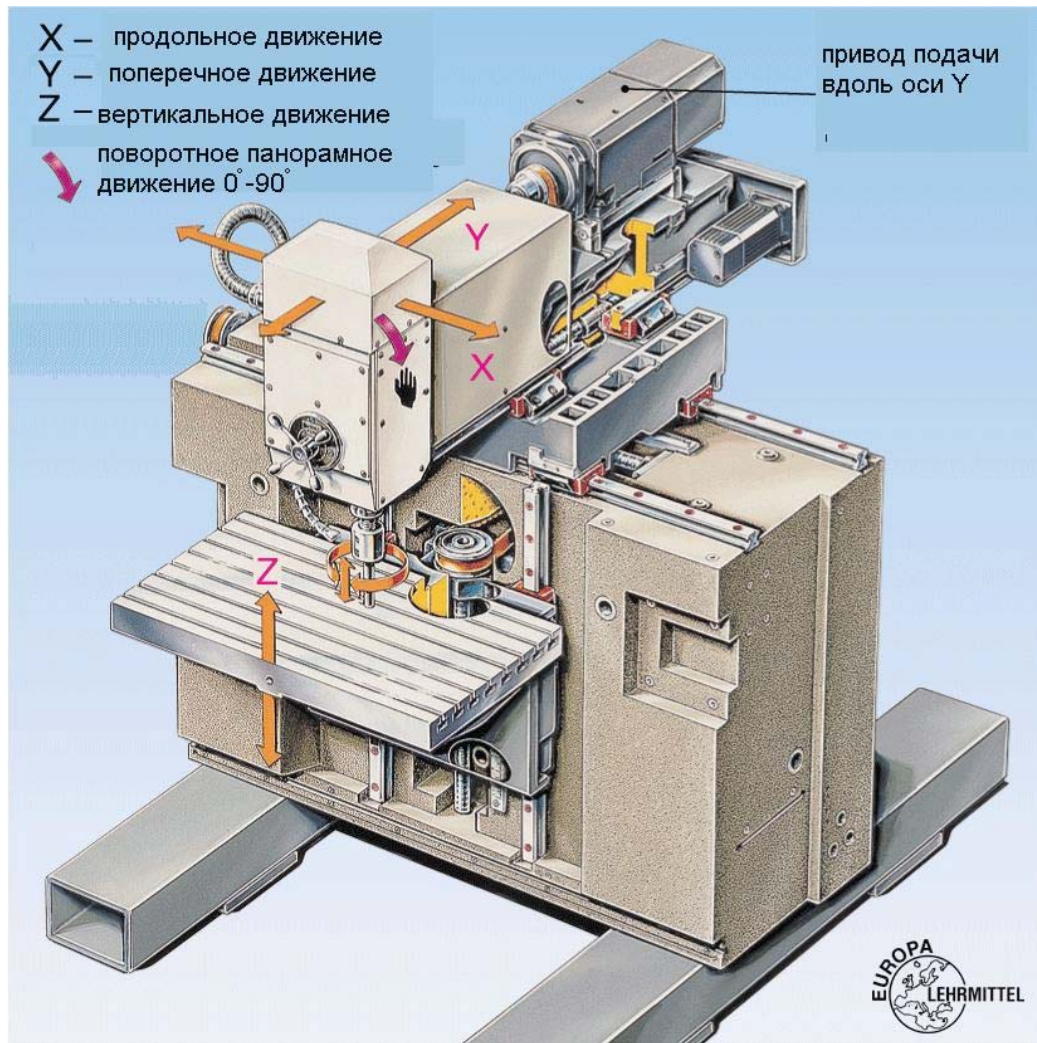


Рис. 3.19 Схема вертикально фрезерного станка

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

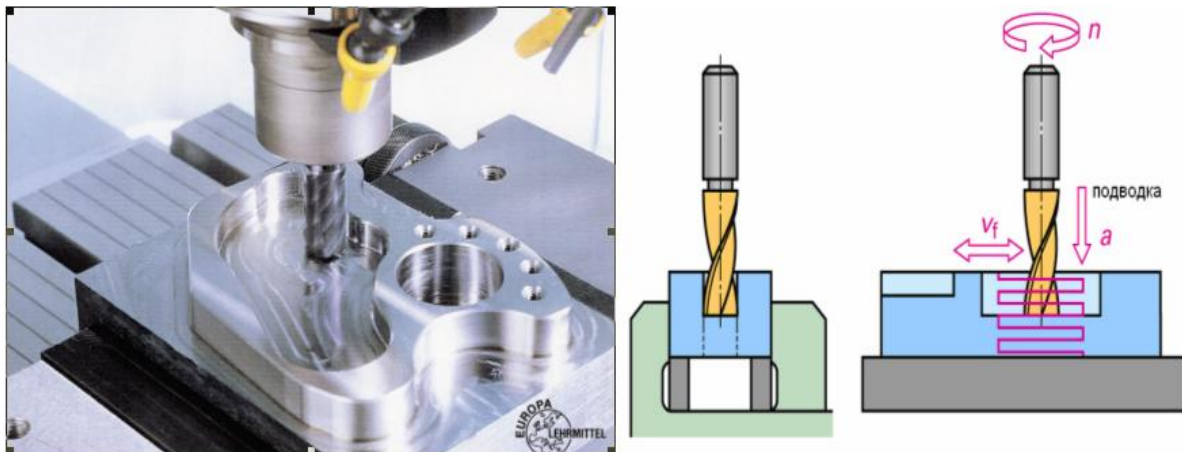


Рис. 3.20 Фрезерование концевой фрезой по контуру

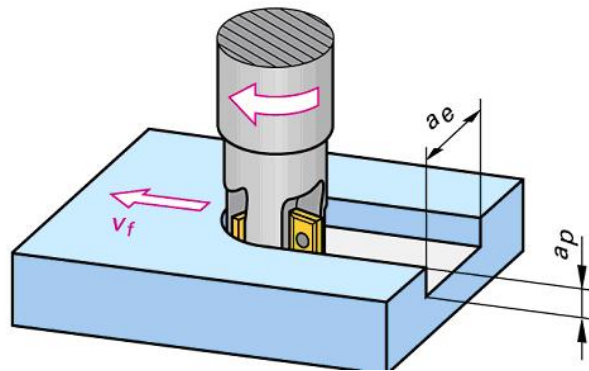


Рис. 3.21 Процесс фрезерования паза

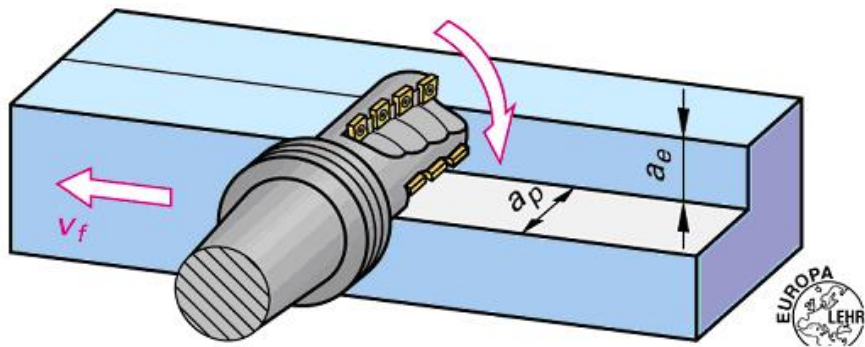


Рис. 3.22 Процесс фрезерования уступа

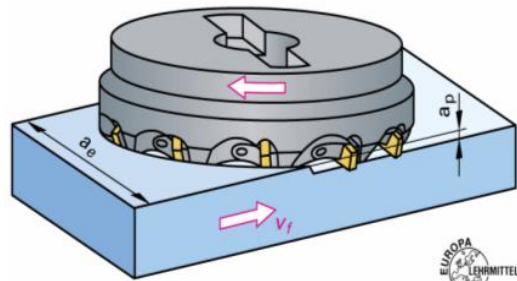
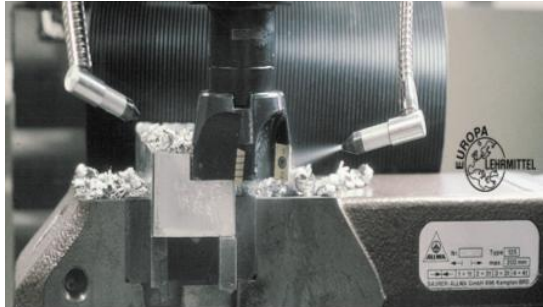
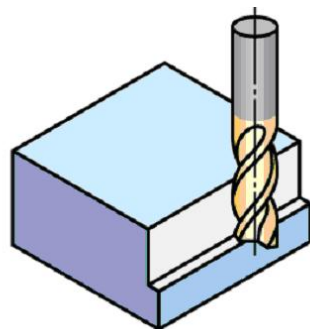
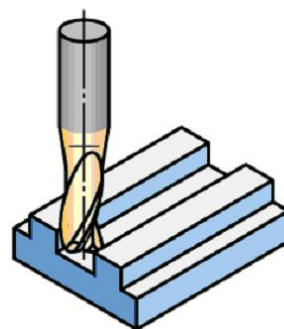


Рис. 3.23 Плоское фрезерование торцевой фрезой



концевая фреза (угол 90градусов)



Пазовая фреза (для фрезерования точнорасположенных фрезеруемых пазов)

Рис. 3.24 Фрезерование уступов

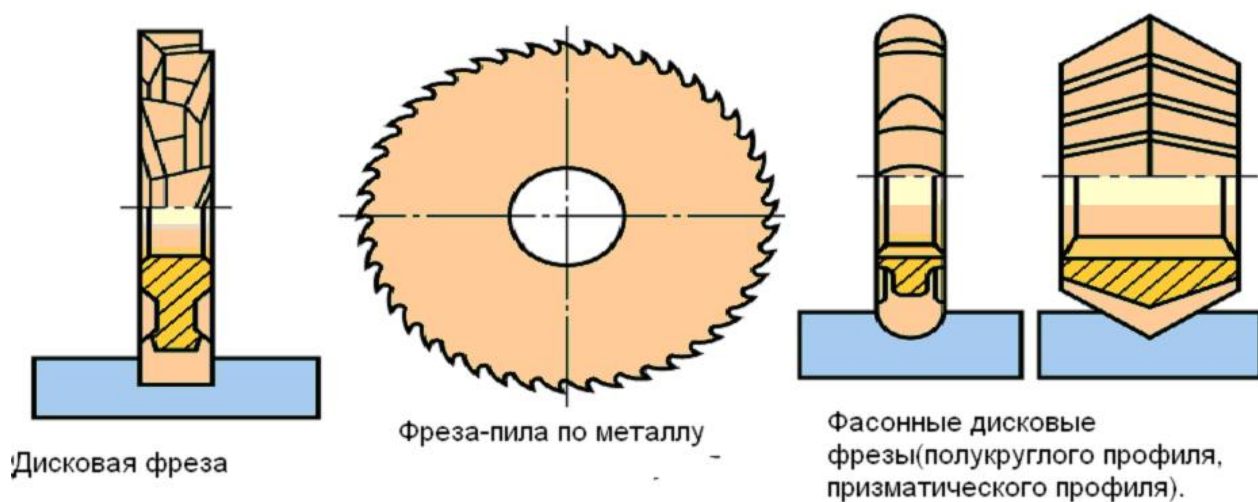


Рис. 3.25 Фрезерование различными видами дисковых фрез

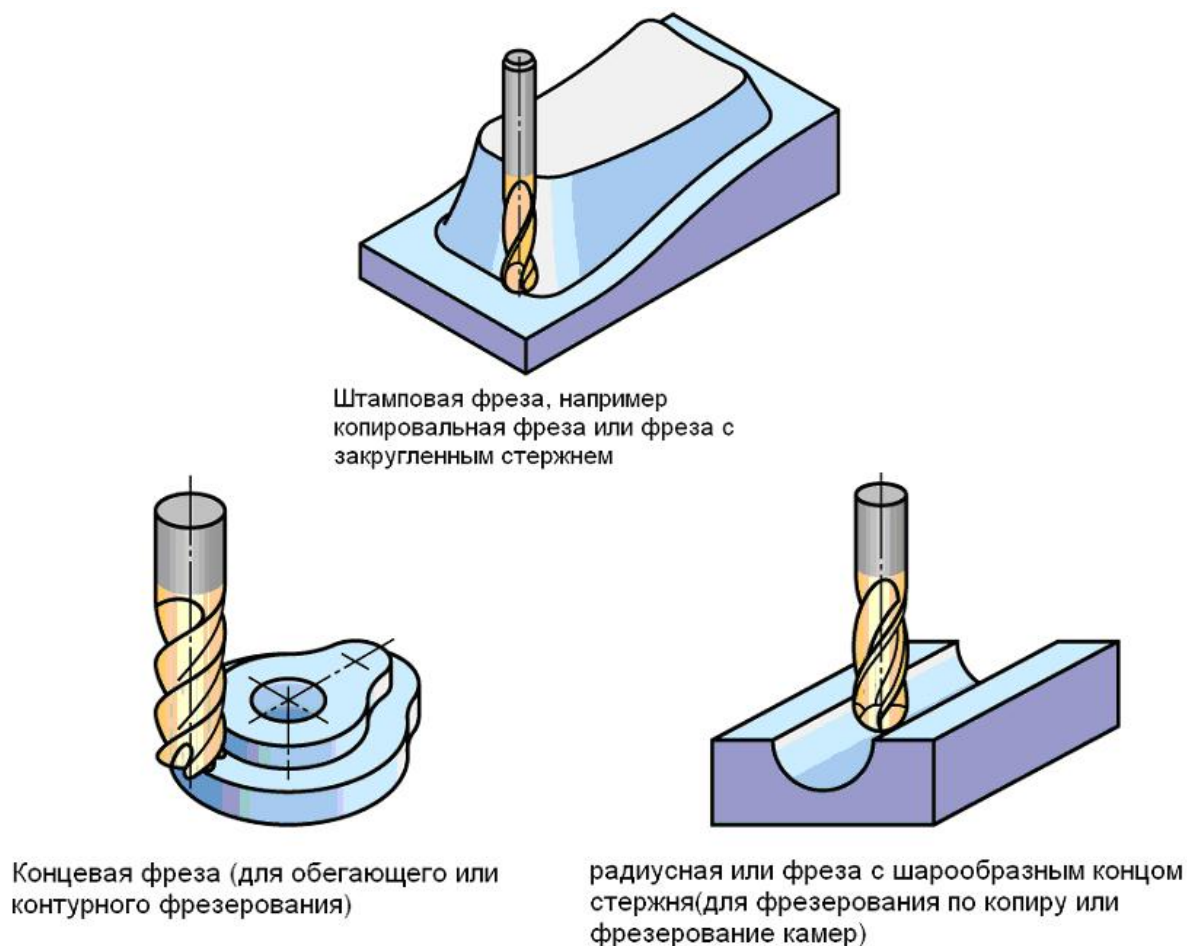


Рис. 3.26 Фрезерование фасонных поверхностей

Как известно, при классическом фрезеровании поверхностей, по сравнению с точением, возникают дополнительные вибрации. Кроме того, как видно из рисунков 3.16 и 3.17 большую часть рабочей траектории зуба он не срезает, а отрывает стружку. Все это вместе взятое приводит к получению достаточно грубой, шероховатой поверхности и поэтому, в основном, классическое фрезеро-

вание используется в качестве черновой или предварительной обработки. Геометрическая точность, обеспечиваемая при классическом фрезеровании, также невысока и соответствует примерно 10 - 12 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 в 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", а также в его электронной версии и в электронном учебнике по основам ТПС.

4. Абразивная обработка заготовок деталей

В данном разделе использованы материалы из учебника «Технология конструкционных материалов» под редакцией А.М. Дальского [3], материалы технического университета Ильменау (Германия), а также материалы из Internet.

4.1 Характеристика метода шлифования

Шлифование - один из видов обработки резанием, при котором припуск на обработку снимается абразивными инструментами. Шлифованием можно получить высокую точность размеров и формы, а также необходимую шероховатость поверхности. Абразивные зерна расположены в круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом. При вращательном движении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек (до 100 000 в минуту). Шлифовальные круги срезают стружку на очень больших скоростях от 30м/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 рисунке 4.1.

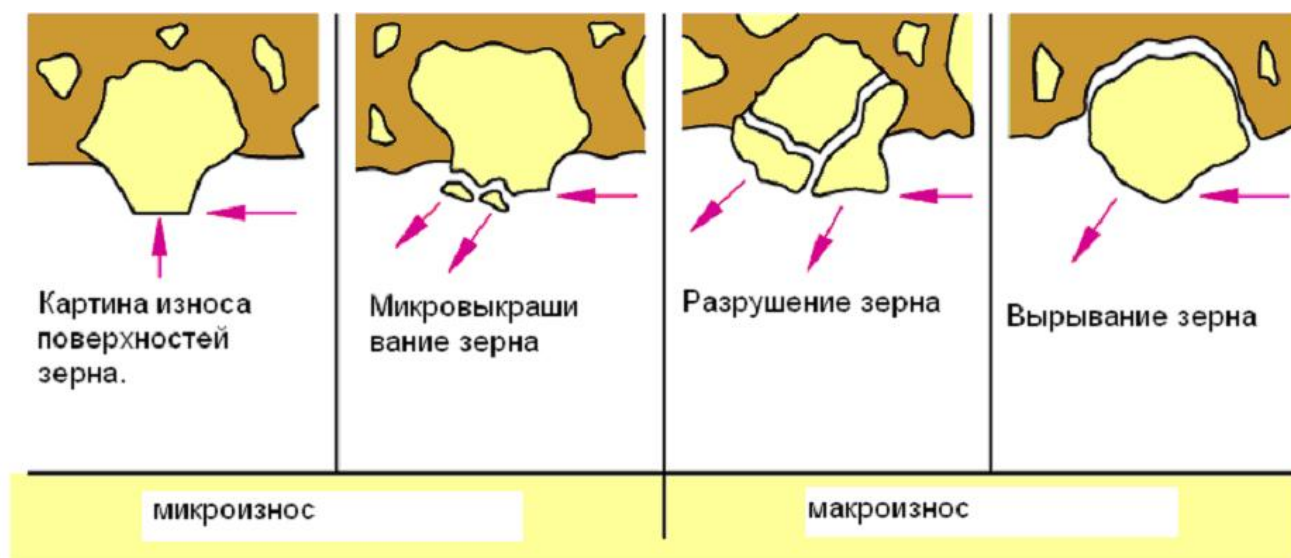


Рис. 4.1 Износ абразивных инструментов

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

риала, 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 воздействие на обработанную поверхность приводит к структурным превращениям, изменениям физико-механических свойств поверхностных слоев обрабатываемого материала (см. рисунок 4.2).

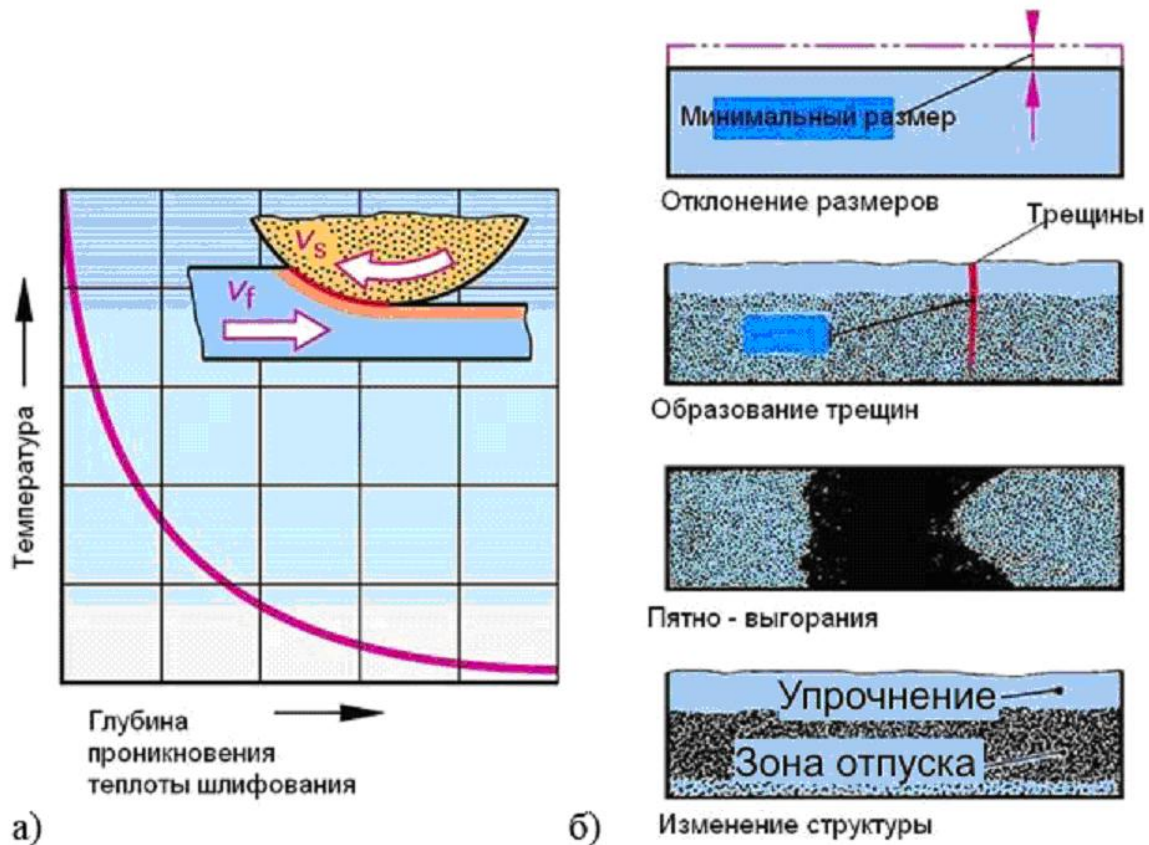


Рис. 4.2 Тепловые и силовые воздействия на материал заготовки при шлифовании: а) температурные процессы в пограничной зоне заготовок; б) повреждения от шлифовального инструмента

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 обработки заготовок с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования. С развитием малоотходной технологии доля обработки металлическим инструментом будет уменьшаться, а абразивным увеличиваться. Абразивный инструмент различают по геометрической форме и размерам, роду и сорту абразивного материала, зернистости или размерам абразивных зерен, связке или виду связующего ве-

щества, твердости, структуре или строению круга. Все эти характеристики содержатся в маркировке шлифовального круга, представленной на рисунке 4.3.

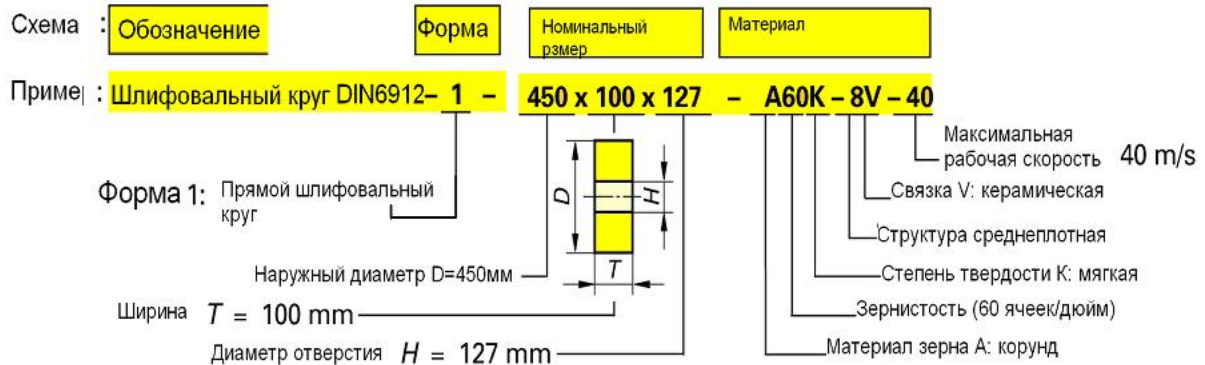


Рис. 4.3 маркировка шлифовального круга

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 рисунке 4.4 представлены различные формы шлифовальных кругов.

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

Рис. 4.4 Формы шлифовальных кругов

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 абра-

живные 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 структуру.

4.2 Схемы абразивной обработки

В промышленности, в основном, применяются несколько видов шлифования.

Круглое наружное шлифование - процесс шлифования заготовки во время ее вращения в центрах или в патроне кругами (см. рисунок 4.5).

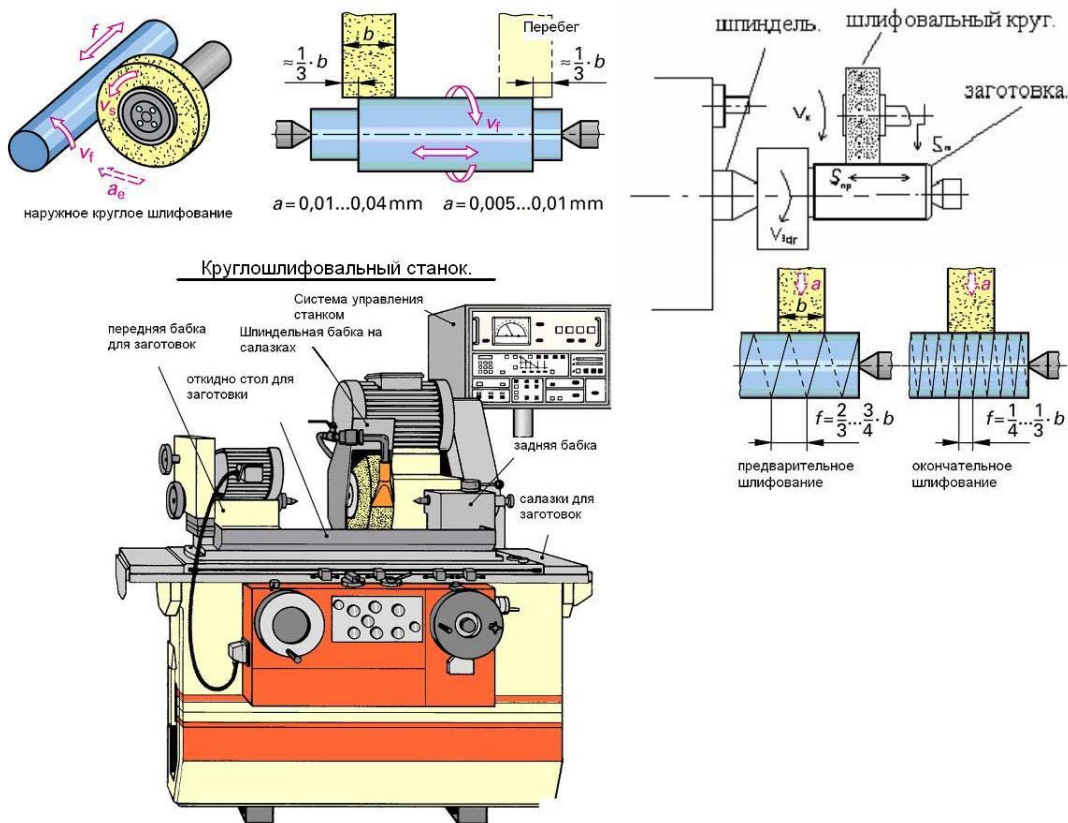


Рис. 4.5 Кинематика, параметры и оборудование для наружного круглого шлифования

Бесцентровое шлифование - отличается от центрового тем, что обрабатываемые заготовки получают вращение и шлифуются без крепления в центрах, причем базой является обрабатываемая поверхность. При круглом бесцентровом шлифовании оба круга вращаются в одну сторону с разными скоростями, рабочий круг - со скоростью 30-35 м/с, ведущий - со скоростью, в 60-100 раз меньшей.

Опорой для шлифуемой заготовки является "нож" со скошенным краем, находящийся между рабочим и ведущими кругами.

Нож устанавливается так, чтобы центр заготовки находился выше или ниже центров кругов. На рисунке 4.6 изображена схема бесцентрово-шлифовального станка. Схема обработки на таких станках представлена на рисунке 4.7

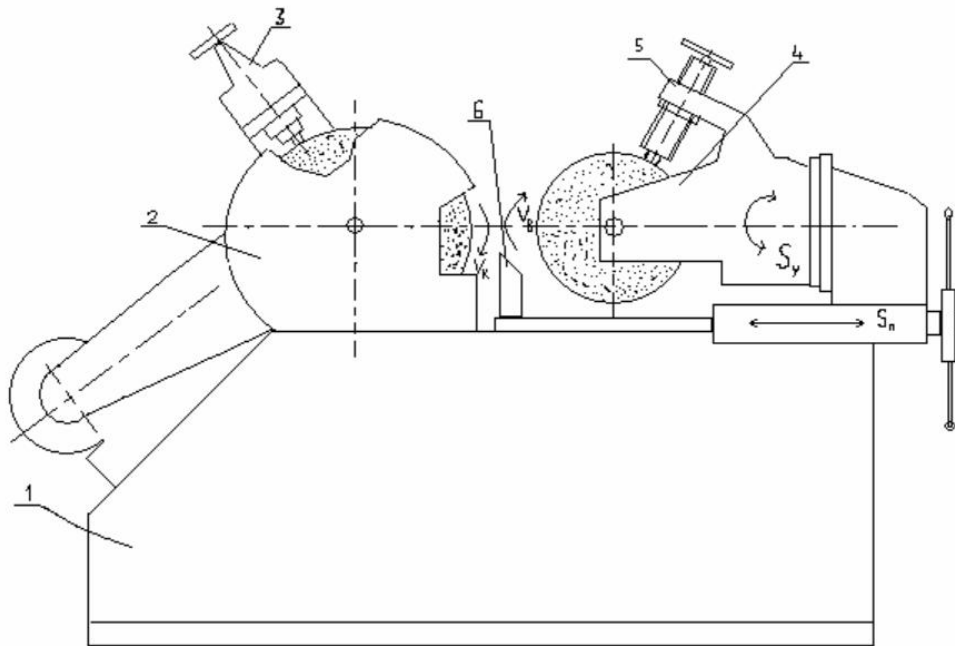


Рис. 4.6 Схема бесцентрово-шлифовального станка: 1 - станина; 2 - шлифовальная бабка; 3 - правочный механизм; 4 - ведущая бабка; 5 - правочный механизм; 6 - нож.

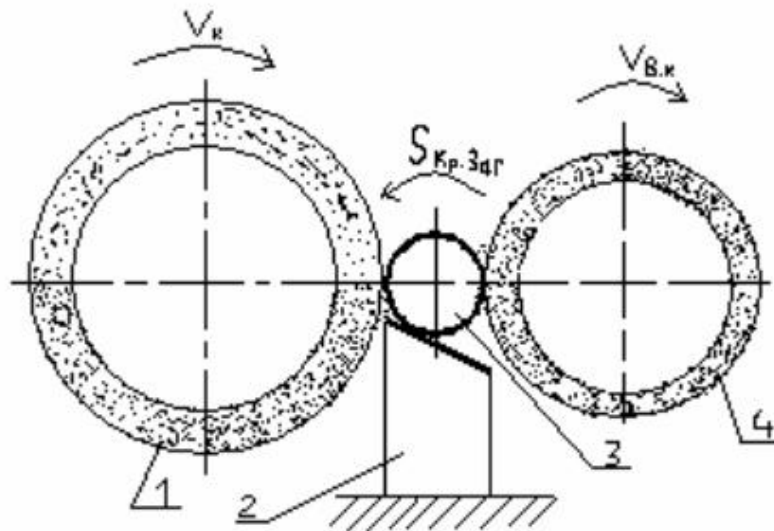


Рис. 4.7 Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке

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

Внутреннее шлифование - шлифование отверстий цилиндрической и конической формы. В зависимости от конструкции заготовки и станка шлифование осуществляется при вращении заготовки или при неподвижном ее состоянии. В этом случае шлифовальный круг при обработке вращается не только вокруг своей оси со скоростью 20-35 м/с, но и вокруг оси обрабатываемого отверстия с круговой подачей 20-30 м/мин (см. рис. 4.8 и 4.9).

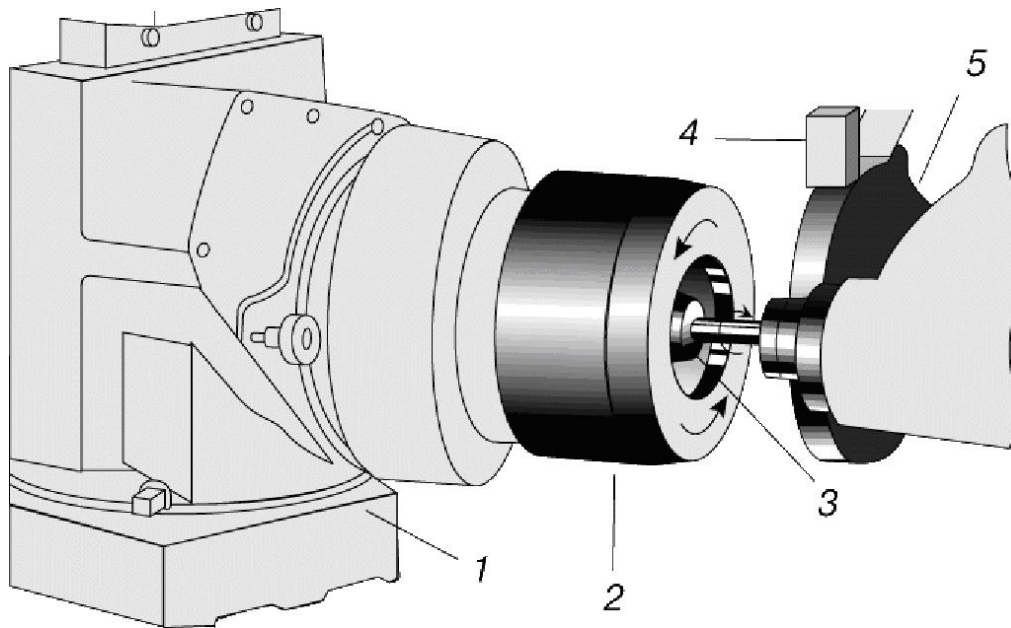


Рис. 4.8. Схема шлифования отверстия в осесимметричной вращающейся заготовке: 1 – делительная бабка; 2 – заготовка; 3 – внутренний шлифовальный круг; 4 – отсос пыли; 5 – наружный шлифовальный круг

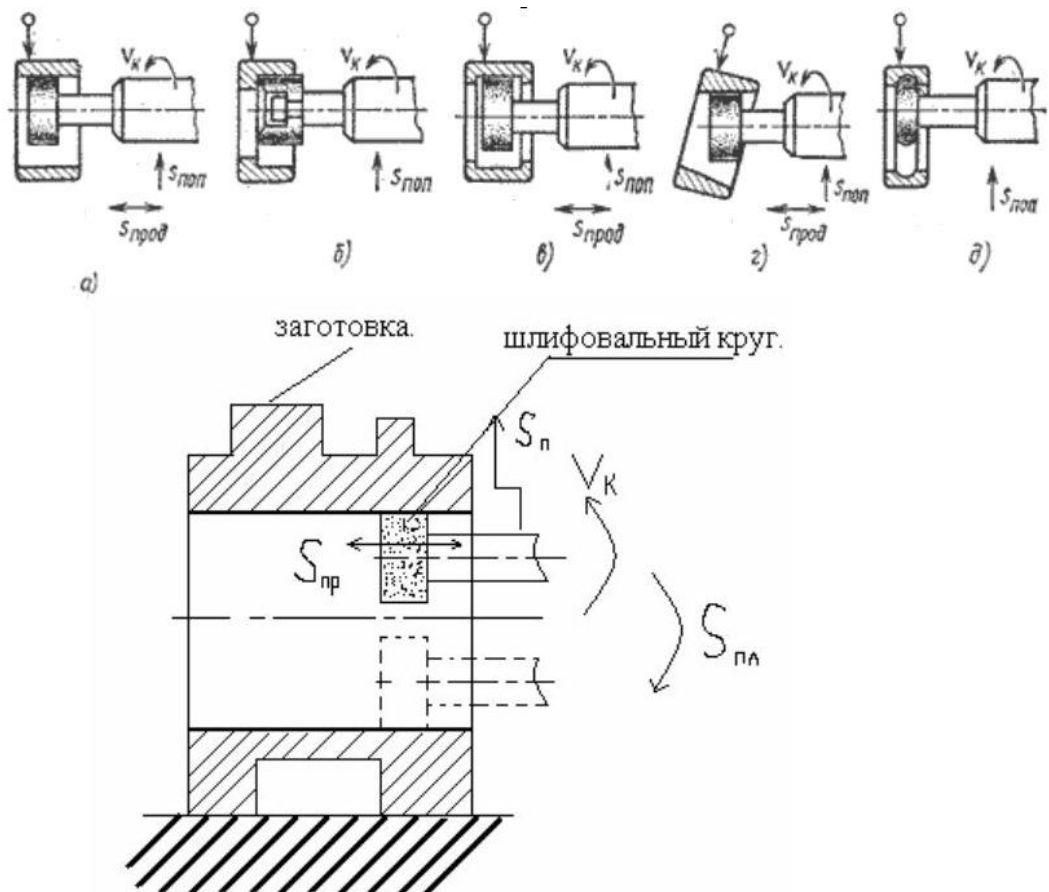


Рис. 4.9 Схема шлифования отверстия в не вращающейся заготовке: а – гладкого цилиндрического отверстия; б – ступенчатого отверстия и торца; в – широкой канавки; г – конического отверстия; д – фасонного паза

Плоское шлифование - шлифование плоскостей осуществляется периферией или торцом круга. Кинематика этого процесса показана на рис. 4.10 и 4.11

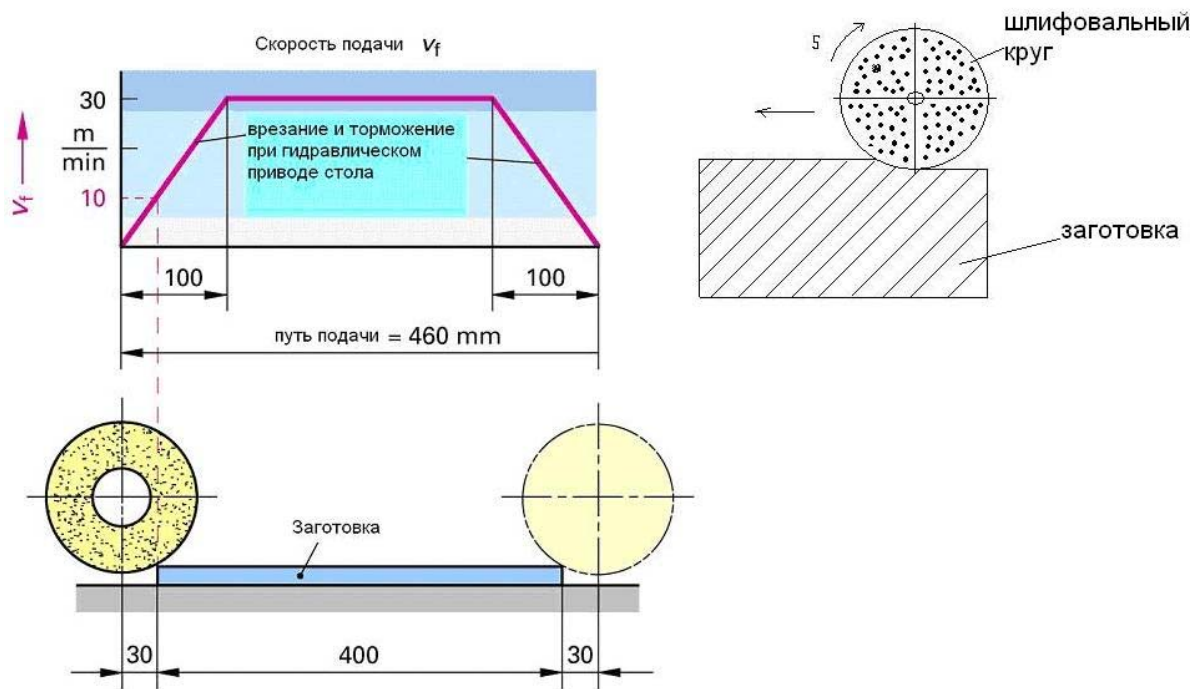


Рис. 4.10 Шлифование плоской поверхности периферией круга

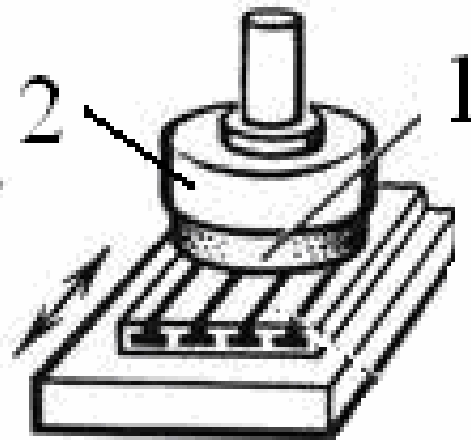


Рис. 4.11 Шлифование плоской поверхности торцевой поверхностью круга 1 - заготовка; 2-шлифовальный круг

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

Резьбошлифование - шлифование резьбы различных профилей (треугольные, трапециевидные и др.), метчиков, резьбовых калибров, накатных роликов, ходовых винтов металлорежущих станков и измерительных приборов (см., например, рис. 4.12).

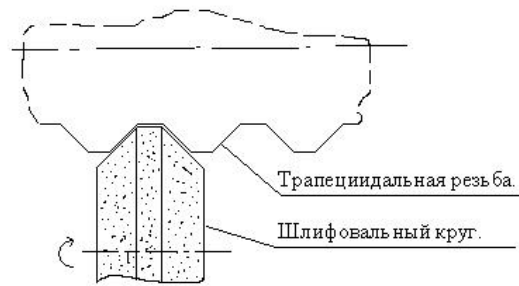


Рис. 4.12 Схема шлифования резьбы

Зубошлифование - шлифование зубчатых колес всех видов (см., например, рис. 4.13).

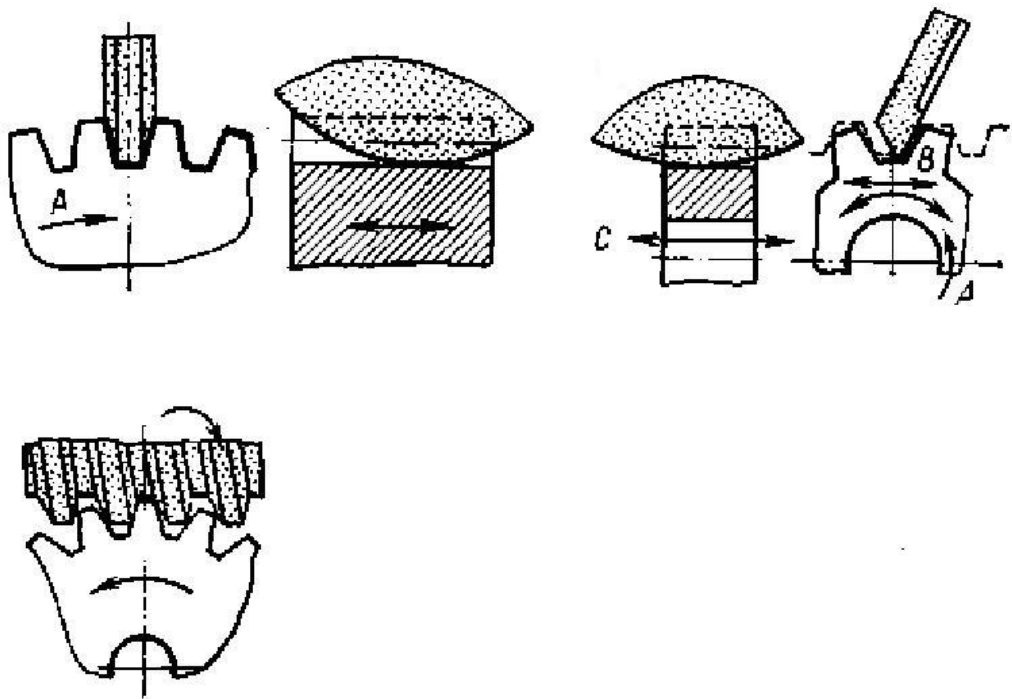


Рис. 4.13 Схема шлифования зубьев колеса

Хонингование - процесс доводки отверстий специальным инструментом - хоном. 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 поверхности деталей).

Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелко-зернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне). Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно- поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 4.14.а). Соотношение скоростей движений составляет 1,5...10, и определяет условия резания. При сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых

царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 4.14.б). Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление бруска контролируется.

Хонингованием исправляют погрешности формы от предыдущей обработки, а чистовое – для повышения качества поверхности. Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных установках. Схема процесса показана на рисунке 4.14.

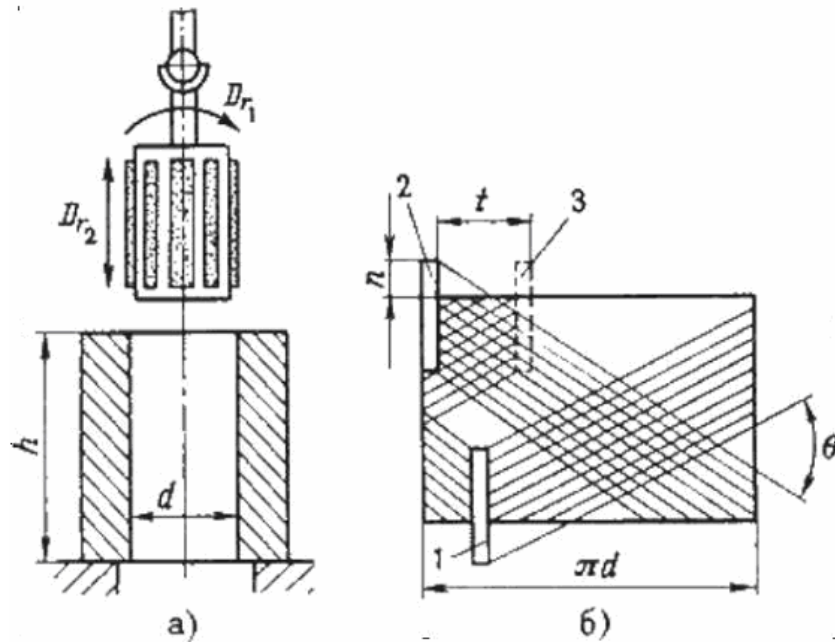


Рис. 4.14 Схема хонингования отверстия

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. 4.15).

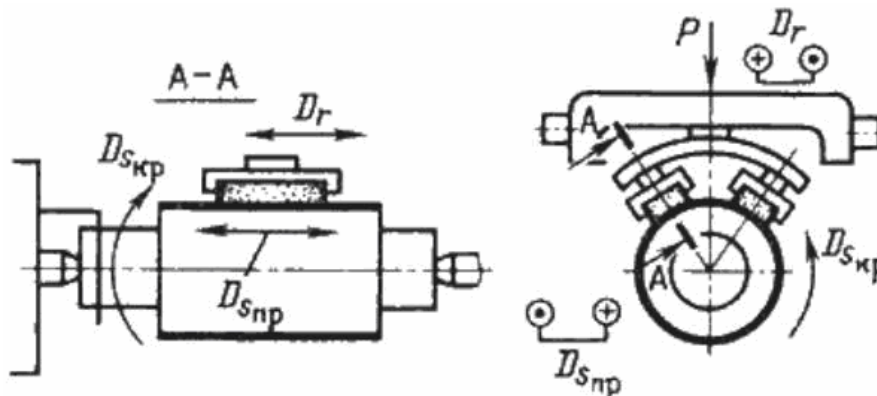


Рис. 4.15 Схема суперфиниширования цилиндрической поверхности

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

Ленточное шлифование и полирование - обработка изделия бесконечной шлифовальной лентой, изготовленной из шлифовальной шкурки на тканевой или бумажной основах. Схема ленточного шлифования упрощенно показана на рисунке 4.16. Базирование инструмента осуществляется по обрабатываемой поверхности. Этот процесс особенно эффективен при шлифовании сложнопрофильных поверхностей.

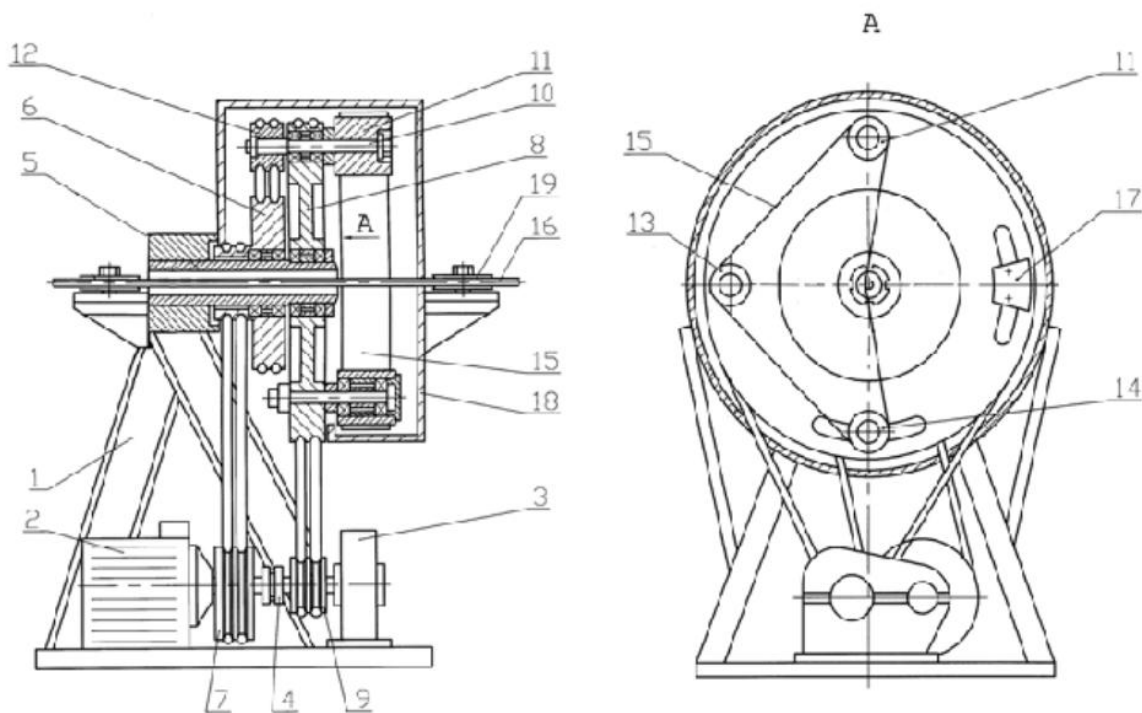


Рис. 4.16 *Схема ленточного шлифования: ниже приводится описание работы процесса.*

Ниже приводится описание работы оборудования представленного на рисунке 4.16.

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 необходимое натяжение абразивной ленты 15, перемещая ведомый ролик 14 против часовой стрелки и регистрируя величину натяжения при помощи стандартного динамометра. Включение электродвигателя 2, при помощи муфты 4 и редуктора 3, приводит во вращение шкив 9, который вращает шкив 8, связанный с ним ременной передачей. При этом вра-

щение от электродвигателя 2, при помощи шкива 7 и шкива 6, передается на ведомый шкив 12 и затем, при помощи вала 10, на ведущий ролик 1. Таким образом, абразивной ленте 15 сообщается планетарное движение.

Доводка и притирка - абразивная обработка как свободным абразивным зерном в виде суспензии и паст, так и специальными доводочными кругами и шаржированными притирами, обеспечивающая шероховатость 0,160-0,08 мкм по параметру Ra и чище, а также высокую точность размеров и формы поверхностей, обеспечивая высокую плотность сопряжения. На рис. 4.17 показана схема притирки цилиндрического сопряжения.

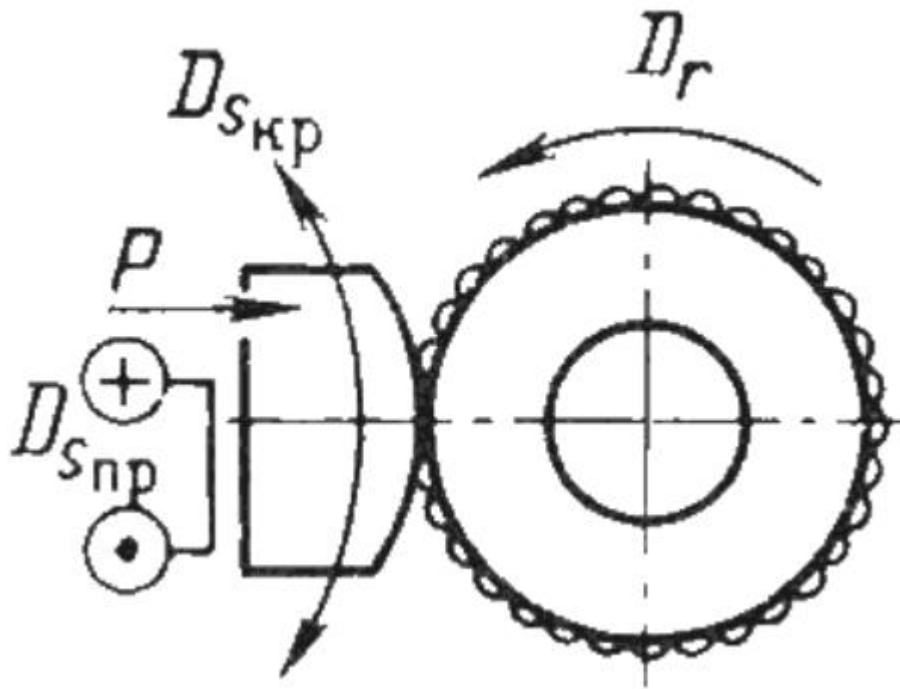


Рис. 4.17 Схема притирки цилиндрического сопряжения

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

Жидкостная отделка и полирование - процесс обработки, при котором жидкость, насыщенная абразивом, со скоростью 50 м/с и более ударяется об обрабатываемую поверхность, уменьшая ее шероховатость.

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 шариках, дерева и т.д.).

Галтовочные тела - специально изготовленный абразивный инструмент в виде изделий простой геометрической формы (цилиндр, призма, конус, куб и т.д.) состоящий из шлифпорошков, 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.

5. Электрофизические и электрохимические технологии изготовления деталей

В данном разделе использованы материалы из учебника «Технология конструкционных материалов» под редакцией А.М. Дальского [3], материалы технического университета Ильменау (Германия), материалы из Internet, а также материалы учебника "Новые технологии в приборостроении"[5].

Электрофизические и электрохимические технологии (ЭФ ЭХ - технологии) создавались как альтернатива технологиям резания, где последние либо давали неудовлетворительные результаты, либо оказывались вовсе не пригодными. Речь идет об обработке очень прочных и вязких или очень твердых и очень хрупких материалов. Разработаны и опробованы десятки ЭФ ЭХ – технологий, но наибольшее применение получили следующие:

- электроэрозионные технологии;
- анодно-механические технологии;
- электрохимические технологии;
- электрофизические технологии;
- ультразвуковые технологии;
- светолучевая обработка;
- электроннолучевая обработка;
- плазменная обработка.

Рассмотрим в вышеизложенной последовательности основные принципы этих технологий, а также их возможности, достоинства и недостатки.

5.1 Электроэрозионные технологии

Первая электроэрозионная установка была создана в 1942 году в блокадном Ленинграде супругами Лазаренковыми. К сожалению дальнейшее развитие и совершенствование этой удивительной технологии происходило и продолжается без нашего участия и современное оборудование вместе с современными технологиями этого принципа приходится заказывать фирме «АЖИ», а позднее фирме «Шармий технолоджи ».

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. 5.1). Причина появления лунок локальный нагрев электродов до весьма высокой температуры. При сближении двух электродов и подключении к ним напряжения, достаточного для пробоя образовавшегося межэлектродного промежутка, возникает электрический разряд в виде узкого проводящего канала (столба) с температурой, измеряемой тысячами и десятками тысяч градусов. У оснований этого канала наблюдается разрушение

(оплавление, испарение) материала электродов. Жидкая среда обеспечивает возникновение динамических усилий, необходимых для удаления разрушаемого материала; охлаждая электроды, жидкость стабилизирует процесс. Наиболее часто в качестве среды применяют нефтепродукты: трансформаторное и веретенное масла, керосин, но еще лучше дистиллированную воду.

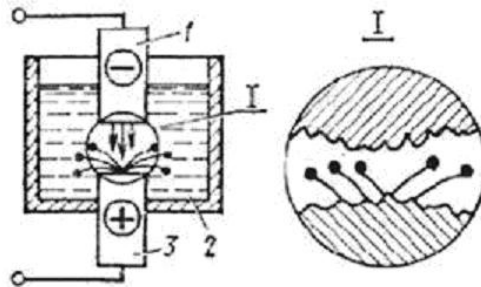


Рис. 5.1 Схема разрушения электродов при электроэрозионной обработке:
1 - электрод-инструмент; 2 - рабочая жидкость; 3 - обрабатываемая заготовка

Весь цикл искрового разряда наглядно представлен на рис. 5.2 в виде условных этапов этого процесса.

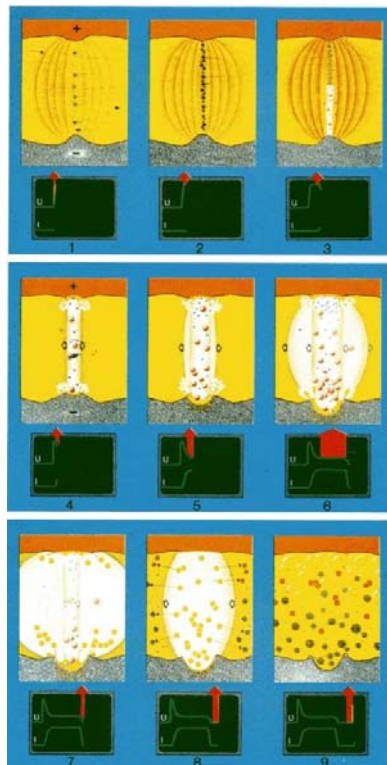


Рис. 5.2 Условная схема «этапов» искрового разряда

Основными разновидностями электроэрозионного метода являются электроискровая и электроимпульсная обработка. Электроискровая обработка отличается широким диапазоном режимов обработки от черновой производительностью

1,5 - 10 мм³/с при шероховатости обработанной поверхности $R_z = 160 - 40$ мкм, до отделочной, производительностью около 0,001 мм³/с при шероховатости поверхности $R_a = 1,25 - 0,16$ мкм. Характерные черты этого процесса: сравнительно низкая производительность обработки, большой износ электродов-инструментов, применение преимущественно релаксационных схем генерирования импульсов длительностью 10 - 200 мкс при частоте 2 - 5 кГц, использование прямой полярности, образование на обрабатываемой поверхности тонкого дефектного слоя толщиной 0,2 - 0,5 мм на черновых и 0,02 - 0,05 мм на чистовых режимах. Значительный износ электродов 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, «шлифовании», «расточивании» профильными электродами-резцами. Инструмент является катодом, а обрабатываемая заготовка - анодом. Напряжение сети при обработке не превышает 250 В. Обычно профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого контура (рис. 5.3, а), но возможно вырезание не профилированной проволокой различных контуров (рис. 5.3, 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. 5.3 - а). Однако формы обработанных поверхностей можно усложнять за счет усложнения траектории перемещения электрода- инструмента (рис. 5.3 – б и в).

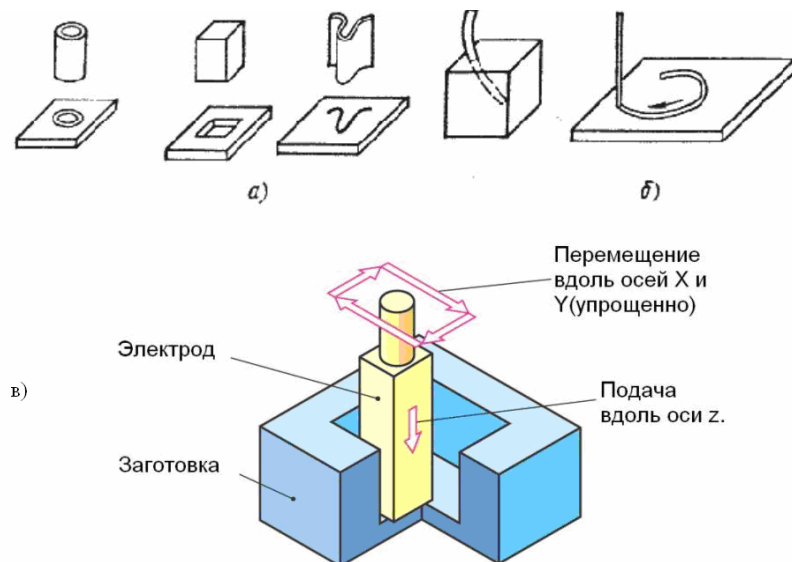


Рис. 5.3 Схемы электроэрозионной обработки: а – при прямолинейном вертикальном перемещении катода – инструмента; б, в, при усложненных траекториях перемещения инструмента

Электроимпульсная обработка. Режимы электроимпульсной и электроискровой обработки существенно различны. При электроимпульсной обработке применяют пониженные напряжения и относительно большие значения средних токов, а частота тока, питающего разрядный межэлектродный промежуток, стабильна. Электроимпульсная обработка характеризуется: применением униполярных импульсов тока длительностью 0,5 - 1,0 мкс, скважностью 1-10; высокой производительностью: 100-300 мм³/с на грубых режимах с большой шероховатостью обработанной поверхности и, на более мягких режимах, с шероховатостью поверхности $R_z = 80 - 40$ мкм; малым относительным износом электродов-инструментов, составляющим для графита 0,1- 0,5%; применением обратной полярности (присоединения электрод-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 (50-5000 А). Для примера опишем характеристики электроэрозионного 5-ти координатного проволочно-вырезного станка с ЧПУ мод. СКЭ250Ф5. 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. 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.

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

Сам станок изображен на рисунке 5.4.



Рис.5.4 Электроэрозионный 5-ти координатный проволочный вырезной станок с ЧПУ мод. СКЭ250Ф5

5.2 Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка является процессом воздействия на металл, основанным на электрохимическом растворении последнего с механическим удалением продуктов растворения. Дополнительно может иметь место еще и электроэрозионное разрушение. Принципиальная схема процесса обработки показана на рис. 5.5. При сближении электродов 3 (обрабатываемое изделие) и 1 (инструмент) и при наличии между ними электролита (рабочей жидкости) 2 во время прохождения тока происходит разрушение электрода, соединенного с положительным источником тока (анодом). Это разрушение при низких плотностях тока происходит в виде анодного растворения металла, а при высоких плотностях - в виде его электроэрозионного разрушения. Образующиеся продукты распада 4 плохо проводят ток и изолируют один электрод от другого. Для удаления их осуществляют движение электрода 1 (инструмента) с небольшим усилием. В этом случае процесс протекает непрерывно: обнажающийся материал продолжает разрушаться, и требуемая обработка осуществляется независимо от его твердости.

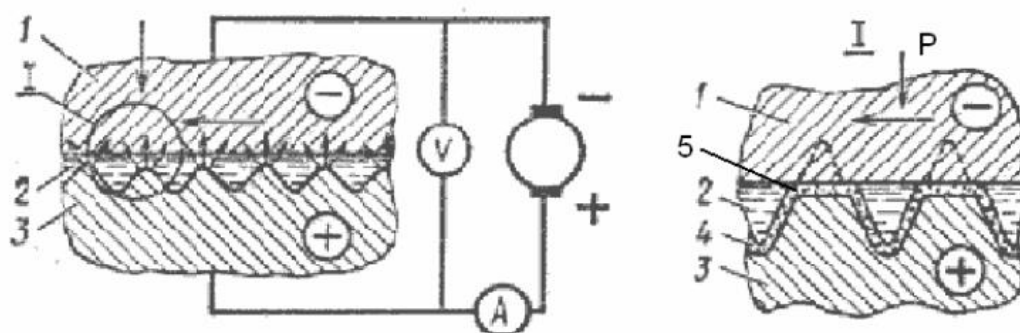


Рис. 5.5. Принципиальная схема анодно-механической установки и процесса обработки: 1- электрод-инструмент; 2 – рабочая жидкость; 3 – заготовка анод; 4 – продукты анодного разрушения материала заготовки; 5 – межэлектродный промежуток.

Процесс анодно-механической обработки зависит от электрического режима (плотности тока, напряжения) и механических параметров (давления на обрабатываемую поверхность, скорости движения инструмента). На рисунке (см. выноску /) 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 и степень нагрева поверхностного слоя металла заготов-

ки 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. 5.6, а показана схема анодно-механического долбления, а на рис. 5.6, б - схема анодно-механической резки металлов. Долблением обрабатывают отверстия разнообразной формы в изделиях из твердого сплава и закаленной стали твердостью HRC 60-65.

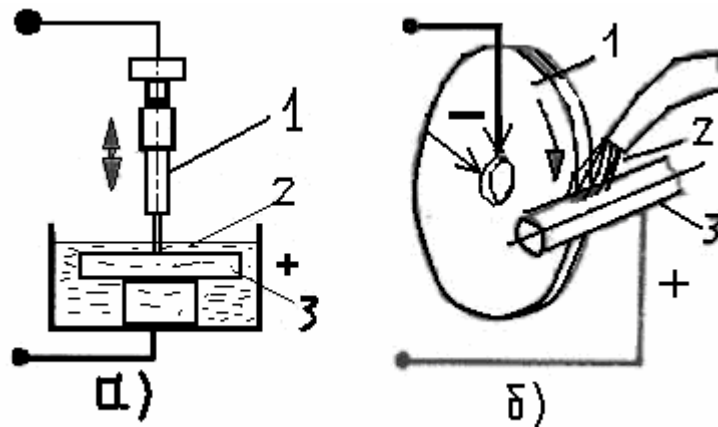


Рис. 5.6 Схема анодно-механического долбления (а) и резки(б): 1 - электрод-инструмент; 2 - рабочая жидкость; 3 - обрабатываемая заготовка

5.3 Электрохимическая обработка заготовок

Электрохимическая обработка материалов основана на химических процессах, возникающих в результате прохождения электрического тока через цепь, образованную проводниками (электродами) и находящейся между ними проводящей ток жидкостью (электролитом). При электрохимической обработке происходит растворение и удаление некоторых количеств металла с обрабатываемой заготовки и их переход в неметаллическое состояние (химические соединения) (рис. 5.7, 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.

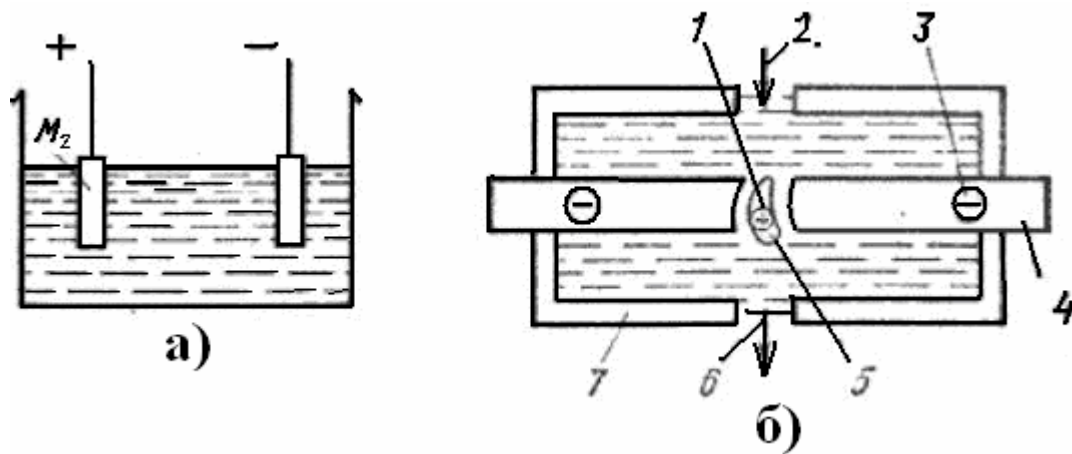


Рис. 5.7. Электрохимическая обработка (принципиальные схемы): а - схема процесса; б - схема обработки; 1 - подвод тока к заготовке; 2 - подвод электролита; 3 - подвод тока к катодам; 4 - профильные катоды; 5 - обрабатываемая заготовка; 6 - отвод электролита; 7 - корпус камеры

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. 5.7, б приведена принципиальная схема электрохимической обработки турбинных лопаток.

5.4 Электрофизические способы обработки

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

Электроконтактная обработка основана на механическом разрушении или формоизменении металлических поверхностей, производимом одновременно с нагревом или расплавлением этих поверхностей электрическим током (рис.

5.8). При этом методе в месте контакта двух токопроводящих поверхностей выделяется тепло ввиду повышенного сопротивления, а также электрического разряда.

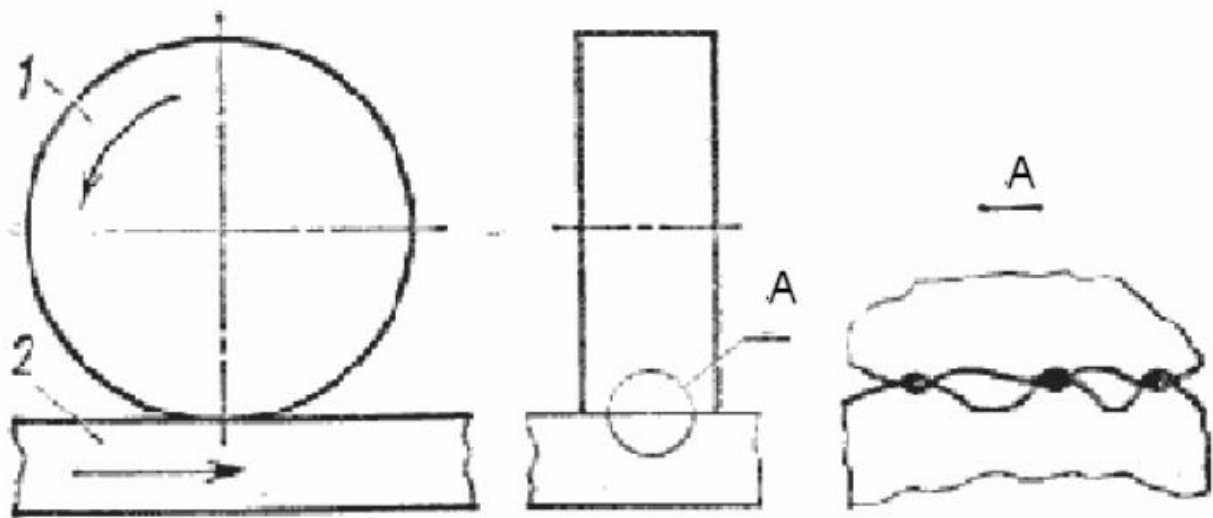


Рис. 5.8 Схема электроконтактной обработки: 1 - инструмент; 2- обрабатываемая заготовка

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 рисунке). Движущийся инструмент в этих случаях не только подводит ток и удаляет размягченный металл, но и, благодаря вибрации, способствует возникновению множества прерывистых контактов, необходимых для образования дуговых разрядов.

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

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

Ультразвуковая обработка. Ультразвуковыми условно называют большую группу технологических процессов и операций разнообразного назначения, осуществляемых с обязательным присутствием механических упругих колеба-

ний с частотой выше 16-18 кГц. В одних процессах ультразвуковые колебания используются для передачи в зону обработки необходимого количества энергии (размерная ультразвуковая обработка твердых материалов), в других служат средством интенсификации процессов (химических и электрохимических).

Ультразвуковая размерная обработка - это направленное разрушение твердых и хрупких материалов при помощи мельчайших зерен абразивного порошка, вводимых в виде суспензии в зазор между торцом специального инструмента и заготовкой и колеблющихся с ультразвуковой частотой. Под ударами зерен абразива скалываются мелкие частицы материала с поверхности заготовки. Обрабатываемая площадь и наибольшая глубина обработки зависят от сечения и свойств магнитострикционного материала, из которого изготовлен двигатель-преобразователь.

Износ инструмента определяет срок его службы и оказывает существенное влияние на точность обработки. Изнашивание в продольном направлении происходит из-за разрушения торца инструмента при ударах по абразивным зернам и зависит от физико-механических свойств материала инструмента, а также от зернистости абразива. Поперечный износ является следствием побочного резания, которое совершается между боковой поверхностью инструмента и стенкой обрабатываемого отверстия, и зависит от величины паразитных колебаний инструмента в поперечном направлении, геометрии и профиля инструмента.

Ультразвуковой обработке поддаются хрупкие материалы (стекло, твердые сплавы и т. п.), частицы которых скалываются ударами зерен абразива.

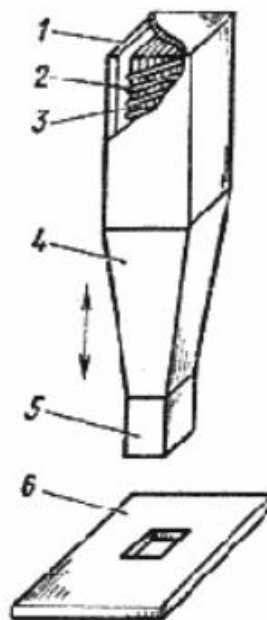


Рис. 5.9 *Схема ультразвуковой обработки*

Вязкие материалы (незакаленная сталь, латунь) плохо обрабатываются ультразвуковым способом, так как в этом случае не происходит сколов. На рис. 5.9

изображена принципиальная схема ультразвуковой обработки. Корпус 1 головки охлаждается водой, которая циркулирует по внутренним каналам.

При прохождении по обмотке 2 переменного тока в сердечнике 3 возникают продольные колебания.

Сердечник изготавливается из материала, изменяющего длину при помещении его в переменное электромагнитное поле (явление магнитострикции). Колебания усиливаются в концентраторе 4 и передаются на инструмент 5 для обработки заготовки 6.

Между инструментом и заготовкой находится абразивная суспензия. Ультразвуковая обработка используется, в основном, для изготовления отверстий различного профиля в труднообрабатываемых материалах, а также для гравировки и маркировки. Материалом инструмента служат латунь, медь, чугун. Профиль инструмента соответствует профилю обрабатываемого отверстия.

5.5 Светолучевая обработка материалов

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

Процессы лазерной резки представлены на рис.5.11. Одним из важнейших элементов твердотельного ОКГ (рис. 5.10)

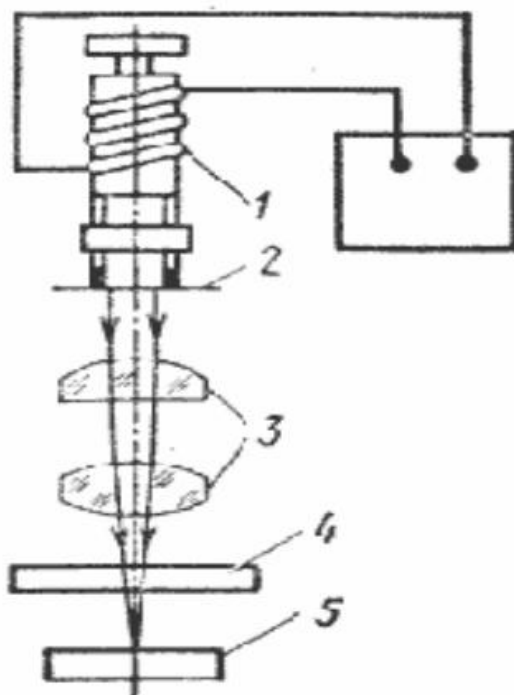


Рис. 5.11 *Схема светолучевой обработки*

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 им-

пульс красного света, проходящий через диафрагму 2, оптическую систему 3 и защитное стекло 4 на поверхность детали 5.

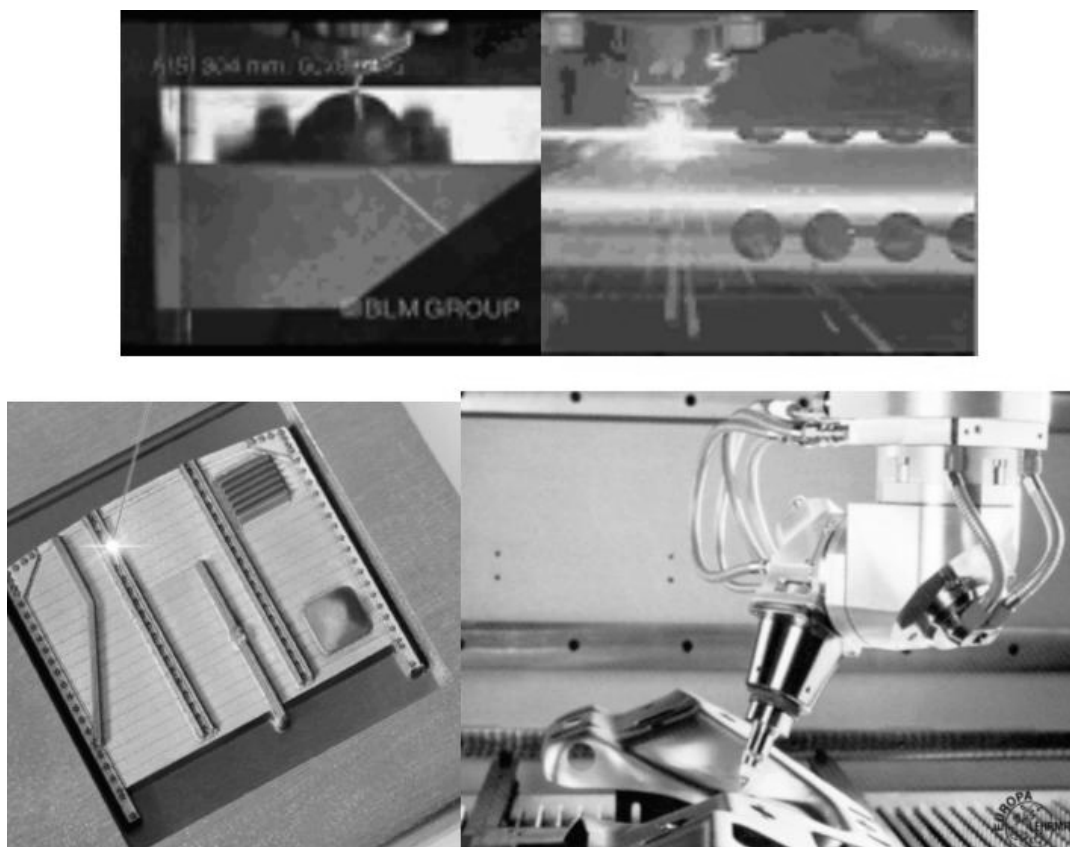


Рис.5.11 Лазерная обработка

является рубиновый (или иной) стержень (кристалл), содержащий небольшое количество атомов хрома, и газоразрядная лампа. Кратковременные вспышки лампы 1 возбуждают часть атомов стержня, приводя их в высшее энергетическое состояние за счет поглощения света.

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 излучения ОКГ, в зависимости от режима работы, может колебаться в пределах 0,1 - 1,0 мкс. При работе в импульсном режиме продолжительность импульсов составляет 10-500 мкс.

Промышленное использование ОКГ для размерной обработки материалов ограничивается образованием отверстий диаметром от 10 до 0,5 мкм и глубиной

до 0,5 мм в нержавеющей стали, вольфраме, алмазе и других труднообрабатываемых материалах.

5.6 Электроннолучевая обработка материалов

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 «дюзов».

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 микросекунд. Применяют эту технологию для обработки легко окисляющихся материалов.

5.7 Плазменная обработка материалов

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 рекламках, лампах дневного света, электродуговых устройствах, при электросварке и различных плазменных способах обработки материалов.

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

тур 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°K, которая повышается по мере увеличения давления газа. Экспериментально доказано существование электрических дуг с температурой столба выше 50 000°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°K) за несколько секунд. Плазмтроны служат для создания стабильной плазменной дуги и имеют различные конструктивные исполнения, хотя по способу образования плазмы отличаются незначительно. Во всех конструкциях плазмтронов 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 дениевых 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 рисунке 5.12 представлен процесс плазменной резки с ручным управлением, а на рисунке 5.13 с автоматическим управлением.



Рис. 5.12 Ручная плазменная обработка

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 рисунке 5.14 представлен процесс плазменной резки.

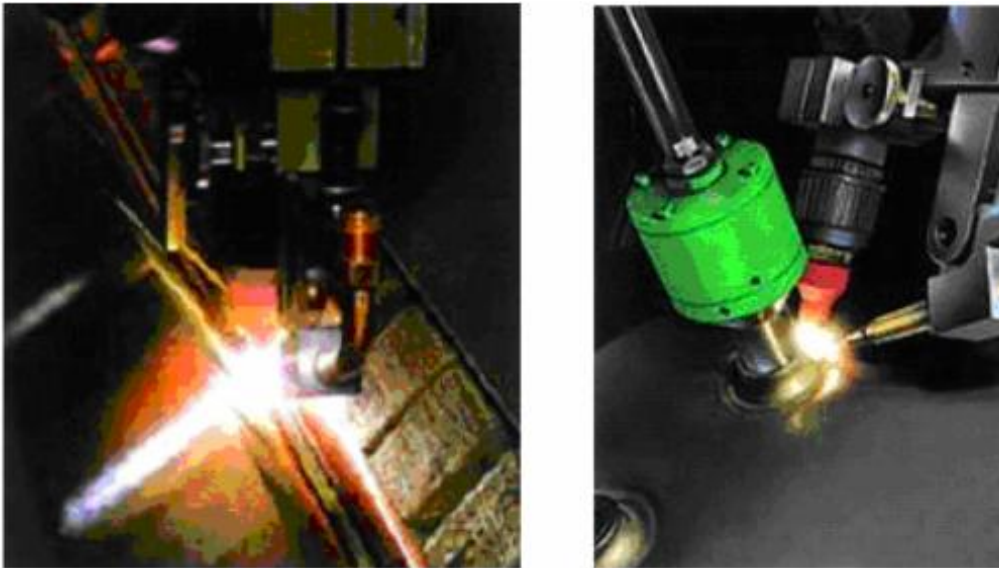


Рис. 5.13 Автоматизированная плазменная обработка на специализированном оборудовании

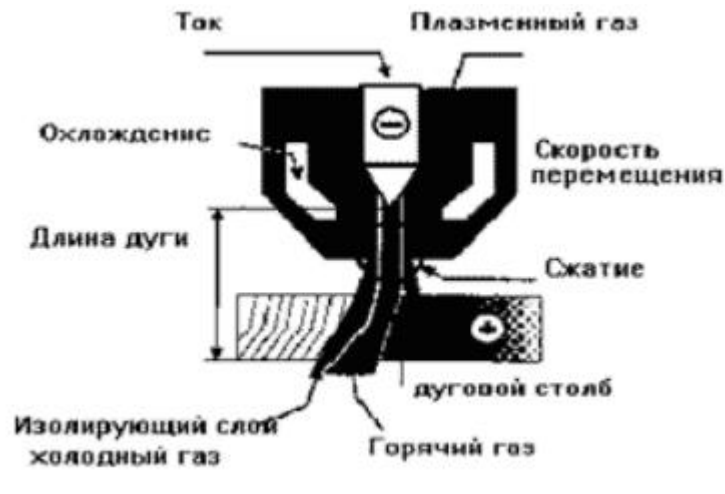


Рис. 5.14 Схема плазменной обработки

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

- резка нержавеющей стали и цветных металлов: классический способ кислородной резки в этом случае не может быть применен вообще, а лазерная резка, помимо выше указанных недостатков, ограничена возможностью резки только определенных толщин. К тому же неограниченные возможности и получаемое качество резки в сочетании с суммой вложенных инвестиций делают плазменную резку наиболее соответствующей запросам покупателя.
- резка углеродистых марок стали малой и средней толщины (< 30 мм).
- серийное производство металлических деталей.

- резка сложных геометрических форм, исключая деформацию разрезаемого материала.

Положительные стороны плазменной резки:

- высокая производительность, т.е. сравнительно более высокая скорость резки
- простота в подготовке к работе и запуске;
- стабильность качественных показателей резки;
- при необходимости процесс может быть легко автоматизирован или роботизирован;
- незначительная зона термического воздействия;
- незначительное или полное отсутствие деформации разрезаемого материала.

В практике существуют различные виды плазменной резки, применяемые каждый в определенной области в зависимости от используемого плазменного газа (см. табл.5.2)

Таблица 5.2

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

Процесс плазменной резки можно описать следующим образом: плазменная струя образуется в резке: 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.

6. Основы производства радиоэлектронной аппаратуры

В данном разделе использованы материалы из Internet и международных выставок. Современный научно-технический прогресс невозможен без радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которая широко используется как при планировании и управлении производством, так и в автоматизации производственных процессов и в научных исследованиях. Технологии изготовления РЭА постоянно совершенствуются. В развитии радиоэлектронной аппаратуры можно выделить несколько этапов, характеризующих технологии и принципы изготовления РЭА. Этапы развития РЭА(радио электронной аппаратуры).

1. Навесной монтаж (основные элементы: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, электровакуумные (полупроводниковые) приборы).
2. Печатный монтаж (особенности: уменьшение габаритов РЭА и повышение ее надежности).
3. Интегральные микросхемы (особенности: непрерывное возрастание сложности, числа элементов, степени интеграции).

На рисунке 6.1 показаны отрасли применения печатных плат.

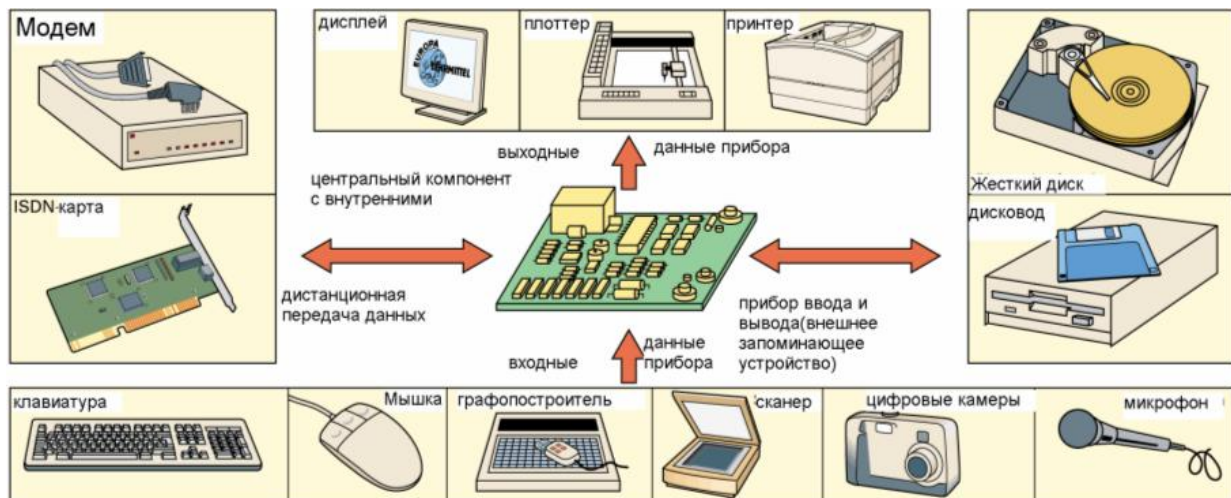


Рис. 6.1 Области применения печатных плат

Каждый новый этап развития технологии изготовления РЭА не отрицал и не исключал ранее разработанную технологию и ранее применявшиеся элементы РЭА, а дополнял и обогащал ее, обеспечивал качественно новый уровень разработки, изготовления и эксплуатации аппаратуры. Поэтому при решении каждой конкретной задачи при выборе элементной базы и соответствующей ей технологии изготовления радиоэлектронного устройства необходимо учитывать достоинства и недостатки каждого поколения РЭА. На первом этапе основными элементами РЭА были резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, электровакуумные и позже полупроводниковые приборы. Все эти элементы изготавливали в виде конструктивно законченных деталей, укрепляемых на шасси с

помощью опорных поверхностей, а их выводы соединяли соответствующим образом проводниками с помощью пайки. В дальнейшем этот вид монтажа получил название навесного монтажа. На рисунке 6.1 показаны отрасли применения печатных плат.

На втором этапе удалось уменьшить габариты РЭА и повысить ее надежность. В ходе развития печатного монтажа: в печатных платах сначала заменили резисторы токоведущими дорожками из материала с большим удельным электрическим сопротивлением, затем конденсаторы - разрывами в токоведущих дорожках, заполненными соответствующим диэлектриком. Такие платы получили название интегральных микросхем. Появление интегральных микросхем открыло перед радиоэлектроникой практически неограниченные возможности.

6.1 Кремний готовится уйти из электронного мира

Развитие технологии изготовления интегральных схем шло по пути возрастания их сложности, увеличения числа элементов, степени интеграции. В результате этого появились сначала большие (БИС), а затем и сверхбольшие интегральные схемы (СБИС). Основным базисным материалом электроники является кремний. Именно на нем строится вся современная электроника. Этот материал используется во всех микросхемах и процессорах. Но в последнее время кремний перестает удовлетворять запросам современной электроники. Хочется более пластичного и современного полупроводника. Японские и американские ученые создали новый токопроводящий пластик. На него возлагаются очень большие надежды. Он относится к семейству жидких полимеров. Такие материалы могут принять любую форму, а потом их закрепляют с помощью ультрафиолета, который делает жидкость пластиком. Новый вид полупроводников абсолютно не боится воды. Поэтому его можно применять в любых конструкциях. Самая сложная задача заключается в том, чтобы придать материалу нужные свойства полупроводника и обозначить токопроводящую структуру. Ученые уверены, что в этом им поможет низкотемпературный разряд. Такой, который используется в лампах дневного света. Что ждать от электроники в ближайшие 10 лет? Прежде всего, можно сказать с большой долей уверенности, что кремний уйдет в прошлое. Современное процессоростроение уже вынуждено хитрить, потому что толщина р-п переходов становится соизмерима с атомными размерами. Большие надежды связывают с полимерами и органическими процессорами. Полимеры удобны тем, что они хорошо исследованы и обладают хорошо прогнозируемыми физическими свойствами. Органика имеет огромный потенциал. Однако создать живой процессор смогут еще не скоро, но разработки в этом направлении ведутся.

6.2 Технологии настоящего и будущего

Над созданием разнообразных "пластиковых" электронных устройств в настоящее время работают немало компаний и исследовательских лабораторий. Правда, предлагаемые на сегодняшний день решения в большинстве своем

предполагают некий сплав новых и традиционных технологий. Например, одним из самых распространенных подходов является нанесение полупроводниковых материалов на пластиковую подложку. Однако на самом деле существует и другой вариант - использование пластичных материалов с проводящими свойствами, а точнее, - проводящих полимеров.

Первые, самые важные результаты в данной области, по сути ставшие отправной точкой для всех дальнейших исследований, были получены Хидеки Ширакавой (Hideki Shirakawa) из Университета г. Цукуба (Япония), Аланом Хигером (Alan J. Heeger) из Калифорнийского университета и Аланом Макдармидом (Alan G. MacDiarmid) из Университета Пенсильвании. Первое сообщение о них появилось в 1977 г. в "Journal of Chemical Society"

Сущность: основой для токопроводящих полимеров служат высокомолекулярные вещества с молекулами, в которых имеются чередующиеся двойные связи. В чистом виде они не являются проводниками заряда, поскольку электроны в них локализованы вследствие участия в образовании сильных химических связей. Для освобождения электронов применяются различные примеси. После их ввода появляется возможность перемещения зарядов (электронов и дырок) вдоль молекулярной цепи.

Электролюминесцентные полимеры. Одним из важных шагов в развитии полупроводниковых полимеров стало получение в самом начале 90-х годов электролюминесцентных полимеров.

Они также являются проводящими, а излучение в них происходит за счет рекомбинации зарядов и дырок. К настоящему времени такие полимеры уже находят широкое применение в электронной индустрии: именно на их основе строятся дисплеи на органических светодиодах (OLED - Organic Light-Emitting Display), рассматриваемые многими специалистами как очень серьезный конкурент ЖК-дисплеям на рынке карманных устройств. На рисунке 6.2 представлена схема работы "полимерного" принтера.

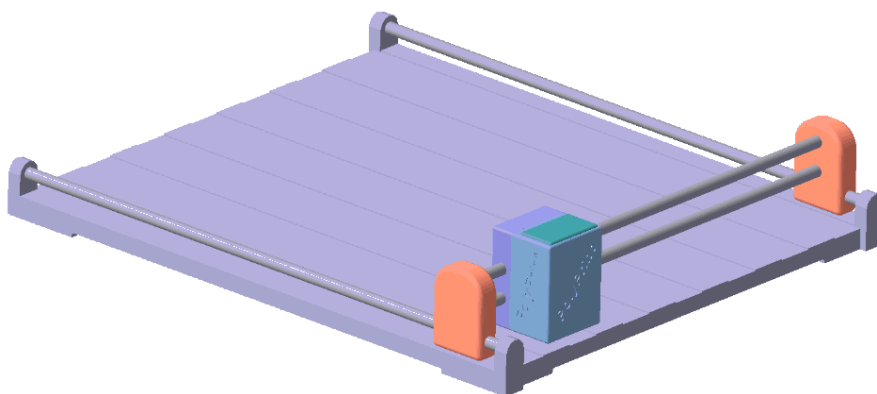


Рис. 6.2 Схема работы "полимерного" принтера

Практическое применение. Полимерные проводники и полупроводники считаются сейчас основой органо-электроники 21-го века. Конечно, вещества на основе органических углеродных молекул хуже проводят электричество чем,

скажем, медь, и несколько хуже кремния в качестве основы микрочипов. Но они легко принимают любую необходимую форму, более легки и дешевы.

К тому же, изменяя химический состав, можно варьировать свойства этих веществ в гораздо более широких пределах, чем неорганических. Растворенные полимеры можно заправлять в обычные струйные принтеры и напылять различные электронные устройства прямо на бумагу или другую гибкую основу.

Например, напыляя полимерные светодиоды, можно делать видеодисплеи мобильных телефонов и других карманных устройств.

Существует еще масса идей и разработок в области практического применения проводящих полимеров. В ближайшие годы, по прогнозам специалистов, эти технологии прочно войдут в нашу жизнь.

6.3 Струйная печать как способ изготовления электронных плат

Одним из передовых подходов к изготовлению электронных устройств является разработка компании Seiko Epson.

В ноябре 2004 года во время специально организованной пресс-конференции в Токио специалисты Seiko Epson представили первую в мире, согласно их утверждению, сверхтонкую многослойную микроэлектронную плату (рис. 6.3), которая изготовлена с применением метода струйной печати.

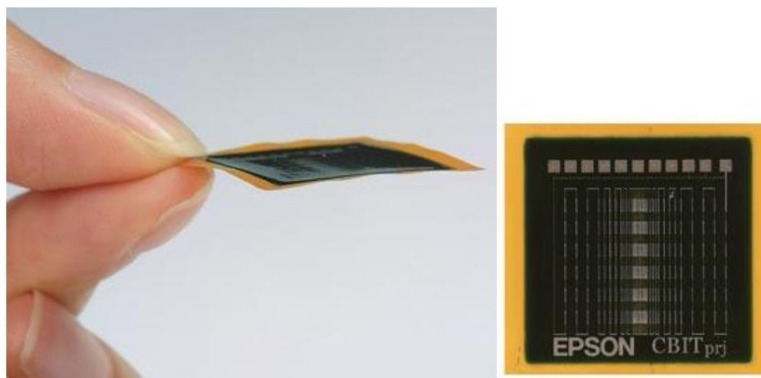


Рис. 6.3 Пример сверхтонкой многослойной платы

Продemonстрированная Seiko Epson печатная (во всех смыслах этого слова) плата обладает размерами всего 20x20 мм, а толщина ее равняется лишь 200 мкм. Данная разработка является частью исследовательского проекта, рассчитанного на три года (реализация его началась в июне 2003 г.). Участники проекта ставят перед собой две основные цели: во-первых, добиться существенно-го снижения энергоемкости процесса изготовления печатных плат, во-вторых, создать миниатюрные, легкие, высокопроизводительные платы, пригодные для использования в конечных устройствах, в частности в вычислительном и коммуникационном оборудовании. На протяжении уже многих лет для размещения медных соединений на многослойных платах применяется метод фотолитографии. Однако становится все труднее изготовлять подобным образом миниа-

турные и быстрые, но в то же время дешевые платы, поскольку упомянутый метод требует постоянного уменьшения толщины медных слоев, создания отдельной фотомаски для каждого из них, формирования электрических соединений между слоями (что само по себе является весьма сложным процессом) и, наконец, большого количества различных химических компонентов и реактивов - фоторезиста, проявителя, вытравливателей, обесцвечивающих средств и т. п. В то же время технология струйной печати имеет множество преимуществ в сравнении с фотолитографией. Так, она предусматривает использование гораздо меньшего объема материалов, а сам процесс является "сухим", т. е. не происходит загрязнение воздуха вредными жидкостями. Помимо этого, процедура изготовления плат с помощью струйной печати состоит из меньшего числа шагов и легко адаптируется к различным типам устройств (поскольку не применяются фотомаски), что особенно важно, когда необходимо выпускать малые партии плат разной конструкции. Наконец, данная технология оптимально подходит для работы с многослойными структурами, так как межслойные соединения могут быть напрямую нанесены на плату. Одним словом, струйная печать позволяет производить многослойные платы высокой плотности, имеющие малую стоимость, причем - без какого-либо ущерба для окружающей среды.

Если говорить непосредственно о разработке, продемонстрированной Seiko Epson, то это 20- слойная плата размером 20x20 мм и толщиной 200 мкм (без учета твердой подложки). При формировании топологии соединений на ней применялось два типа чернил - изолирующие и проводящие. В последних содержатся микрочастицы серебра, диаметр которых составляет от нескольких до десятков нанометров. Следует отметить, что в будущем планируется использовать и другие проводящие материалы, в том числе алюминий, никель и магний - это должно способствовать еще большему снижению стоимости "отпечатанных" плат. Размеры поперечного сечения соединений в показанной плате равны 50x4 мкм (соответственно ширина и высота), а минимальное расстояние между ними - 110 мкм. В будущем инженеры компании рассчитывают довести толщину соединений до 15 мкм. Общая протяженность линий связи в представленной плате около 5 м.

К поставкам опытных образцов плат, выпускаемых методом струйной печати, Seiko Epson планирует приступить в 2006 г., а начать коммерциализацию данной технологии в 2007 г.

В процессе изготовления плат методом струйной печати используется два вида чернил - проводящие и изолирующие, при этом в случае многослойных плат (рис. 6.4) формирование электрических соединений между слоями не представляет особой проблемы в отличие от применяемой в настоящее время технологии фотолитографии. Плюс ко всему, новый метод позволяет легко переключиться с одной конструкции выпускаемых плат на другую.

Аналогичные разработки ведутся фирмой E Ink, которая была основана в 1997 г. группой сотрудников лаборатории Media Lab Массачусетского технологического института во главе с Джозефом Джекобсоном (Joseph Jacobson).

Работы в данном направлении продвигаются весьма успешно. Около года назад E Ink удалось привлечь к разработкам компанию Lucent Technology, и вот ими представлен первый прототип гибкого дисплея.

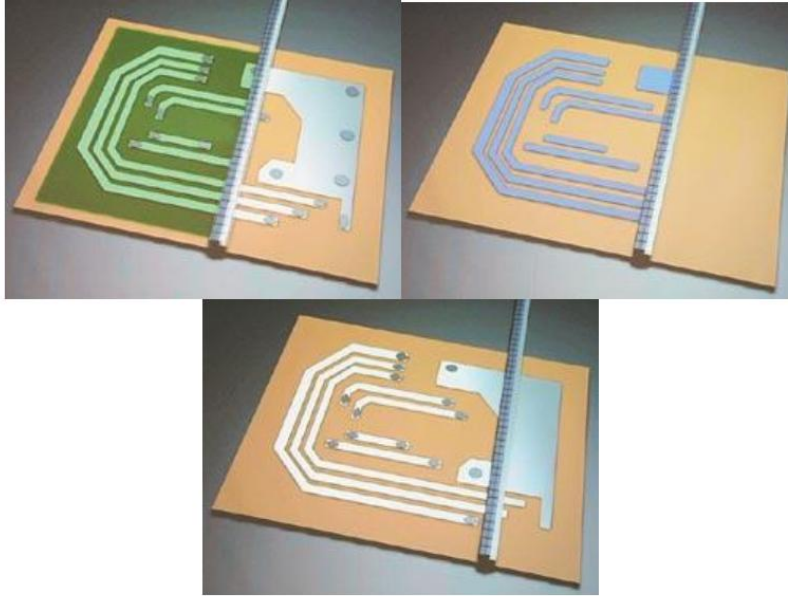


Рис. 6.4 Послойное нанесение слоев на плату

Данное устройство имеет видимую область площадью 25 кв. дюймов и содержит несколько сотен пикселей. Основой его служат две новейшие технологии собственно электронные чернила от E Ink, а также "пластиковые транзисторы" от Bell Labs (последняя технология предполагает создание интегрированных схем на основе пластичных материалов). Технология E Ink предполагает использование двухцветных сферических микрочастиц, за счет изменения ориентации которых и формируется изображение (основой ее служат результаты исследований, проводившихся в центре Xerox PARC еще в 70-х годах). Сфера потенциального применения подобных дисплеев очень широка - ноутбуки, электронные книги, карманные устройства и т. п. Ниже представлен термочувствительный элемент, напечатанный с помощью обычного струйного принтера. (см. рис 6.5).

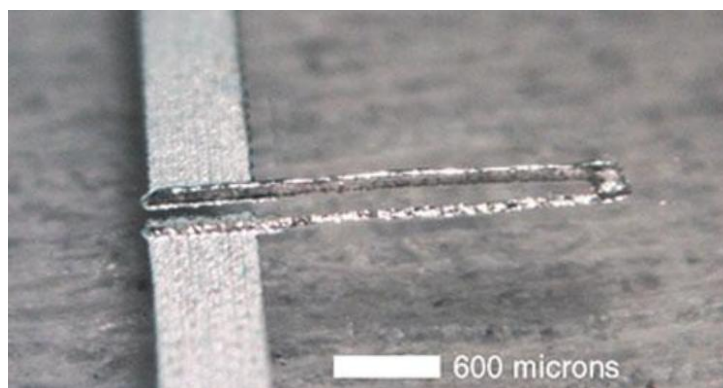


Рис. 6.5 Термочувствительный элемент, напечатанный с помощью обычного струйного принтера

На этом ученые останавливаться не собираются. Их новая цель - создать технологию, которая позволила бы изготавливать микросхемы методом обычной печати. Идея заключается в том, чтобы производить чипы путем напыления на подложку специальных "полупроводниковых" чернил. К настоящему времени в MIT Media Lab уже смогли найти способ получения жидкости с необходимыми свойствами, состоящей из агрегатов размером приблизительно 100 атомов каждый. Как считают исследователи, этого вполне достаточно, чтобы "печатать" структуры с характерными размерами порядка 200 нм, что уже сравнимо с уровнем интеграции современных микросхем. Более того, специалисты Media Lab полагают, что задуманная ими технология позволит в конечном итоге получать не только отдельные микросхемы, но и устройства, если можно так выразиться, больших масштабов, вплоть до законченных вычислительных систем. Над проблемой исследования в области "печатных" микросхем работает и ряд других исследовательских лабораторий, но их разработки основаны на применении органических полимеров. Одним из главных преимуществ таких материалов является их дешевизна, но дело в том, что они изначально имеют ограничения в плане наращивания скорости чипа. В то же время группа Джекобсона предлагает использовать жидкие суспензии ("чернила") на основе неорганических полупроводников, подобных тем, из которых изготавливаются микропроцессоры, и позволяющих достичь значительной производительности. Кроме таких очевидных преимуществ как дешевизна, простота и быстрота изготовления описанный подход имеет еще и целый ряд других достоинств. В частности, напыление производится при температуре не выше 300 градусов Цельсия, что позволит использовать в качестве подложки легкоплавкие материалы, в первую очередь все тот же пластик.

Благодаря простоте и дешевизне проводящих полимеров их использование в электронике способно повлечь за собой серьезные изменения в самой идеологии полупроводниковой отрасли, сделав возможным перенос в нее, ни больше ни меньше, модели открытого кода: практически каждый желающий сможет брать ту или иную микросхему, вносить в нее коррективы и печатать!

7. Производственные и технологические процессы в приборостроении

В данном разделе использованы материалы учебника А.А. Маталина «Технология машиностроения» [2].

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий. В состав производственного процесса включаются все действия по изготовлению и сборке продукции, контролю ее качества, хранению и перемещению на всех стадиях изготовления, организации снабжения и обслуживания рабочих мест и участков, управление всеми звеньями производства.

7.1 Технологический процесс и его структура

Технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. [1]

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

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

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

Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия или этого же изделия, но на другом рабочем месте. Например, обработка ступенчатого валика в центрах на токарном станке представляет собой одну технологическую операцию, если ее выполняют в такой последовательности: устанавливают заготовку в центрах, обтачивают валик с одного конца, снимают заготовку, переустанавливают хомутик и вторично устанавливают заготовку в центрах, обтачивают валик с другого конца.

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

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

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

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

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

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

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

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

Технологический переход - законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента, обрабатываемых поверхностей и параметров режима обработки. Применительно к станкам с системой ЧПУ существует понятие

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

Вспомогательный переход - законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Например, установка заготовки, смена инструмента. **Рабочий ход** - это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки в направлении подачи.

Вспомогательный ход - это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимого для подготовки рабочего хода.

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

7.2 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 производства.

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 ремонтные и эксплуатационные нужды и содержание оборудования), разный уровень оснащенности. Сравнение характеристик различных типов производств приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1

№, 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. 7.1. требуют хотя бы кратких пояснений. Сделаем это для каждого типа производства.

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

Отсутствие постоянства номенклатуры объясняется тем, что те, 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 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 производств, оно требует наличия пусть небольшого количества, но очень квалификационных наладчиков.

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

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

Как эти характеристики технологически обеспечивается будет изложено в следующих главах.

8. Точность изготовления деталей приборов и методы ее обеспечения

В данном разделе использованы материалы учебника А.А. Маталина «Технология машиностроения» [2].

Точность большинства изделий приборостроения является важнейшей характеристикой их качества. 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 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 точным 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 неперемennых 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: пробных ходов и промеров или методом автоматического получения размеров на настроенных станках.

8.1 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. Таким образом, путем пробных ходов и промеров

устанавливают правильное положение инструмента относительно заготовки, при котором обеспечивается требуемый размер. 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 (чертилками, 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.

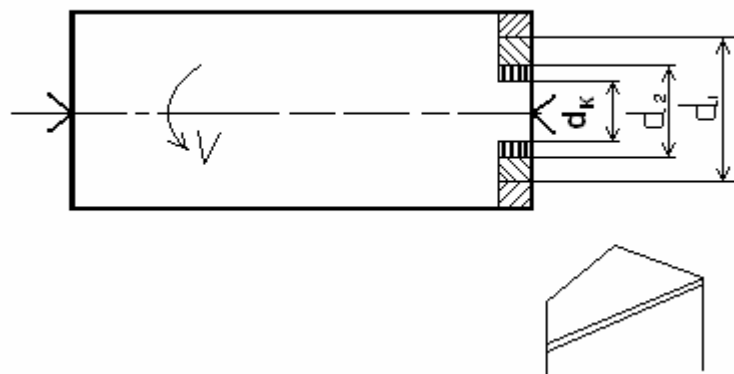


Рис. 8.1 Схема реализации метода пробных ходов и промеров

Метод пробных ходов и промеров имеет следующие достоинства.

1. На неточном оборудовании позволяет получить высокую точность обработки.
2. Рабочий высокой квалификации путем пробных промеров и ходов может определить и устранить погрешность заготовки, возникшую при ее обработке на неточном станке.

3. При обработке партий мелких заготовок 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.

4. При неточной заготовке позволяет правильно распределить припуск и предотвратить появление брака.

5. Из маломерной заготовки при разметке часто удается выкроить контур обрабатываемой заготовки и получить годное изделие.

6. Освобождает рабочего от необходимости изготовления сложных и дорогостоящих приспособлений типа кондукторов, поворотных и делительных приспособлений и др.

7. Положение центров отверстий и взаимное расположение обрабатываемых поверхностей предопределяется разметкой.

В месте 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 0,005мм, а при точении обычно заточенными резцами она составляет 0,02мм (при некотором затуплении резца – даже 0,05мм). Очевидно, что при работе пробными ходами рабочий не может внести в размер заготовки поправку менее толщины снимаемой стружки, а следовательно, и гарантировать получение размера с погрешностью, меньшей этой толщины.

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

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

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

5. 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 – глубинной резания t , а значит и деформацией, т.е. погрешностью обработки. Кроме того, свойства и материала заготовки, и ее геометрические погрешности, и жесткость могут существенно изменяться по траектории обработки.

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

8.2 Метод автоматического получения размеров на настроенных станках

Этот метод в значительной мере свободен от недостатков, свойственных методу пробных ходов и промеров (см. рис.8.2).

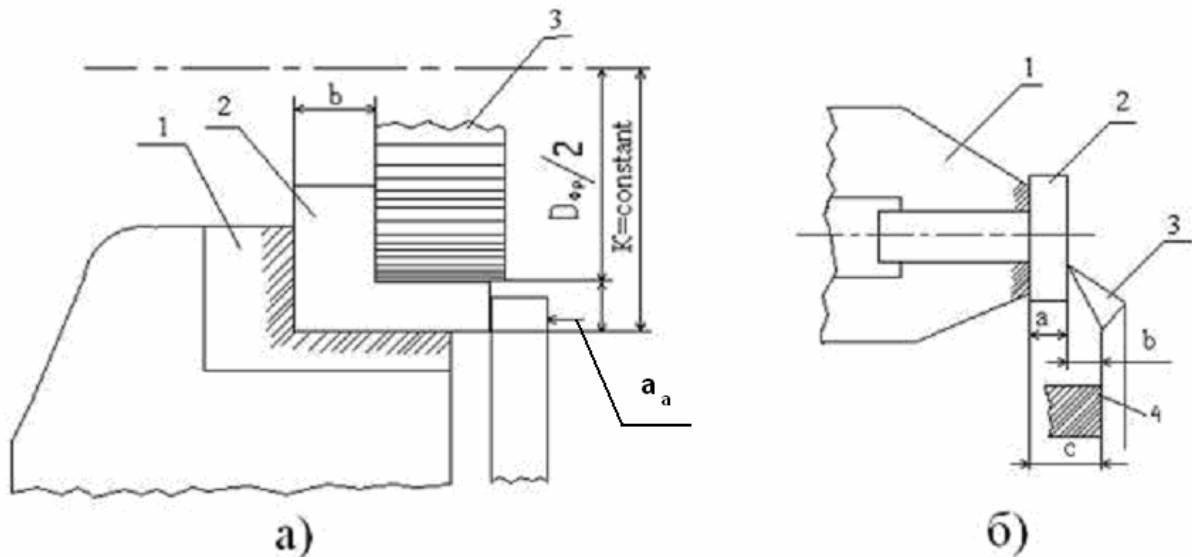


Рис. 8.2 Обработка заготовок по методу автоматического получения размеров

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. 8.2, 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 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. 8.2, б) размер **a** заготовки определяется расстоянием **c** от торца зажимного приспособления **1** до поверхности упора **4**, ограничивающего перемещение резца **3**, а также расстояни-

ем **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 сохраняется 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 так же определяющего метод ее установки и крепления и конструкцию необходимо го приспособления.

К преимуществам метода автоматического получения размеров относятся:

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

Все причины возможного брака при использовании метода пробных ходов и промеров сохраняются в различной степени и здесь. И, если колебания глубины резания здесь обусловлены, в основном, геометрическими погрешностями заготовки и нестабильностью жесткости заготовок, то эти и другие непостоянства в пределах партии заготовок проявляются в гораздо большей степени, чем в пределах одной заготовки. К тому же набегает погрешности износа инструмента, что требует своевременной поднастройки оборудования. Преимущества метода автоматического получения размеров на настроенных станках определяют его широкое распространение в условиях современного серийного и массового производства. Использование этого метода в условиях мелкосерийного производства ограничивается некоторыми экономическими соображениями: потери времени на предварительную настройку станков могут превзойти выигрыш времени от автоматического получения размеров; затраты на изготовление однородных и точных заготовок, требуемых для работы на настроенных станках, могут не окупиться при малых количествах выпускаемой продукции; тщательная технологическая подготовка производства с подробной разработкой техно-

логических 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.

8.3 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. 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, а также погрешности теоретической схемы обработки заготовки.

8.3.1 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 в их ненагруженном состоянии. \Ниже приведены некоторые характеристики геометрической точности(в миллиметрах) станков общего назначения средних параметров. 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 300мм.....0,02

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 таблице 8.1.

Таблица 8.1

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

Погрешности геометрической точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки в виде систематических погрешностей. Величина этих систематических погрешностей поддается предварительному анализу и расчету. Например, при не параллельности 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.

8.3.2 Погрешности, связанные с неточностью и износом режущего инструмента

Неточность режущего инструмента (особенно мерного инструмента типа развёрток, зенкеров, протяжек, концевых фрез, фасонного инструмента) во многих случаях непосредственно переносится на обрабатываемые заготовки, обуславливая получение систематических погрешностей формы и размеров обработанных поверхностей.

Однако, в связи с тем, что точность изготовления режущего инструмента на специальных инструментальных заводах или в инструментальных цехах машиностроительных заводов обычно достаточно высока, неточность изготовления инструментов практически мало отражается на точности изготовления деталей. Значительно большее влияние на точность обработки заготовок оказывают погрешности режущего инструмента, связанные с его износом.

Износ режущего инструмента при работе на настроенных станках по методу автоматического получения размеров приводит к возникновению переменных систематических погрешностей обработки. При чистовой обработке заготовок износ резцов происходит по их задней поверхности, что вызывает отдаление

вершины от центра вращения заготовки на величину радиального износа и соответствующее увеличение радиуса обточки (или уменьшение радиуса расточки). На рисунке 8.3 представлена типовая кривая износа инструмента в процессе его работы.

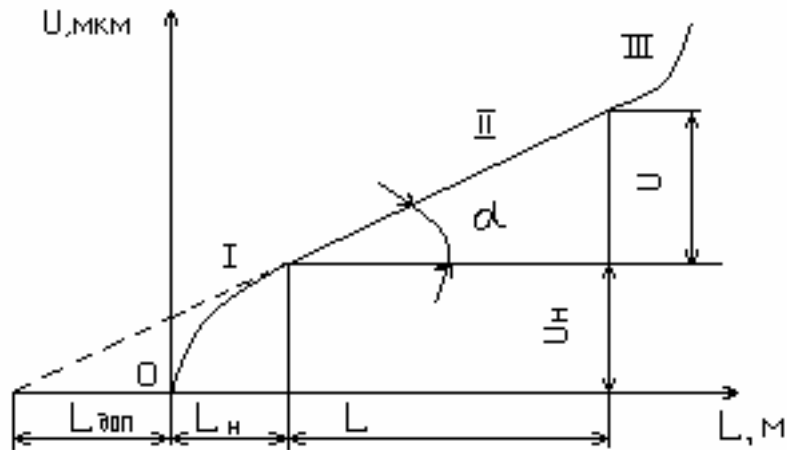


Рис.8.3 Зависимость износа инструмента U от длины пути резания

В соответствии с общими закономерностями износа при трении - скольжении в начальный период работы инструмента, называемый периодом начального износа (участок I на рис.8.3), износ наиболее интенсивен.

В период начального износа происходит приработка режущего лезвия инструмента, сопровождающаяся выкрашиванием отдельных неровностей и заглаживанием штрихов - следов заточки режущих граней.

В этот период шероховатость обработанной поверхности обычно постепенно уменьшается. Начальный износ U_n и его продолжительность L_n (т.е. продолжительность приработки инструмента) зависят от материалов режущего инструмента и изделия, качества заточки, а также от доводки инструмента и режимов резания.

Обычно продолжительность начального износа, выраженная длиной " L " пути резания, находится в пределах 500-2000 м (первая цифра соответствует хорошо доведённым инструментам, вторая - заточенным инструментам). Второй период износа (участок II) характеризуется нормальным износом инструмента, прямо пропорциональным пути резания.

Интенсивность этого периода износа принято оценивать относительным (удельным) износом U_0 , определяемым формулой $U_0 = U/L$, где U - размер износа в мкм на пути резания L ; L - путь резания в зоне нормального износа в км. Длина L пути резания в период нормального износа при обработке стали резцами Т15К6 может достигать 50 км.

Третий период износа (участок III) соответствует наиболее интенсивному катастрофическому износу, сопровождающемуся значительным выкрашиванием и

поломками инструмента, недопустимыми при нормальной эксплуатации инструмента.

8.3.3 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, 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 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.

8.3.4 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 колёс червячными фрезами теоретическая схема операции (качение нарезаемого зубчатого колеса по прямолинейной рейке осевого сечения червячной фрезы) заведомо нарушается наклоном канавки, образующей режущие лезвия фрезы, что ведёт к появлению систематической погрешности эвольвентного профиля зуба. Аналогично возникают погрешности эвольвенты зуба в процессе его строгания долбьями в связи с нарушением правильного профиля последних при образовании переднего угла при заточке. При нарезании зуба модульными фрезами систематическую погрешность профиля зуба вызывает несоответствие количества нарезаемых зубьев расчётному числу, для которого спроектирована фреза. При фрезеровании и нарезании резьбы вращающимися резцами (вихревое нарезание) (см. рис. 8.4) кинематическая схема операции предопределяет искажения окружности резьбы, заменяя дуговые участки этой окружности хордами, длина которых зависит от соотношения скоростей вращения заготовки и резьбового резца.

8.3.5 Погрешности, вызываемые упругими деформациями заготовки

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

Представилось целесообразным выделять из общей технологической системы заготовок с теми элементами станков и(или) приспособлений, с которыми заготовка контактирует непосредственно (см. рис. 8.5)

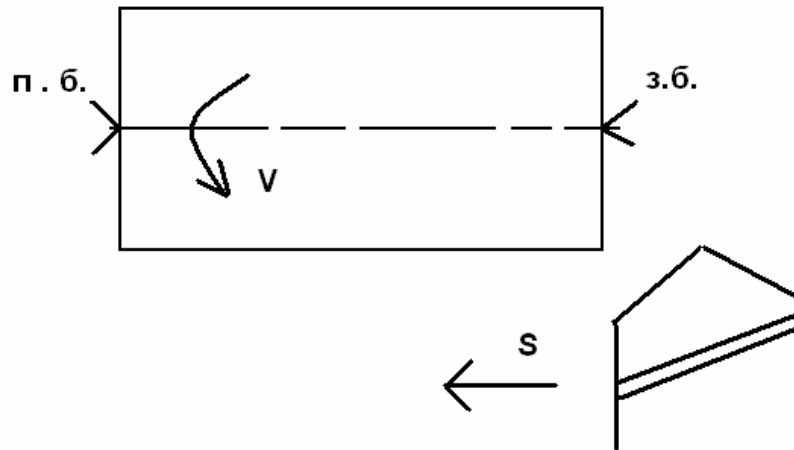


Рис. 8.5 Схема обработки цилиндрической заготовки в центрах токарного станка

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 8.4. это жесткости передней бабки ($j_{п.б.}$) и жесткость задней бабки ($j_{з.б.}$). Рассмотрим два противоположных варианта:

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

готовки, 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 противоположный результат, т.е. погрешность формы в виде седлообразности.

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.

8.4 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, причём 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 своё действие одновременно и независимо друг от друга.

К таким причинам относятся колебания твёрдости обрабатываемого материала и величины снимаемого припуска; изменения положения исходной заготовки в приспособлении, связанные с погрешностями её базирования и закрепления или обусловленные неточностями приспособления; неточности установки положения суппортов по упорам и лимбам; колебания температурного режима обработки и упругих отжаты элементов технологической системы под влиянием нестабильных сил резания и т.п. Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров заготовок при их рассеянии успешно применяются методы математической статистики.

8.4.1 Законы рассеяния (распределения) размеров

В результате возникновения случайных погрешностей при обработке партии заготовок на настроенном станке действительный размер каждой заготовки является случайной величиной и может принимать любое значение в границах определённого интервала. Совокупность значений действительных размеров заготовок, обработанных при неизменных условиях и расположенных в возрастающем порядке с указанием частоты повторения этих размеров (**m**) или частот, называется распределением размеров деталей. Под частотой понимается отношение числа деталей одного размера к общему числу деталей партии. На рисунке 8.6 представлена гистограмма распределения действительных размеров, а в таблице 8.2 эта же гистограмма представлена в табличной форме.

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. Частость в этом случае представляет собой отношение числа m деталей, действительные размеры которых попали в данный 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. 8.2. Распределение измеренных размеров таких деталей можно представить в виде графика (рис. 8.6).

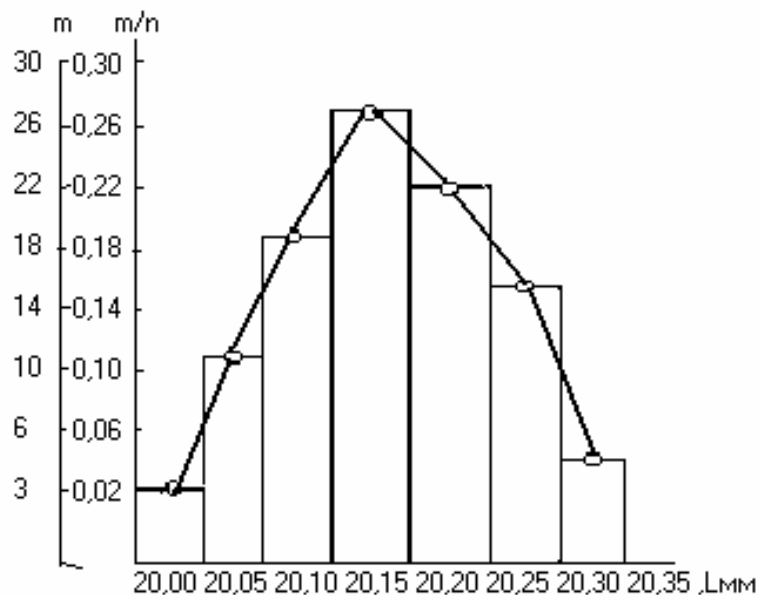


Рис 8.6 Распределение действительных размеров заготовок

Таблица 8.2

Интервал, мм	Частота m	Частость, 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:	$n = \sum m = 100$	$\sum m/n = 1$

По оси абсцисс откладывают интервалы размеров в соответствии с табл. 8.2, а по оси ординат соответствующие им частоты m или частости m/n . В результате

построения получается ступенчатая линия 1, 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 и функции распределения, представляющие собой композицию 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, обработанных 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:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_i - L_{\text{сред}})^2}{2\sigma^2}} \quad (8.1)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum (L_i - L_{\text{сред}})^2 \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (L_i - L_{\text{сред}})^2 m_i} ; \quad (8.2)$$

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.

$$L_{\text{сред}} = \sum L_i \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum L_i m_i, \quad (8.3)$$

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

Кривая, характеризующая дифференциальный закон нормального распределения, показана на рис. 8.7. Среднее арифметическое $L_{\text{ср}}$ действительных размеров деталей данной партии характеризует положение центра группирования размеров.

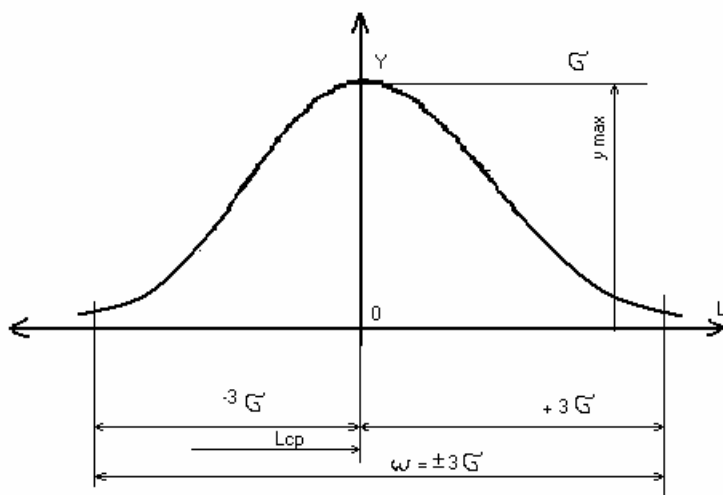


Рис. 8.7 Кривая нормального распределения (Закон Гаусса)

Влияние сигмы на форму кривой нормального распределения показана на рис. 8.8.

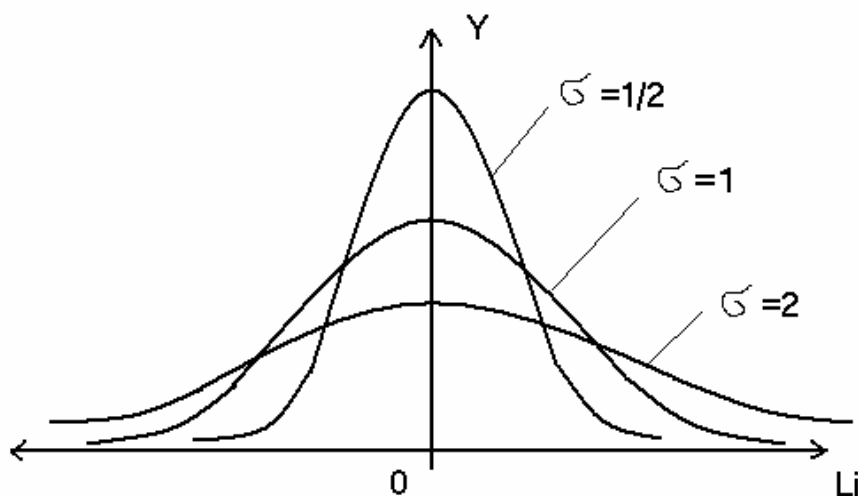


Рис. 8.8 Влияние среднеквадратического отклонения на форму кривой нормального распределения

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. 8.9, а) с полем рассеяния

$$\omega = 2\sqrt{6} \cdot \sigma \approx 4,9\sigma \quad (8.4)$$

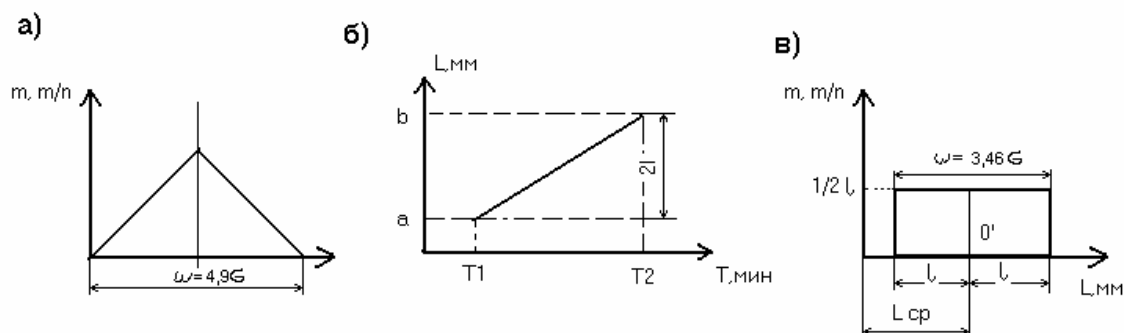


Рис.8.9 Распределение размеров обработанных заготовок по закону Симпсона (а) и по закону равной вероятности (б, в)

Величина среднеквадратического отклонения и в этом случае определяется по формуле (8.2).

Закон равной вероятности. Если рассеяние размеров зависит только от переменных систематических погрешностей (например, от износа режущего инструмента рис. 8.9 в,б), 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. 8.9, 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 :

$$L_{\text{сред}} = (a + b) / 2, \quad (8.5)$$

Среднее квадратическое:

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,577, \quad (8.6)$$

Фактическое поле рассеяния:

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3,46\sigma, \quad (8.7)$$

Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров деталей повышенной точности (5-6-й квалитеты и выше) при их изготовлении по методу пробных ходов и ромеров. 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.

8.4.2 СОСТАВЛЯЮЩИЕ ОБЩЕГО РАССЕЙЯНИЯ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ

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

Рассеяние размеров, связанное с видом обработки (мгновенное рассеяние).

Каждому виду обработки, осуществляемому на определённом оборудовании, свойственна своя величина рассеяния размеров, характеризующаяся полем ω_m рассеяния. Однако и внутри данного вида обработки значение ω_m изменяется в зависимости от конструкции, типоразмера и состояния станка (т.е. от его точности и жёсткости). Развитие конструкции станков и появление их новых типоразмеров могут вызывать переоценку установившихся представлений о рассеянии размеров при данном виде обработки. Рассеяние размеров, связанное с видом обработки, не остаётся постоянным и в продолжении обработки партии заготовок, а изменяется в зависимости от состояния режущего инструмента (рис. 8.7, 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 $\omega_m^{ср}$ в середине обработки партии (рис. 8.10, б).

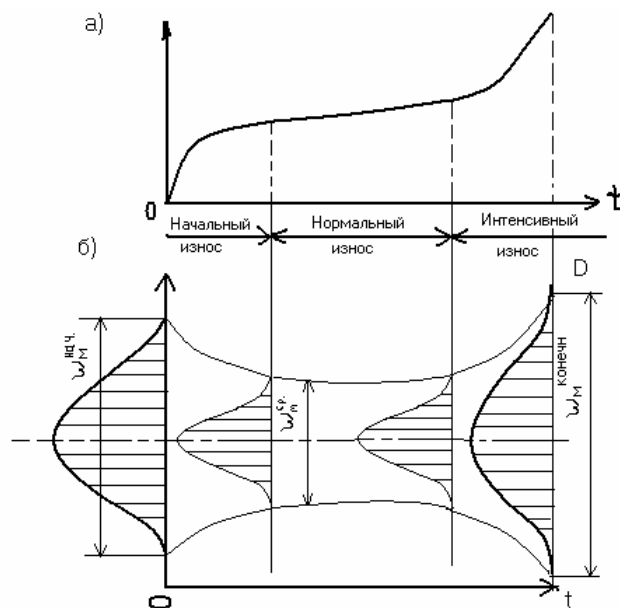


Рис. 8.10 Износ режущего инструмента (а) и изменение поля мгновенного рассеяния размеров изнашиваемой детали (б)

Рассеяние размеров в каждый данный момент времени (мгновенное рассеяние) определяется факторами, не зависящими от нагрузки (зазором в подшипнике шпинделя, неравномерностью процесса резания) и оказывающими влияние на нагрузку (колебаниями припусков на обработку, колебаниями твёрдости обрабатываемого материала). Каждый из факторов, влияющих на мгновенное рассеяние размеров, проявляет своё действие независимо друг от друга и изменяется как случайная величина, формируя поле мгновенного рассеяния ω_m .

Рассеяние размеров, связанное с погрешностью установки. При установке заготовки на станке для обработки методом автоматического получения размеров достигаемая точность размеров зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента. Колебание положения измерительной базы заготовки является причиной возникновения погрешности установки Δ_y , вызывающей рассеяние ω_y размеров. Значение складывается из погрешностей базирования $\Delta_\delta = \omega_\delta$, закрепления $\Delta_z = \omega_z$ и приспособления $\Delta_{np} = \omega_{np}$.

При установке заготовки в приспособлении в ряде случаев возникает погрешность базирования $\Delta_\delta = \omega_\delta$, связанная с несовпадением измерительной (плоскость А) и технологической (плоскость В) баз (рис. 8.11, а) (рис. 8.11, б). Погрешность базирования (поле рассеяния размеров вследствие погрешности базирования) можно определить как разность предельных расстояний измерительной базы заготовки относительно установленного на размер инструмента. Поле рассеяния размера a (рис. 8.8, а), связанное с погрешностью базирования, находится из уравнения $\omega_\delta = Tb$. Не следует путать погрешность базирования с погрешностью установки, связанной с особенностью конструкции установочных элементов. Типичный пример – установка цилиндрической поверхности в призму (рис. 8.11 б). Погрешность размера « m » определяется по известной еще из школьных уроков формуле 8.8, а погрешность базирования возникает только при нарушении принципа совмещения (единства) баз и всегда равна допуску на размер (размеры), соединяющий несовмещенные технологическую и конструкторскую базы на чертеже детали.

$$\omega_\delta = \omega_m = \frac{TD}{2} \left(\frac{1}{\sin(\alpha/2)} - 1 \right) \quad (8.8)$$

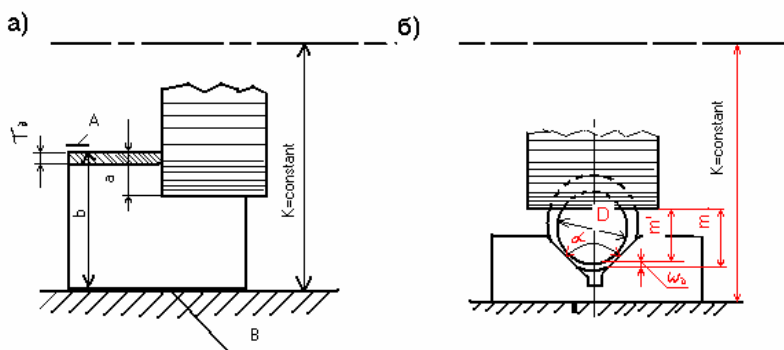


Рис.8.11 Возникновение погрешностей базирования и установки заготовок

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. 8.12).

Изменение деформации заготовки при ее закреплении в приспособлении вызывает рассеяние размеров a с полем рассеяния ω_z , определяемым в большинстве случаев экспериментальным путем

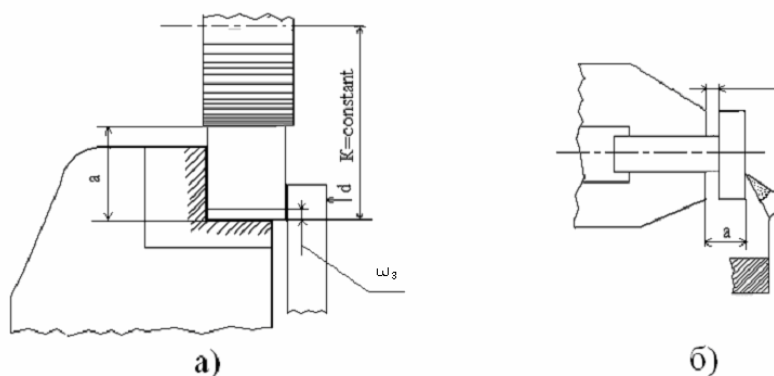


Рис. 8.12 Погрешность закрепления ω_z при фрезеровании (а) и при токарной обработке (б)

Погрешность закрепления $\Delta_z = \omega_z$ 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

$$y = c \cdot P^n \quad (8.9)$$

и могут достигать в отдельных случаях больших значений. В формуле (8.9) c - коэффициент, характеризующий вид контакта, 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 технологической 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 - 0,02мм, и, суммируясь как случайные величины, образуют общую погрешность приспособления. При однократном применении одноместного приспособления (обработка партий заготовок при одной настройке станка или небольшом числе настроек) погрешность приспособления вызывает систематическую погрешность детали и во многих случаях может быть скомпенсирована при настройке станка. В этом случае при расчете общей погрешности установки погрешность приспособления можно не учитывать. При применении многоместных приспособлений, приспособлений - спутников на автоматических линиях, большом числе приспособлений - дублеров погрешности приспособлений в процессе настройки станков скомпенсированы быть не могут и оказывают свое влияние на общее рассеяние размеров изготавливаемых деталей как случайные величины с полем рассеяния ω_{np} . Общая погрешность установки Δ_y складывается из всех перечисленных составляющих и определяется в соответствии с правилами суммирования случайных величин по формуле

$$\Delta_y = \omega_y = 1,2\sqrt{\omega_o^2 + \omega_z^2 + \omega_{np}^2} \quad (8.10)$$

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

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2} \quad (8.11)$$

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

$$\omega_{смещ} = \omega_m / \sqrt{m}, \quad (8.12)$$

где m - число пробных заготовок, по которым производят настройку станка. В этом случае погрешность настройки рассчитывается следующим образом

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2 + \omega_{смещ}^2} \quad (8.13)$$

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

$$\omega = 1,2\sqrt{\omega_m^2 + \omega_y^2 + \omega_n^2} \quad (8.14)$$

или та же формула, но в развернутом виде

$$\omega = 1,2\sqrt{\omega_m^2 + \omega_b^2 + \omega_z^2 + \omega_{np}^2 + \omega_{рег}^2 + \omega_{изм}^2 + \omega_{смещ}^2} \quad (8.15)$$

Численные значения величин, входящих в формулу (8.15), 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 - 0,039мм; токарных - 0,013 - 0,036мм; круглошлифовальных - 0,004 - 0,017 мм. Поле рассеяния, связанное с закреплением ω_z , в среднем составляет: в тисках - 0,05 - 0,2 мм; прихватами - 0,01 - 0,2мм; в патроне - 0,04 - 0,1 мм; в зажимной гильзе - 0,02 - 0,1мм. Погрешность приспособления $\omega_{np} = 0,005 \div 0,02$ мм. 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 - 0,10мм, при особо тщательном регулировании $\omega_{рег} = 0,02$ мм; по индикаторному упору - 0,005 - 0,015 мм; по эталонной детали - 0,10 - 0,13мм. Поле рассеяния, характеризующее погрешность измерения пробных заготовок, составляет: при измерении штангенциркулем с ценой деления 0,02мм - $\omega_{изм} = 0,045$ мм; штангенциркулем с ценой деления 0,05мм - $\omega_{изм} = 0,009$ мм; микрометром - от 0,006 до 0,014мм. Величины погрешностей базирования ω_b и смещения $\omega_{см}$ определяются конкретными расчетами в зависимости от формы опорных поверхностей и постановки размеров, а также от величины сигма для данного случая.

8.5 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.

$$\omega_{обр} = 1,2\sqrt{\omega_m^2 + \omega_y^2 + \omega_n^2} + \Delta_{сум} \quad (8.16)$$

Величина $\Delta_{\text{сист}}$ 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. 8.13, б - г), а следовательно, и общую погрешность обработки. Особенно большое практическое значение при этом имеет определение величины и знаков переменных систематических погрешностей.

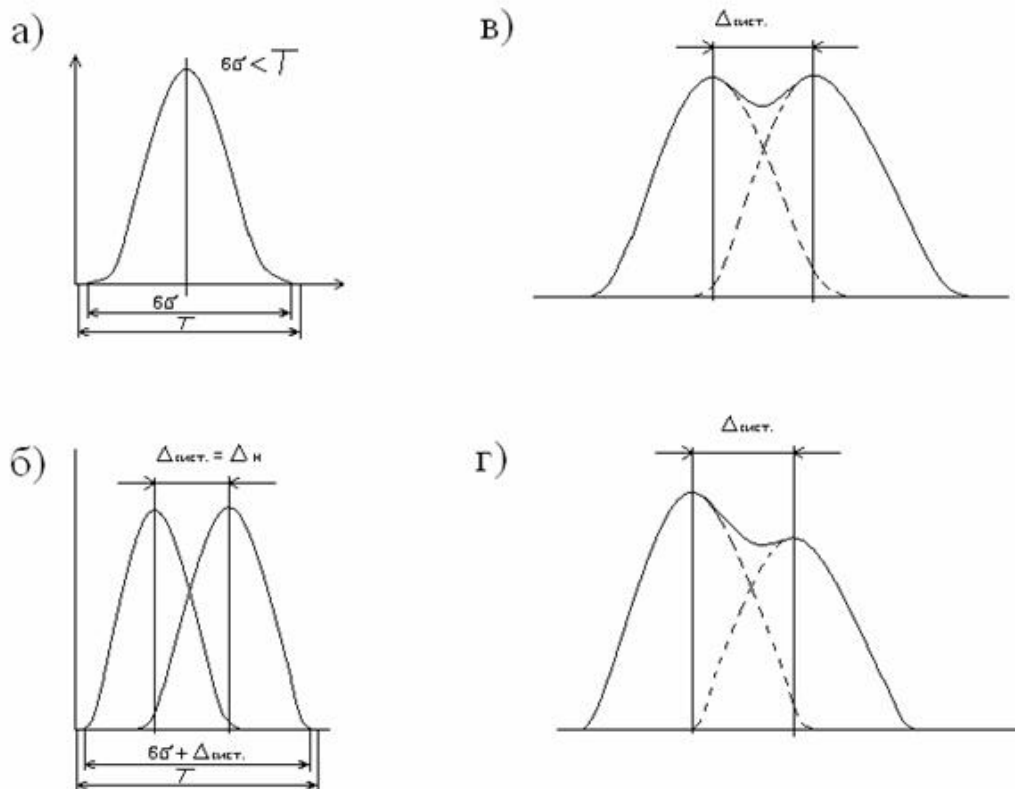


Рис 8.13 изменение формы суммарной кривой рассеяния под влиянием $\Delta_{\text{сист}}$ при обработке нескольких партий заготовок с поднастройкой станка, а - кривая Гаусса ; б - смещение кривой Гаусса на величину погрешности; в, г - кривая имеет несколько вершин разной высоты соответственно числу настроек и количеству заготовок, обработанных с каждой настройки

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 (8.16) 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 погрешностям, 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. Формулы (8.15) и (8.16) 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 $\Delta_{\text{сист}}$, выходящие в формуле (8.16) за знак корня и оказывающие поэтому значительное влияние на общую погрешность. Для уменьшения погрешности настройки $\Delta_n = \omega_n$ необходимо сократить погрешность измерения $\omega_{\text{изм}}$ пробных заготовок, (см. формулу 8.15), путем применения более точного измерительного инструмента и погрешность регулирования за счет использования более точных установочных устройств и усовершенствования конструкций механизмов перемещения элементов станков. Снижение погрешности закрепления можно достигнуть в результате применения более совершенных конструкций приспособлений, предусматривающих плотный прижим базирующих поверхностей заготовок к жестким и точным установочным элементам, а также за счет использования при построении операций настроечных или проверочных технологических баз. Погрешность базирования можно устранить, совмещая технологические и конструкторские базы. Только после использования всех указанных способов уменьшения погрешностей обработки следует анализировать возможности сокращения мгновенного рассеяния. Это связано с тем, что для снижения ω_m обычно приходится заменять производительные и экономичные способы обработки на автоматах и revolverных станках обработкой на более точных, но менее производительных токарных, шлифовальных и доводочных станках. Изложенная методика расчета рассеяния размеров деталей и общей погрешности их изготовления на станках рекомендуется для использования в проектно-технологических организациях и в отделах Главного технолога завода 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, ориентиро-

вочный 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.

8.6 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

$$\Psi = T / \omega \quad (8.17)$$

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).

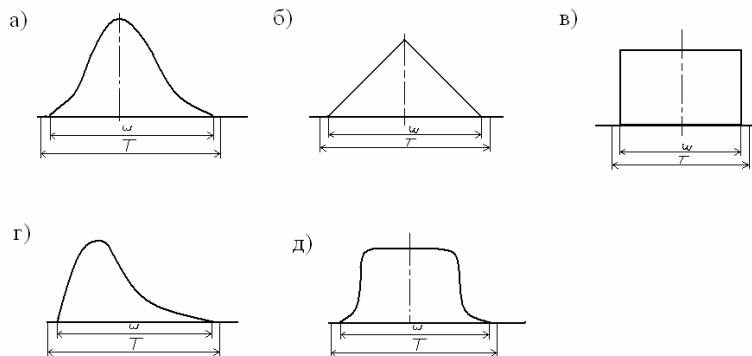


Рис. 8.14 Условие обработки заготовок без брака для разных законов распределения, действительных размеров

При $\psi < 1.0$ брак заготовок является весьма вероятным. При $\psi \geq 1.0$ процесс обработки считается надежным. Для всех законов распределения размеров (рис 8.14) условием обработки заготовок без брака является выражение $\omega < T$, показывающее, что поле фактического рассеяния размеров меньше установленного допуска. 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 и 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 заготовок 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 $6\sigma = L_{\text{факт max}} + L_{\text{факт min}}$. При этом очевидно, что площадь, ограниченная кривой нормального распределения и осью абсцисс (рис. 8.15), равна единице и представляет собой количество (в долях единицы или в процентах) деталей, выходящих по размерам за пределы допуска.

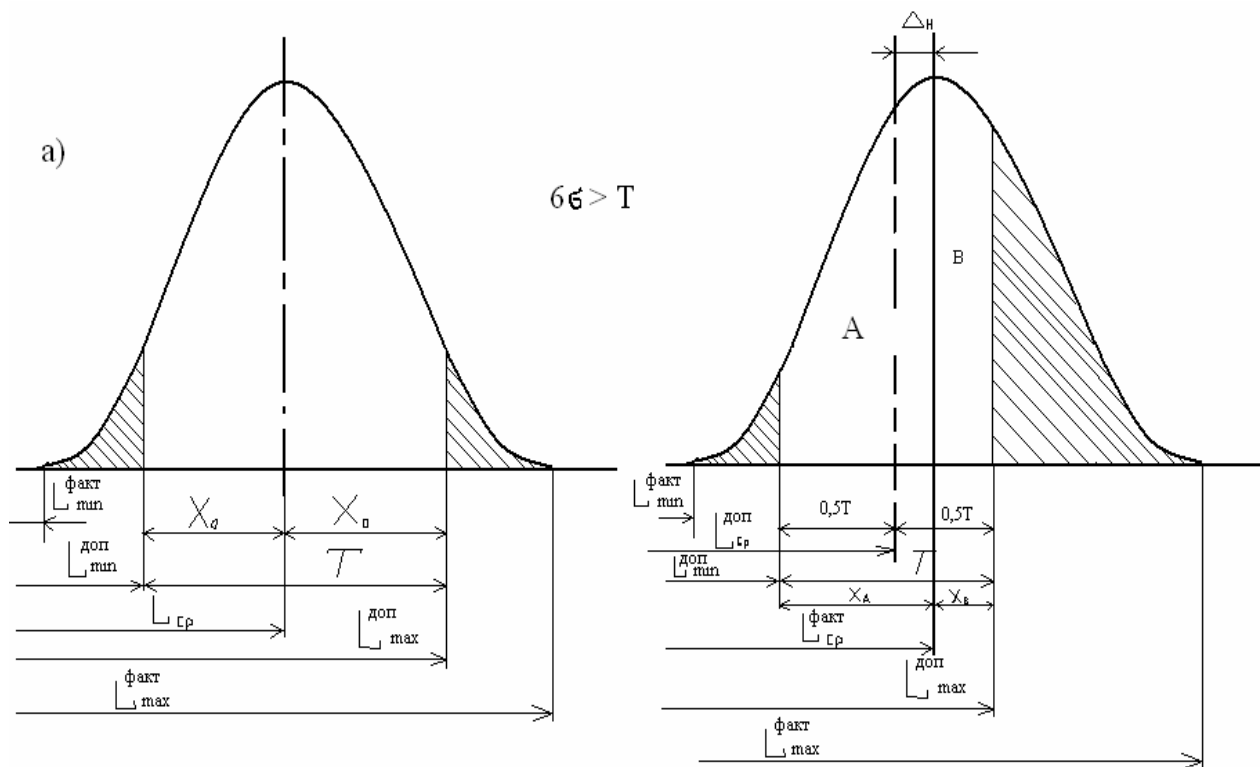


Рис. 8.15 Количество вероятного брака при симметричном (а) и не симметричном (б) расположении поля рассеяния относительно поля допуска

Для определения количества годных деталей необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс на длине, равной допуску $T = L_{\max}^{\text{доп}} - L_{\min}^{\text{доп}}$. При симметричном расположении поля рассеяния относительно поля допуска (рис.8.15) следует найти удвоенное значение интеграла, определяющего половину площади, ограниченной кривой Гаусса и абсциссой x_0 ,

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-\frac{(L_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}} dL \quad (8.18)$$

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

Эту функцию можно записать в нормированном виде в форме известной функции Лапласа:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (8.19)$$

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 металлургических станках, лежат внутри технологической системы: станок – приспособление – заготовка – инструмент. В конечном итоге, речь идет о величине отклонений относительно 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 элементов (величина обратная жесткости: $w=1/j$; м/МгН; мкм/кгс), свойства материалов и геометрические характеристики элементов технологической системы. Сошлемся на несколько простейших примеров. Заготовка, устанавливается в центрах токарного станка, может с достаточной для практики степенью точности как балка на двух опорах, нагруженная сосредоточенной силой (рис.8.16)

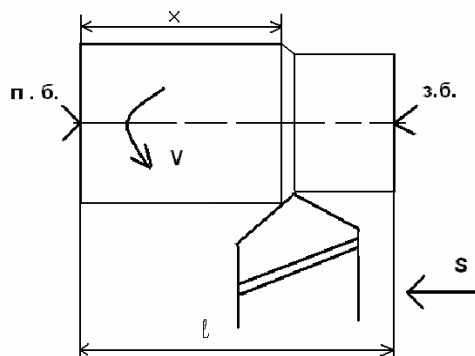


Рис. 8.15 Заготовка в центрах токарного станка

Наибольший прогиб заготовки будет в его середине:

$$y_{\text{заг}}^{\text{max}} = \frac{P_y l^3}{48 EJ} \quad (8.20)$$

где l – длина заготовки, мм;

E – модуль упругости сечения заготовки (для круга $J = 0.05 D^4$).

Прогиб заготовки на расстоянии x от передней бабки:

$$y_{\text{заг}} = \frac{P_y x^2 (l - x)^2}{3 EJ} \quad (8.21)$$

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.

8.7 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, конструкторских и измерительных баз и необходимости 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 так же 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. 8.16 приведены примеры деталей и элементарных сборок с соответствующими размерными цепями.

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

- метод полной взаимозаменяемости или метод расчета на максимум и минимум;
- метод частичной взаимозаменяемости или вероятностные методы;
- методы групповой взаимозаменяемости или селективная сборка;
- метод пригонки;
- метод регулировки;

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

$$JT\Delta = \sum_{i=1}^{m-1} JT_i, \dots\dots\dots(8.22)$$

где $JT\Delta$ - допуск замыкающего звена;

JT_i - допуск i -того звена размерной цепи;

m – количество звеньев размерной цепи, включая замыкающее.

Вероятностные методы решения РЦ используют следующую формулу:

$$JT\Delta = K \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} JT_i^2}, \dots\dots\dots(8.23)$$

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

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

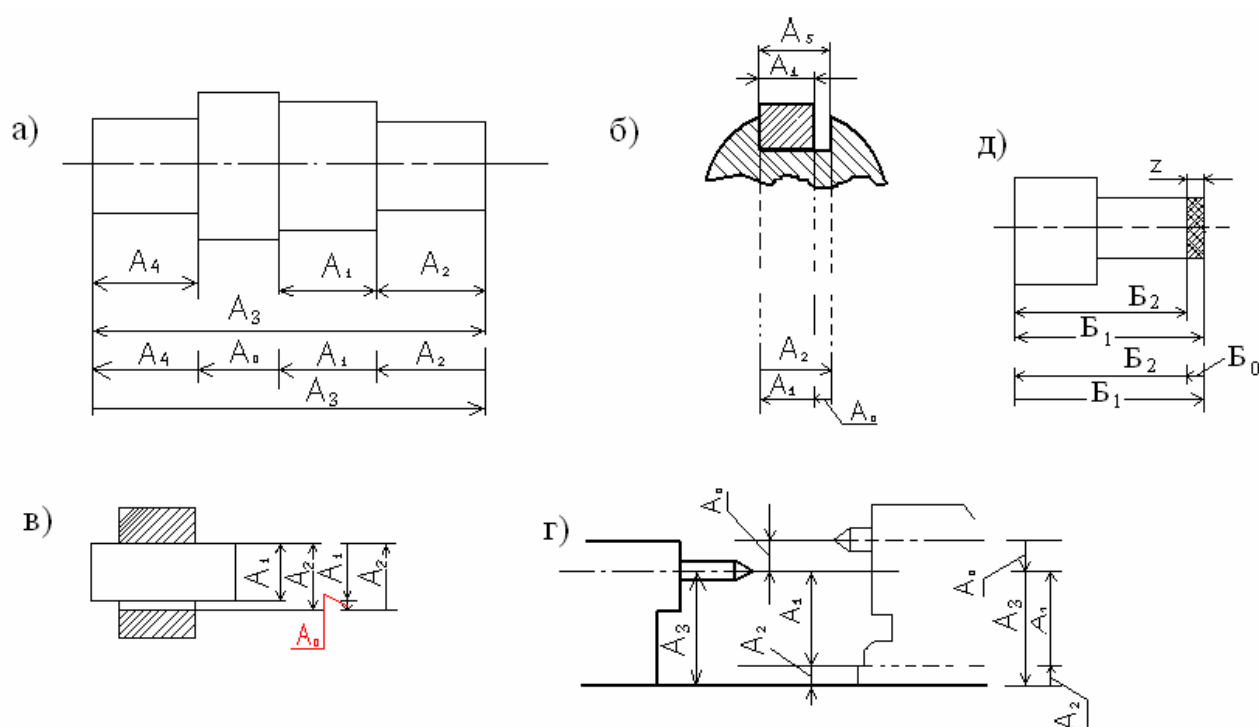


Рис. 8.16 Виды размерных цепей

9. Базы и базирование в технологии приборостроения

В данном разделе использованы материалы учебника А.А. Маталина «Технология машиностроения» [2], а также материалы технического университета Ильменау (Германия).

9.1 Базы и опорные точки

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 определяются отклонениями положений режущих кромок 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.

В общем случае базированием называется придание заготовке или другому изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (ГОСТ 21495-76). Применительно к проектированию или сборке под базированием понимают придание детали или сборочной единице требуемого положения относительно других деталей изделия. При механической обработке заготовок на станках базированием принято считать придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

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 приспособлениях 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.

Известно, что для полного исключения подвижности твердого тела в пространстве необходимо лишить его шести степеней свободы: трех поступательных перемещений вдоль осей координат и трех вращений вокруг указанных осей. Это достигается наложением связей. Под связями подразумеваются ограничения позиционного (геометрического) или кинематического характера, накладыва-

ваемые на движение точек рассматриваемого тела (заготовки или детали). В соответствии с характером ограничений различают позиционные (геометрические) связи, ограничивающие перемещения, и кинематические связи, ограничивающие скорости. В технологии приборостроения приходится иметь дело, главным образом, с позиционными связями, не зависящими от времени и называемыми, поэтому, стационарными позиционными связями.

Для ориентировки призматического тела в пространстве необходимо сделать следующие.

1. Соединить три точки его нижней поверхности, не лежащие на общей прямой, двусторонними позиционными связями с плоскостью XOY прямоугольной системы координат (рис. 9.1).

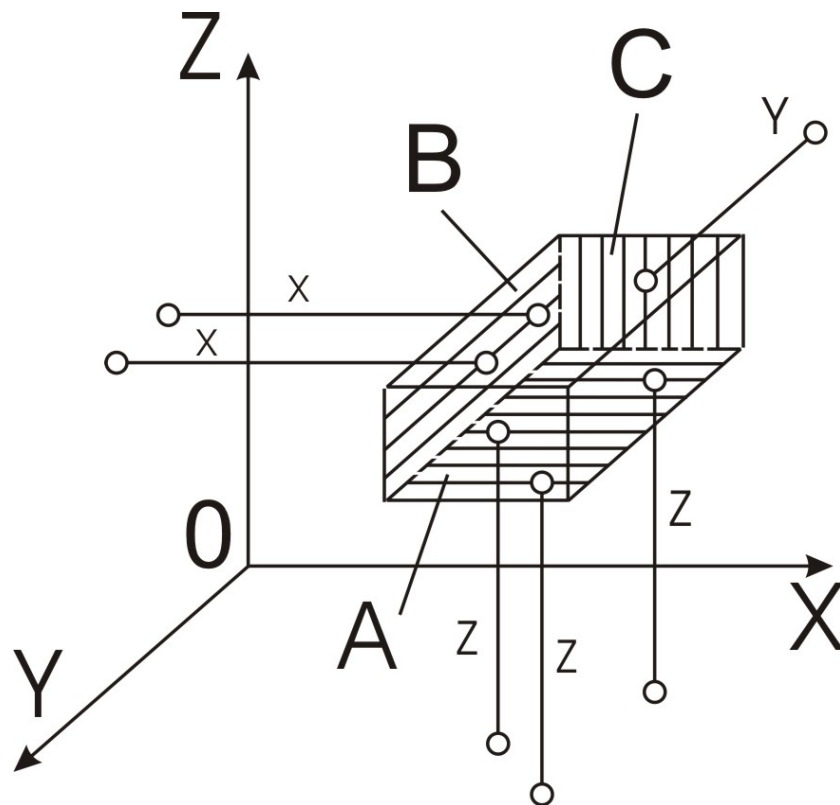


Рис. 9.1 Ориентировка призматического тела в пространстве

При этом двусторонние связи, символизируемые координатами "z"; могут быть представлены в виде недеформируемых стержней, сохраняющих, однако, способность скользить по плоскости XOY вдоль осей OX и OY , не отрываясь от нижней плоскости A призматического тела. В результате призматическое тело лишается трех степеней свободы, т. е., в частности, оно теряет возможность поступательного движения вдоль оси OZ и вращательного движения вокруг осей OX и OY .

2. Для лишения тела еще двух степеней свободы, т. е. лишения возможности перемещений вдоль оси OX и поворотов вокруг оси OZ , необходимо соединить его боковую поверхность двумя двусторонними связями (координатами "x") с плоскостью YOZ .

3. Для полной ориентировки тела в пространстве необходимо лишить его шестой степени свободы, т. е. возможности перемещения вдоль оси OY ; для этого следует соединить поверхность C одной двухсторонней связью "у" с плоскостью XOZ . В рассмотренном случае недеформируемые стержни (координаты x , y , z) представляют собой двусторонние "идеальные связи", число которых (шесть) соответствует числу степеней свободы, отбираемых у тела при наложении связей. Шесть наложенных двусторонних позиционных связей обеспечивают заданную ориентировку тела относительно системы координат $OXYZ$ и фиксирование тела в данном положении. Изображенное на рис. 9.1 призматическое тело с наложенными на него двусторонними связями представляет собой по терминологии теоретической механики несвободную механическую систему. Несвободной называется механическая система (твердое тело), на движения точек которой наложены геометрические (позиционные) или кинематические связи. Примером двусторонней связи (рис. 9.2, а) может служить связь абсолютно гладкого шара, расположенного между двумя абсолютно гладкими плоскостями (при отсутствии сил трения в точках контакта шара с этими плоскостями). Очевидно, что контакт точек A и B с плоскостями исключает возможность его движения в направлении оси OZ в обе стороны.

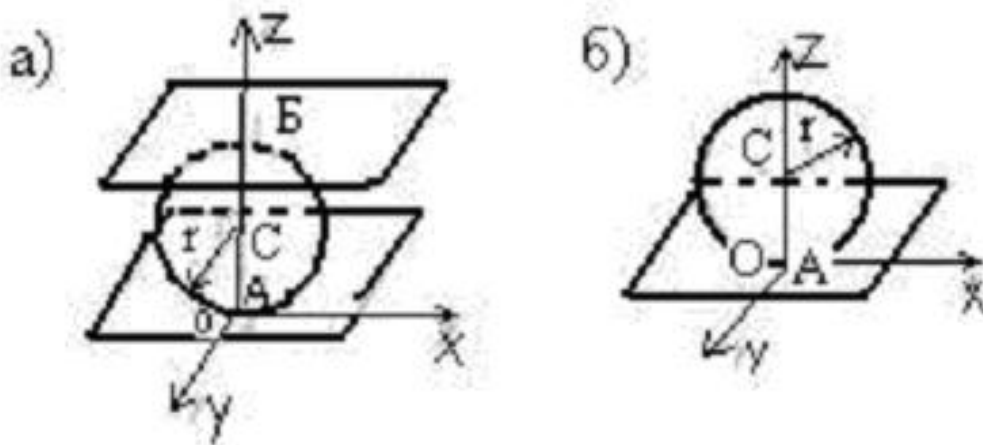


Рис. 9.2 Схема двусторонней (а) и односторонней (б) связей

Математическое выражение двусторонней связи представляет собой равенство

$$z_c - r = 0, \dots\dots\dots 9.1$$

где z_c - координаты центра;
 r – радиус шара.

Рассматриваемая двусторонняя связь накладывает ограничение на перемещение и поэтому называется позиционной (геометрической). В то же время является идеальной, так как осуществляется между абсолютно гладкими поверхностями без трения. Очевидно, что при наложении одной двусторонней связи, исключающей движение шара в направлении оси OZ , т. е. лишаящей его одной степени свободы, он сохраняет возможность перемещений вдоль осей OX и OY и вращения вокруг всех осей координат, т. е. сохраняет пять степеней свободы.

При этом следует отметить, что для осуществления одной идеальной двусторонней связи в примере (рис. 9.2, а) потребовались две точки контакта шара с плоскостями. Это обусловлено тем, что связь может накладываться только абсолютно твердыми телами (либо их аналогами и невесомыми нитями). Таким образом, при наложении связей число отнимаемых ими степеней свободы абсолютно твердого тела часто не равняется числу точек контакта. Например, при двусторонних идеальных связях (т. е. связях без трения) число связей вдвое меньше числа точек контакта. Положение механической системы с наложенными двусторонними позиционными связями в пространстве в каждый момент времени может быть определено произвольными параметрами, например координатами X, Y, Z . Каждому набору этих параметров соответствует определенная конфигурация системы. Число параметров (например, координат), от которых зависит конфигурация системы в произвольный момент времени, определяет число степеней свободы, отнятых у системы. Для фиксирования заданной конфигурации системы необходимо создать условия, исключающие возможность изменения параметров, т. е. нужно лишить ее всех шести степеней свободы. Для этого необходимо наложить на твердое тело шесть двусторонних связей. В реальных условиях базирования заготовок в приспособлениях или деталей в собираемых элементах приборов двусторонние позиционные связи, представляемые на рис. 9.1 координатами x, y, z , заменены непосредственным контактом соответствующих поверхностей или опорных точек заготовок и приспособлений или других деталей приборов. При этом число опорных точек, обеспечивающих базирование заготовки, должно быть равным числу заменяемых ими двусторонних позиционных связей. Возникающие при этом позиционные связи не могут быть отнесены к категории двусторонних, а являются односторонними связями (рис. 9.2, б), математическое выражение которых может быть представлено неравенством

$$z_c - r \geq 0, \dots\dots\dots 9.2$$

При соблюдении в выражении (9.2) знака равенства, что бывает при контакте шара с плоскостью в точке А, односторонняя связь исключает движение шара по нормали к плоскости. При соблюдении неравенства, т. е. при отсутствии контакта шара с плоскостью, ограничения на движения шара не накладываются и эти конфигурации называются обыкновенными. Если при односторонних связях хотя бы одно из математических выражений связи обращается в равенство, то конфигурация системы называется пограничной. Односторонние связи только тогда накладывают ограничения на возможные перемещения системы, когда эти перемещения исходят из пограничных конфигураций. Пограничные конфигурации обычно реализуются приложением сил. В рассмотренном примере (рис. 9.2, б) для абсолютно гладкой плоскости пограничная конфигурация характеризуется контактом гладкого шара в точке А, что осуществляется соответствующим приложением силы по оси OZ , например, приложением силы тяжести. Однако приложение силы не превращает одностороннюю связь в двустороннюю, так как ограничение перемещения может накладываться только абсолютно твердыми телами, а не силами. При установке заготовок на опорные

точки приспособлений каждая из опорных точек реализует одну связь в пограничной конфигурации, т.е. обязательно дополняется силой (сила тяжести или прижима). При этом под "опорной точкой" подразумевается идеальная точка контакта поверхностей заготовки и приспособления, лишаящая заготовку одной степени свободы, делая невозможным ее перемещение в направлении, перпендикулярном опорной поверхности. В этом определении опорная точка названа идеальной потому, что в действительности в реальных условиях базирования материальная опорная точка приспособления в сочетании с приложенной к заготовке силой лишает заготовку не одной, а трех степеней свободы, так как не только ограничивает возможные перемещения заготовки по нормали к опорной плоскости, но и воздействием сил трения исключает возможность перемещений заготовки вдоль осей OX и OY . При замене координат x, y, z (рис. 9.1) опорными точками (рис. 9.3) положение тела относительно выбранной системы координат остается полностью определенным.

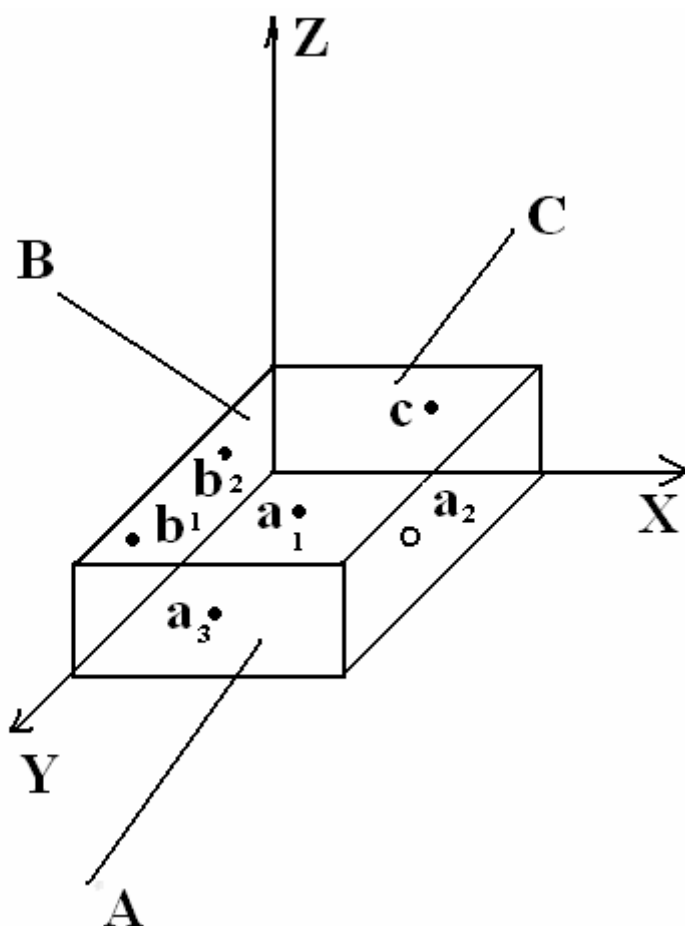


Рис.9.3 Реальная ориентация призматического тела в системе координат

Опорные точки здесь отображают шесть идеальных связей (т. е. связей без трения), которые в данном случае являются односторонними и лишают тело шести степеней свободы. Пограничная конфигурация реализуется в приспособлениях созданием усилий прижима при закреплении заготовок. Рассматривавшиеся ранее позиционные связи являются идеальными связями или связями без трения.

Реальные связи, возникающие при базировании, всегда являются неидеальными. Неидеальную позиционную связь (т. е. связь с кулоновым трением) можно условно представить как составную, включающую соответствующую по характеру ограничений идеальную связь (одностороннюю или двустороннюю) и так называемую фрикционную связь, порождаемую трением с касательным взаимодействием в точках контакта. Для фрикционных связей можно указать свойства, которые аналогичны односторонним связям. В частности, для их реализации необходимо при помощи приложенных к телу сил создавать контактные давления в точках контакта с телами, осуществляющими связь. При этом пограничные конфигурации соответствуют условиям:

$$\begin{aligned} P_{сдв} &= F; \\ F &= f \cdot N, \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 9.3$$

где F – предельная касательная реакции связи (сила трения);

$P_{сдв}$ – проекция сдвигающей силы на направление касательной;

N – нормальное усилие;

f – коэффициент трения покоя.

Фрикционная связь реализуется только при выполнении условия:

$$P_{сдв} < F \text{ или } M_n < M_{тр}, \quad \dots\dots\dots 9.4$$

M_n – момент активных сил относительно оси n , нормальной к поверхности трения в полюсе трения;

$M_{тр}$ – момент сил трения относительно той же оси.

Необходимо подчеркнуть, что конфигурация системы определяется наложенными на нее идеальными позиционными, а не фрикционными связями. В связи с этим, при базировании (ориентировке) заготовки в приспособлении имеют значение числа и расположение идеальных опорных точек, а не фрикционных связей. Число идеальных опорных точек в приспособлении можно условно считать равным числу степеней свободы, отнимаемых у заготовки при базировании в данном приспособлении. Возникающие при установке заготовки фрикционные связи лишают ее подвижности и способствуют ее закреплению, но не участвуют в базировании заготовки. Пусть, например, тело (плоская стальная заготовка) лежит на магнитной плите станка, создающей контактное давление в опорных точках a_1, a_2, a_3 (рис. 9.4).

При этом на тело наложены три идеальные односторонние позиционные связи, лишаящие тело трех степеней свободы и определяющие его положение в направлении оси OZ , а также углы поворота вокруг осей OX и OY (заготовка расположена параллельно плоскости XOY). Углы поворота заготовки вокруг оси OZ и ее положения в направлениях осей OX и OY ничем не ограничиваются, и она сохраняет три степени свободы. После включения магнитных сил возникают фрикционные связи, исключаяющие возможность каких-либо перемещений заготовки и обеспечивающие ее неподвижность; однако ее положение в направлениях осей OX и OY и поворотов вокруг оси OZ остается по-прежнему неопределенным, различным для разных заготовок партии.

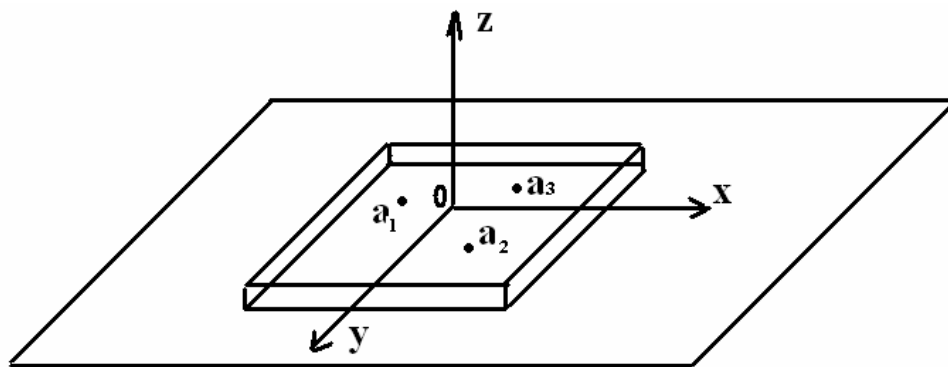


Рис. 9.4 Базирование призматической заготовки на плоскости магнитного стола

В приспособлениях, когда на обрабатываемую заготовку накладываются односторонние связи, фрикционные связи могут создавать погрешности базирования. Так например, если при базировании призматической заготовки (рис. 9.3) приложить силу в плоскости, параллельной плоскости XOZ , то при соответствующем направлении этой силы можно обеспечить контакт в точках a_1 , a_2 , a_3 и b_1 , b_2 . Тогда для реализации контакта в точке "с" необходимо выполнить условие (9.3) для фрикционных связей, возникающих в указанных точках. Очевидно, что нестабильность в величинах коэффициента трения и зажимающего усилия, реализующего контакт в точке с, будет источником погрешностей при базировании.

Правило шести точек. Для полного базирования заготовки в приспособлении необходимо и достаточно создать в нем шесть опорных точек, расположенных определенным образом относительно базовых поверхностей заготовки.

9.2 Понятие о базах

Поверхности заготовок или деталей, используемые при базировании, называют базами. В зависимости от числа идеальных опорных точек, с которыми база находится в контакте, и, следовательно, в зависимости от числа отнимаемых при этом степеней свободы у призматических заготовок и деталей различают установочную базу А, находящуюся в контакте с тремя опорными точками, направляющую базу В, находящуюся в контакте с двумя опорными точками, и упорную базу С, имеющую контакт с одной опорной точкой (см. рис. 9.3).

Каждая из названных баз определяет положение заготовки относительно одной из плоскостей системы координат в направлении, перпендикулярном к этой базе, т. е. в направлении одной из координатных осей. Очевидно, что для полной ориентировки заготовки в приспособлении необходимо использовать комплект из всех трех баз.

Для повышения точности и надежности ориентировки заготовки и детали в качестве установочной базы принимают поверхность с наибольшими размерами,

позволяющую расположить три опорные точки, лежащие не на одной прямой, на значительном расстоянии друг от друга; в качестве направляющей базы с той же целью принимают самую длинную поверхность. Для упорной базы может быть использована поверхность любых (даже самых малых) размеров при условии достаточно хорошего ее состояния и постоянства формы (отсутствие литников, заусенцев, литейных швов, линий разъема штампов и т. п.). В связи с тем, что опорные точки создают односторонние связи, которые накладывают ограничения на перемещения тел только тогда, когда перемещения исходят из пограничных конфигураций, возникающих обычно при приложении сил, опорные точки приспособлений дополняются прижимами, обеспечивающими постоянство контакта баз с опорными точками. При этом количество прижимов в приспособлении обычно не изменяет числа созданных связей и в расчет требуемых опорных точек не входит.

Для ориентировки длинного цилиндрического тела ($l > d$) в пространстве необходимо соединить его цилиндрическую поверхность A двумя двусторонними связями - координатами z с плоскостью XOY и двумя связями - координатами x с плоскостью YOZ (рис. 9.5), лишая этим тело четырех степеней свободы (возможности перемещения вдоль оси OX и вдоль оси OZ , а также поворотов вокруг оси OX и вокруг оси OZ).

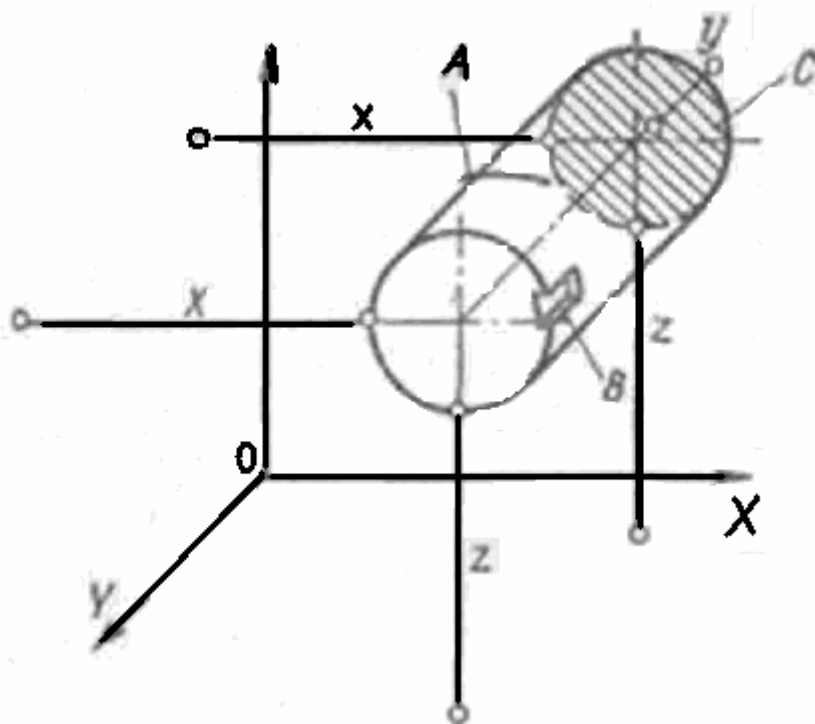


Рис. 9.5 Ориентировка длинного цилиндрического тела в пространстве

Для устранения возможности перемещения тела вдоль оси OY необходимо соединить его торец C двусторонней связью - координатой y с плоскостью XOZ . Для лишения тела шестой степени свободы (возможности поворотов вокруг собственной оси) должна быть предусмотрена шестая двусторонняя связь в виде опорной точки, располагаемой на поверхности шпоночной канавки B . В ре-

альных условиях базирования четыре двусторонние связи заменяются четырьмя опорными точками, находящимися в контакте с цилиндрической поверхностью А, называемой двойной направляющей базой. Торцовая поверхность С, на которой располагается пятая опорная точка, называется опорной базой, а шпоночная канавка В, являющаяся шестой опорной точкой, которая заменяет шестую двустороннюю связь, называется второй опорной базой.

При проектировании приспособлений в случае базирования длинных цилиндрических заготовок часто используются призмы, создающие четыре опорные точки для двойной направляющей базы. При необходимости полного базирования призмы применяются в сочетании с упорами, лысками и пазами, образующими соответствующие упорные базы (рис. 9.6).

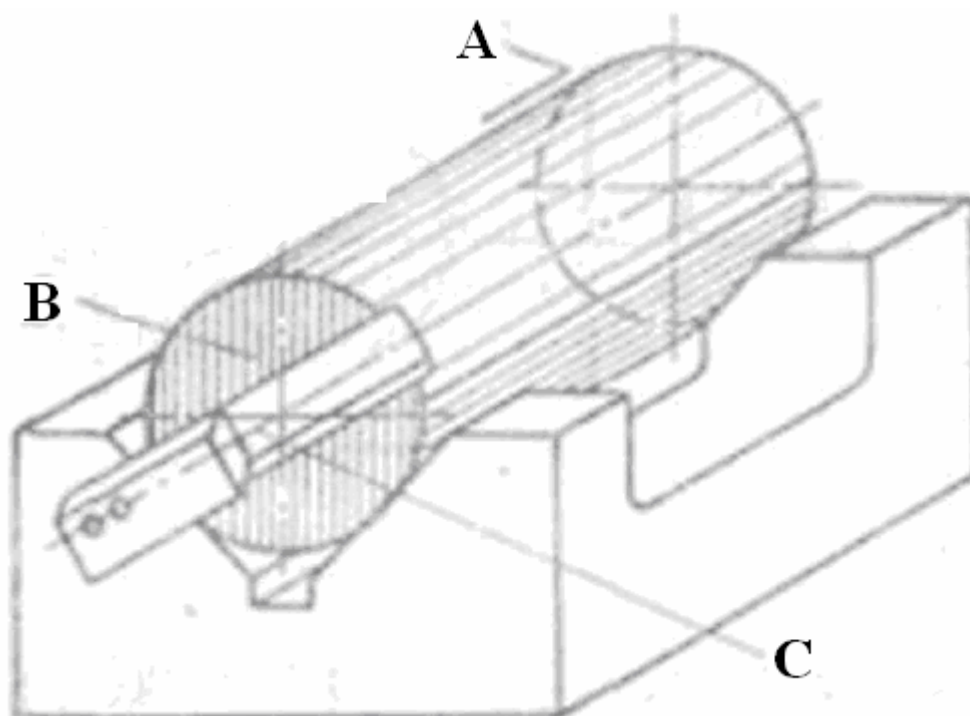


Рис.9.6 Базирование валика в призме

Несколько иначе следует рассматривать базы при ориентировке цилиндрических заготовок и деталей типа тонких дисков, длина которых значительно меньше диаметра. Очевидно, что в этом случае цилиндрическая поверхность уже не может выполнить функции двойной направляющей базы и находится в контакте с четырьмя опорными точками. С другой стороны, относительно большие размеры торцовой поверхности делают возможным размещение на ней трех опорных точек, что вносит определенность в ориентировку заготовки в пространстве. В соответствии с этим, при ориентировке в пространстве короткого цилиндрического тела (типа тонкого диска) необходимо соединить его торцовую поверхность А (рис. 9.7) тремя двусторонними связями (координатами) «у» с плоскостью XOZ.

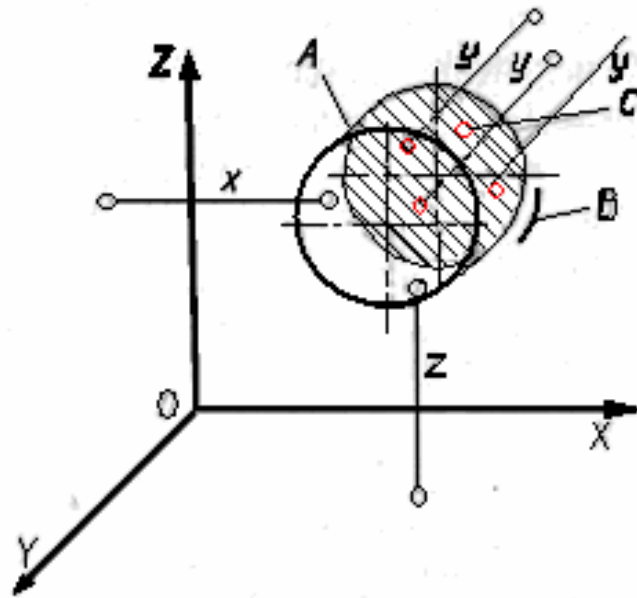


Рис.9.7 Базирование диска

При этом тело лишается трех степеней свободы: возможности перемещения вдоль оси OY и поворотов вокруг осей OX и OZ . Для лишения тела возможности перемещения вдоль осей OX и OZ следует соединить его цилиндрическую поверхность B двусторонними связями, т. е. координатами x и z , с плоскостями XOY и YOZ ; шестая двусторонняя связь, лишаящая тело возможности поворотов вокруг собственной оси, параллельной оси OY , создается помещением опорной точки на поверхности шпоночной канавки C . При соответствующей замене двусторонних связей опорными точками торцовая поверхность A (рис. 9.7) диска, контактирующая с тремя опорными точками, лишаящими диск трех степеней свободы, называется установочной базой; цилиндрическая поверхность B , контактирующая с двумя опорными точками и соответственно отбирающая у диска две степени свободы, называется двойной опорной (или центрирующей) базой, а поверхность шпоночной канавки C , лишаящая диск одной степени свободы, - опорной базой. Так же, как и при ориентировке длинных цилиндрических поверхностей, при ориентировке дисков часто бывает удобно использовать призмы.

Специфические особенности имеет ориентировка в пространстве конических заготовок и деталей.

При установке заготовки или детали по длинной конической поверхности с относительно небольшой конусностью (отверстия в шпинделях станков, конусные хвостовики режущих инструментов, конические оправки "трения") коническая поверхность лишает деталь пяти степеней свободы (перемещения вдоль всех трех осей координат и поворотов вокруг двух осей системы координат), оставляя ей только одну степень свободы - возможность поворотов вокруг собственной оси, которая может рассматриваться как третья ось системы координат. Таким образом, в этом случае коническая поверхность совмещает в себе функции двойной направляющей и опорной поверхности цилиндрической детали и может быть названа опорно направляющей базой. Очевидно, что для

полной ориентировки конической заготовки или детали в пространстве необходимо лишить ее еще одной степени свободы, разместив на одной из ее поверхностей шестую опорную точку (шпоночный паз, лыска), называемую опорной базой.

Таким образом, полное базирование длинной конусной детали, лишаящее ее всех шести степеней свободы, достигается при использовании комплекта двух баз: упорно-направляющей и опорной. При базировании заготовки по короткой конической поверхности с относительно большим углом конуса (как это имеет место при установке заготовки в центрах) условия базирования значительно меняются.

Коническая поверхность короткого центрального отверстия не в состоянии осуществлять функции направления оси заготовки, и ее возможности ограничиваются выполнением функции центрирования (аналогично цилиндрической поверхности диска, являющейся двойной опорной или центрирующей базой), а в некоторых случаях дополняются выполнением функции опорной базы. Несмотря на внешнее подобие задачи в ориентировке заготовки, роли, выполняемые левым и правым центральными отверстиями, неодинаковы. Левое центральное отверстие, соприкасающееся с неподвижным в осевом направлении центром передней бабки, выполняет функции центрирования и определяет положение заготовки в осевом направлении. Таким образом, оно лишает заготовку трех степеней свободы (перемещения вдоль трех осей координат) и несет на себе три опорные точки. По выполняемой функции коническая поверхность переднего (левого) центрального отверстия называется опорно-центрирующей базой.

Функция заднего центрального отверстия, соприкасающегося с подвижным в осевом направлении центром задней бабки, ограничена осуществлением центрирования. Эта поверхность находится в контакте с двумя опорными точками и лишает заготовку двух степеней свободы (поворотов вокруг осей Y и Z системы координат). В соответствии с этим коническая поверхность заднего центрального отверстия называется центрирующей базой.

Следовательно, установка заготовки в центрах лишает ее пяти степеней свободы, сохраняя возможность вращения заготовки вокруг собственной оси. Очевидно, что в случае необходимости точной ориентировки положения заготовки с точки зрения ее поворота относительно оси (что бывает необходимо, например, в случае несимметричных заготовок на фрезерных станках при их установке в центрах, при нарезании многозаходных резьб и т. д.) следует использовать одну из дополнительных поверхностей заготовок в качестве опорной базы, вводя ее в контакт с шестой опорной точкой и лишая заготовку шестой степени свободы.

9.3 Количество баз, необходимых для базирования, и их обозначения в технологической документации

Во всех рассмотренных выше примерах полной ориентировки заготовки в приспособлении или детали в сборочном элементе прибора использовался ком-

плект из нескольких (в большинстве случаев из трех) баз, обеспечивающий лишение тела всех шести степеней свободы посредством введения баз в контакт с шестью опорными точками.

Необходимо отметить, что полная ориентировка детали бывает необходима только в неподвижных соединениях деталей сборочных единиц приборов. Во всех случаях подвижных соединений детали или сборочные единицы должны сохранять определенные степени свободы и создания в соединениях шести опорных точек не требуется. Например, шпиндели станков должны быть лишены пяти степеней свободы при сохранении возможности вращения вокруг своей оси; салазки суппорта станка также должны сохранять одну степень свободы, позволяющую их перемещение по направляющим, а шарик шарикоподшипника должен иметь четыре степени свободы - возможности вращения вокруг любой из трех осей координат и перемещения вдоль одной из осей, направленной по касательной к окружности беговой дорожки.

При обработке заготовок на станках и их установке в приспособлениях во многих случаях также нет необходимости в полной ориентировке заготовок с использованием всего комплекта из трех баз, контактирующих с шестью опорными точками приспособления или станка.

Так, например, при обработке плоскости призматической заготовки (рис. 9.8, а) ориентировка заготовки на станке в направлении горизонтальных осей координат для получения требуемого размера а не имеет значения, поэтому боковые поверхности заготовки теряют значение баз. В данном случае требуемая ориентировка заготовки осуществляется только одной установочной базой А, а ее боковые поверхности используются только для закрепления и в базировании заготовки не участвуют.

Естественно, что для получения у заготовки двух размеров (например, а и b на рис. 9.8, б) возникает необходимость ее ориентировки не только с помощью установочной базы - поверхности А, но также и с помощью направляющей базы - поверхности В. В случае же, изображенном на рис. 9.8, в, когда требуется обеспечить выполнение трех размеров а, b и с, для ориентировки заготовки необходимо использование всего комплекта из трех баз, т. е. поверхностей А, В, С. При обработке цилиндрических заготовок для их базирования во многих случаях тоже нет необходимости в использовании комплекта всех трех баз.

Например, при сквозном сверлении и растачивании заготовки, закрепленной в патроне, используется только одна двойная направляющая база А, находящаяся в контакте с четырьмя опорными точками (рис. 9.8, г). При растачивании ступенчатого отверстия, когда выдерживается линейный размер а, необходимо использовать две базы: двойную направляющую А и опорную - С (рис. 9.8, д).

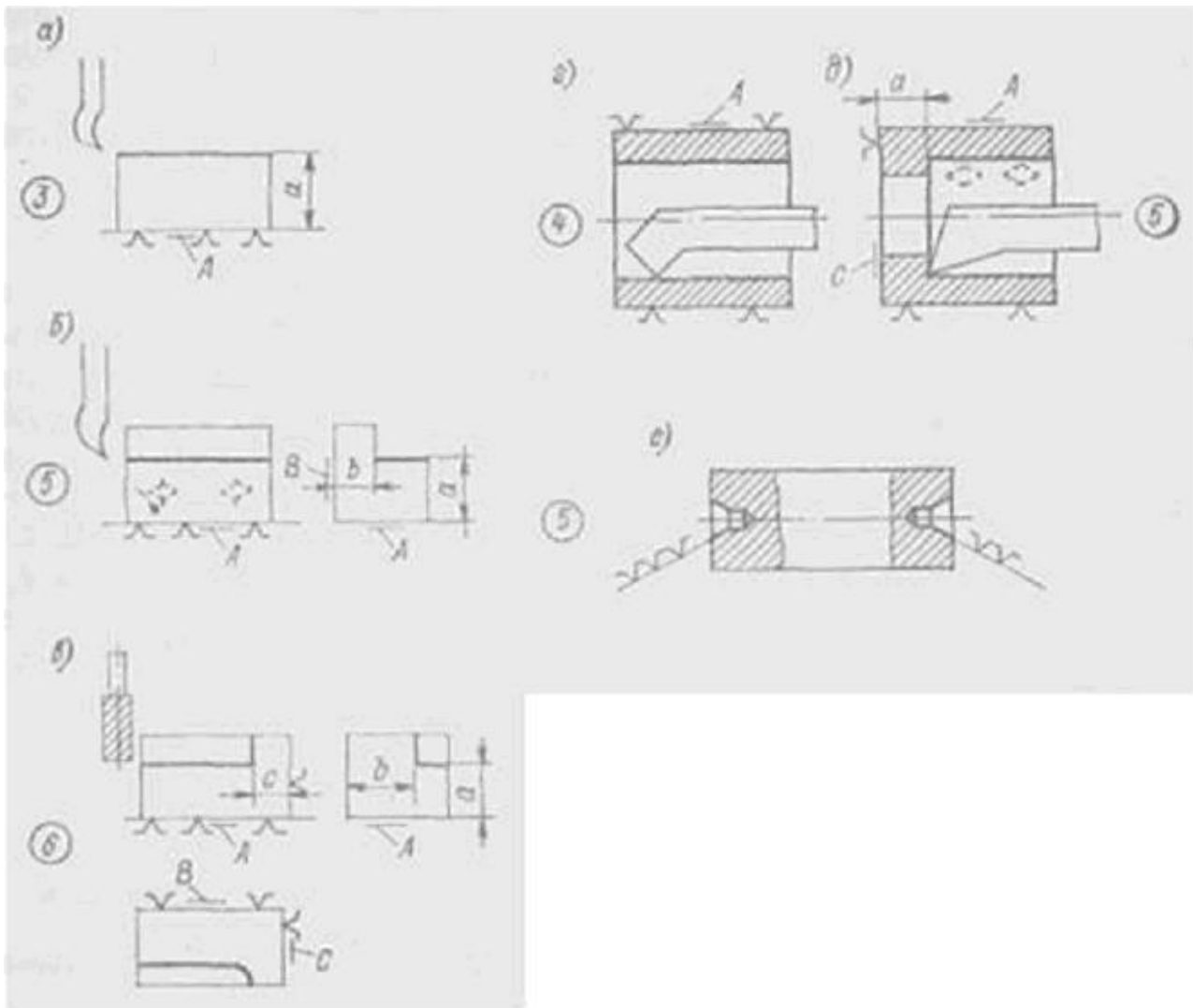


Рис. 9.8 Обработка заготовок при использовании одной (а, г), двух (д, б, е) и трех (в) баз

При установке валиков в центрах (для обточки на токарных станках или наружного шлифования) они базируются по коротким крутым конусам центровых отверстий и, как указывалось ранее, с помощью пяти опорных точек (рис. 9.8, е) лишаются пяти степеней свободы. При этом у валиков сохраняется шестая степень свободы- возможность вращения вокруг собственной оси, необходимая для осуществления обработки. При этом следует подчеркнуть, что обычно используемый в подобных случаях хомутик отнюдь не является шестой опорной точкой, так как он не участвует в базировании заготовки и не ориентирует ее положения созданием определенных углов ее поворота вокруг оси, а служит только для передачи заготовке вращения.

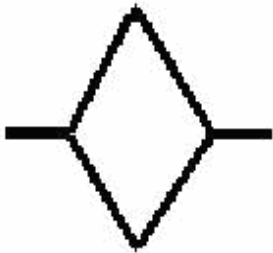
Таким образом, в зависимости от технологической задачи, решаемой при обработке заготовки, при ее базировании в приспособлении или на станке могут быть использованы один, два или три базовых элемента, несущие на себе в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек.

На рис. 9.8 цифрами в кружках показано число степеней свободы, отнимаемое у заготовки при базировании по разным схемам.

При проектировании технологических операций (после уточнения технологической задачи и количества необходимых для ее выполнения идеальных опорных точек) на операционном эскизе изображается так называемая "теоретическая схема базирования". Теоретическая схема базирования представляет собой схему расположения на базовых элементах заготовки идеальных опорных точек и условных точек, символизирующих позиционные 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 базовых элементов, 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;



для вида сбоку



для вида сверху

На невидимых базовых элементах заготовки (осевые линии, плоскости симметрии) наносятся аналогичные обозначения условных точек, выполненные штриховыми полями.

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.

9.4 Скрытые (условные) базы

В большинстве случаев сборки и механической обработки определенность положения детали в собираемом узле или обрабатываемой заготовки 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 некото-

рым 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 базирования.

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 базирования 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 обработанных поверхностей. При этом схема базирования может служить определенной инструкцией - заданием для конструктора приспособления по созданию его целесообразной конструкции. Так, например, изображенная на рис. 9.9, а схема базирования втулки предполагает при обработке наружной поверхности использование в качестве технологической базы материальной поверхности отверстия.

Эта схема может быть реализована созданием жесткой цилиндрической оправки с гайкой (рис. 9.9, б), однако при этом возникает погрешность базирования, равная величине зазора между базовым отверстием втулки и жесткой оправкой. Эта погрешность, достигающая величины допуска на отверстие втулки, вызывает эксцентриситет и биение обработанной наружной поверхности.

Теоретическая схема базирования (рис. 9.9, в) показывает, что обрабатываемая поверхность должна точно ориентироваться относительно оси отверстия и появление ее эксцентриситета и биения - недопустимо.

Для исключения погрешности базирования, вызывающей эксцентриситет, должна быть создана (рис. 9.9, г) беззазорная оправка (разжимная, конусная оправка трения, цилиндрическая с прессовой посадкой и т. п.).

Приведенный на рис. 9.9 пример показывает, что в большинстве случаев применения условных (скрытых) баз базирование в конечном счете осуществляется материальными поверхностями (в примере на рис. 9.9 - 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 конструк-

ции приспособления. Особенно полезную роль играют условные (скрытые) базы при использовании центрирующих зажимов.

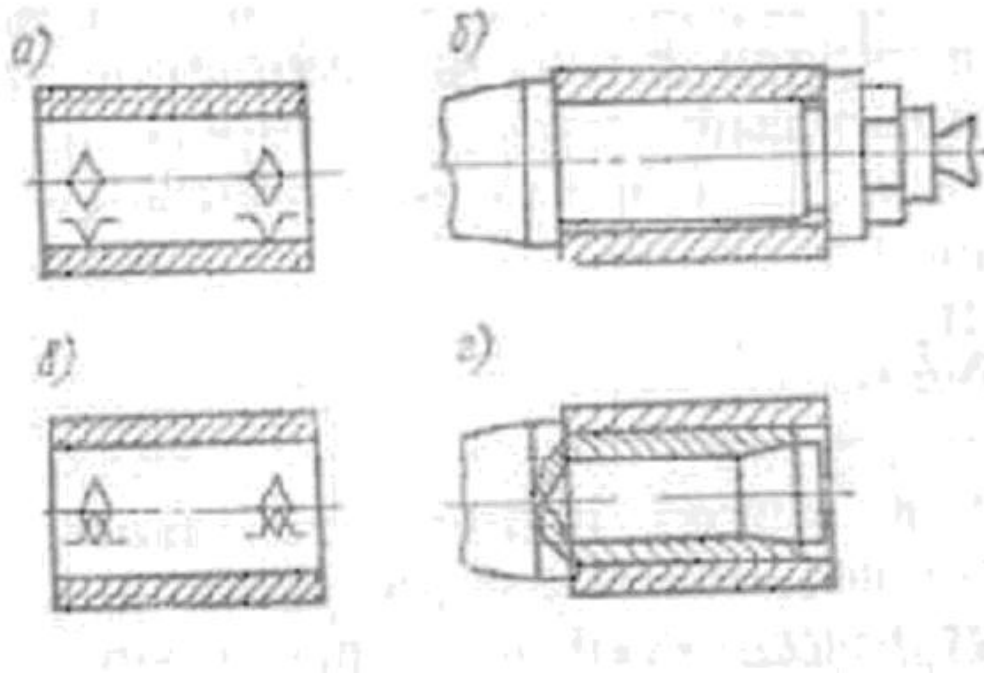


Рис.9.9 Базирование втулки по материальной (явной)(а, б) и по условной (скрытой) (в, г) базам

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.

9.5 Базирующая роль направленных зажимов

Ранее указывалось, что зажимы, прикладываемые к заготовке при ее закреплении, создают фрикционные связи и, обеспечивая неподвижность заготовки, не участвуют в ее базировании и не изменяют числа отнимаемых у заготовки степеней свободы. Это справедливо применительно к обычным "свободным" зажимам, т. е. к зажимам типа прихватов, эксцентриков, винтов и т. п. Однако, при использовании несвободных зажимов, совершающих вполне определенное и точно направленное движение, а также при применении самоцентрирующих зажимов и устройств они могут налагать на заготовку позиционные связи, т. е. базировать заготовку, лишая ее соответствующего числа степеней свободы, которое зависит от размеров и формы прижимной поверхности. Когда заготовка помещается на неподвижную базирующую плоскость 2 (рис. 9.10, а), то (в соответствии с рис. 9.1; 9.3 и 9.4) она лишается трех степеней свободы (возможности перемещения вдоль оси Z и вращения вокруг осей X и Y).

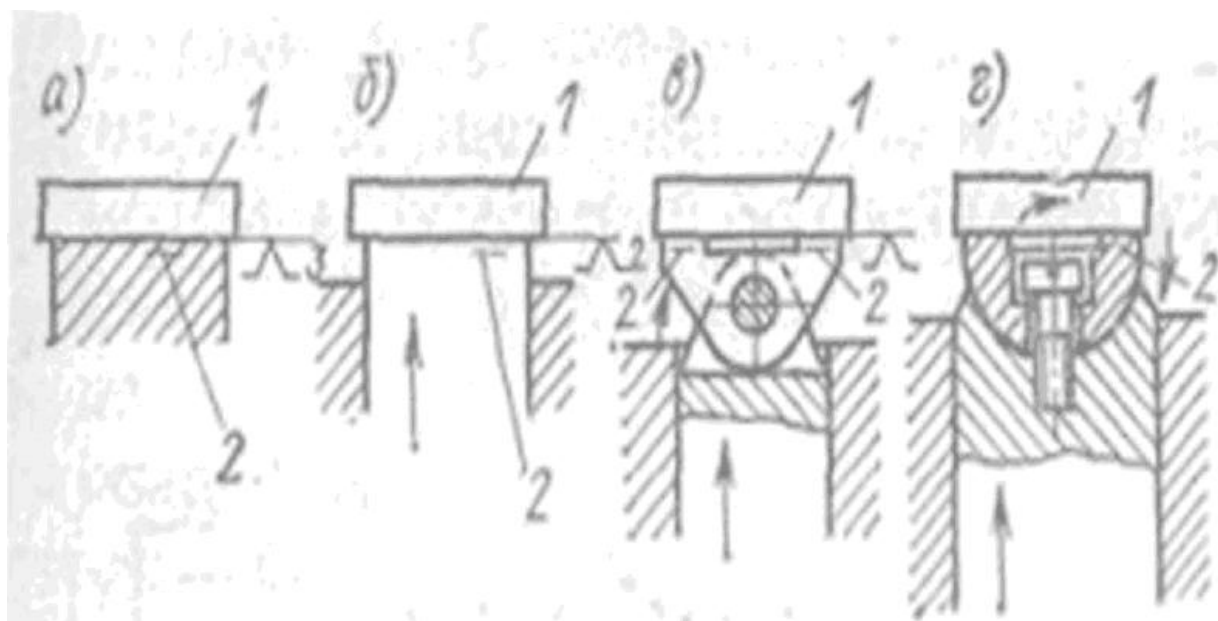


Рис. 9.10 Закрепление призматической заготовки 1 направленными зажимами

Если базирующая плоскость 2 не является неподвижной, а представляет собой торцовую поверхность ползуна прижима, перемещающегося по направляющим параллельно оси Z (рис. 9.10, б), то связь, ограничивающая перемещения вдоль этой оси, оказывается снятой, и заготовка при базировании на торце подвижного ползуна лишается только двух степеней свободы. Если базовую плоскость 1 разместить на поверхности промежуточной детали - качалке, ось вращения которой укреплена на ползуне параллельно оси Y (рис. 9.10, в), то базовая плоскость приобретает еще одну степень свободы - возможность поворота вокруг оси Y.

В результате (при такой конструкции зажима) базиремая заготовка лишается при закреплении только одной степени свободы (возможности поворота вокруг оси X).

При замене качалки сферической опорой (рис. 9.10, г) прижим не накладывает на заготовку никаких дополнительных связей и функционирует как свободный зажим. Общее число связей n , налагаемых на заготовку при закреплении направленным зажимом (т. е. число степеней свободы, отнимаемых зажимом у базирваемой заготовки), может быть определено по формуле

$$n = m - k, \dots \dots \dots (9.5)$$

где m – число опорных точек рабочей поверхности (поверхности контакта) зажима;

k – число степеней свободы рабочей поверхности зажима.

С помощью направленных зажимов может быть достигнуто центрирование положения заготовок в приспособлениях.

При встречном движении двух направленных точечных (сферических) зажимов каждый из них [в соответствии с формулой (9.5)] отдельно не налагает на закрепляемую заготовку дополнительных позиционных связей, однако в совокупности они образуют (в соответствии с рис. 9.11) одну двустороннюю связь и

лишают заготовку одной степени свободы в направлении своего перемещения X .

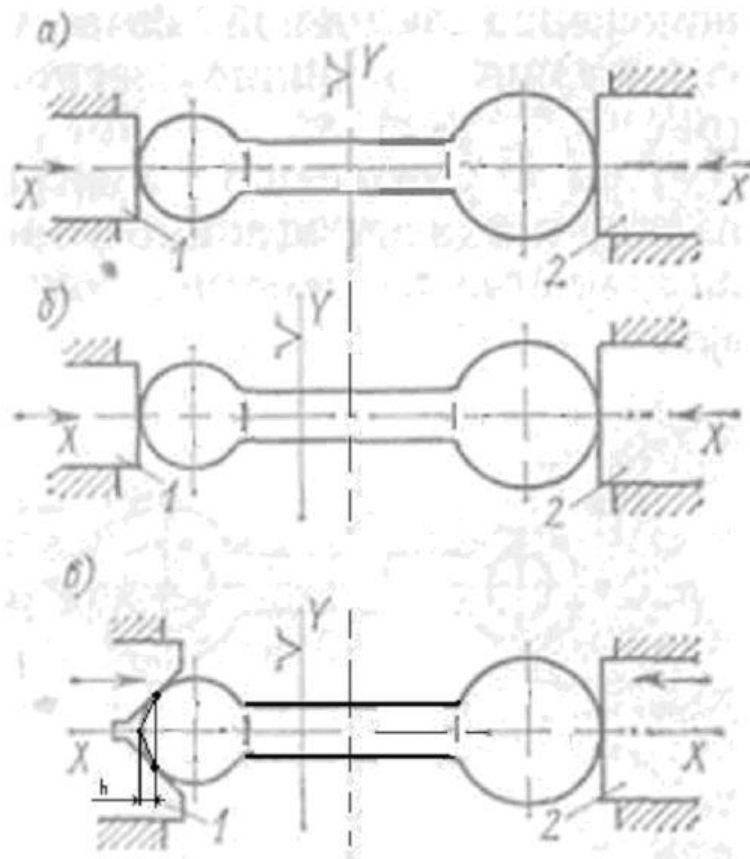


Рис.9.11 Закрепление и одновременное центрирование заготовки самоцентрирующимися направленными зажимами

При одинаковой скорости встречного движения зажимов и одинаковой форме прижимных поверхностей точка приложения этой связи расположится на пересечении траектории движения зажимов по оси X с плоскостью симметрии Y (рис. 9.11, а), которая может считаться в этом случае условной (скрытой) базой и на которой проставляется символическое обозначение налагаемой связи. При этом осуществляется одностепенное центрирование заготовки, при котором одна ее плоскость симметрии - Y - совмещается с плоскостью симметрии, образованной установочными элементами приспособления.

Если скорость перемещения зажима 1 окажется меньше, чем скорость перемещения зажима 2 (рис. 9.11, б), или, если при равной скорости зажимов 1 и 2 один из них выполнен в форме призмы, положение условной базы смещается из положения плоскости симметрии по длине заготовки (рис. 9.11, б, в). При двухстепенном центрировании, когда две взаимно перпендикулярные плоскости симметрии заготовки совмещаются с двумя взаимно перпендикулярными плоскостями симметрии, образуемыми установочными элементами приспособления, две зажимные призмы двигаются с одинаковой скоростью навстречу друг другу (рис. 9.12, а).

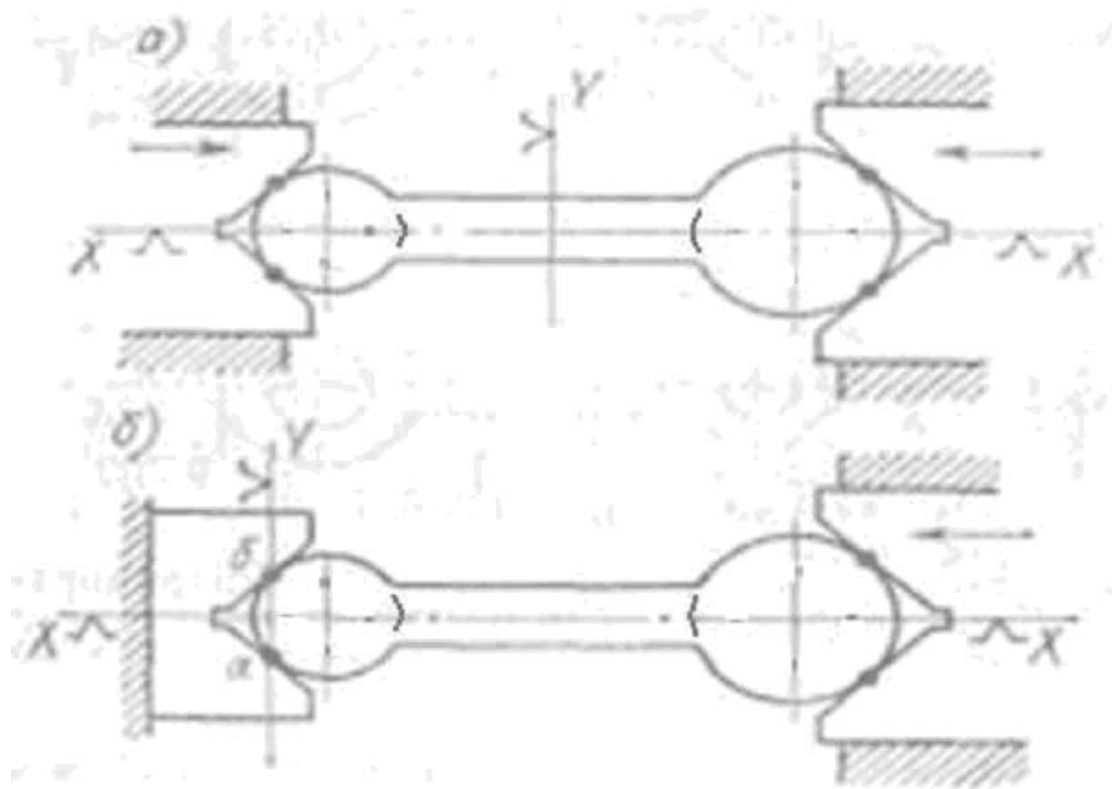


Рис. 9.12 Закрепление и двухстепенное центрирование заготовки самоцентрирующимися направленными зажимами

При этом каждая из призм [в соответствии с формулой (9.5)] лишает заготовку одной степени свободы в направлении, перпендикулярном оси X (условная база), и обе они в совокупности лишают заготовку одной степени свободы в направлении оси X с наложением связи на условную базу - плоскость симметрии Y . Таким образом, самоцентрирующиеся зажимы лишают заготовку трех степеней свободы. Если одна из призм центрирующего зажима является неподвижной (рис. 9.12, б), то общее число опорных точек, размещаемых на условных базах заготовки, сохраняется равным трем, однако положение условной базы по оси Y перемещается из положения плоскости симметрии (рис. 9.12, а) в положение плоскости, в которой лежат точки а и б фактического контакта неподвижной призмы с заготовкой. Двухстепенное центрирование заготовок типа диска может быть успешно осуществлено при встречном движении призмы и плоского зажима (рис. 9.13, а), когда скорость движения призмы - $V_{пр}$ - больше скорости движения плоского зажима - $V_{пл}$. При замене призмы двумя ползунами создается схема обычного трехкулачкового патрона (рис. 9.13, б).

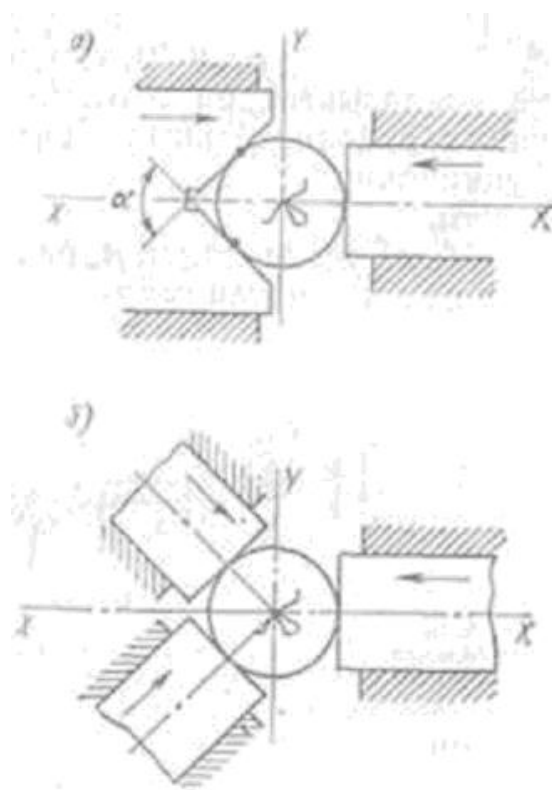


Рис. 9.13 Двухступенное центрирование и закрепление диска

Каждый из ползунов представляет собой направленный зажим, соприкасающийся с заготовкой в одной точке, и в соответствии с формулой (9.5) сам по себе не лишает заготовку ни одной степени свободы, но совокупность трех кулачков, перемещающихся с одинаковой скоростью к центру, лишает заготовку двух степеней свободы (возможности движения вдоль осей X и Y). Условной базой заготовки в обоих случаях (рис. 9.13) является центральная точка заготовки.

Во всех рассмотренных случаях базирования направленными зажимами (рис. 9.9-9.13) фактическая ориентация (базирование) заготовок осуществляется по материальным поверхностям заготовок и зажимов, обеспечивая требуемое при данных операциях расположение в приспособлениях осевых линий, плоскостей симметрии и других условных (скрытых) баз. Поэтому, строго говоря, в этих случаях скрытые базы не являются базами в правильном смысле этого слова, так как они ничего не базируют, а только помогают созданию конструкции приспособлений, требуемой для решения данных технологических задач.

9.6 Конструкторские и технологические базы

В общем случае базой называется совокупностью поверхностей, линий и (или) точек, по отношению к которой определяется положение интересующей нас поверхности линий или точки. По своему назначению и области применения в приборостроении базы подразделяются на конструкторские и технологические, используемые при обработке заготовок или сборке изделий.

Конструкторская база - это база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии при его конструировании (ГОСТ 21495-76). Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные. Основной называется конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице, используемая для определения ее положения в изделии. Конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице, используемая для определения положения присоединяемого к ней изделия, называется вспомогательной базой (ГОСТ 21495-76).

Технологическая база - это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления, сборки или ремонта (ГОСТ 21495-76). Технологической базой, используемой при обработке заготовок на станках, называется база, относительно которой ориентируются ее поверхности, обрабатываемые на данном установе.

В качестве технологических баз используют также разметочные линии и точки, нанесенные на материальные поверхности заготовок для выверки положения последних относительно устройств станка, определяющих траекторию движения режущих инструментов. Разновидностью технологических баз являются измерительные базы.

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 поверхностями 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.

В примере (см. рис. 9.8, б) при работе на настроенном станке точность размера a определяется правильностью установки высоты стола, обеспечивающей расстояние фрезы до установочной контактной технологической базы А, равное величине a , точность размера b правильностью поперечной установки стола, обеспечивающей расстояние оси фрезы от направляющей контактной технологической базы В, равное $b + d_{фр}/2$, а точность размера c правильностью установки упора, выключающего продольную подачу стола, при достижении осью фрезы расстояния $c + d_{фр}/2$ от упорной контактной технологической базы С. Смена заготовок, обрабатываемых при неизменной настройке станка, не влияет на получаемые размеры, и они остаются одинаковыми для всей партии обрабатываемых заготовок (не учитывая случайного рассеяния размеров).

Контактные технологические базы, обеспечивающие необходимую точность обработки партии заготовок на настроенных станках и не требующие трудоемкой настройки станка, широко применяются в крупносерийном производстве.

Контактные технологические базы очень часто используются при сборке узлов и сборочных элементов (сборка валов с подшипниками, соединение салазок суппортов с направляющими станины и т. п.).

Настроечные базы. Для осуществления настройки станка относительно определенных поверхностей заготовки необходимо, чтобы эти поверхности занимали на станке при смене заготовок неизменное положение относительно упоров станка, определяющих конечное положение обрабатывающего инструмента. К таким поверхностям относятся опорные поверхности заготовки, что и предопределяет широкое их использование в крупносерийном производстве в качестве опорных технологических баз. Такими же поверхностями являются поверхности, образуемые на заготовке при данном установе и связанные с другими обрабатываемыми поверхностями непосредственными размерами. Примером использования поверхности, обрабатываемой за один и тот же установ, в качестве технологической базы может служить обработка заготовки на револьверном станке (рис. 9.14).

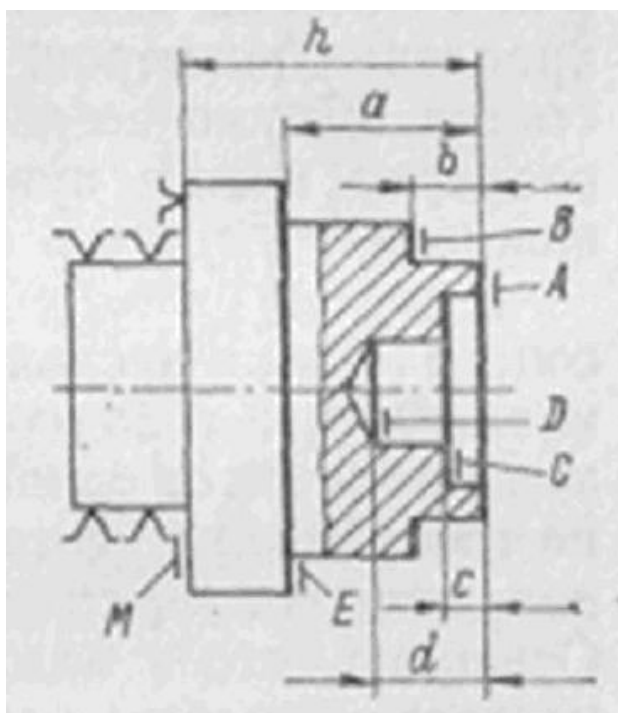


Рис. 9.14 Использование настроечной базы *A* при обработке заготовки на револьверном станке

Заготовка опирается поверхностью *M* на соответствующий упор зажимного устройства станка, однако эта поверхность, являясь контактной технологической базой для обработки торца *A* заготовки на размер *h*, не является таковой для всех остальных торцовых поверхностей заготовки *B*, *C*, *D*, *E*, обрабатываемых на размеры *b*, *c*, *d*, *a*. Положение поверхностей *B*, *C*, *D* и *E* определяется при настройке станка не положением поверхности *M*, а положением поверхности *A*, относительно которой производится установка упоров. В этом случае поверхность *A*, обрабатываемая при том же установе, что и рассматриваемые поверхности *B*, *C*, *D*, *E*, является для них настроечной технологической базой. Настроечной базой называется поверхность заготовки, по отношению к которой ориентируются обрабатываемые поверхности, связанная с ними непосредственными размерами и образуемая при одном установе с рассматриваемыми

поверхностями заготовки. Настроечная база обычно связана непосредственным размером с опорной 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, а настроечная база заготовки. 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 опорных поверхностей, но и от измерительных баз, которые можно использовать в качестве настроечных баз. Настроечные базы способствуют упрощению конструкции приспособлений, концентрации операций технологического процесса и сокращению общего числа операций, а также дают возможность производить промеры заготовок непосредственно на станке. Некоторое усложнение наладки станка, связанное с использованием настроечной базы, компенсируется в крупносерийном производстве указанными преимуществами применения этих баз. Особенно ярко выявляются преимущества настроечных баз при использовании автоматов, многорезцовых станков, станков с копировальными устройствами, станков с числовым программным управлением и обрабатывающих центров, которые требуют создания сложных концентрированных операций, а также при многопозиционной обработке.

Контактная 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 приспособления на контактной базе всегда возникает погрешность закрепления, являющаяся одной из причин рассеяния размеров заготовок, которые проставлены от этих 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 базой называется базой, по отно-

шению к которым производится выверка положения заготовки на станке или установка режущего инструмента при обработке заготовки, а также выверка положения других деталей или сборочных единиц при сборке изделия. Интересным примером использования проверочной базы для изготовления особо точной детали оптического прибора может служить нарезание зуба отсчетного червячного колеса прибора.

По условиям своей работы в приборе начальная окружность зубчатого венца детали должна быть строго концентрична посадочному наружному цилиндру А, являющемуся основной конструкторской базой детали (рис. 9.16).

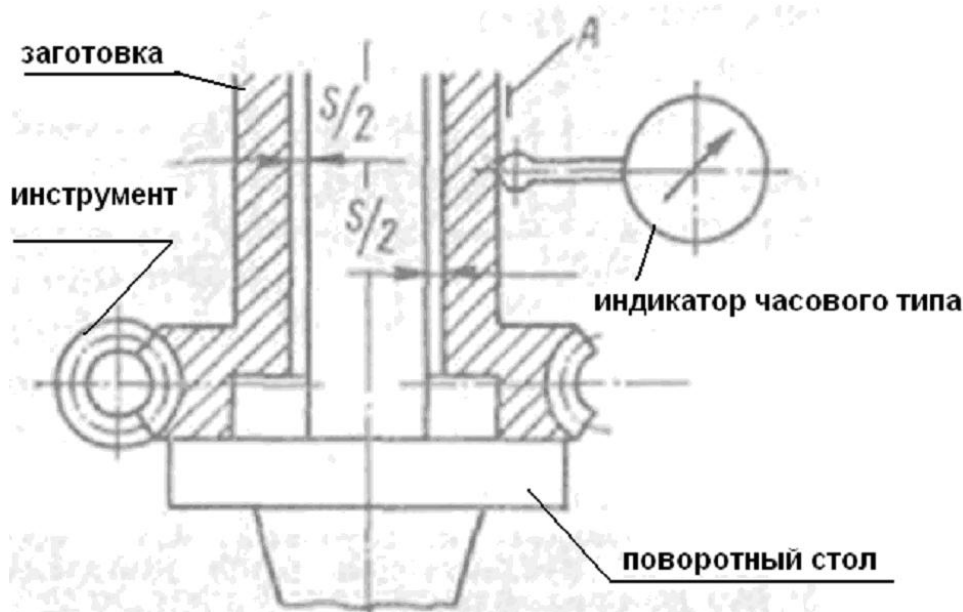


Рис. 9.15 Установка червячного колеса по проверочной базе

Неконцентричность 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.

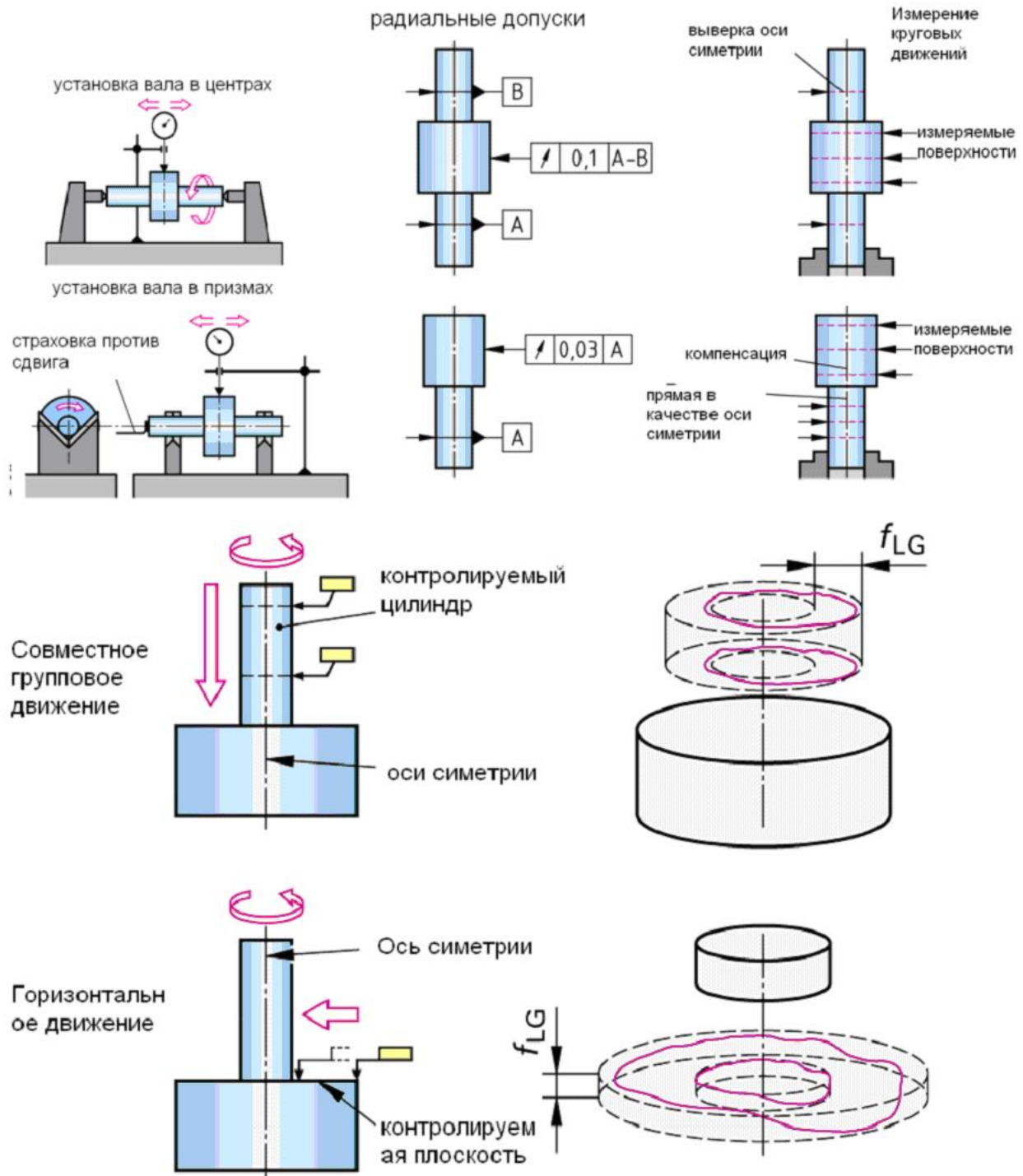


Рис. 9.16 Схема измерения радиального и торцевого биения

Положение проверочной базы А в технологической системе устанавливается путем последовательно повторяющихся регулировок заготовки на поворотном столе и проверок результатов этих регулировок с помощью индикатора часового типа. Теоретически проверочные базы могут обеспечить любую точность базирования, используя для проверки положения баз инструменты соответствующей точности. В связи с особой ролью и возможностями проверочных баз приведем наиболее часто используемые схемы проверки(контроля) типовых цилиндрических поверхностей (рис. 9.16) и фотографию современной измери-

тельной установки для контроля и измерения цилиндрических поверхностей (рис.9.17).



Рис. 9.17 Установка для измерения и контроля геометрических характеристик цилиндрических поверхностей

9.7 Искусственные технологические базы

Если конфигурация заготовок не дает возможности выбрать технологическую базу, позволяющую удобно, устойчиво и надежно ориентировать и закрепить заготовку в приспособлении или на станке, то прибегают к созданию искусственных технологических баз. К категории искусственных технологических баз относятся также такие технологические базы, которые в целях повышения точности базирования обрабатываемой заготовки в приспособлении предварительно обрабатываются с более высокой точностью, чем это требуется для готового изделия по чертежу.

Характерным примером искусственных технологических баз могут служить центровые отверстия, не требующиеся для готового вала и необходимые исключительно из технологических соображений. Когда сохранение центровых отверстий по условиям эксплуатации вала недопустимо, после его обработки их срезают. Если центровые отверстия используются при эксплуатации детали и являются конструктивно необходимыми, то они не могут рассматриваться как искусственные технологические базы. При механической обработке крупнога-

баритных турбинных лопаток в качестве технологической базы часто используют хвостовик лопатки и прилив бобышку, специально созданную для облегчения установки лопатки в приспособлениях. После механической обработки лопаток бобышки отрезают (рис. 9.18).

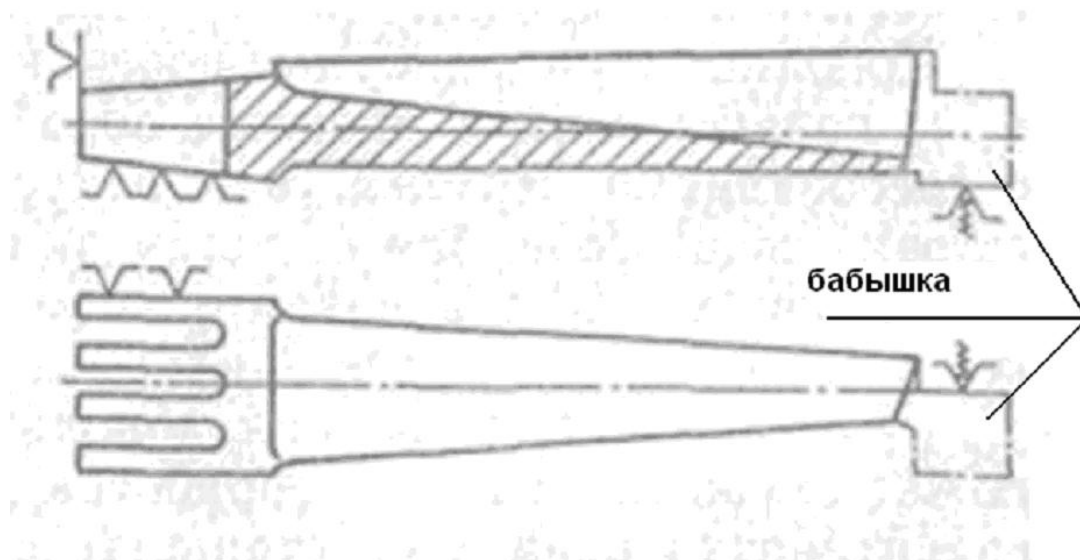


Рис. 9.18 *Использования дополнительной опорной поверхности технологической бобышки (показана штрихпунктирной линией) при обработке крупногабаритных лопаток*

Если отдельные поверхности специального прилива - бобышки входят в общее число базирующих поверхностей технологической базы и на них вместе с другими базами размещается шесть опорных точек, то бобышку следует отнести к категории искусственных технологических баз. Однако, если все шесть опорных точек технологической базы размещаются на других поверхностях лопатки, например на ее хвостовике, и опорные точки, располагающиеся на технологической бобышке, являются избыточными, то бобышка уже не может рассматриваться в качестве базы, так как она не базирует (не ориентирует заготовку относительно станка), а только служит дополнительной опорой вследствие недостаточной жесткости заготовки.

9.8 Дополнительные опорные поверхности

Для полного определения положения заготовки в приспособлении теоретически необходимо создать шесть опорных точек. В этом случае положение заготовки в приспособлении является статически определенным. Однако, при установке обрабатываемой заготовки, отличающейся малой жесткостью и большими размерами, по шести опорным точкам иногда происходит ее деформация под действием силы тяжести и усилий резания, исключая возможность достижения требуемой точности обработки. В подобных случаях технолог вынужден использовать дополнительные опорные поверхности, несущие на себе дополнительные опорные точки (сверх шести теоретически необходимых). При этом

положении заготовка становится статически неопределенной и точность ее установки теряется.

Дополнительные опорные поверхности могут быть естественными, т. е. полученными в процессе обработки заготовки в соответствии с требованиями чертежа, или искусственными, созданными на заготовке специально для ее установки и закрепления в приспособлении (всевозможные дополнительные центровые отверстия, выточки под люнеты, специальные приливы и бобышки и т. п.). Примером использования дополнительной опорной поверхности может служить токарная обработка длинного вала. С точки зрения ориентировки вала в пространстве его положение полностью определяется зажимом в патроне с упором торца вала в соответствующие упорные поверхности кулачков (пяти опорных точек в данном случае достаточно, так как при обточке вала не требуется его ориентировка относительно оси вращения). Однако, для предотвращения прогиба вала применяется поддержка его центром по дополнительной опорной поверхности - центрному отверстию, несущему на себе еще две опорные точки. Если дополнительная опорная поверхность (центровое отверстие) смещена относительно поверхности конца вала, закрепленного в патроне, которая определяет положение вала на станке, то вал искривляется и его обработка является неточной. Приведенные примеры показывают, что применение дополнительных опорных поверхностей может внести неопределенность в положение заготовки при обработке и тем самым снизить точность расположения обрабатываемых поверхностей. Вследствие этого рекомендуется использовать в качестве дополнительных опор всевозможные подвижные и регулируемые опоры (механические и автоматические подпоры). В тех случаях, когда это невозможно, необходимо обеспечить высокую точность расположения дополнительной опорной поверхности заготовки по отношению к ее технологическим базам, на которых располагается шесть теоретически необходимых опорных точек, поскольку погрешность расположения всех базирующих и дополнительных опорных поверхностей входит в погрешность базирования заготовки и переносится на погрешность взаимного расположения обработанных поверхностей. Использование искусственных технологических баз и дополнительных опорных поверхностей обычно повышает общую трудоемкость обработки и часто приводит к дополнительному расходу металла.

9.9 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 авто-

матизации 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 технологическая база является одним из основных составляющих элементов. 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.

9.10 Принцип совмещения (единства) баз

Суть принципа в том, что технолог должен совмещать свою технологическую базу с конструкторской. При нарушении этого принципа неизбежно возникает дополнительная погрешность размеров, названная погрешностью базирования и равная допуску на размеры, соединяющие на чертеже несовмещенные конструкторские и технологические базы. Появление погрешности базирования вынуждает технолога пересчитывать размеры и допуски в сторону ужесточения последних, но это не всегда помогает. Сказанное можно проиллюстрировать следующим примером. При обработке паза на глубину 10Н14 (рис. 9.19, а) для упрощения конструкции приспособления удобно установить заготовку на нижнюю поверхность В (рис. 9.19, 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 и не связана с ней ни размером, ни условием правильного взаимного расположения. 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 операции (рис. 9.19, б). 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 с, а также нового технологического допуска размера b можно произвести, исходя из размерной цепи, приведенной на рис. 9.19, в. Из рисунка видно, что $c=b-a = 50 - 10 = 40$ мм.

Допуск размера с определяется из той же размерной цепи, в которой замыкающим размером является конструкторский размер $a = 10+0,35$, так как весь расчет производится на основании предпосылки, что размер а должен быть автоматически получен в пределах заданного конструктором допуска при выполнении составляющих размеров цепи b и с 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 сугубо положительная и отрицательной быть не может, полученное уравнение не может быть решено без увеличения уменьшаемого или без уменьшения вычитаемого.

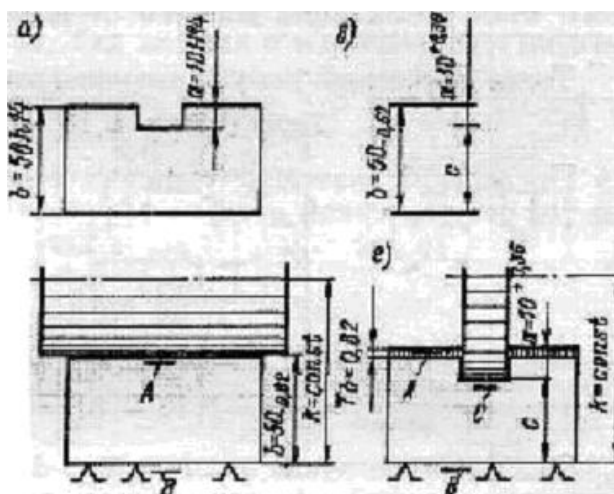


Рис. 9.19 Фрезерование паза от опорной технологической базы В, не совпадающей с конструкторской

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 опорной 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 отклонения поля допуска от номинала. Тогда расчетный допуск технологического размера $T_c = 0,36 - 0,16 = 0,20$ мм.

Таким образом, в связи с несовпадением технологической и конструкторской (измерительной) 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 А. Схема подобного приспособления изображена на рис. 9.20, а. Технологическая контактная база — плоскость А является одновременно конструкторской базой, от которой без всяких пере сче-

тов 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.

На рис. 9.20, б показано фрезерование паза комплектом фрез одновременно с плоскостью А. Так же, как и в предыдущем случае,

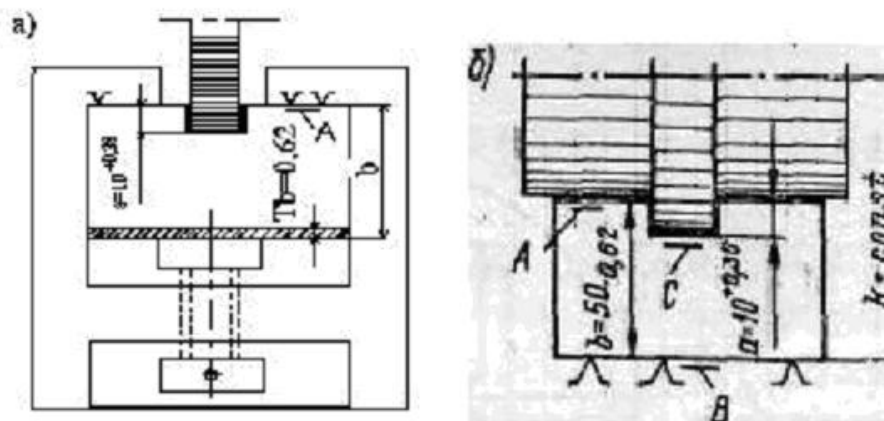


Рис. 9.20 Фрезерование паза от технологической базы А, совпадающей с конструкторской

паз обрабатывается от технологической базы — плоскости А (являющейся здесь настроечной), совпадающей с конструкторской. Конструкторский размер $a = 10+0,36$ мм выдерживается без всяких пересчетов, и никакого ужесточения допусков, установленных конструктором, здесь также не требуется. Плоскость В служит контактной технологической базой для обработки плоскости А на размер b , который тоже может выполняться с установленным чертежом допуском T_b — 0,62 мм без его ужесточения. Рассмотренные на рис. 9.19 и 9.20 примеры обработки призматической заготовки с прямоугольным пазом показывают, что при разработке технологических процессов технолог может использовать различные виды технологических баз. Варианты возможных технологических процессов имеют свои достоинства и недостатки. Например, при обработке заготовки от контактных технологических баз, несовмещенных с конструкторскими базами (рис. 9.19), возникает необходимость пересчета размеров и значительного ужесточения допусков, что приводит к снижению производительности и удорожанию обработки. Зато для изготовления заготовки не требуется специальных приспособлений или инструментов. При обработке заготовки от контактных технологической базы, совмещенной с конструкторской (рис. 9.20, а), имеется возможность непосредственно выдерживать конструкторские размеры баз пересчета и ужесточения данных конструктором допусков, а следовательно, и без снижения производительности обработки, однако требуется создавать специальное и не всегда удобное приспособление. Если размеры выдерживаются от настроечной технологической базы, совмещенной с конструкторской (рис. 9.20, б), пересчитывать и ужесточать допуски также не приходится.

ся, но для выполнения операции требуется набор режущих инструментов. Выбор наилучшего варианта технологического процесса производится на основании технико-экономического расчета с учетом конкретных условий производства. Вторым важным принципом, которым следует руководствоваться при назначении баз, является принцип постоянства баз.

9.11 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). При нарушении этого принципа неизбежно возникает дополнительная погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз.

Стремление осуществить обработку на одной технологической базе объясняется тем, что всякая смена технологических баз увеличивает погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных технологических баз, дополнительно внося в нее погрешность взаимного расположения самих технологических баз, от которых производилась обработка поверхностей. Например, если на заготовке, изображенной на рис. 9.21, а, требуется обеспечить совмещение оси симметрии четырех малых отверстий с осью центрального отверстия в пределах допустимой погрешности $= \pm 0,1$ мм, а расточка центрального отверстия на токарном станке (рис. 9.21, б) и сверление четырех малых отверстий в кондукторе (рис. 9.21, в) выполняются при использовании различных баз А и В, то фактическая величина смещения осей возрастает на величину погрешности взаимного расположения использованных баз, т. е. на величину допуска на размер 100. Это подтверждает расчет технологической размерной цепи (рис. 9.21, г):

$$\Delta_{\max}^{100} = 100_{\max} - 50_{\min} - 30 - 20_{\min} = 100 - (50 - 0,05) - 30 - (20 - 0,05) = +0,1 \text{ мм},$$

$$\Delta_{\min}^{100} = 100_{\min} - 50_{\max} - 30 - 20_{\max} = 100 - 0,46 - (50 + 0,05) - 30 - (20 + 0,05) = -0,56 \text{ мм},$$

В связи с тем, что сверление малых отверстий выполняется по кондуктору, расстояние между ними (размер 60) выполняется точно, поэтому в расчете размер 30 условно принят постоянным. Нетрудно убедиться в том, что при выполнении обеих операций от неизменной базы (например, от плоскости А) колебание величины смещения осей уменьшается, так как оно определяется из более короткой технологической размерной цепи (рис. 9.21, д), не включающей в себя размер 100, т. е.:

$$\Delta_{\max}^{60} = 50_{\max} - 30 - 20_{\min} = 50 + 0,05 - 30 - (20 - 0,05) = +0,1 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\min}^{60} = 50_{\min} - 30 - 20_{\max} = 50 - 0,05 - 30 - (20 + 0,05) = -0,1 \text{ мм};$$

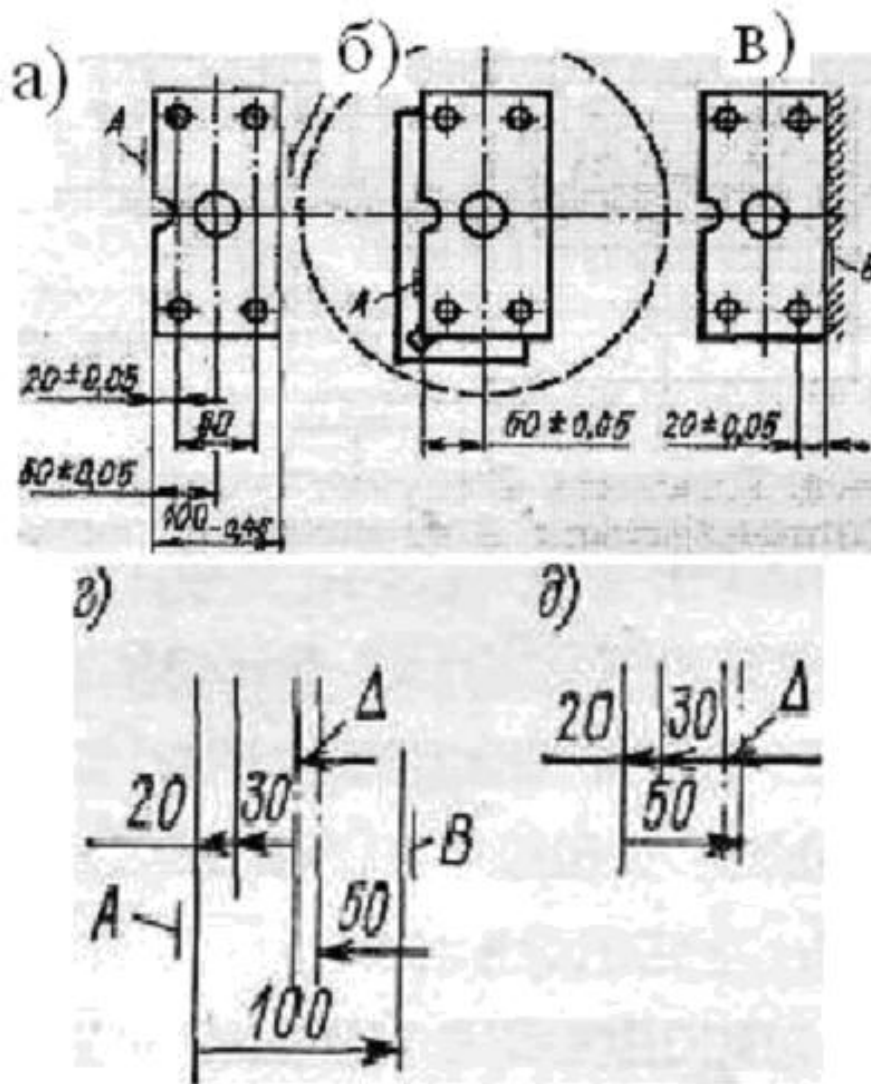


Рис. 9.21 Применение принципа постоянства баз при расточке и сверлении

При этом требование чертежа о совмещении осей в пределах погрешности $\pm 0,1$ мм выполняется. Сохранение постоянной технологической базы при обработке заготовок на различных операциях снижает погрешности взаимного расположения обработанных поверхностей, однако на практике встречаются случаи, когда выполнение этого требования приводит к чрезмерному усложнению конструкции приспособлений и их удорожанию. В этих случаях технолог вынужден заменять технологические базы, выбирая наиболее удобные и производя соответствующие расчеты увеличения погрешности взаимного расположения поверхностей.

При решении вопроса о том, какую из разновидностей технологических баз лучше всего применить в проектируемом технологическом процессе, следует учесть изложенные выше данные об особенностях проверочных, настроечных и контактных технологических баз.

Наиболее целесообразно и удобно использовать настроечные технологические базы при построении технологического процесса по принципу концентрации

операций, когда обработка заготовки осуществляется за небольшое число сложных по своему содержанию операций с применением комбинированного многолезвийного и фасонного инструмента и сложных настроек станков при многопозиционной обработке, при обработке на копировальных станках, автоматах, станках с ЧПУ и при групповой обработке.

При разработке технологического процесса обработки крупных и точных заготовок единичного производства, когда затраты времени на их установку и выверку составляют лишь незначительную часть основного времени обработки заготовки, а изготовление крупных и сложных специальных приспособлений, необходимых при использовании настроечных и контактных технологических баз, экономически не оправдывается, допускается применение проверочных технологических баз. В обычных условиях крупносерийного производства проверочные технологические базы следует использовать только в виде исключения при обработке особо точных заготовок и сборочных единиц, когда их высокая точность не может быть достигнута с помощью других разновидностей технологических баз.

При работе с новейшими измерительными и управляющими устройствами, ускоряющими и автоматизирующими выверку положения заготовок на станках, применение проверочных баз становится рациональным не только при серийном, но и массовом производстве, особенно в случае необходимости достижения высокой точности расположения обработанных поверхностей.

10. Характеристики поверхностного слоя деталей приборов и технологии их обеспечения и контроля

В данном разделе использованы материалы публикаций В.А. Валетова и С.Ю. Иванова [6,7].

В общем случае, качество поверхностного слоя характеризуется достаточно большим набором показателей. Например, твердостью, прочностью, электропроводностью, коррозионной стойкостью и т.д., и т.п. В каждом конкретном случае та или иная характеристика качества может оказаться более или менее существенной. Рассмотрим две наименее исследованных характеристики, которые целиком реализуются только на этапе изготовления деталей.

10.1 Микрогеометрия поверхностей и ее оптимизация

Как известно микрогеометрия поверхности есть отклонение реальной поверхности от идеальной с относительно малыми шагами. Известно также, что микрогеометрия существенно влияет на два десятка эксплуатационных свойств поверхности.

Это практически означает, что нормировать (задавать на чертеже микрогеометрию) имеет смысл только для тех свойств поверхности, на которые она существенно влияет и, что еще более важно, нормировать нужно не любую микрогеометрию, а наилучшую для интересующего нас эксплуатационного свойства поверхности. Реальная оптимизация микрогеометрии возможна, при выполнении следующих условий:

- нужно знать оптимальную микрогеометрию для конкретного свойства поверхности;
- при нормировании нужно точно описать эту оптимальную микрогеометрию;
- нужно знать методы и режимы обработки, обеспечивающие заданную микрогеометрию;
- нужно уметь быстро, надежно и экономично контролировать соответствие полученной микрогеометрии с заданной.

Традиционные источники повышения качества изделий, к которым относятся повышение точности при изготовлении и ремонте и использование конструкционных материалов с улучшенными свойствами, почти исчерпаны и сопряжены с сильно возрастающими экономическими затратами и техническими сложностями. Предлагаемые методы оптимизации микрогеометрии функциональных поверхностей и технологических остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей не только не требуют повышения затрат на изготовление и ремонт изделий, но во многих случаях обеспечивают их снижение при значительном повышении качества изделий. Снижение затрат при оптимизации указанных выше характеристик объясняется тем, что ее отсутствие чаще всего сопровождается не обоснованно завышенными требованиями к этим характери-

кам. Продолжать игнорировать возможности этой оптимизации - непозволительная для нас роскошь. Например, наши исследования долговечности роликовых направляющих позволили только за счет оптимизации микрогеометрии повысить ресурс этих направляющих в 2 раза.

Уже давно доказано влияние микрогеометрии поверхностей на два десятка их функциональных свойств. Но если какой-либо фактор существенно влияет на интересующее нас функциональное свойство, то нужно нормировать не какое-нибудь значение этого фактора, а наилучшее для данного функционального свойства.

Значимость микрогеометрии поверхностей деталей общепризнана, иначе не было бы обязательного ее нормирования для всех без исключения поверхностей. Но эта крайность сродни глупости. Ведь при 100%-ном нормировании технолог обязан эти нормы обеспечивать, а контролер - контролировать. Но зачем это делать для нефункциональных поверхностей или, если влияние микрогеометрии на интересующее нас функциональное свойство не установлено. Повышение качества изделий - требование вечное. Два традиционных источника этого - повышение точности изготовления и использование новых, более качественных материалов - почти исчерпаны.

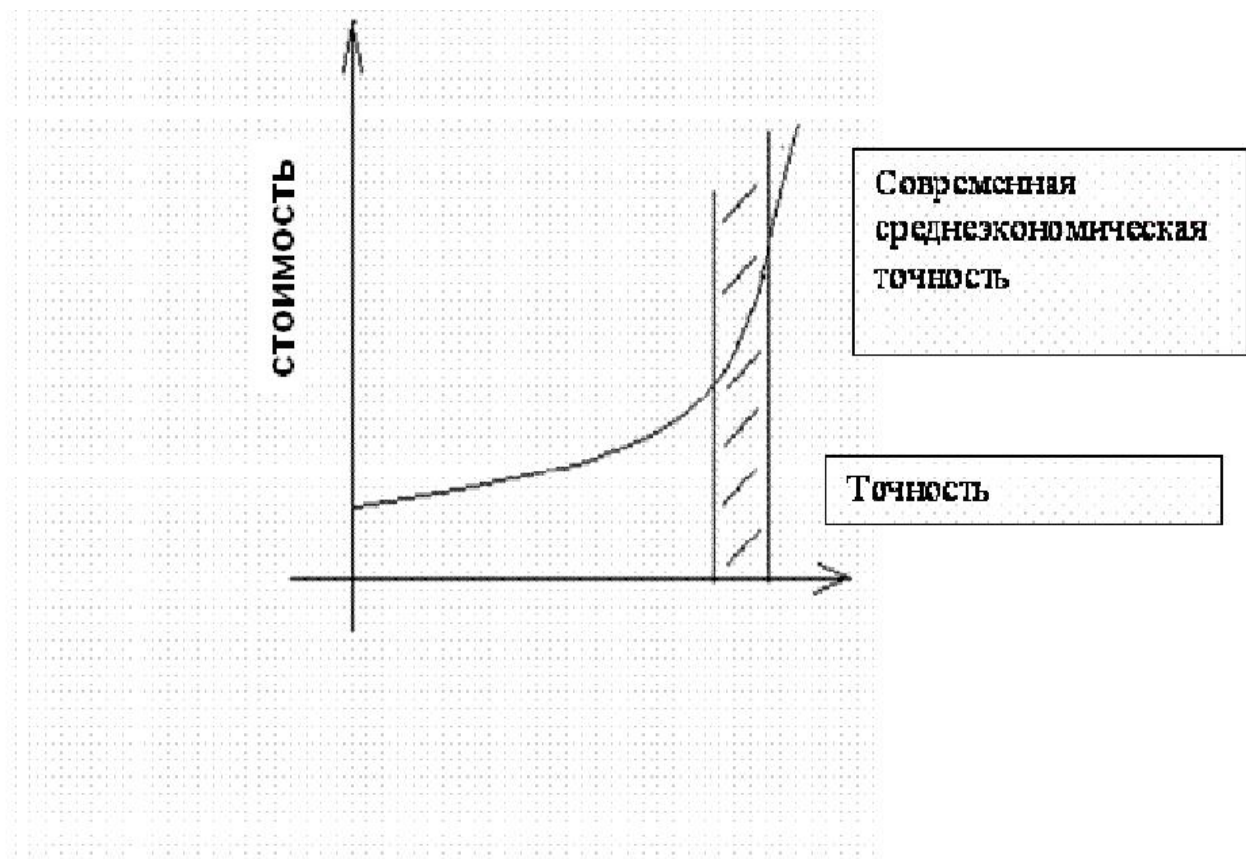


Рис.10.1 Зависимость стоимости изготовления или ремонта изделия от точности его изготовления

Как видно из рисунка, мы достигли такого рубежа, когда малейшее увеличение точности резко повышает стоимость изготовления. Со вторым источником пока

тоже проблематично. Маловероятно, что мы в ближайшее время на Земле найдем материалы, по количеству сопоставимые с железом и известными цветными металлами, а по качеству существенно их превосходящие.

Уже давно и убедительно доказана бесперспективность параметрического подхода к оценке микрогеометрии поверхностей для ее оптимизации.

Достаточно посмотреть на два профиля, изображенных на рис. 2, для которых все стандартные параметры, кроме tr на конкретном уровне, абсолютно одинаковы, а неодинаковость эксплуатационных свойств этих микрорельефов очевидна. Что касается параметра tr , то для достаточно полного описания этих и любых других профилей его нужно задать на 10-15 уровнях, и мы упираемся в уже знакомую стенку.

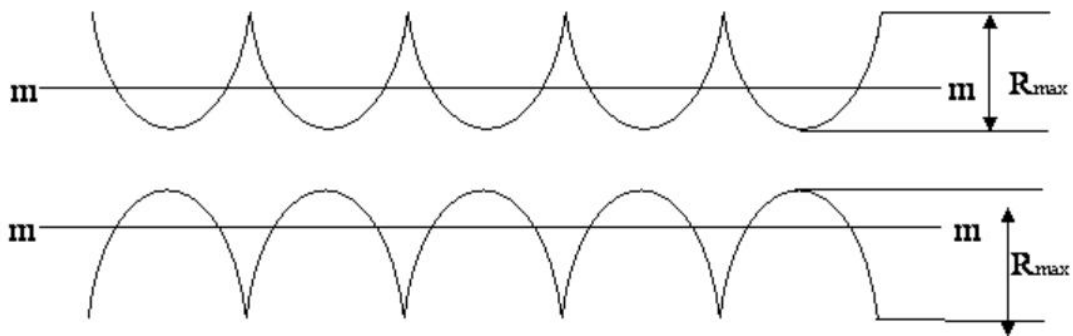


Рис.10. 2 Профили двух зеркально противоположных поверхностей

Предложен принципиально новый подход к оценке и контролю микрогеометрии поверхностей деталей, названный непараметрическим.

При этом детально проработаны все аспекты проблемы оптимизации микрогеометрии - от нормирования - до технологического обеспечения и контроля.

Суть непараметрического подхода состоит в следующем:

- в качестве критериев оценки микрогеометрии поверхностей предложено использовать графические изображения функции плотности распределения ординат или углов наклона профилей, а еще лучше - сами профили или микротопографии поверхностей;
- нормировать нужно не малоинформативные параметры, а конкретные функциональные свойства, проставляя на знаках шероховатости их стандартные номера;
- при экспериментальном определении наилучшего из возможных микрорельефов для конкретного функционального свойства мы не только находим этот микрорельеф, но и фиксируем технологию его получения;
- контроль микрогеометрии серийной продукции производим наложением графического изображения функции контролируемой поверхности на эталонное изображение этой функции или профиля, или микротопографии (рис.10.3).

На рис.10. 3 заштриховано <поле допуска> функции, которое можно изменять в зависимости от степени важности или ответственности деталей.

Если графическое изображение функции контролируемой поверхности не выходит за пределы поля допуска, значит его микрорельеф близок к оптимальному (эталонному).

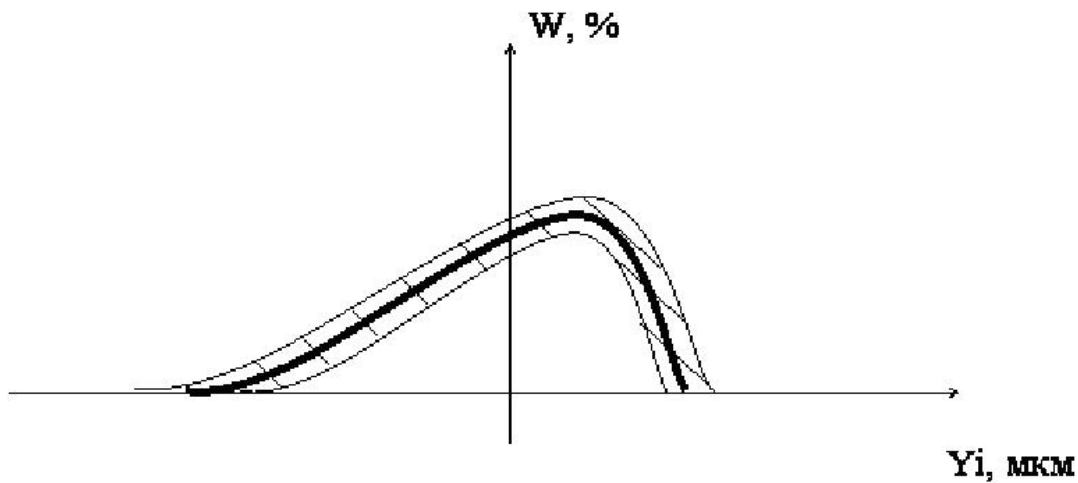


Рис.10.3 Плотность распределения ординат профиля оптимальной микрогеометрии поверхности

Современные программные средства позволяют в автоматическом режиме сравнивать и устанавливать степень различия не только сравниваемых графических изображений функций, но и самих профилей и даже микро топографий поверхностей.

Непараметрический метод оценки и контроля микрогеометрии не только позволяет сравнительно просто решать задачи ее оптимизации для любого конкретного функционального свойства, но и более достоверно исследовать и устанавливать закономерности влияния микрогеометрии на эти свойства, и, что не менее важно, закономерности влияния различных факторов на формирование и изменение самой микрогеометрии. Достаточно сказать, что благодаря использованию непараметрических критериев оценки микрогеометрии поверхностей трения, удалось установить непрерывный, циклический характер ее изменения, вопреки укоренившемуся мнению о так называемой <равновесной>, стабильной и независимой от исходного состояния микрогеометрии в парах трения-скольжения [4,5,6].

Уже несколько десятилетий практически во всех странах мира стандартизованы методы оценки микрогеометрии поверхности по ее профилю. Профили поверхностей получают с помощью приборов так называемого «ощупывающего» типа, схема работы которых представлена на рисунке 10.4. Как видно из рисунка, тонко заостренная алмазная игла датчика «Протаскивается» по поверхности, повторяя ее выступы и впадины.

Таким образом, мы получаем профиль поверхности, по которому судим о ее микрогеометрии. Из-за метрологических проблем отклонения реальной по-

верхности от идеальной приходится искусственно делить на три категории: отклонения формы, волнистость и шероховатость.

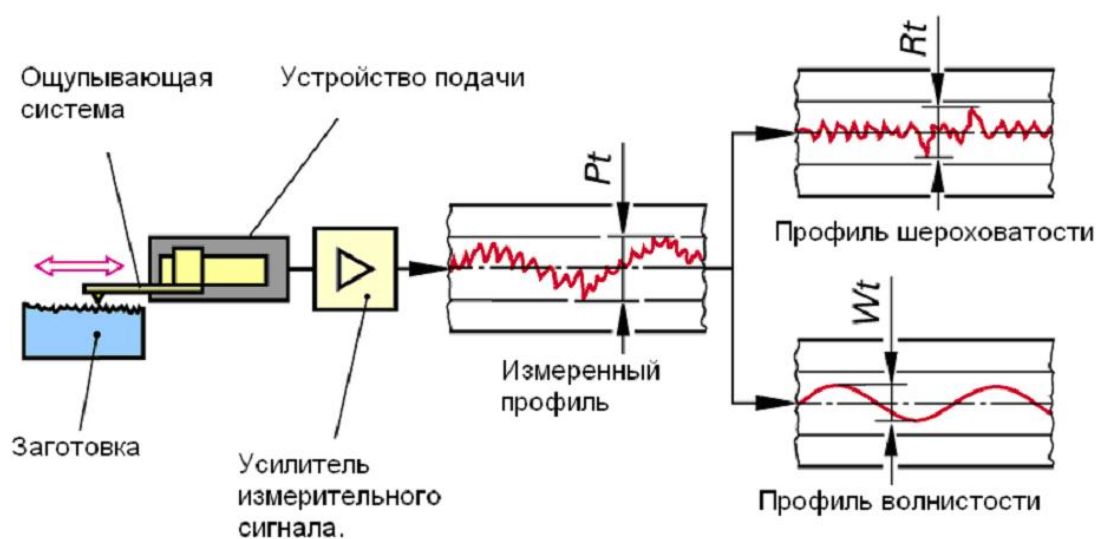


Рис. 10.4 Схема получения профиля поверхности

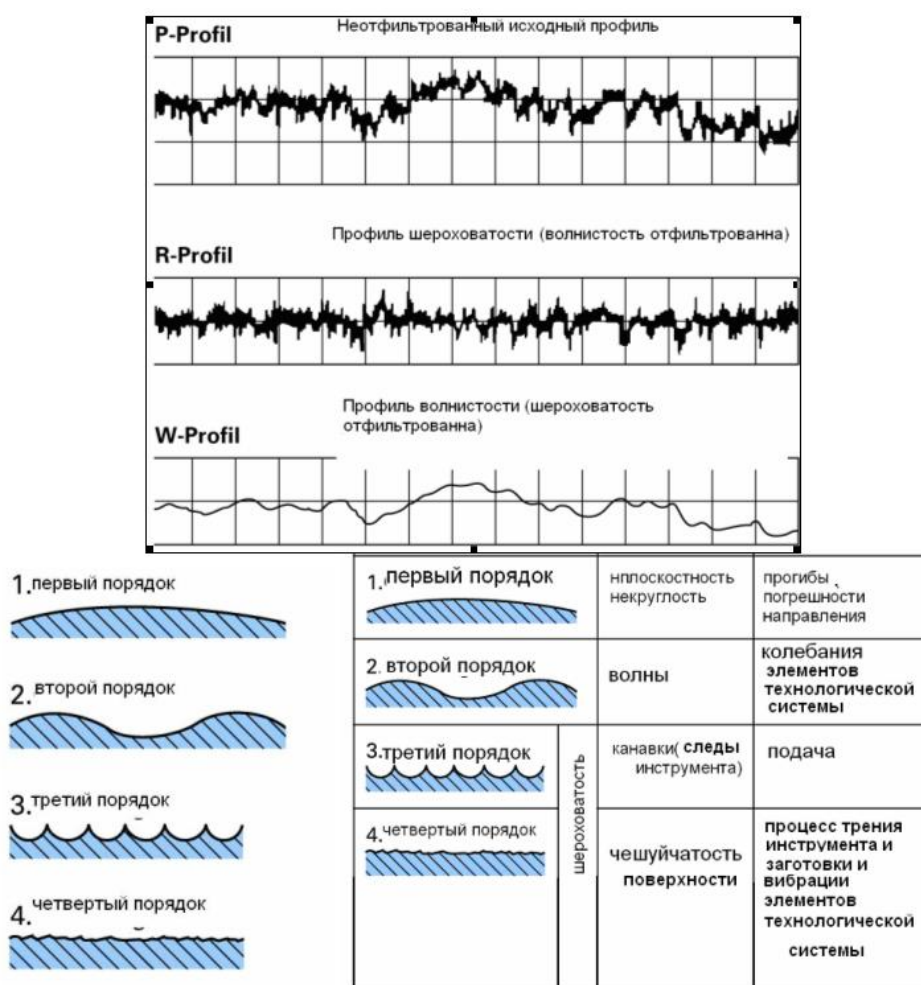


Рис. 10.5 Условное разделение отклонений реальных поверхностей от идеальных на несколько составляющих

При измерении и контроле шероховатости длина ошупывания (профиля), в основном существенно меньше размеров всей поверхности, поэтому отклонения формы на коротких участках компенсируются установкой контролируемого участка поверхности в «горизонт» и фактически фиксируются шероховатостью на фоне волнистости (рис. 10.5).

Независимо от метода оценки и контроля микрогеометрии, при использовании в качестве источника информации ошупывающих приборов при записи профиля имеют место многочисленные помехи. При этом в производственных условиях изоляция контрольно-измерительной аппаратуры от внешних помех практически невозможна. Разработан новый надежный метод фильтрации профиля с использованием его амплитудного спектра. При прямом Фурье - преобразовании профиля, как реализации случайной функции, мы получаем набор гармоник различной амплитуды и частоты. Графическое представление зависимости амплитуды гармоник от их частоты и есть амплитудный спектр профиля (см. рис.10.5 а).

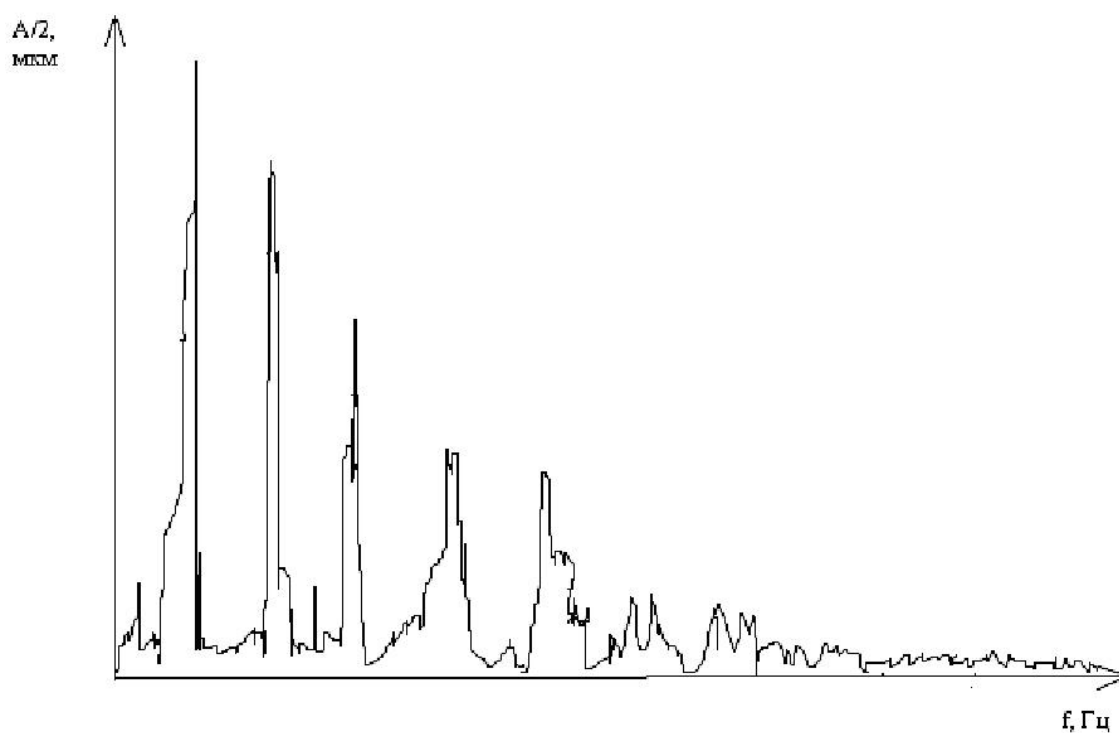


Рис.10.6 Амплитудный спектр профиля точеной поверхности

Установлено, что самая низкочастотная гармоника содержит информацию об отклонениях формы поверхности. К этой же категории относится перекосяк контролируемой поверхности при установке ее на столике прибора. Вторая и третья гармоники содержат информацию о волнистости. Падающая часть спектра содержит информацию о шероховатости поверхности. Незатухающая высокочастотная часть спектра содержит информацию о помехах. Удаляя ненужную информацию, прежде всего помехи, после обратного преобразования Фурье мы

получаем "чистый" профиль. Этот метод позволяет не только надежно избавляться от помех, но и исследовать любую комбинацию отклонений реальной поверхности (шероховатость с волнистостью, шероховатость с отклонением формы и т.д., и т.п.), а также любую составляющую отклонений отдельно. На рис. 10.7) показаны исходный профиль и соответствующий ему амплитудный спектр (рис. 10.7 ,а) и профиль с исключенными отклонением формы и волнистостью с соответствующим амплитудным спектром (рис.10.7 , б).

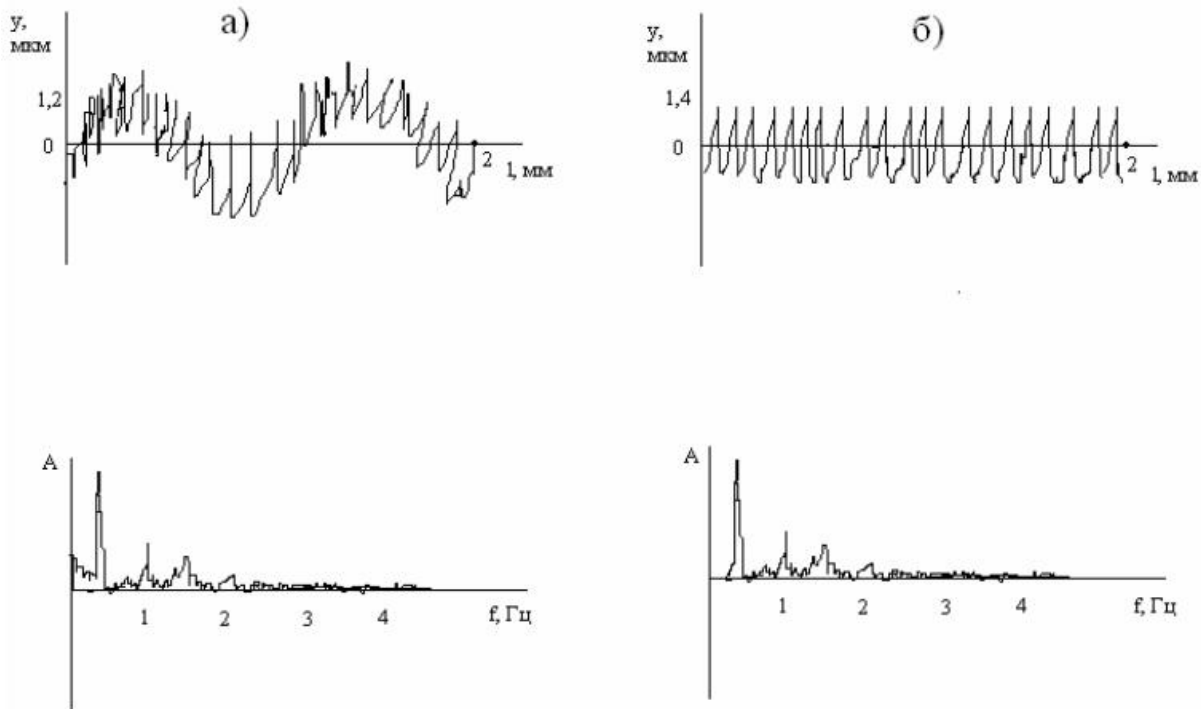


Рис.10.7 Профили точеной поверхности с соответствующими амплитудными спектрами с учетом (а) и без учета (б) волнистости отклонения формы

Второй профиль (рис.10.7- б) получен путем обратного Фурье - преобразования амплитудного спектра после удаления гармоник, содержащих информацию об отклонениях формы и волнистости.

10.2 Оптимизация технологических остаточных напряжений

Не менее важной характеристикой поверхностного слоя деталей являются технологические остаточные напряжения. Они возникают вследствие пластических деформаций кристаллических решеток материала заготовки в процессе ее механической или термической обработки.

Играют роль и величина, и знак, и глубина залеганий, и характер распределения этих напряжений по глубине поверхностного слоя. Физическую сущность возникновения остаточных напряжений можно проиллюстрировать схемами, изображенными на рис.10.8.

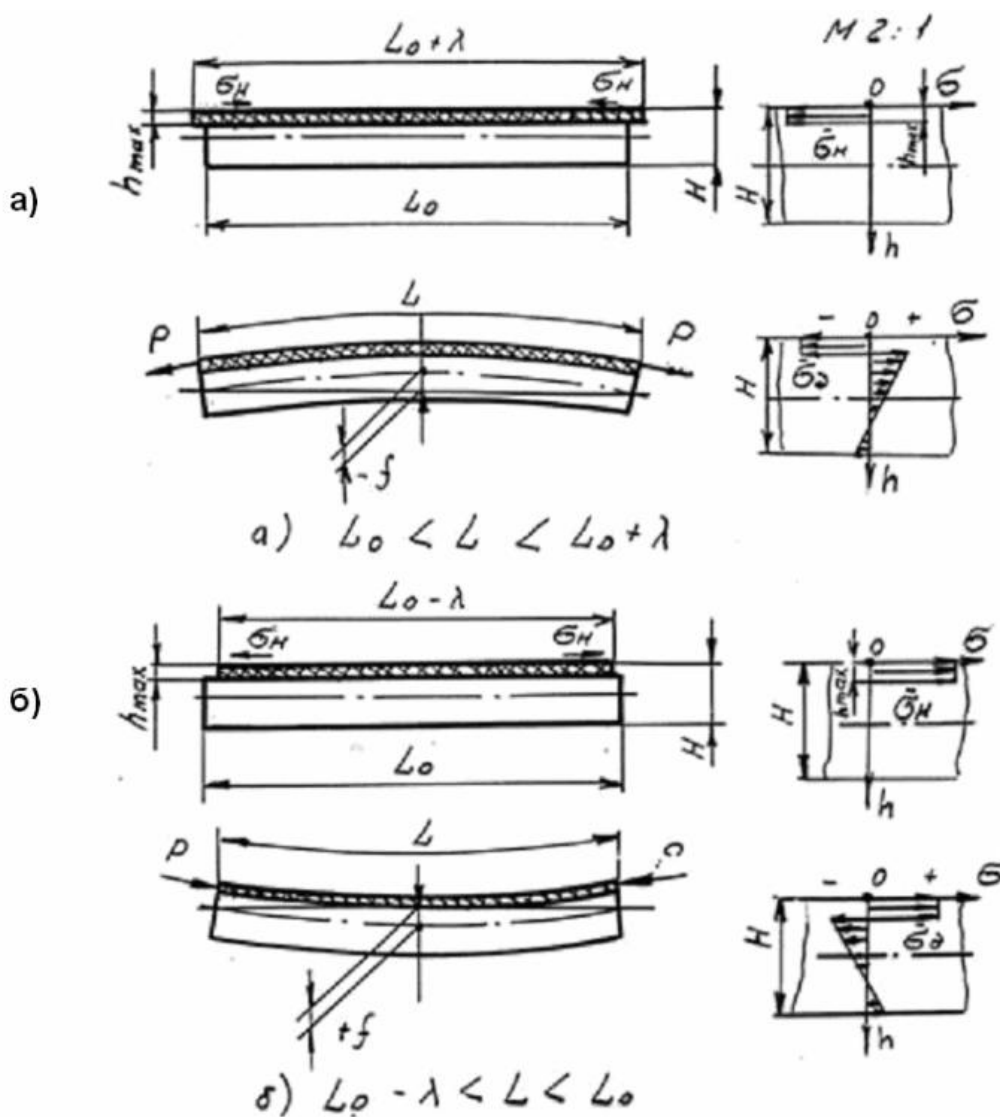


Рис.10.8 Упрощенная схема деформации упругого призматического тела малой жесткости, при наличии остаточных напряжений в поверхностном слое: а) - сжатия; б) - растяжения

В процессе обработки заготовки ее поверхностный слой может как разуплотняться (рис.10.8а), так и уплотняться. (рис. 10.8 б). На схемах рис. 10.8 показаны гипертрофированные, чисто условные результаты этих воздействий, и, для наглядности, эти уплотненные и разуплотненные слои показаны условно отделенными от материала заготовок, не подвергнутого пластическим деформациям. Так как в реальных условиях никакого отделения деформированного слоя нет, то под воздействием деформаций в поверхностном слое произойдут деформации всего образца в соответствующих направлениях с перераспределением напряжений в поверхностном слое по всему поперечному сечению образца. Внесенные в поверхностный слой напряжения и результаты их перераспределения показаны справа от образцов. В общем случае возможны следующие результаты воздействия остаточных напряжений.

1. Если величина остаточных напряжений превысит предел прочности материала, а изделие обладает высокой жесткостью, то в поверхностном слое возникнут трещины вследствие его разрыва.
2. Если изделие представляет собой мало жесткую конструкцию, то произойдет его деформация, величина которой может намного превысить допуск на точность формы или взаимного расположения поверхностей.
3. Если остаточные напряжения ниже предела прочности материала, а изделие представляет собой жесткую конструкцию, то видимых изменений не произойдет. Однако, если эксплуатационные нагрузки совпадут со знаком остаточных напряжений, то изделие разрушится при нагрузках ниже запланированных, что чрезвычайно опасно. Из сказанного выше следует, что измерение и неразрушающий контроль технологических остаточных напряжений является важнейшей метрологической проблемой.

Исследования показали, что технологические остаточные напряжения технологически управляемы. Это означает, что и величина, и знак, и распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя зависят от видов и режимов обработки заготовок. Варируя параметры обработки и последовательность методов обработки заготовок, можно в конечном итоге получить благоприятные величину и распределение остаточных напряжений в поверхностном слое. Чрезвычайно информативным критерием оценки остаточных напряжений является интеграл от эпюры их распределения по глубине. Этот критерий назван деформирующей способностью технологических остаточных напряжений и обозначен буквой "q". На рисунках 10.9 и 10.10 показаны эпюры распределения остаточных напряжений, полученных при различных видах и режимах обработки, что наглядно демонстрирует их технологическую управляемость.

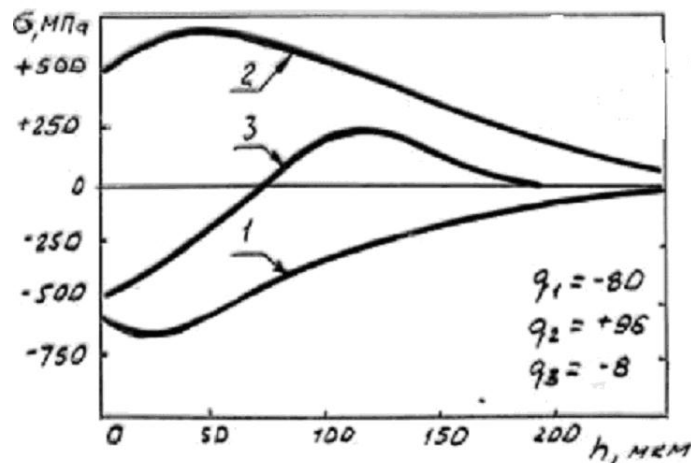


Рис. 10.9. Влияние режимов шлифования на $\sigma(h)$ и q : 1 - $v=10$ м/с, $S=0,3$ м/с, $P=100$ Н; 2 - $v=20$ м/с, $S=0,2$ м/с, $P=150$ Н; 3 - $v=40$ м/с, $S=0,1$ м/с, $P=200$ Н

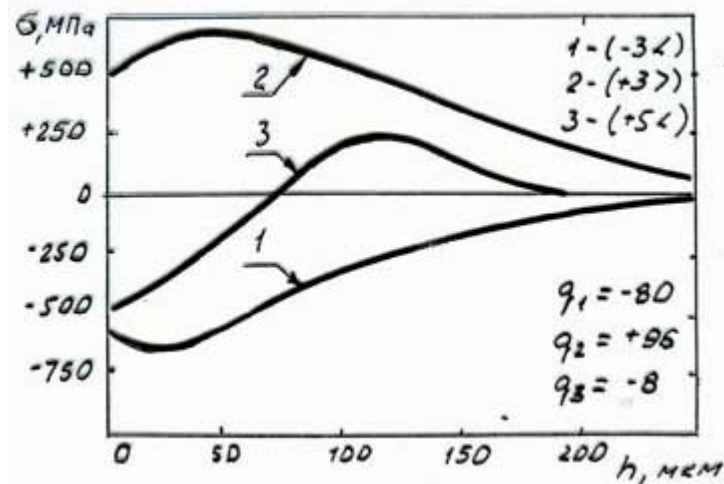


Рис. 10.8. Распределение $\sigma(h)$ в стали 20X13 после: 1- фрезерование на станке FOREST; 2 - шлифования (ручного) на станке ЛШ-95; 3 - шлифования лентой на станке МЕТАВО

Слабая изученность технологических остаточных напряжений в немалой степени объясняется отсутствием надежных, простых и экономичных средств их неразрушаемого измерения и контроля. До настоящего времени самым надежным методом остается метод Давиденкова – Биргера, относящийся к категории разрушающих методов. Суть его в следующем. Изготавливается испытуемый образец в форме параллелепипеда, одна из граней которого является функциональной поверхностью, под которой залегают неизвестные нам остаточные напряжения. Образец устанавливают на неподвижных опорах и положение функциональной поверхности в пространстве фиксируют с помощью индикаторов часового типа, установленных вдоль этой поверхности (рис 10.11).

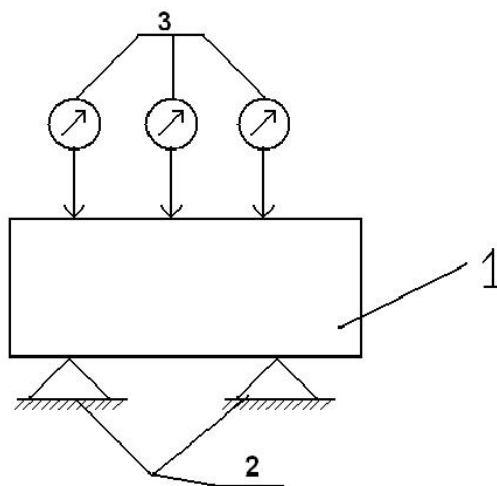


Рис. 10.11 Схема измерения остаточных напряжений по методу Давиденкова-Биргера: 1- образец, 2 – опора, 3 – индикаторы часового типа

Путем химического травления с функциональной поверхности удаляют слой материала фиксированной толщины. Вместе с удаленным слоем материала удаляются и залежавшие в нем напряжения, что приводит к нарушению бывшего равновесия напряжений, т.е. приводит к их перераспределению, результатом которого будет деформация образца.

Величина и знак этой деформации фиксируется с помощью индикаторов часового типа. Измерив деформацию образца и, зная его геометрические характеристики и свойства материала, мы по формулам сопромата вычисляем напряжения, вызывающие эту измененную деформацию. А это именно те напряжения, которые залежали в стравленном слое материала. Последовательно повторяя стравливание слоев материала с образца и вычисляя по результатам замеренной деформации величину удаляемых при травлении напряжений мы получили так называемую эпюру распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя образца (рис. 10.12)

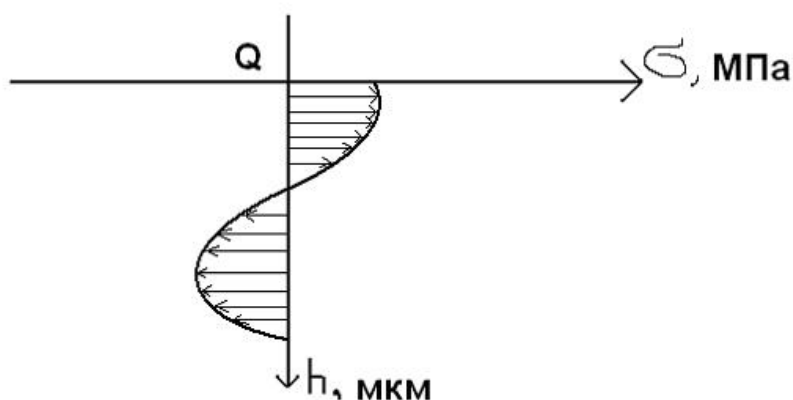


Рис. 10.12 Эпюра распределения остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя образца

Операция стравливания прекращается после того, когда очередное стравливание не вызывает зафиксированной деформации образца, что означает пренебрежимо малое количество остаточных напряжений в этом стравленном слое.

Американские приборы «Стрескан», работающие на принципе фиксации изменения электромагнитных свойств материала под воздействием остаточных напряжений, во-первых, очень дороги и не очень точны, а во-вторых, неприменимы для замера остаточных напряжений в немагнитных материалах, к которым относятся все цветные металлы и сплавы.

Из современных разрабатываемых методов неразрушающего контроля остаточных напряжений наиболее перспективным представляется метод, получивший название «сканирование и идентификация технологических остаточных напряжений» (СИТОН).

Он основан на замерах изменения параметров электрического тока при его прохождении через «напряженные» слои материала. В настоящее время метод успешно совершенствуется группой к.т.н. Иванова С.Ю. под руководством проф. Василькова Д.В.

10.3 Покрывтия поверхностей деталей

Одним из важнейших технологических методов управления характеристиками поверхностного слоя изделий является нанесение покрытий на их функциональные поверхности. Это целая отрасль технологической науки и практики, и здесь излагаются только основные принципы и краткое описание наиболее употребительных технологий нанесения покрытий.

Целью нанесения покрытий является улучшение свойств поверхности изделий в функциональном и (или) декоративном смысле. Основными видами функциональных покрытий являются: защита от коррозии, защита от износа, улучшение оптических свойств и трибологических характеристик. Во многих случаях покрытия совмещают функциональные и декоративные свойства. В качестве материалов покрытий используются как металлы, так и неметаллы. Последние в свою очередь, могут быть как органическими, так и неорганическими. Наиболее распространенными "механизмами" нанесения покрытий являются:

- процессы трения различных тел и сред друг о друга;
- адгезионные и когезионные процессы;
- химические и электрохимические процессы;
- диффузионные процессы;
- термические процессы.

Из всех функциональных свойств, улучшаемых с помощью покрытий, важнейшим можно считать антикоррозионную стойкость. Повышение этой стойкости осуществляется и с помощью разнообразных материалов покрытия, и с помощью различных технологий их нанесения. Так как одними из эффективнейших покрытий являются металлические покрытия, то для защиты от коррозии целесообразно учитывать так называемый электрохимический ряд напряжений металлов (см. таблицу 10.1).

Таблица. 10.1

Материал	Потенциал, V	Материал	Потенциал, V
Бериллий, Be	-1,96	Олово, Sn	-0,146
Магний, Mg	-1,55	Свинец, Pb	-0,13
Алюминий, Al	-1,3	Водород, H	+0
Марганец, Mn	-1,1	Медь, Cu	+0,343
Цинк, Zn	-0,76	Серебро, Ag	+0,799
Хром, Cr	-0,56	Ртуть, Hg	+0,854
Железо, Fe	-0,44	Платина, Pt	+0,9
Кадмий, Cd	-0,4	Золото, Au	+1,6
Никель, Ni	-0,22		

Практический смысл этого ряда в том, что в качестве материала покрытия нужно выбирать металл, являющийся анодом по отношению к защищаемому материалу. В противном случае под материалом покрытия-катада могут происходить невидимые анодные разрушения материала изделия. Единственным исключением является использование цинка для покрытия сплавов железа. Но там играют решающую роль диффузионные процессы, в результате которых

происходит уплотнение покрытия. Наиболее распространенными методами нанесения металлических покрытий являются:

- химические технологии (без внешнего подвода электрического тока); это чаще всего покрытия медью и благородными металлами;
- гальванические технологии (с подачей внешнего электрического тока); это омеднение, никелирование, хромирование и т.д.;
- механические технологии, например, плакирование - совместное прокатывание между валками покрываемого материала и материала покрытия;
- термические технологии, например, погружение в расплав, покрытие сваркой и т.п.;

• термомеханические технологии, например, плазменное напыление, покрытие взрывом и т.п.; Самыми распространенными органическими покрытиями являются лакокрасочные. Неорганические покрытия наносятся часто путем плазменного распыления, эмалирования, анодирования и т.п. Сущность химических технологий заключается в так называемом катодном превращении металлических ионов в электролите в металлические атомы. Для поддержания процесса необходимо обеспечивать соответствующую концентрацию электролита. Покрытия получаются плотные, гладкие и очень равномерные по толщине. Чаще всего таким способом наносят медь, никель, кобальт и благородные металлы. Гальванические технологии (отложения металла при пропускании электрического тока через электролит) делят на гальваностегию и гальванопластику. Первое - отложение тонких слоев со временем операции от нескольких минут до нескольких часов. Вторая - отложение слоев толщиной более 1 мм. Время операции может длиться несколько недель. Интенсивность процесса зависит и от концентрации электролита, и от температуры, и от соответствия форм анода и катода (заготовки). Качество покрытий сопоставимо с химическими, но уступает последним по равномерности толщины слоя. В качестве электролитов часто применяют водные растворы, реже - расплавы металлов. В качестве функциональных покрытия используют цинк, кадмий, олово, медь, хром, серебро, золото, а в качестве декоративных покрытий, в основном, благородные металлы, медь, никель, хром и их комбинации. Механические технологии относятся к категории древних, однако плакирование и так называемая голтовка (вибрационное воздействие на покрываемые изделия, между которыми насыпан порошок материала покрытия), получили широкое распространение совсем недавно. К наиболее распространенным термическим технологиям относятся покрытия сваркой и окунания в расплав. К числу достоинств этих технологий относятся простота, однако равномерность толщины слоя покрытия оставляет желать лучшего. Кроме того, температура плавления покрытия не должна превышать температуру плавления материала покрываемого изделия. При использовании термомеханических технологий покрываемую поверхность рекомендуется иметь шероховатой, что обеспечивает лучшее схватывание покрытия с поверхностью изделия. Лакокрасочные покрытия и технологии их нанесения настолько распространены и хорошо известны, что не требуют дополнительных пояснений. Неорганические (неметаллические) покрытия в основном уступают по качеству металлическим покрытиям, но намного дешевле, и поэтому применя-

ются довольно широко. Это в основном тонкие слои из оксидов, карбидов, нитридов, боридов, силицидов и т.д. Технологии нанесения покрытий и используемое оборудование развиваются и совершенствуются. Рассмотрим несколько новых методов нанесения покрытий.

10.3.1 Газодинамический метод

Технология нанесения металлов на поверхность изделий, реализуемая оборудованием ДИМЕТ, использует газодинамический метод нанесения покрытий. Метод разработан на основе открытого в 80-х годах прошлого столетия эффекта закрепления твердых частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью, на поверхности при соударении с ней. Технология является новой, и ранее в промышленности не использовалось. Основные элементы технологии. Технология нанесения покрытий включает в себя нагрев сжатого газа (воздуха), подачу его в сверхзвуковое сопло и формирование в этом сопле сверхзвукового воздушного потока, подачу в этот поток порошкового материала, ускорение этого материала в сопле сверхзвуковым потоком воздуха и направление его на поверхность обрабатываемого изделия (рис.10.13).

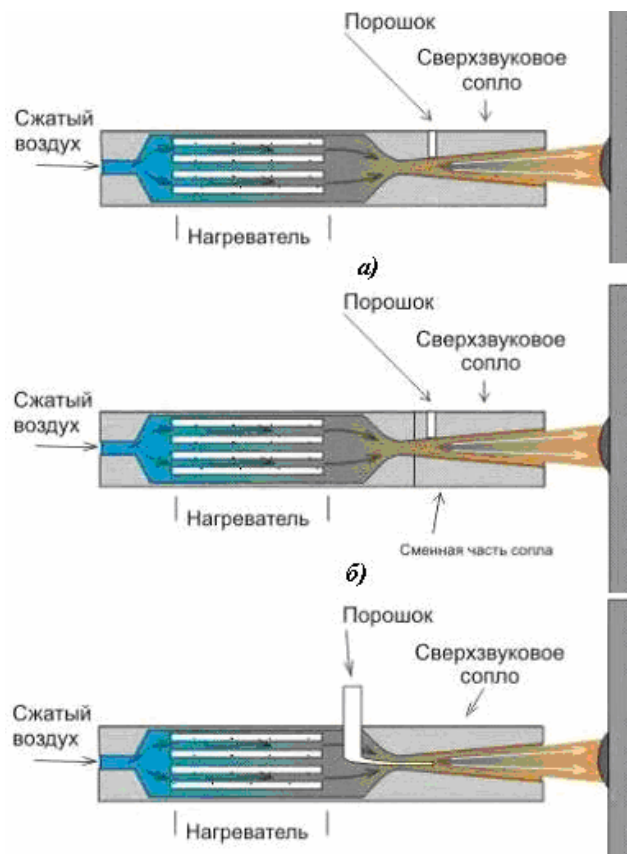


Рис.10.13 Технология нанесения покрытий с помощью газодинамического метода ,здесь: а - подача порошка за нагревателем, сменная часть отсутствует; б - подача порошка в сверхзвуковое сопло, сменная часть отсутствует; в - подача порошка в сверхзвуковое сопло, исполнение со сменной частью

В качестве порошковых материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. При этом путем изменения режимов работы оборудования можно либо проводить эрозионную обработку поверхности изделия, либо наносить металлические покрытия требуемых составов. Изменением режимов можно также менять пористость и толщину напыляемого покрытия.

Особенности технологии

В наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий для формирования покрытий из потока частиц необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. В газодинамической технологии напыления (которую на практике удобно называть «наращиванием» металла), это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью. Разгон частиц до нужных скоростей осуществляется сверхзвуковым воздушным потоком с помощью разработанных в ОЦПН оригинальных установок серии ДИМЕТР, не имеющих аналогов в традиционных методах нанесения покрытий. Привлекательность технологии нанесения металла на поверхность изделий газодинамическим методом состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим методам нанесения металлических покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических преимуществ.

Достоинства

Газодинамический метод нанесения металлических покрытий обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами. Эти преимущества состоят в следующем:

- покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха;
- при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на покрываемое изделие;
- технология нанесения покрытий экологически безопасна (отсутствуют высокие температуры, опасные газы и излучения, нет химически агрессивных отходов, требующих специальной нейтрализации);
- не всегда требуется подогрев покрываемого изделия;
- при отсутствии на подложках пластовой ржавчины или окалины на металлическом изделии не требуется тщательной подготовки поверхности (при воздействии высокоскоростного потока частиц происходит очистка поверхности от технических загрязнений, масел, красок и активация кристаллической решетки материала изделия);
- поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение. Это позволяет, в отличие от традиционных газотермических методов напыления, наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;

- возможно нанесение многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по его толщине;
- оборудование отличается компактностью, мобильностью, технически доступно практически для любого промышленного предприятия, может встраиваться в автоматизированные линии, не требует высококвалифицированного персонала для своей эксплуатации;
- путем простой смены технологического режима оборудование позволяет проводить микроэрозионную (струйно-абразивную) обработку поверхностей для последующего нанесения покрытий или достижения декоративного эффекта;
- возможно нанесение различных типов покрытий с помощью одной установки;
- возможно использование оборудования в полевых условиях.

Широкий спектр областей применения и высокие эксплуатационные качества различных покрытий были неоднократно подтверждены как в лабораторных условиях, так и в условиях практической эксплуатации покрытий. Некоторые из задач по нанесению покрытий, которые решаются с помощью оборудования ДИМЕТР, являются уникальными. Решение таких задач другими способами и с применением другого оборудования оказывается практически невозможным.

10.3.2 Импульсно плазменная технология нанесения покрытий

Основные принципы. Эффективным методом повышения мощности газодинамического импульса является осуществление детонации горючей газовой смеси в реакционной камере (РК) в электрическом поле. Инициирование детонации в РК осуществляется малогабаритным детонационным устройством. Энергию для поддержания напряженности электрического поля подают от постоянно включенного электрического преобразователя. При инициировании детонации в РК по слою продуктов сгорания за детонационной волной (ДВ) течет электрический ток. Возникает добавочный приток энергии к газу. После выхода ДВ из РК электрический ток течет по плазменной струе и напыляемому материалу к поверхности напыляемого изделия. На рисунке 10.14 представлено оборудование для нанесения покрытий, а на рисунке 10.15 виды напыляемых поверхностей.



Рис.10.14 Специальное оборудование для нанесения покрытий импульсно-плазменным методом



Рис.10.15 Виды напыленных поверхностей, производимые с помощью представленного на рис.10.2 оборудования: а- напыление торцовых уплотнений; б – напыление роликов

10.3.3 Нанесение покрытий с помощью вращающихся валков

Этот процесс представлен на рисунке 10.16. Стрелками показаны направления вращения валов и движения ДВП. Принцип действия станка следующий: ЛКМ (2) залитый в полость образованную поверхностями печатного (3) и дозирующего (1) валов продавливается между ними и переносится печатным валом на поверхность ДВП (6), проходящей между печатным и прижимным валами (5), образуя покрытие (4).

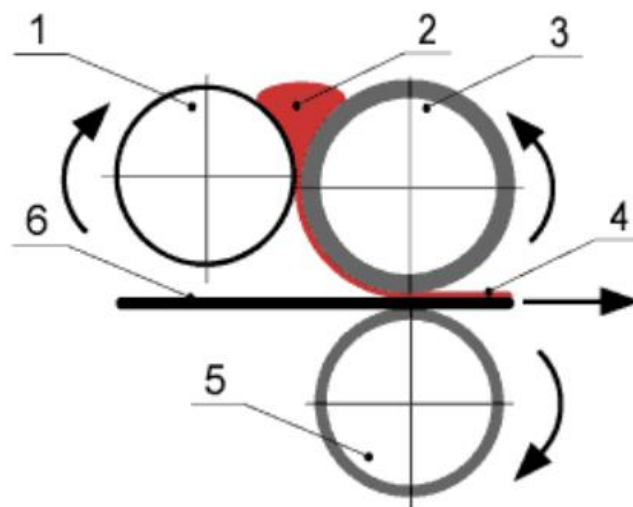


Рис. 10.16 Схема процесс нанесения покрытий с помощью вращающихся валков

10.3.4 Технология нанесения порошковых полимерных покрытий

Типовой технологический процесс получения покрытий из порошковых красок включает три основные стадии: подготовку поверхности, нанесение порошкового материала, формирование из него покрытия (запекание). Качество покрытий зависит от строгого соблюдения технологических режимов всех стадий процесса. На рисунке 10.17 представлены различные виды порошков



Рис.10.17 Порошки, которые используются в качестве материала покрытия

Подготовка поверхности

Детали, на которые наносят порошковые покрытия, должны быть предварительно подготовлены, обладать ровной поверхностью, без окислов, ржавчины и т.п. Для подготовки поверхности пригодны как «сухие», так и «мокрые» способы очистки. Это обезжиривание, удаление оксидов, а при жестких условиях эксплуатации нередко дополнительно наносят конверсионные покрытия. В качестве обезжиривающих веществ применяют органические растворители, водные моющие (щелочные и кислые) растворы и эмульсии растворителей в воде (эмульсионные составы). Органические растворители (уайт-спирит, нефрас) из-за вредности и огнеопасности применяют для обезжиривания способом ручной протирки изделий ограниченно, главным образом при окрашивании небольших партий.

Основной промышленный способ обезжиривания связан с использованием водных моющих составов -концентратов. Моющий раствор получают путем растворения моющих средств-порошков (МСУ, БОК и др.) в требуемом количестве воды. Так например, в случае состава МСУ на 1кг концентрата берут 50 л воды. Обезжиривание проводят при 40-80 градусов по Цельсию продолжительностью по времени при окутании 5-20 мин, при распылении 1-5 мин. Этот способ приемлем для обработки как черных, так и цветных металлов.

Щелочное обезжиривание требует специального оборудования, предусматривающего не только обработку изделий моющим составом, но и последующую

их промывку и сушку, а также необходимы очистка и утилизация сточных вод, поэтому не для всякого покрасочного цеха это приемлемо. В этом отношении привлекают внимание способы обезжиривания, не связанные с проведением этих операций. Например пароводоструйный (обработка поверхности пароводяной струей с температурой 90-100°C и давлением 0,5-2,0 МПа) и термический (нагревают изделия с масляными и жировыми загрязнениями до 400-450°C) способы. Термический способ обработки используют при окрашивании труб. Для удаления оксидов (очистка поверхности от ржавчины, окалины, старых покрытий) в основном используют механические (струйная абразивная обработка) и химические способы (растворение или отслаивание оксидов с помощью кислот в случае черных металлов, с помощью щелочей в случае алюминия и его сплавов).

Нанесение конверсионных покрытий преследует цель улучшить защиту изделий, сделать ее более надежной. Наиболее распространено фосфатирование черных металлов и оксидирование цветных, в первую очередь алюминия и его сплавов. Эти способы используют преимущественно для изделий, эксплуатирующихся вне помещения и в условиях переменной влажности и температуры. При фосфатировании чаще всего используют цинкосодержащие фосфатирующие концентраты (КФ-1, КФ-3 и др.) Фосфотирование обычно проводят струйным способом в агрегатах мокрой очистки при температуре 50-60°C, продолжительностью обработки 1,5-2,5 мин. Химическое оксидирование обычно проводят соединениями, содержащими хром, поэтому операцию называют хромированием. Наибольшее распространение получили концентраты "Алькон-1", "Алькон-1К", "Формихром". Химическое оксидирование проводят при 20-30°C, с продолжительностью 5-30 с. Толщина оксидных покрытий обычно не превышает 1 мкм. Завершающей стадией получения конверсионных покрытий, как и любых операций мокрой подготовки поверхности, является сушка изделий от воды. Ее проводят обдувкой горячим воздухом при 110-140°C.

Нанесение слоя ППП (полимерных порошковых покрытий)

Сущность процесса нанесения ППП состоит в следующем. Полимерный порошок поступает из бункера в смеситель, где смешивается с воздухом в необходимой пропорции, регулируемой блоком вентилей, далее смесь порошка и воздуха поступает в распылитель. В распылителе находится высоковольтный (20 кВ, 200 мкА) источник, питающий разрядник. Проходя мимо него, пылинки приобретают необходимый электрический заряд, благодаря которому, пролетая вблизи покрываемой детали, которая находится в кабине, прилипают к ее поверхности. Не прилипший порошок уносится потоком воздуха в вытяжную вентиляцию. Проходя через циклон, он осаждается сначала на его внутренней поверхности, а затем осыпается вниз и собирается в накопительном бункере, откуда опять поступает на вторичное использование. Толщину слоя, его плотность можно регулировать параметрами высоковольтного источника. Для исключения попадания порошка в рабочую зону, запрещается работать без общей и локальной систем вентиляции! Производительность работы определяется, в данном случае, наиболее трудоемкой и плохо поддающейся механизации операцией - завешиванием детали на оснастку (крючки, скобы и т.п.) и их установ-

кой в кабину, а после нанесения слоя ППП, завешивания в печи для запекания. Хорошие результаты дает использование "групповой" оснастки, когда в кабине и в печи устанавливаются сразу несколько деталей. Благодаря тому, что заряженные частицы порошка могут налипать с "тыла" и "флангов" наносить слой можно не со всех сторон, а с нескольких удобных для работы направлений.

Последовательность операций такова:

- проверить качество подготовки поверхности деталей;
- повесить всю партию деталей на крючки и разместить на установленные возле кабин вешала;
- проверить наличие контакта между деталью и крючком;
- провести напыление порошка ;
- после напыления детали на оснастке (с тем, чтобы не повредить напыленный слой) завешиваются на выкатываемые из печи тележки;
- тележки осторожно (чтобы не раскачать детали) закатываются в печь.

Запекание

Запекание следует проводить при температуре 180-200°C (необходим подбор) При температуре 200 0C- 10-15 минут. Необходимо, чтобы сама деталь была нагрета до 200 0C. После чего выдерживают 10-15 минут. Время разогрева печи 0,5-4 часа (зависит от массы, теплоемкости деталей и величины температуры запекания). При запекании деталей окрашенных антикварными ППК требуется отдельный температурный режим, а именно предварительная подготовка печи. Заранее разогревают печь, желательно до 230 0C. Далее при открывании печи температура падает до 200 0C. Таким образом, окрашенное изделие помещают в разогретую до 200 0C печь и выдерживают 10-15 минут. Следует учитывать, что при запекании нагрев изделия может вызвать его коробление и деформацию, поэтому при переходе на новые изделия, необходимо покрыть пробную партию с тем, чтобы выяснить наиболее оптимальный режим запекания. Температура и время запекания устанавливаются на источнике печи. После запекания изделие медленно остывает при комнатной температуре в течение примерно 10-15 минут, после чего оно готово к использованию.

11. Типовая технологическая документация и основные принципы ее разработки

В данном разделе использованы материалы учебника А.А. Маталина «Технология машиностроения» [2].

11.1 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 документации, оформленный стандартом (ОСТ, СТП) и относящийся к конкретному оборудованию, режимам обработки и технологической оснастке.

Комплексный технологический процесс - это технологический процесс, в состав которого включается 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.

11.2 Оформление технологической документации

Разработанные технологические процессы оформляются на соответствующих технологических документах, степень подробности которых устанавливается в зависимости от типа и характера производства, а также от сложности и точности обрабатываемых изделий. В соответствии с ГОСТами в технологической

документации могут быть приняты приведенные ниже описания технологического процесса.

Маршрутное описание ТП, при котором производится сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Маршрутное описание технологических процессов обычно используется в единичном, мелкосерийном и опытном производствах.

Операционное описание технологического процесса, при котором дается полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов. Операционное описание технологических процессов применяется в серийном и массовом производствах и для особо сложных деталей в мелкосерийном и даже в единичном производствах.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса, при котором дается сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. Маршрутно-операционное описание рекомендуется к применению в серийном, мелкосерийном и опытном производствах, когда изготавливаемое изделие включает в себя отдельные сложные и точные детали. Выбор комплекта форм документов для технологического процесса производится в зависимости от типа и характера производства и видов разрабатываемых и применяемых технологических процессов. В соответствии с таблицей 11.1 производится выбор комплекта форм технологической документации для используемого типа производства и вида технологического процесса.

Таблица 10.1

Наименование технологическо го документа.	Номер ГОСТа.	Условное обозначение	Единичное и мелкосерийное производство.			Серийное производство.			Крупно серийное массовое и производство.		
			Описание.								
			Маршрут ное	Маршрут но- операци нное	Операци нное.	Маршрут ное	Маршрут но- операци нное	Операци нное.	Маршрут ное	Маршрут но- операци нное	Операци нное.
Маршрутная карта	Гост 3.1105 -74	МК	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Карта технологическо го процесса	Гост 3.1105 -74	КТП	+	-	+	++	-	-	-	-	-
Операционная карта	Гост 3.1105 -74	ОК	-	++	+	-	++	++	-	++	++
Карта эскизов	Гост 3.1105 -74	КЭ	-	+	+	+	-	-	-	+	++
Технологическ ая инструкция Комплектов оч ная карта	Гост 3.1105 -74	ТИ	+	+	+	+	+	+	++	-	+
	Гост 3.1105 -74	КК	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость оснастки	Гост 3.1105 -74	ВО	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ведомость технологическ их документов	Гост 3.1105 -74	ВТД	+	+	+	+	+	+	+	+	+

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

В 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.

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.

11.3 Концентрация и дифференциация операций

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 концентрации операций, состоит из небольшого числа сложных операций.

Достоинства концентрации операций 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 одноинструментальных переходов сложными совмещенными переходами с многоинструментной и многолезвийной обработкой одной или нескольких поверхностей.

При этом повышаются: точность взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при одном установе; производительность обработки за счет совмещения во времени нескольких технологических переходов и соответствующего сокращения общего основного времени T_0 ; 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 операций по принципу концентрации возрастают требования к точности и технологическим возможностям станков и к квалификации рабочих, так как в сложных концентрированных операциях рабочему высокой квалифи-

кации 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. Технологический процесс, построенный по принципу дифференциации операций, состоит из большого числа простых операций.

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

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

Степень дифференциации зависит от серийности производства, и в условиях крупносерийного производства может стать экономически целесообразным построение технологического процесса из большого числа простейших операций, выполняемых в едином ритме на простых станках, связанных конвейером.

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

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

В условиях предприятий средней серийности концентрация операций осуществляется на станках с ЧПУ и быстро переналаживаемых агрегатных станках и автоматах, а принцип дифференциации используется на переменноточных 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.

11.4 Проектирование единичных техпроцессов

Проектирование технологических процессов механической обработки начинается с тщательного изучения исходных данных проектирования: сборочного и рабочего чертежей изделия с соответствующими техническими условиями изготовления детали, чертежа исходной заготовки и размеров программного задания. Изучаются и такие дополнительные условия проектирования, как наличие или отсутствие оборудования, на котором предполагается осуществить из-

готовление проектируемого изделия; возможности модернизации оборудования; наличие производственных площадей для расширения производства; возможности применения совершенных видов исходных заготовок, прогрессивного инструмента и приспособлений и т.п. По величине программного задания и размерам производственной партии определяются коэффициент закрепления операций, тип и серийность производства и необходимый такт и ритм обработки заготовок.

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

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

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

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

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

Одновременно с этим разрабатывается последовательность операции, т.е. технологический маршрут обработки заготовки. При низкой точности исходных заготовок технологический процесс начинается с черновой обработки поверхностей, имеющих наибольшие припуски. При этом в самую первую очередь снимается припуск с тех поверхностей, на которых возможны литейные раковины, трещины и другие дефекты, с целью скорейшего отсеивания возможного брака или устранения обнаруженных дефектов заваркой, наплавлением металла и т.п. Дальнейший маршрут строится по принципу обработки сначала более грубых, затем более точных поверхностей. Наиболее точные поверхности обрабатываются в последнюю очередь. В конце маршрута выполняются второстепенные операции (сверление мелких отверстий, нарезание крепежных резьб, прорезка пазов, снятие фасок и заусенцов). Наиболее легко повреждаемые поверхности (наружные резьбы, особые точные шлифованные и доведенные по-

верхности) обрабатываются в заключительной стадии технологического процесса. Ответственные и сложные корпусные заготовки часто обрабатываются с разделением технологического процесса на стадии черновой и чистовой обработки. На первой стадии снимаются основные припуски на обработку. В результате этого, возникают погрешности заготовки, связанные с перераспределением внутренних напряжений, вызванных черновой механической обработкой. В наиболее ответственных случаях после черновых операций проводится дополнительная термическая обработка заготовок (отжиг и нормализация), способствующая более полному протеканию деформаций и релаксации (снятию) остаточных напряжений.

На второй стадии обработки (при чистовых операциях) устраняются погрешности, возникшие при черновой обработке, и обеспечивается достижение требуемых точностей обработки, шероховатостей и предписанного чертежом состояния поверхностного слоя.

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

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

Список литературы

1. HTML и XHTML – Короткие уроки - быстрые результаты. Издательский дом «Вильямс», Москва, Санкт-Петербург, Киев 2002 год. - 223стр.
2. А.А. Маталин «Технология машиностроения». Ленинград, «Машиностроение», 1985год. - 511стр.
3. «Технология конструкционных материалов» под редакцией А.М. Дальского, «Машиностроение», Москва, 1985г. - 580стр.
4. Антонова Т.С., Харитонов А.Л. Мультимедийный или гипертекстовый учебник. 1998год. -300стр.
5. В.А. Валетов, С.В. Бобцова "Новые технологии в приборостроении", Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО, 2004г. - 120стр.
6. В.А. Валетов "Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении". Учебное пособие, Ленинград, ЛИТМО, 1989г., 100 стр.
7. С.Ю. Иванов "Исследование технологических остаточных напряжений." Кандидатская диссертация, ЛИТМО, 1990г.,155 стр.



Кафедра технологии приборостроения относится к числу ведущих кафедр института со дня его основания в 1931 году. Тогда она называлась кафедрой механической технологии и возглавлялась известным ученым в области разработки инструмента профессором А.П. Знаменским. Позже она была переименована в кафедру технологии приборостроения.

За время своего существования кафедра выпустила из стен института более тысячи квалифицированных инженеров, более сотни кандидатов и докторов наук. В разные годы ее возглавляли известные ученые и педагоги профессора Николай Павлович Соболев и Сергей Петрович Митрофанов.

Кафедра имеет выдающиеся научные достижения. Заслуженными деятелями 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 постоянно 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.

В настоящее время кафедра осуществляет выпуск специалистов по специальностям «Технология приборостроения» (инженер-технолог, инженер-технолог-менеджер, инженер-технолог по искусственному интеллекту в приборостроении) и «Системы автоматизированного проектирования» (инженер - систем-техник). На кафедре ведется подготовка бакалавров, магистров, инженеров и аспирантов по названным специализациям силами четырех профессоров и десяти доцентов.

Основными научными направлениями кафедры являются: научные основы организации группового производства (руководители: Д.Д. Куликов, Б.С. Падун); автоматизация технологической подготовки производства (руководители: Д.Д. Куликов, Б.С. Падун, Е.И. Яблочников); регуляризация микрорельефа поверхностей деталей машин и приборов (руководитель Ю.П. Кузьмин); управление функциональными свойствами поверхностного слоя деталей (руководитель В.А. Валетов). Последнее направление организовано в 1988 году и в настоящее время детально разработаны не только теоретические основы управления характеристиками поверхностного слоя деталей, но и методики проведения экспериментальных исследований по определению влияния различных факторов на характеристики поверхностного слоя.

Разработаны современные установки – измерительно-вычислительные комплексы для анализа микрогеометрии поверхностей и технологических остаточных напряжений в поверхностном слое. По этому направлению за последние

годы защищено три кандидатских диссертации и подготовлена одна докторская. В настоящее время на кафедре в рамках этого направления работают не только преподаватели, но и молодые аспиранты.

Кафедра имеет тесные научные и учебные связи с университетами Германии, Франции, Китая. Наиболее способные студенты и аспиранты проходят стажировку по интересующим их проблемам в Техническом университете г. Ильменау (Германия).

Вячеслав Алексеевич Валетов
Вячеслав Борисович Мурашко

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

В авторской редакции

Компьютерный набор и верстка

В.Б. Мурашко

Дизайн обложки

В.Б. Мурашко

Редакционно-издательский отдел Санкт – Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Заведующая РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №956 Тираж 200 экз.

Отпечатано на ризографе.