

ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Кузнецов В.А Черепухин А.А., Колтунов И.И.,

Пыжов В.В., Шлыкова А.В.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие

Москва

Издательство «Форум»

2009

УДК: 669.018.29.004.14(075.8)

Авторы:

д.т.н., проф., Кузнецов В.А., к.т.н., доц. Черепяхин А.А., д.т.н., проф.
Колтунов И.И. доц. к.т.н. Пыжов В.В., доц. к.т.н. Шлыкова А.В.

Технологические процессы машиностроительного производства

Учебное пособие для студентов высших учебных заведений /Кузнецов В.А., Черепяхин А.А., Колтунов И.И., Пыжов В.В., Шлыкова А.В.М., Издательство «Форум», 2009.

Учебное пособие написано в соответствии с требованием государственного образовательного стандарта преподавания обще профессиональной дисциплины: «Технологические процессы машиностроительного производства».

В учебном пособии подробно рассмотрена структура современного машиностроительного комплекса России, аспекты технологической подготовки производства и ресурсосберегающих технологий, дана методика системного анализа технологических процессов и методов обработки, рассмотрены традиционные технологические процессы изготовления деталей машин.

Для студентов машиностроительных ВУЗов технологических специальностей.

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие написано в соответствии с требованием государственного образовательного стандарта преподавания обще профессиональных дисциплин: «Технологические процессы в машиностроительном производстве» (высшее профессиональное образование).

В первой части учебного пособия подробно рассмотрена структура современного машиностроительного комплекса России, аспекты технологической подготовки производства и ресурсосберегающих технологий, дана методика системного анализа технологических процессов и методов обработки.

Во второй части учебного пособия рассмотрены вопросы: производства конструкционных материалов (черных и цветных металлов и сплавов, порошковых и композиционных материалов); заготовительное производство (производство заготовок методами литья и пластического деформирования); механическая обработка (лезвийная, абразивная и финишная), термическая обработка заготовок; получение разъемных и неразъемных соединений (резьбовые, тепловые, заклепочные, сварные). При рассмотрении каждого способа и метода переработки основной упор делался на: описание основных схем переработки; технологических особенностей, технологических возможностей способа; технологические требования, предъявляемые способом к заготовкам. Даны практические рекомендации по выбору способа и режима обработки.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное машиностроение — комплексная отрасль промышленности, производящая различные машины, орудия, приборы, а также предметы потребления и продукцию оборонного назначения.

Российский машиностроительный комплекс можно разделить на следующие группы отраслей: тяжелое машиностроение; общее машиностроение; среднее машиностроение; точное машиностроение; производство металлических изделий и заготовок; ремонт машин и оборудования.

Общее машиностроение представлено такими отраслями, как транспортное машиностроение (железнодорожное, судостроение, авиационное, ракетно-космическая промышленность), сельскохозяйственное машиностроение, производство технологического оборудования для различных отраслей промышленности.

В состав среднего машиностроения входят автомобилестроение, тракторостроение, станкостроение, инструментальная промышленность, производство технологического оборудования для легкой и пищевой промышленности.

Ведущие отрасли точного машиностроения — приборостроение, радиотехническое и электронное машиностроение, электротехническая промышленность.

Машиностроительный комплекс объединяется одной задачей: обеспечение народного хозяйства изделиями, удовлетворяющими потребителя (как в масштабе страны, так и в масштабе отдельного человека) по качественным и стоимостным показателям. Выполнение этой задачи невозможно без точного понимания технологии изготовления изделий.

Технология это наука о том, за счет каких действий и средств можно получить готовое изделие с параметрами качества, обеспечивающими требуемые эксплуатационные свойства изделия.

Современная технологи находится в поле жесткого критерия «при заданных качестве и производительности обеспечить минимальную себестои-

мость изделия». Этот критерий требует рассмотрения различных этапов производства изделия как единую технологическую структуру со взаимным влиянием различных этапов друг на друга. Например: параметры качества заготовки влияют на качество конечной детали или изделия; технологические возможности различных элементов технологической цепочки (технологических операций) влияют на точностные параметры и конфигурацию, как заготовки, так и изделия в целом.

Учебное пособие состоит из двух частей: «Общие вопросы машиностроения» и «Традиционные технологические переделы».

Первая часть «Общие вопросы машиностроения» состоит из пяти глав.

В первой главе подробно рассматривается структура машиностроительного производства. Даны понятия: изделия; технических параметров качества изделия; производственной системы; производственном и технологическом процессе. Приведена структура технологического процесса.

Вторая глава посвящена системному анализу технологического процесса и методов изготовления деталей.

В третьей главе рассматриваются аспекты технологической подготовки производства. Даны основные понятия и определения технологической подготовки производства (ТПП). Рассмотрена структура, основные нормативные документы и основные модели ТПП.

Четвертая глава посвящена проектированию ресурсосберегающих технологий. Даны основные критерии ресурсосбережения, приведена методика и примеры построения ресурсосберегающих технологий.

В пятой главе рассмотрены требования, классификация, маркировка и области применения традиционных и современных конструкционных материалов.

Во второй части «Традиционные технологические переделы» описаны основные переделы производства изделия: литейное производство; обработка металлов давлением; термическая и химико-термическая обработка сплавов;

обработка металлов резанием; основные технологические процессы сборки. При рассмотрении каждого передела даны теоретические основы соответствующего метода переработки конструкционных материалов; основные способы переработки. Основные способы переработки рассматривались по единой схеме: теоретические основы способа; основные схемы реализации способа; применяемое технологическое оборудование, оснастка, инструмент и расходные материалы; технологические режимы и показатели способа; технологические требования, предъявляемые к заготовке.

Учебное пособие написано коллективом преподавателей МГТУ «Московский автомеханический институт».

Первая часть: проф. д.т.н. Кузнецовым В.А. доц. к.т.н. Черепахиным А.А., проф. д.т.н. Колтуновым И.И.

Вторая часть: проф. д.т.н. Кузнецовым В.А. доц. к.т.н. Черепахиным А.А., проф. д.т.н. Колтуновым И.И., доц. к.т.н. Пыжовым В.В., доц. к.т.н. Шлыковой А.В.

ЧАСТЬ 1

ГЛАВА 1 СТРУКТУРА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Понятие изделия (машины) и его служебное назначение

В машиностроении изделием (рис. 1.1) называется предмет производства, подлежащий изготовлению. В качестве изделия выступает машина, устройство, механизм, инструмент и их составные части: сборочная единица, деталь.

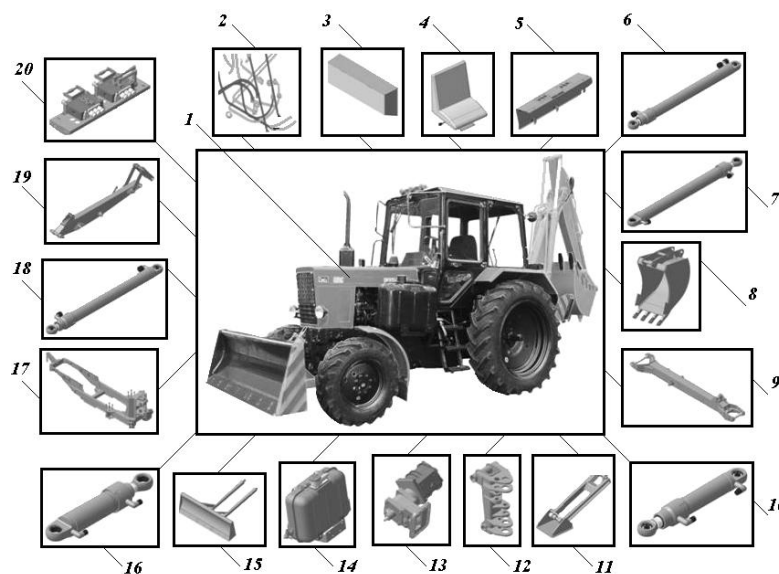


Рис. 1.1. Изделие «Экскаватор ЭО 2621-В3»:

1 - трактор МТЗ; 2 - гидроразводка; 3 – аккумуляторы; 4 - установка сидения; 5 - щиток управления; 6 – правы и левый гидроцилиндры рукоятки; 7 - гидроцилиндр ковша; 8 – ковш; 9 – стрела; 10 - гидроцилиндр отвала; 11 - башмак опорный; 12 - колонка; 13 - привод насоса; 14 - масляный бак; 15 – отвал; 16 - гидроцилиндр опорных башмаков; 17 - рама; 18 – гидроцилиндр стрелы; 19 – рукоять; 20 – управление.

Сборочная единица (рис. 1.1, 1 ... 20) - это изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии обособленно от других элементов изделия.

Сборочная единица в зависимости от конструкции может состоять либо из отдельных деталей, либо включать сборочные единицы более высоких по-

рядков и детали. Различают сборочные единицы первого второго 2 и более высоких порядков. Сборочная единица первого порядка (рис. 1.2), входит непосредственно в изделие. Она состоит либо из отдельных деталей, либо из одной или нескольких сборочных единиц второго порядка 1 и деталей 3, 4. Сборочная единица второго порядка расчленяется на детали или сборочные единицы третьего порядка и детали и т.д. Сборочная единица наивысшего порядка расчленяется только на детали. Рассмотренное деление изделия на составные части производится по технологическому признаку.

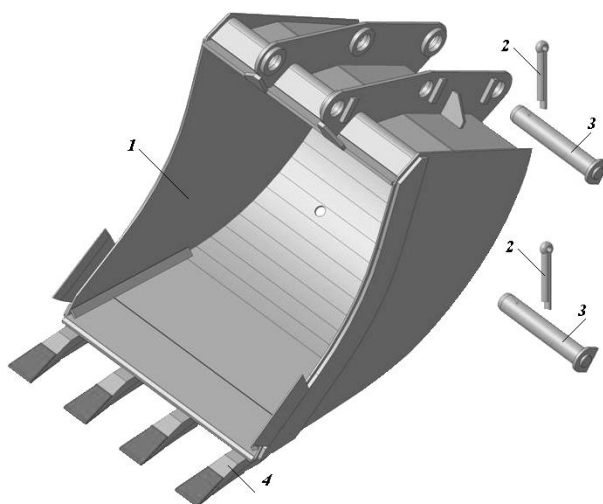


Рис. 1.2. Сборочная единица 1 порядка «Ковш»:

1 – сборочная единица 2 порядка «Металлоконструкция ковша»; 3, 4 – детали «Шплинт и палец».

Деталь - это изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Характерный признак детали - отсутствие в ней разъемных и неразъемных соединений (рис. 1.2, поз. 3 и 4). Деталь представляет собой комплекс взаимосвязанных поверхностей, выполняющих различные функции при эксплуатации машины.

Служебное назначение это задача, для решения которой создается изделие. Формулировка служебного назначения изделия включает описание процесса, для которого создается изделие, и условия, в которых оно будет работать.

Например, при формулировании назначения станка следует указать описание процесса обработки (метод обработки, инструмент, обрабатывае-

мый материал, режимы обработки, требуемое качество поверхности, производительность обработки и другое), а также условия, которых будет работать станок. Так, например, станки, работающие в обычной или агрессивной средах, должны быть разного исполнения. Если в качестве изделия выступает автомобиль, то в формулировке его служебного назначения должны найти отражение характер перевозимого груза, его масса, объем, расстояние и скорость перевозки, состояние дорог, климатические условия, требования к внешнему виду и другое. Все перечисленное влияет на конструкцию автомобиля (например, если автомобиль предназначен для перевозки людей, то его кузов будет отличаться от кузова самосвала).

В формулировке служебного назначения изделия должны найти отражение качественные и количественные характеристики процесса, в котором будет участвовать изделие, а также условия протекания процесса.

Опыт машиностроения показывает, что каждая ошибка, допущенная при выявлении и уточнении служебного назначения изделия, приводит не только к созданию недостаточно качественной машины, но и вызывает лишние затраты труда на ее изготовление и эксплуатацию, а также удлинение сроков ее освоения. Нередко недостаточно глубокое изучение и выявление служебного назначения машины порождает излишне жесткие, экономически неоправданные требования к эксплуатационным показателям машины.

1.2. Технические параметры и параметры качества машины

Качество продукции – совокупность свойств продукции, определяющих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Качество изделия включает в себя различные конструктивные и технологические свойства, обуславливающие трудоемкость производства изделия и эффективность его эксплуатации, а также потребность изделия к техническому обслуживанию, ремонту, хранению и транспортированию.

Для объективной оценки качества любой продукции, ее свойства необходимо охарактеризовать количественно. Такая характеристика называется показателем качества продукции. *Показатель качества продукции* – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемое применительно к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления.

Все показатели качества в целом называют технико-экономическими, поскольку они характеризуют как технические особенности продукции, так и экономическую эффективность применения и производства.

Все технико-экономические показатели можно разделить на семь групп:

- Группа 1. Показатели назначения, характеризующие назначение, область применения, производительность, транспортабельность, конструктивные и другие специфические особенности изделия.
- Группа 2. Показатели надежности, определяемые четырьмя свойствами: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.
- Группа 3. Показатели технологичности, характеризующие степень соответствия машины и ее элементов оптимальным условиям современного производства, рациональностью использования конструктивных решений, конструкционных материалов, приспособленностью продукции к применению прогрессивных технологических методов производства, а также технологических процессов, что приводит к увеличению производительности при изготовлении, ремонте и обслуживании.
- Группа 4. Показатели эргономичности, позволяющие оценить степень приспособленности машины к взаимодействию с человеком-оператором с точки зрения создания оптимальных условий для эффективного управления машиной, соблюдения необходимых норм гигиены и техники безопасности для оператора.
- Группа 5. Эстетические показатели, характеризующие внешний вид продукции, ее соответствие современному стилю, гармоничность сочета-

ния отдельных элементов машины между собой, а также всей машины с окружающей средой, соответствие форм машины ее назначению, колористическое оформление, а также качество и совершенство отделки внешних поверхностей и других элементов изделия.

- Группа 6. Параметры стандартизации и унификации, характеризующие степень использования или применения в данном изделии стандартизованных и унифицированных деталей, узлов и других составных элементов.

- Группа 7. Патентно-правовые показатели, включающие два показателя: патентоспособность и патентную чистоту. Патентоспособным считается изделие, если оно содержит технические решения, которые могут быть признаны изобретением. Патентно-чистым считается изделие, если оно не содержит технических решений, подпадающих под действие патентов и других документов, зарегистрированных в данной стране.

В машиностроении особое место в системе оценки качества продукции (машины или механизма) занимают параметры качества деталей, из которых они собираются. Все параметры качества машиностроительных деталей можно разделить на следующие группы: химический состав материала детали; физико-механические свойства материала детали; макрогеометрия детали и точность размеров, формы и взаимного расположения ее поверхностей; микрогеометрия поверхностей детали; физико-механические свойства поверхностного слоя. Достижение заданных параметров качества деталей является основной задачей технологических процессов в машиностроении.

1.3. Содержание и структура жизненного цикла изделия

Жизненный цикл изделия это время в течение, которого знания превращаются в продукт, включая время на разработку новой продукции, ее освоение на предприятии и время стабильного выпуска, вплоть до снятия с производства.

В жизненном цикле изделия можно выделить два периода: время, в течение которого осуществляется разработка новой продукции, и время, в течение которого новая продукция осваивается, производится и реализуется.

В первый период жизненного цикла включаются научно-исследовательская работа (НИР), опытно-конструкторская работа (ОКР), конструкторская и технологическая подготовка производства, организационная подготовка производства, отработка новой конструкции или новой технологии в опытном производстве.

Во второй период жизненного цикла входят освоение изделия в промышленном производстве, стадия производства и реализации изделия, стадия эксплуатации изделия, стадия утилизации после окончания срока полезного использования.

Жизненный цикл изделия начинается со стадии НИР. В процессе выполнения НИР возникают и проходят всестороннюю проверку новые идеи, которые иногда реализуются в виде открытий и изобретений. Теоретические предпосылки решений научной проблемы проверяются в опытно-экспериментальных работах.

ОКР это переходная стадия от научных исследований к производству. На этой стадии идеи, возникающие в процессе НИР, практически претворяются в техническую документацию и образцы, при этом, производится конструкторская, технологическая и организационная подготовка производства, и отработка конструкторских и технологических решений в опытном производстве.

Во время конструкторской подготовки производства осуществляется разработка новой техники, чертежей и технической документации. При технологической подготовке производства разрабатываются и проверяются новые технологические процессы, проектируется, и изготавливается технологическая оснастка. При организационной подготовке производства выбираются методы и моделирующие процессы перехода на новые виды продукции, проводятся расчеты потребности в материалах и комплектующих изделиях,

определяются плановые нормативы. При отработке в опытном производстве новой конструкции изделия или новой технологии осваивается выпуск опытного образца, проводится отладка новых технологических процессов, проверка и оценка жизнеспособности новой продукции.

Второй период жизненного цикла включает в себя освоение изделия в промышленном производстве. В ряде случаев в это время возникают конструкторские изменения и изменения технологического процесса. Освоение изделия в промышленном производстве является связующим звеном с фазой промышленного производства и реализации продукции.

При промышленном производстве и реализации продукции осуществляется изготовление деталей, сборочных единиц и испытания изделия. Все это делается в соответствии с технологической и конструкторской документацией, утвержденной руководством предприятия.

Эксплуатация изделия это период, когда продукция используется по назначению и приносит экономический эффект до момента утилизации.

1.4. Место машиностроения в экономике страны

Для национальной экономики характерно наличие двух сфер: сферы материального производства и непроизводственной сферы.

В непроизводственную сферу входят следующие комплексы: жилищное хозяйство, коммунальное хозяйство, здравоохранение, образование, культура и искусство и другие. Производственная сфера предполагает наличие целого ряда отраслей экономики, в том числе отраслей промышленности.

Отрасль промышленности представляет собой совокупность промышленных предприятий, характеризующихся либо единством назначения производимой продукции, либо общностью технологических процессов (химическая промышленность), либо однородностью перерабатываемого сырья (нефтегазовая промышленность).

Отрасли промышленности можно разбить на следующие комплексы:
— Топливо-энергетический комплекс, включающий в себя газовую, нефтяную, угольную, нефтеперерабатывающую и электроэнергетику.

- Металлургия (черная и цветная).

- Химическая и нефтехимическая промышленность.
- Машиностроение и металлообработка.
- Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность.
- Промышленность строительных материалов.
- Легкая промышленность.
- Пищевая промышленность.

Машиностроение является базой технического перевооружения всего общественного производства. От развития машиностроения зависят масштабы и темпы внедрения современного прогрессивного оборудования, уровень автоматизации и механизации производства во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, транспорта, строительства. Машиностроение во многом определяет состояние производственного потенциала страны, обеспечивает устойчивое функционирование таких важных отраслей экономики, как топливно-энергетический комплекс, транспорт, оборонный комплекс, агропромышленный комплекс, все отрасли промышленности, строительный комплекс. Удельный вес продукции машиностроения и металлообработки в общем объеме промышленного производства в России составляет около 20%.

В комплекс машиностроения входят следующие отрасли: тяжелое, энергетическое и транспортное машиностроение, электротехническая промышленность, приборостроение, химическое и нефтяное машиностроение, станкостроение и инструментальная промышленность, автомобильная и транспортная промышленность, сельскохозяйственное машиностроение, авиационная промышленность, судостроение и прочие отрасли, в том числе входящие в военно-промышленный комплекс.

Основным элементом любого промышленного комплекса является предприятие.

Предприятие это хозяйственная единица, обладающая экономической и административной самостоятельностью, т.е. правами юридического лица, организационно-техническим, экономическим и социальным единством, обу-

словленным общностью целей деятельности, т.е. производством и реализацией продукции, работ и услуг и получением прибыли.

Основная структурно-производственная единица промышленного предприятия - цех, который является обособленным в административном отношении звеном, выполняющим определенную часть общего производственного процесса.

В машиностроении цеха подразделяются на четыре группы: основные, вспомогательные, побочные и подсобные.

В основных цехах выполняются операции по изготовлению товарной продукции, т.е. продукции предназначенной для реализации. Основные цеха, как правило, подразделяются на: заготовительные, обрабатывающие и сборочные. К заготовительным цехам относятся цеха: литейные, кузнечно-штамповочные, кузнечнопрессовые, цеха сварных конструкций и т.д. К обрабатывающим цехам относятся: механообрабатывающие, термические, цеха гальванических и лакокрасочных покрытий. К сборочным цехам относятся цеха агрегатной и окончательной сборки изделий, их окраски, комплектации запасными частями и комплектации съемным оборудованием.

К вспомогательным цехам относятся: инструментальные цеха, цеха нестандартного оборудования, модельные цеха, ремонтные цеха, энергетический цех, транспортный цех.

К побочным цехам относятся цеха по утилизации и переработки металлоотходов (например, методом прессования стружки в брикеты).

Подсобные цеха – цеха изготавливающие тару для упаковки продукции, а также цеха выполняющие консервацию изделий, упаковку продукции, ее погрузку и отправку потребителю.

1.5. Основные понятия о производственной системе и производственном процессе

Производственная система представляет собой комплекс для изготовления различного рода изделий из различных материалов. При этом он свя-

зывает между собой работу различного вида оборудования (основного и вспомогательного), а также работу различных по квалификации рабочих, инженерно-технического персонала, обеспечивающих работу и управление этих систем.

Производственная система, как правило, состоит из шести разнородных производственных структур:

1. Основное производство, которое осуществляется в заготовительном, обрабатывающем и сборочном цехах.
2. Вспомогательное производство, которое осуществляется в инструментальном, ремонтном цехах, а также в цехах создания средств автоматизации и механизации.
3. Обеспечивающее производство: службы снабжения и сбыта, а также службы энергоснабжения.
4. Структура управления: службы управления и диспетчирования.
5. Технические службы, включающие подразделения главного метролога, механика, технолога.
6. Планово-экономические структуры.

Производственный процесс - это совокупность всех действий людей и орудий производства, связанных с переработкой сырья и полуфабрикатов в заготовки, готовые детали, узлы и готовые изделия на данном предприятии.

Производственный процесс в свою очередь состоит из следующих процессов:

- основные — это технологические процессы, в ходе которых происходят изменения геометрических форм, размеров и физико-химических свойств продукции;
- вспомогательные — это процессы, которые обеспечивают бесперебойное протекание основных процессов (изготовление и ремонт инструментов и оснастки; ремонт оборудования; обеспечение производства электроэнергией, теплом, паром, водой, сжатым воздухом и т.д.);
- обслуживающие — это процессы, связанные с обслуживанием как ос-

новых, так и вспомогательных процессов и не создающие продукцию (хранение, транспортировка, тех. контроль и т.д.).

Производственный процесс предприятия включает в себя получение и хранение материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, изготовление заготовок деталей, различного вида обработки заготовок (механическую, пластическим деформированием и др.), транспортирование в процессе в процессе производства заготовок и деталей, сборочных единиц, их хранение на складах, технический контроль, сборку, испытание, регулировку и окраску (рис. 1.3).



Рис. 1.3.. Структура производственных процессов

В условиях автоматизированного, автоматического и гибкого интегрированного производств вспомогательные и обслуживающие процессы в той или иной степени объединяются с основными, и становятся неотъемлемой частью процессов производства продукции, что будет рассмотрено более подробно позже.

1.6. Основные понятия о технологическом процессе

Технологический процесс – это последовательное изменение формы, размеров, свойств материалов или полуфабрикатов для получения детали или изделия в соответствии с заданными техническими требованиями.

Технологический процесс - часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Под изменением состояния предмета труда понимается изменение его физических, химических, механических свойств, геометрии, внешнего вида. Кроме того, в технологический процесс включены дополнительные действия, непосредственно связанные или сопутствующие качественному изменению объекта производства; к ним относят контроль качества, транспортирование и др. Для осуществления технологического процесса необходима совокупность орудий производства, называемых средствами технологического оснащения, и рабочее место.

Рабочее место представляет собой элементарную единицу структуры предприятия, где размещены исполнители работы и обслуживаемое технологическое оборудование, подъемно-транспортные средства, технологическая оснастка и предметы труда.

Технологическое оборудование - это средство технологического оснащения, в котором для выполнения определенной части технологического процесса размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическую оснастку. К ним относят, например, литейные машины, прессы, станки, испытательные стенды и т. д (рис. 1.4).

Технологическая оснастка - это средство технологического оснащения, дополняющее технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса. К ним относятся режущий инструмент, приспособления, измерительные средства.

Технологическое оборудование совместно с технологической оснасткой, а в некоторых случаях и манипулятором, принято называть технологической системой. Понятием "технологическая система" подчеркивается, что результат технологического процесса зависит не только от оборудования, но и в не меньшей степени от приспособления, инструмента, заготовки.

Основной продукцией машиностроения являются машины и механизмы, которые собираются из отдельных деталей. Качество машины и ее соот-

ветствие условиям эксплуатации зависят от параметров качества отдельных деталей, которые достигаются соответствующими технологическими процессами. Деталь проходит, как правило, несколько этапов обработки, называемых технологическими переделами. На первом этапе (переделе) с помощью процессов металлургии получают металлы и сплавы с требуемым химическим составом и физико-механическими свойствами.

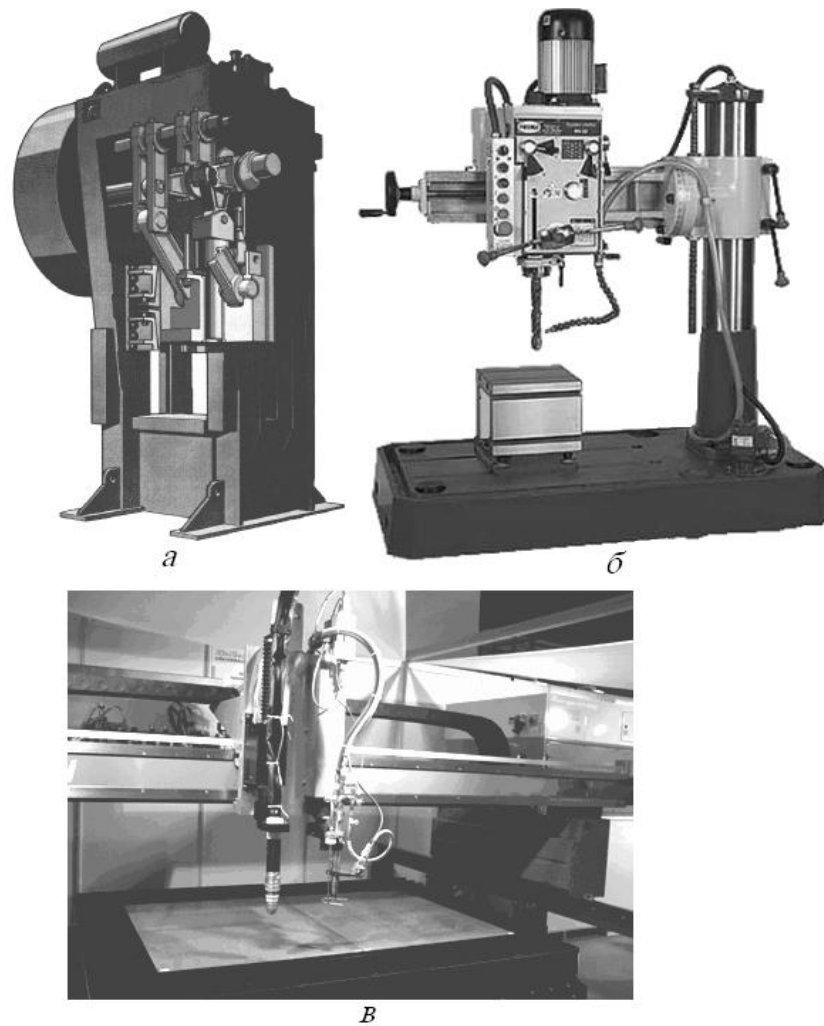


Рис. 1.4. Технологическое оборудование:

а – пресс; *б* – радиально-сверлильный станок; *в* – установка для резки металла.

Второй технологический передел заключается в получении из соответствующего материала заготовки детали, при этом заготовка должна иметь форму, в максимальной степени соответствующую макро геометрии готовой детали. Технологические процессы механической обработки позволяют получать заданные параметры точности размеров, формы и взаимного распо-

ложения поверхностей, их микрогеометрию и физико-механические свойства поверхностного слоя. На этом же этапе для изменения объемных и поверхностных физико-механических свойств материала детали могут применяться технологические процессы термической и химико-термической обработки. Для получения из отдельных деталей механизмов и машин с требуемыми эксплуатационными показателями служат технологические процессы сборки и сварки. Анализ технологических переделов показывает, что каждый технологический процесс обеспечивает те или иные параметры качества деталей, что, в совокупности позволяет получить готовое изделие машиностроительного производства.

1.7. Структура технологического процесса изготовления изделия

По организационным, техническим и экономическим причинам технологический процесс делят на части, которые принято называть операциями.

Технологической операцией называется законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте и одном и том же оборудовании. Операция охватывает все действия оборудования и рабочих над одним или несколькими объектами производства. При обработке на станках операция включает все действия рабочего, управляющего технологической системой, установку и снятие предмета труда, а также движения рабочих органов технологической системы. Содержание операций изменяется в широких пределах - от работы, выполняемой на отдельном станке или сборочной машине в обычном производстве, до работы, выполняемой на автоматической линии, представляющей собой комплекс технологического оборудования, связанного единой транспортной системой и имеющей единую систему управления в автоматизированном производстве. Число операций в технологическом процессе изменяется от одной (изготовление детали на прутковом автомате, изготовление корпусной детали на многооперационном станке) до десятков (изготовление турбинных лопаток, сложных корпусных деталей).

Формируют операцию, главным образом, по организационному принципу, так как она является основным элементом производственного планирования и учета. На операцию обычно разрабатывается вся плановая, учетная и технологическая документация.

В свою очередь, технологическая операция также состоит из ряда элементов: технологических и вспомогательных переходов, установов, позиций, рабочих ходов.

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

Вспомогательный переход - это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода (например, установка заготовки, смена инструмента и т.п.). Переход можно выполнять один или несколько рабочих ходов.

Рабочий ход - это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемая изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Позиция - это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей, или деталью совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции.

Установ - часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или сборочной единицы.

1.8. Типы производства

Одной из характеристик производства является коэффициент закрепления операций ($k_{з.о}$), представляющий собой отношение числа всех различных технологических операций, выполняемых в течение месяца, к числу рабочих мест. Чем шире номенклатура выпускаемых изделий и меньше их количество, тем больше величина $k_{з.о}$.

В зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий различают три типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное (индивидуальное) производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается. Изделия выпускаются широкой номенклатурой в относительно малых количествах, зачастую индивидуально, и либо совсем не повторяются, либо повторяются через неопределенные промежутки времени. Следовательно, единичное производство должно быть гибким, быстропереналаживаемым.

Для единичного производства характерны следующие особенности: технологическое оборудование ставится по типам станков; используется универсальное технологическое оборудование; оборудование обслуживает персонал высокой квалификации; низкая производительность и высокая точность и стоимость обработки.

Продукция единичного производства – машины, не имеющие широкого применения и изготавливаемые по индивидуальным заказам, предусматривающим выполнение специальных требований (опытные образцы машин в различных отраслях машиностроения, крупные гидротурбины, уникальные металлорежущие станки, прокатные станы и т.д.).

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. Серийное производство делится: на мелкосерийное, среднесерийное, крупносерийное. Условной границей между разновидностями серийного производства является величина

коэффициента закрепления операций: (для мелкосерийного производства $k_{з.о} = 20 \dots 40$; для среднесерийного $k_{з.о} = 10 \dots 20$; для крупносерийного $k_{з.о} = 1 \dots 10$).

В серийном производстве технологический процесс дифференцирован. Отдельные операции закреплены за определенными станками. Используются универсальные, специализированные, специальные, автоматизированные и агрегатные станки. По окончании изготовления одной серии деталей станки переналаживаются на изготовление деталей другой серии.

Серийное производство экономичнее единичного, так как лучше используется технологическое оборудование, выше специализация рабочего, ниже себестоимость продукции.

Массовое производство характеризуется небольшой номенклатурой, большим объемом выпуска изделий, непрерывным изготовлением или ремонтом изделий продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Для массового производства $k_{з.о} = 1$.

Массовое производство характеризуется следующими признаками: большинство операций по обработке заготовок закреплено за отдельными станками; на линии обработки имеет место непрерывное перемещение заготовок с одного рабочего места на другое; используется специализированное, специальное или агрегатное оборудование; короткий технологический цикл, низкая трудоемкость и стоимость обработки.

При массовом производстве можно использовать самое высокопроизводительное и дорогое технологическое оборудование, так как оно быстро окупается.

Различают поточный и не поточный вид организации производственного процесса.

Поточный вид организации производственного процесса характеризуется расположением средств технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и определенным ин-

тервалом выпуска изделий. Этот вид организации производственного процесса характерен для массового и крупносерийного производств.

При *не поточном виде организации производственного процесса* предмет труда находится в движении по операциям с различной продолжительностью. Этот вид организации производственного процесса характерен для единичного и мелкосерийного производств. Для не поточного вида организации производственного процесса характерны отсутствие закрепления операций за конкретными рабочими местами, разная длительность операций, стремление на каждом рабочем месте осуществить максимальную концентрацию технологических переходов с целью уменьшения числа операций.

С целью приблизить производственный процесс к поточному виду в условиях мелкосерийного производства применяют групповую организацию, которая характеризуется совместным изготовлением или ремонтом групп изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

1.9. Средства технологического оснащения производства

К средствам технологического оснащения относятся технологическое оборудование, оснастка, средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Выбор технологического оборудования и оснастки основывается на анализе затрат, связанных с реализацией технологического процесса в установленный промежуток времени при заданном качестве изделия. Анализ затрат предусматривает сравнение вариантов при прочих равных условиях и выбор наилучшего варианта.

Выбор технологического оборудования в соответствии с требованиями ЕСТПП (единая система технологической подготовки производства) начинается с анализа формирования типовых поверхностей деталей и сборочных единиц и методов их обработки с целью определения наиболее эффективных методов обработки и сборки, исходя из назначения и параметров изделия.

Выбор оборудования производят по главному параметру, т.е. в наибольшей степени соответствующему его функциональному назначению и техническими возможностями.

Физическая величина, характеризующая главный параметр, устанавливает взаимосвязь оборудования с размером изготавливаемого на нем изделия.

При выборе технологической оснастки используют нормативно-техническую (стандарты) и техническую (альбомы типовых конструкций, каталоги, паспорта на технологическое оборудование, методические материалы) информацию. Если необходимая технологическая оснастка найдена, то оформляется заказ на ее приобретение. Если нет – то проектируется новая оснастка.

Контрольные вопросы

1. Что такое «изделие», «сборочная единица»?
2. Чем сборочная единица второго порядка отличается от сборочной единицы первого порядка?
3. На какие группы разделены технико-экономические показатели качества?
4. Опишите структуру жизненного цикла изделия.
5. Какие отрасли входят в машиностроительный комплекс?
6. Какие операции выполняются в основных цехах предприятия?
7. Какие цеха предприятия относятся к вспомогательным?
8. Из каких структур состоит производственная система?
9. Что такое «производственный процесс»?
10. Опишите структуру технологического процесса.
11. Какие особенности характерны для единичного производства?
12. В чем разница между поточным и не поточным видами организации производственного процесса?

ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

2.1. Технологический процесс изготовления деталей - техническая система

При разработке технологической цепочки обработки одной или нескольких поверхностей заготовки возникает потребность рассмотрения множества вариантов обработки, как отдельной поверхности, так и всей заготовки в целом. Множественность и многовариантность технологических цепочек изготовления деталей машин требует или последовательного рассмотрения каждой технологической цепочки, или использовать метод «крутого восхождения» к оптимальному варианту. Метод крутого восхождения возможен только при представлении технологического процесса и каждого метода изготовления детали в виде технической системы с последующим системным анализом обобщенной структурной схемы технологического процесса изготовления изделия.

Системой называется организованный комплекс средств необходимых для достижения общей цели. При этом данный комплекс имеет иерархическую структуру, каждый из элементов которой по степеням иерархии являются средством достижения цели элемента или подсистемы более высокого уровня.

Технологический процесс изготовления детали (и машины в целом) можно представить в виде многоуровневой, сложной технической системы, состоящей из формального набора блоков (рис. 2.1).

Исходными данными для этой системы являются: чертеж детали, материал детали, величина обрабатываемой партии, условия работы детали в узле и машины в целом, условия производства (блок «Исходные данные»).

Внешний блок «Заготовка» в процессе реализации технологического процесса подвергается энергетическому воздействию и видоизменяется (по геометрическим и физическим параметрам), превращаясь в готовую деталь

(блок «Деталь»). Заготовка может быть получена различными методами пластического деформирования, литьем, или сочетанием методов: «пластическое деформирование - сварка» (штампосварные заготовки); «литье - сварка» (литейно-сварные заготовки).

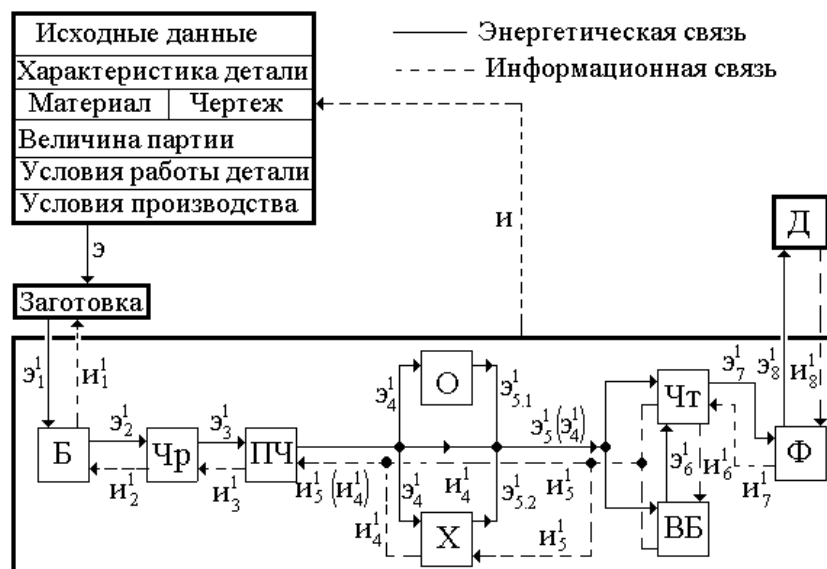


Рис. 2.1. Структура технической системы «Технологический процесс»:

З – внешний блок «Заготовка»; Б – блок «Обработка базовых поверхностей»; Чр – блок «Черновая обработка»; Пч – блок «Получистовая обработка»; О – блок «Обработка мелких поверхностей»; Х – блок «Термическая и химико-термическая обработка»; Чт – блок «Чистовая обработка»; ВБ – блок «Восстановление базовых поверхностей»; Ф – блок «Финишная обработка»; Д – внешний блок «Деталь»; \mathcal{E} - энергетическая связь; \mathcal{I} – информационная связь.

Блок «Заготовка» связан с технологическим процессом изготовления детали (ТП) положительной связью (\mathcal{Y}^1): метод получения заготовки, ее соответствие по геометрическим и физическим параметрам готовой детали определяют структуру, содержание и трудоемкость ТП. Сам ТП связан с внешним блоком «Исходные данные» обратной связью «И», т.к. при реализации ТП на конкретном производстве деталь может оказаться нетехнологичной, и возникнет необходимость корректировки чертежа детали.

Технологичность – степень соответствия детали условия конкретного производства. Эту степень соответствия можно оценить по минимизации

затрат на изготовление детали (себестоимость) при заданной программе выпуска детали и заданной ее точности.

Технологический процесс обработки детали (первый уровень) можно разделить на 8 внутренних блоков:

1. «Обработка базовых поверхностей» - ТП начинается с обработки баз (поверхность, линия, точка или их сочетание, определяющие положение заготовки в рабочих приспособления станка).
2. «Черновая обработка» - далее необходимо снять наибольший припуск, оставив слой материала для последующее обработки. При механической обработке заготовок применяется метод постепенного приближения к требуемому размеру, что позволяет получить высокую точность обрабатываемой поверхности.
3. «Получистовая обработка»;
4. «Обработка мелких поверхностей» - при черновой и получистовой обработке заготовка нагрелась, ей необходимо дать остыть. Поэтому проводят обработку мелких неотчетливых поверхностей.
5. «Термическая и химико-термическая обработка» - позволяет получить требуемые физико-химические свойства.
6. «Чистовая обработка» - получение требуемых точностных параметров детали.
7. «Восстановление базовых поверхностей» - часто перед чистовой обработкой необходимо восстановить качество базовых поверхностей (при обработке валов и дисков с центральным отверстием).
8. «Финишная обработка» - получение требуемого качества поверхности готовой детали.

При обработке корпусных деталей, обычно отсутствуют блоки «Х» и «ВВ». При обработке деталей из незакаленных сталей (чугунов, сплавов цветных металлов) возможно отсутствие блока «Х». При обработке круглых и некруглых стержней возможно отсутствие блока «ВВ». При обработке дисков возможно совмещение блоков «ВВ» и «С» (обработка зубчатых колес).

При обработке деталей с низкими требованиями к качеству обработанной поверхности возможно отсутствие блока «Ф».

Все блоки связаны положительной энергетической и отрицательной информационной связями.

Энергетическая связь (Э) – изменение размерных, геометрических, физико-химических показателей заготовки; показатели заготовки, влияющие на качество обработки детали (наследственность) и т.д.

Информационная связь (И) - технологические требования предшествующего блока к предыдущему (технологичность); допуски на погрешности изготовления заготовки, позволяющие изготовить деталь требуемого качества и т.д.

Каждый внутренний блок состоит из нескольких блоков второго уровня - ТО (технологических операций). Блоки ТО (рис. 2.2) связаны: прямыми энергетическими и обратными информационными связями (аналогичными связям первого уровня).

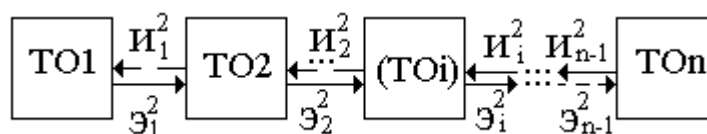


Рис. 2.2. Структура внутреннего блока (второй уровень).

Каждый блок ТО можно представить в виде двух связанных прямой энергетической связью звеньев: обеспечивающего (ОЗ) и действующего (ДЗ) звена (рис. 2.3).

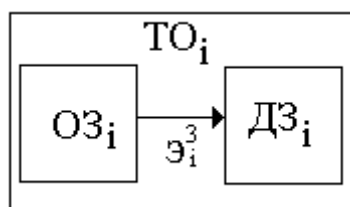


Рис. 2.3. Структура технологической операции.

Обеспечивающее звено (ОЗ): обеспечивает требуемые показатели ТО. В состав этого звена входят: размерные, геометрические, физико-химические показатели заготовки; технологические, жесткостные показатели оборудования, оснастки и инструмента, обеспечивающие необходимую точность обра-

ботки; режимы резания, обеспечивающие заданную производительность; экономические показатели, обеспечивающие минимальную себестоимость обработки.

Действующее звено (ДЗ) – представляет собой технологические действия по изменению показателей заготовки в показатели детали. Одним из главных элементов действующего звена является метод обработки.

В свою очередь, метод изготовления детали определяется способами формирования заданных параметров их качества с производительностью, соответствующей наименьшим затратам в данных условиях производства. Из этого следует, что общей целью, которая достигается при применении того или иного метода изготовления детали получение изделия с заданными параметрами качества. Методу изготовления детали как любой системе присущи четыре основных свойства: целостность и членимость; свойство связи; организация; интегративные качества.

Целостность и членимость

Это свойство проявляется в структуре системы, которая представляет собой устойчивую упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей. Технологическая структура метода изготовления деталей представлена на рис. 2.4.

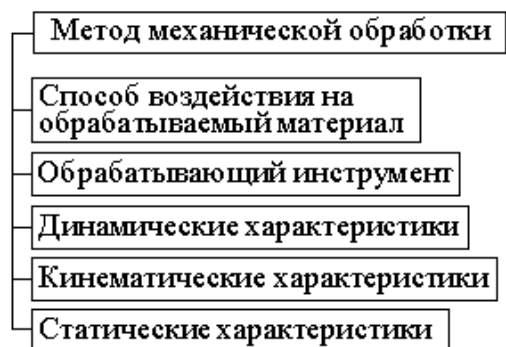


Рис. 2.4. Технологическая структура метода изготовления деталей

Система «Метод изготовления детали» состоит из пяти основных подсистем (рис. 2.5): «Способ воздействия на обрабатываемый материал»; «Кинематические характеристики»; «Обрабатывающий инструмент»; «Динамические характеристики»; «Статические характеристики».

Каждая из этих подсистем состоит из подсистем более низкого уровня, которые, в свою очередь, могут быть разделены на отдельные элементы. Каждый из элементов системы имеет свою собственную цель, без достижения которой общая цель системы не может быть достигнута.

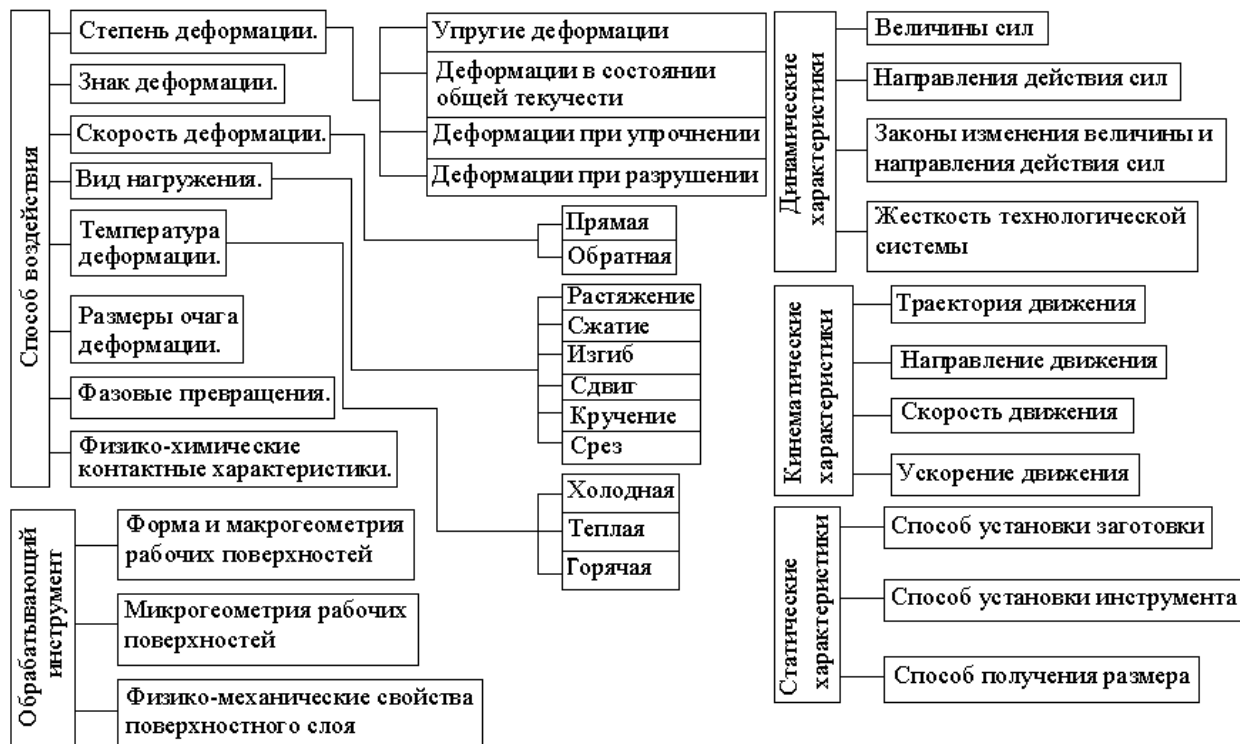


Рис. 2.5. Состав системы «Метод изготовления детали»

Так, если посредством способа воздействия физико-механические свойства обрабатываемого материала не будут определенным образом изменены, то при резании не произойдет стружкообразования, а при поверхностном пластическом деформировании - снижения шероховатости обрабатываемой поверхности и ее упрочнения. Не обеспечив кинематических движений инструмента и детали, невозможно осуществить формообразование обрабатываемой поверхности, сформировать ее макро - и микрогеометрию. Без инструмента не может быть произведено воздействие на обрабатываемую поверхность или объем материала. Не учитывая статические и динамические характеристики, в частности, жесткость технологической системы невозможно обеспечить точность размера, формы и расположения поверхностей детали. Невыполнение хотя бы одной из вышеуказанных частных целей влечет за собой невыполнение общей цели всей системы «Метод изготовления детали».

ли». Следовательно, хотя система и состоит из определенного числа элементов, т.е. членима, в то же время она представляет собой единое целое, т.к. каждый из вышеуказанных элементов, необходим для достижения общей цели системы.

Свойство связи

Систему характеризует наличие существенных устойчивых связей между элементами или их свойствами, которые превосходят по мощности связи этих элементов с элементами, не относящимися к рассматриваемой системе. Связь представляет собой физический канал, по которому обеспечивается обмен веществом, энергией и информацией между элементами системы, а также системы и окружающей среды. Основными характеристиками связи являются физическое наполнение, направленность, мощность и роль в системе.

По физическому наполнению различаются связи вещественные, энергетические, информационные, смешанные и не наполненные (отношения).

По направлению различают связи прямые, обратные, контрсвязи и нейтральные.

По роли в системе различают связи: соединительные, ограничивающие, усиливающие, ослабляющие, запаздывающие, опережающие, мгновенные, селектирующие, преобразующие, согласующие и так далее

Анализ связей между основными характеристиками метода обработки показывает следующее. При реализации любого метода обработки на поверхность детали осуществляется то или иное энергетическое воздействие. Вид подводимой к поверхности детали энергии определяется способом воздействия на обрабатываемый материал. В свою очередь, способ воздействия однозначно определяет характеристики инструмента, с помощью которого осуществляется энергетическое воздействие на обрабатываемую поверхность. Чаще всего, инструмент воздействует на поверхность детали локально, т.е. энергия передается отдельными квантами. Так как обработка должна

быть произведена по всей поверхности, то источник энергии должен перемещаться, причем кинематика его движения определяется формой обрабатываемой поверхности. Необходимо отметить, что при механической обработке для энергетического воздействия на поверхность детали используются кинематические движения, сообщаемые инструменту и детали. Согласно закону механики о равенстве сил действия и противодействия при внедрении инструмента в обрабатываемую поверхность возникает система сил, действующих на деталь и инструмент и характеризующих динамику процесса. Согласно тому же закону для уравнивания системы внешних сил и сохранения постоянного относительного положения инструмента и детали при обработке необходима система статических сил, определяемая статическими характеристиками метода изготовления детали. Из этого следует, что в методе изготовления детали между элементами существуют энергетические согласующие прямые и обратные связи, различные по своей мощности.

Анализ связей, существующих между характеристиками метода изготовления детали, а также между последними и элементами системы «технологическая операция», подсистемой которой является «Метод изготовления детали», позволяет выявить значительное отличие в мощности двух вышеуказанных вариантов связей. Так, например, способ воздействия всегда однозначно определяет характеристики инструмента, и, в свою очередь, инструмент всегда является носителем какого-либо способа воздействия. Элементы технологической операции, выполняющие контроль размера детали связаны с инструментом только через его износ, т.е. через его свойство. Если осуществляется метод обработки, то при достижении определенной величины износа инструмента в случае выхода размера детали за поле допуска производится его смена или переналадка. Данная связь не постоянная, а периодическая. Таким образом, можно заключить, что мощность связи между элементами системы «Метод изготовления детали» «способ воздействия» - «инструмент» больше мощности связи характеристики метода изготовления детали (инструмента) с элементами другой системы (элементы, контролирующие

размер детали и т.д.), которая в этом случае является внешней средой для системы «Метод изготовления детали».

Организация

Организация - как свойство системы характеризуется снижением энтропии (степени неопределенности) системы $H(S)$ по сравнению с энтропией системоформирующих факторов $H(F)$, определяющих возможность создания системы. К системоформирующим факторам $H(F)$ относятся: число элементов системы « n », число системозначных свойств элемента « a », число существенных связей элемента « γ », число системозначных свойств связей « B », число квантов пространства « l » и времени « t », в которых может существовать элемент, связь и их свойства.

В этой связи можно сформулировать общие принципы построения метода изготовления детали как системы с учетом оптимальной величины энтропии. При этом необходимо учитывать, что энтропия или степень неопределенности поведения технической системы прямо связана с таким показателем как ее надежность, а также в значительной мере влияет на эффективность управления системой. Так, с увеличением количества элементов системы при равной надежности каждого из них, ее общая надежность снижается. Это же можно сказать и о количестве связей между элементами. На эффективность управления системой также влияет количество системозначных свойств системы, ее элементов и их связей, т.к. при улучшении одного из свойств элемента достаточно часто ухудшаются одно или несколько других его свойств. Это приводит к многокритериальной задаче оптимизации, которая должна решаться с помощью принципа Парето.

По отношению к методу изготовления детали как к технической системе принцип Парето можно трансформировать следующим образом. Если у системы, элемента или связи имеется несколько свойств, важно выявить их главные и дополнительные свойства. Причем при построении метода изготовления детали необходимо обеспечивать экстремум главной функции

(свойства) при минимуме отрицательного влияния дополнительных свойств на достигаемое качество и технико-экономические показатели.

Задача принятия решения с учетом множества имеющихся критериев формально сводится к определению оператору « φ », который каждому вектору

$$q_{(a)} = [q_{1(a)}, q_{2(a)}, \dots, q_{n(a)}],$$

где: $q = q_1, q_2, \dots, q_n$ совокупность критериев, отражающих множество свойств системы или элемента; ставит в соответствие действительное число

$$E = \varphi(q) = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n),$$

которое определяет степень предпочтительности принимаемого решения. Оператор « φ » принимают за интегральный (обобщенный) критерий, который позволяет упорядочить множество решений по степени предпочтительности. По отношению к методам механической обработки следует отметить, что при реализации черновой обработки, как правило, основным критерием является производительность обработки, и связанное с ней основное (машинное) время t_0 , а параметры качества (точность, шероховатость, степень и глубина упрочнения и так далее) выступают как критерии вспомогательные. При чистой формообразующей обработке основным критерием является точность или величина поля допуска « T », при чистой отделочной - шероховатость поверхности детали R_a , а при упрочняюще-чистой обработке - степень δ или глубина упрочнения h поверхностного слоя. Из данных частных критериев можно различными методами сформировать обобщенный критерий. При реализации наиболее простого из таких методов задача принятия решения по векторному критерию эффективности сводится к задаче со скалярным критерием q_k , причем все остальные критерии переводятся в разряд ограничений:

$$E = q_k; q_j \geq q_j^{(0)}; i = 1, 2, \dots, L; q_j \leq q_j^{(0)}; i = L = 1, 2, \dots, n; i \neq k,$$

где: $q_i^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n^{(0)})$ - вектор, определяющий допустимые значения по всем критериям. Это позволяет задачу принятия оптимального решения сформулировать в виде задачи математического программирования:

$$\max_{a \in A} [q_k(a)] \quad \Leftrightarrow \quad \min_{a \in A} [q_k(a)], \text{ при ограничениях:}$$

$$q_i(a) \geq q_i^{(0)}; i = 1, 2, \dots, l; q_i(a) \leq q_i^{(0)}; i = 1, 2, \dots, n; n \neq k.$$

В зависимости от вариантов функций $q_i(a)$, $q_{ki}(a)$ и множества «А» для выбора оптимальной альтернативы различают методы линейного, нелинейного и динамического программирования. Данные методы решения оптимальных задач достаточно проработаны и изложены в литературе по исследованию операций.

Достоинство такого подхода - простота формирования интегрального критерия. Недостаток - невозможность учета значений вспомогательных критериев, если они не удовлетворяют системе ограничений.

Другим наиболее приемлемым методом построения интегрального критерия является объединение в соответствии с теорией полезности частных критериев q_i . Данное объединение, как правило, осуществляется на основе аддитивного преобразования:

$$E = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n) = \sum_{i=1}^n b_i q_i$$

Для метода изготовления детали, с учетом вышеуказанных частных критериев производительности и качества, можно записать:

$$E = b_1 t_0 + b_2 T = b_3 R_a + b_4 \delta + b_5 h.$$

При этом, при решении задачи синтеза метода изготовления детали как системы, значения коэффициентов « b_i » определяют ценность того или иного критерия « q_i ». Определение значения данных коэффициентов может производиться непосредственно технологом, решающим задачу синтеза, либо на основе результатов опроса группы из « m » экспертов (специалистов в данной области, отражающих их мнение о ценности i -го критерия через набор чисел « C_{ij} »). Коэффициенты после масштабирования для каждого числа - определяются следующим образом:

$$b_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}}; \quad \sum_{i=1}^n b_{ij} = 1$$

Если компетентность экспертов в группе предполагается одинаковой, то окончательные значения коэффициентов « b_i » определяются выражением:

$$b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m b_{ij}$$

Основными методами формирования чисел « C_{ij} », отражающих мнение j -го эксперта о ценности i -го критерия являются метод ранжировки (метод непосредственной оценки и метод последовательных предпочтений). Для рассматриваемого случая можно применять метод ранжировки, предполагающий линейную зависимость между рангом и относительной ценностью критерия, и определяющий сравнительно высокую достоверность оценки. В соответствии с данным методом все критерии имеющегося ряда нумеруются. Ранг критерия определяется его номером, причем наиболее важным критериям присваивается более низкий ранг. Вычисление коэффициентов « C_{ij} » при известности рангов « r_{ij} » осуществляется по зависимости:

$$C_{ij} = 1 - \frac{r_{ij} - 1}{n}$$

После определения коэффициентов « b_i » линейной формы интегрально-го критерия, частные критерии « q_i », имеющие различную размерность, приводят к безразмерному виду. Для этого, должны быть заданы диапазоны изменений каждого критерия « q_i »: $q_i^H < q_i \leq q_i^B$. Тогда масштабирующие преобразования будут иметь следующий вид:

$$q_i^{\text{отн}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{при } q_i \leq q_i^H \\ \frac{q_i - q_i^H}{q_i^B - q_i^H} & \text{при } q_i^H \leq q_i \leq q_i^B \\ 1 & \text{при } q_i \geq q_i^B \end{array} \right\},$$

где q_i^H, q_i^B соответственно относительное, нижнее и верхнее значения критерия « q_i ». Область годных альтернатив для принятия решения после проведения масштабирования представляет собой n - мерный единичный куб,

при этом $0 \leq q_i^{\text{отн}} \leq 1; i = 1, 2, \dots, n$. Окончательно, интегральный критерий записывается в следующем виде:

$$E = \varphi \left[q^{\text{отн}}(a) \right] = \sum_{i=1}^n b_i q_i^{\text{отн}}(a).$$

Используя вышеуказанные методы, можно осуществлять синтез метода обработки с учетом оптимальности всей системы «Метод изготовления детали», ее элементов (характеристик) и их свойств. Кроме этого, с точки зрения снижения энтропии необходимо стремиться к обоснованному уменьшению количества элементов системы, их связей и свойств. Из-за возникновения организации в системе свойства ее элементов трансформируются в функции, связанные с интегративными качествами системы. При этом под функцией понимается действие, поведение, деятельность определенного объекта.

Интегративные качества

Интегративные качества - свойства, присущие системе в целом и не свойственные ни одному из ее элементов в отдельности.

Эти качества можно проиллюстрировать следующим примером. Основной функцией способа воздействия является преобразование свойств материала обрабатываемой детали, кинематические характеристики определяют форму обрабатываемой поверхности. Инструмент осуществляет непосредственное воздействие на деталь в процессе обработки, динамические характеристики определяют энергетическое взаимодействие инструмента и детали, а статические характеристики обеспечивают постоянное относительное положение инструмента и детали при обработке. «Метод изготовления детали», как система, вышеуказанные свойства входящих в нее элементов трансформирует в интегративные качества - образование поверхностей и объема детали с заданными параметрами качества при обеспечении максимальной производительности и минимума затрат на производство в данных конкретных условиях.

Представление метода изготовления детали как технической системы позволяет составить его информационную модель.

2.2. Информационная модель метода изготовления детали

Для формализованного описания метода изготовления детали как системы наиболее удобным математическим аппаратом является теория графов.

Связь структурных элементов метода изготовления детали задается графом $S(q, T)$, множество вершин которого изоморфно характеристикам метода изготовления детали, а множество дуг - отношением «р», «ω» и «т», с помощью которых выражается временная упорядоченность действий определенных характеристик.

Применяя вышеуказанные отношения, можно комбинировать характеристики метода изготовления детали с целью создания новых вариантов. Наряду с временной упорядоченностью структура метода изготовления детали как системы характеризуется ступенчатостью, которая распространяется на различную глубину.

Применяя к исходной системе определенный способ расчленения, можно получить множество подсистем первого уровня $\{Q_1^1, Q_2^1, Q_3^1, Q_4^1, Q_5^1\}$. Проведя эту же операцию для каждой подсистемы первого уровня можно получить множество подсистем второго уровня $\{Q_{i1}^2, Q_{i2}^2, \dots, Q_{ik}^2\}$. Результатом такого расчленения будет граф структуры системы, вершинами которого являются характеристики метода изготовления детали (рис. 2.6).

Функция метода изготовления детали заключается в преобразовании исходной заготовки в готовую деталь и описывается отображением

$$Q: K \rightarrow QK_k.$$

В этом случае исходное и конечное состояния обрабатываемой детали определяется множеством параметров качества. К ним относятся: химический состав материала; модули упругости и упрочнения первого рода; модули упругости и упрочнения второго рода; пределы текучести и прочности;

твердость материала и распределение твердости по глубине и длине детали; точность размера, формы и расположения поверхностей детали; волнистость и шероховатость поверхности; конфигурация детали; анизотропия свойств материала детали.

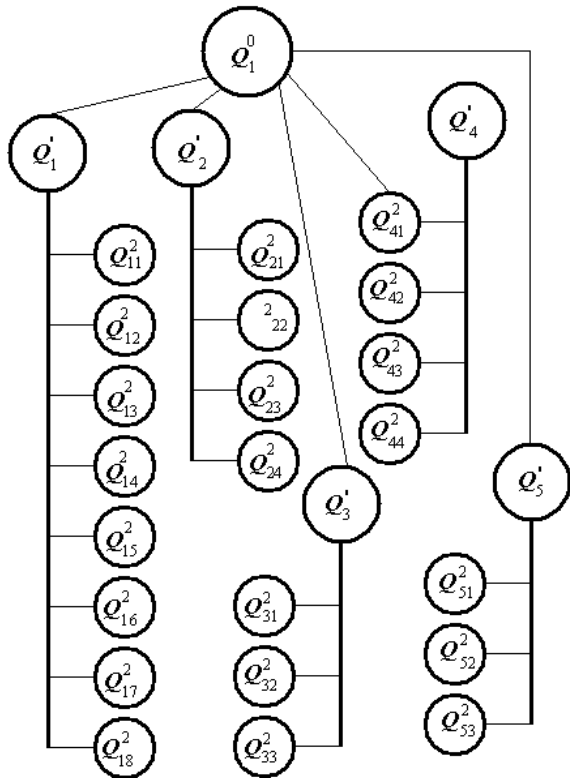


Рис. 2.6. Граф связи структурных элементов метода изготовления детали:
 Q_1^0 - подсистема нулевого уровня;
 $Q_1^1, Q_2^1, Q_3^1, Q_4^1, Q_5^1$ - подсистемы первого уровня;
 $Q_{11}^2 \dots Q_{53}^2$ - подсистемы второго уровня.

Метод изготовления детали может состоять из нескольких стадий «ф». Учитывая вышеизложенное, можно описать функцию метода изготовления детали графом $F(K, Q)$.

$$F(K, Q) = K_0 \varphi_1 \dots K_{k-1} \varphi_k K_k$$

Так как для реализации заданной функции могут быть созданы методы с различной структурой, то необходимо ввести оценочные функции, с помощью которых можно определить эффективность того или иного метода. Оценочные функции в этом случае являются технической характеристикой метода изготовления детали, состоящей из некоторого множества параметров: $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n\}$. В качестве оценочных функций принимают производительность обработки, стойкость инструмента, энергоемкость процесса и так далее

Комплексным критерием оценки эффективности метода изготовления детали может быть принята себестоимость изготовления деталей, прибыль или приведенные затраты.

Таким образом, информационная модель метода изготовления детали как технической системы описывается рядом соотношений, определяющих функцию, техническую характеристику и структуру системы на всех уровнях расчленения:

$$\begin{aligned}
 Q^0 &= Q : K_0 \rightarrow K_k, S^0(Q', T), \{Z_i^0\} \\
 Q^1 &= \left\{ \left(\varphi^1 : K_{j-1}^1 \rightarrow K_j^1, S^1(Q^2, T), \{Z_{ij}^1\} \right) \right\}_j; \quad j = 1, m_1 \\
 Q^2 &= \left\{ \left(\varphi^2 : K_{j-1}^2 \rightarrow K_j^2, S^2(Q^3, T), \{Z_{ij}^2\} \right) \right\}_j; \quad j = 1, m_2 \\
 Q^3 &= \left\{ \left(\varphi^3 : K_{j-1}^3 \rightarrow K_j^3, S^3(Q^4, T), \{Z_{ij}^3\} \right) \right\}_j; \quad j = 1, m_3
 \end{aligned}$$

Информационная модель позволяет перейти к формализованному описанию процесса синтеза метода изготовления детали и его совершенствования, а также использовать для этого вычислительную технику.

Рассматриваемые выше функция и техническая характеристика метода изготовления детали состоят из определенного числа целей, которые необходимо достигнуть при реализации процесса обработки детали. Вследствие этого, вопрос выявления всего объема технологических целей, и анализ их взаимосвязей с характеристиками методов изготовления детали является достаточно важным. Рассмотрим это на примере методов обработки, включающих в себя резание и поверхностное пластическое деформирование.

2.3. Функциональная модель метода обработки

Рассмотрим граф-дерево технологических целей (рис. 2.7), достигаемых при реализации методов обработки.

Технологические цели разбиты на четыре большие группы: образование поверхности детали, технологическое обеспечение, управление и развитие. Цели, достигаемые при образовании поверхности детали также разделены на три группы, характеризующие обеспечение заданного качества при

максимальной производительности труда и минимальных затратах на изготовление.



Рис. 2.7 Граф-дерево технологических целей:

Цели технологического обеспечения (рис. 2.8) определяют функции, которые необходимо учитывать при выборе и расчете требуемых для изготовления детали: способа воздействия на обрабатываемый материал, обрабатывающего инструмента, кинематических, динамических и статических характеристик метода обработки.

Цели управления (рис. 2.9) указывают на осуществление управляющих воздействий вышеприведенными характеристиками метода обработки.

Группа целей развития (рис. 2.10) перекликается в определенной мере с целями при образовании поверхности детали и включает в себя цели, которые характеризуют улучшение качества обработанных деталей, а также повышение других технико-экономических показателей технологических процессов и операций.

При разработке граф-дерева технологических целей осуществляется процесс квантификации целей. Данный процесс производится до тех пор, пока во всех висячих вершинах графа не будут содержаться количественно определяемые, цели. На основании изучения научно-технической и патентной

литературы разрабатывается классификатор характеристик метода обработки (рис. 2.11), и производится анализ взаимосвязей технологических целей,



Рис. 2.8. Группа целей технологического обеспечения

стоящих при образовании поверхности детали и развитии с характеристиками метода обработки.

На рис. 2.12 представлен круговой граф взаимосвязей между целями развития и характеристиками метода обработки.

Анализ аналогичных графов позволяет выявить характеристики, влияющие на наибольшее количество технологических целей, и совершенствование которых дает наибольший эффект по улучшению качественных и

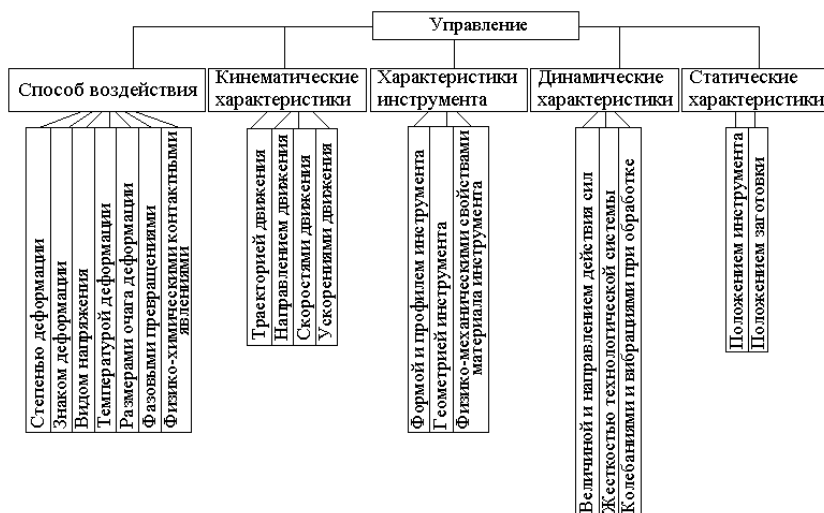


Рис. 2.9. Группа целей управления.



Рис. 2.10. Группа целей развития.

технико-экономических показателей процессов обработки деталей. На основании полученных графов можно сделать вывод, что доминирующее влияние на максимальное количество целей имеют способ воздействия на обрабатываемый материал и обрабатывающий инструмент.

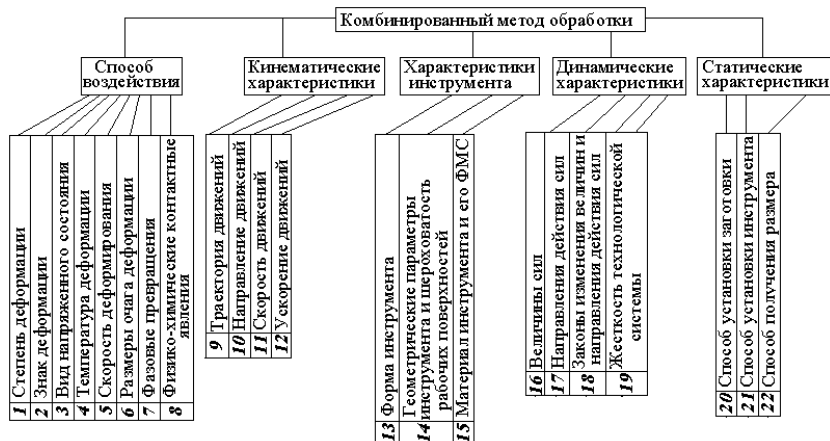


Рис. 2.11. Классификатор характеристик метода обработки

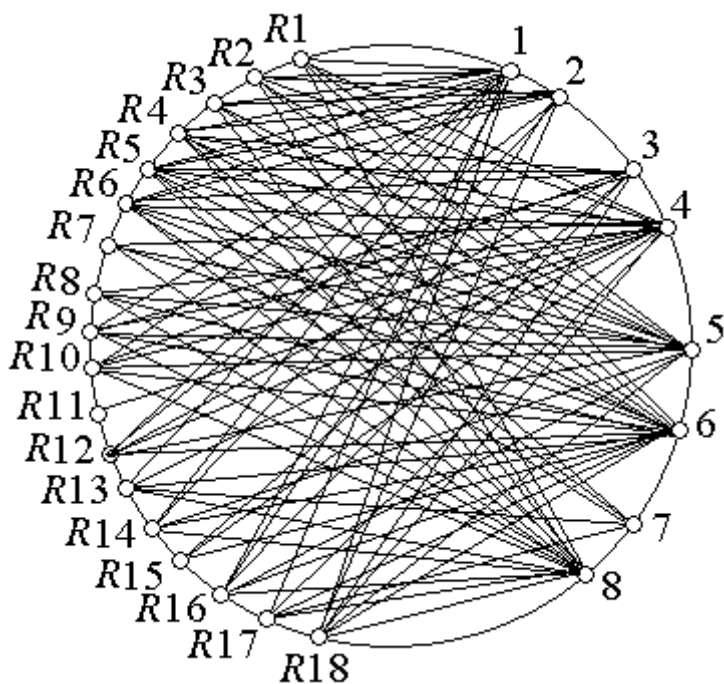


Рис. 2.12. Круговой граф взаимосвязей между целями развития и характеристиками метода обработки.

Такой вывод позволяет наметить пути совершенствования метода обработки, выявить и сформулировать для этого физические и технологические принципы, а также определить направления технологических и фундамен-

тальных исследований взаимосвязей целей с характеристиками методов обработки.

Это позволяет в свою очередь на основе найденных в результате таких исследований математических зависимостей проставить на вышеприведенных дугах графов числовые функции, количественно характеризующие мощность связей характеристик метода обработки и технологических целей.

После нахождения взаимосвязей целей с характеристиками метода обработки на следующем этапе системного анализа создается логико-множественная модель метода обработки и процесса его синтеза.

2.4. Логико-множественная модель метода обработки и технологических объектов, участвующих в процессах изготовления деталей

Для создания такой модели и формализации процесса синтеза метода обработки надо рассмотреть взаимосвязи между подмножествами технологических объектов, включающими в себя: « T_1 » - подмножество кинематических характеристик, « T_2 »- подмножество способов воздействия, « T_3 » - подмножество характеристик инструмента, « T_4 » - подмножество динамических характеристик, « T_5 » - подмножество статических характеристик, « T_6 » – подмножество обрабатываемых поверхностей, « T_7 » - подмножество обработанных поверхностей, « T_8 » - подмножество базовых поверхностей, « T_9 » - подмножество станков для реализации методов обработки, « T_{10} » - подмножество режимов обработки, « T_{11} » - подмножество рабочих приспособлений.

Первые пять подмножеств относятся к системе "Метод обработки", остальные подмножества характеризуют другие технологические объекты, участвующие в процессе обработки деталей. Данные объекты либо являются определяющими при выборе характеристик метода обработки, либо необходимы для его реализации в технологическом процессе. Множество « T » технологических объектов:

$$T = T_1 \cup T_2 \cup T_3 \cup T_4 \cup T_5 \cup T_6 \cup T_7 \cup T_8 \cup T_9 \cup T_{10} \cup T_{11}$$

обладает множеством « M » свойств:

$$M = M^1 \cup M^2 \cup M^3 \cup M^4 \cup M^5 \cup M^6 \cup M^7 \cup M^8 \cup M^9 \cup M^{10} \cup M^{11}$$

Синтез метода обработки может осуществляться по двум основным алгоритмам: алгоритму эвристического синтеза и алгоритму морфологического синтеза.

Разработанный перечень свойств технологических объектов представлен в таблице 2.1.

Используя методы математической логики и перечень свойств технологических объектов, разрабатываются математические выражения, описывающие последовательный процесс синтеза метода обработки и объектов для его реализации:

Зависимость кинематических характеристик метода обработки от параметров, определяющих их выбор:

$$\left\{ \forall y \left(\forall_{M_1^7} [m(y)] \wedge \forall_{M_4^7} m[m(y)] \vee_{M_{2(2)}^1} m[m(y)] \right) \wedge \forall_{T_1} a \forall_{M_6^1} m[m(a)] \wedge \forall_{T_2} b \forall_{M_7^2} m[m(b)] \right\} \supset \forall_{T_1} a \forall_{M_5^1} m[m(a)]$$

Зависимость способа воздействия от определяющих его параметров:

$$\left\{ \forall_{T_6} x \left(\forall_{M_{2(3)}^6} [m(x)] \wedge \forall_{M_{2(2)}^6} \wedge m[m(x)] \vee_{M_{2(1)}^6} m[m(x)] \right) \wedge \forall_{T_7} y \left(\forall_{M_{2(3)}^7} [m(y)] \wedge \forall_{M_{2(2)}^7} m[m(y)] \wedge \forall_{M_{2(1)}^7} m[m(y)] \right) \wedge \forall_{T_2} b \left(\forall_{M_8^2} m[m(b)] \wedge \forall_{M_9^2} m[m(b)] \right) \right\}$$

Зависимость характеристик обрабатывающего инструмента от определяющих их параметров:

$$\left\{ \forall_{T_1} a \forall_{M_5^1} m[m(a)] \forall_{T_2} b \forall_{M_7^2} m[m(b)] \wedge \forall_{T_7} y \left(\forall_{M_7^2} m[m(y)] \wedge \forall_{M_7^4} m[m(y)] \right) \wedge \forall_{T_3} c \left(\forall_{M_{11}^3} m[m(c)] \wedge \forall_{M_{12}^3} m[m(c)] \right) \right\} \supset \forall_{T_3} c \forall_{M_{10}^3} m[m(c)]$$

Зависимость динамических характеристик от определяющих их параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall a \left(\forall m [m(a)] \wedge \forall m [m(a)] \right) \wedge \forall b \forall m [m(b)] \wedge \forall c \left(\forall m [m(c)] \wedge \forall m [m(c)] \right) \wedge \\ \wedge \forall x \forall m [m(x)] \wedge \forall y \forall m [m(y)] \end{array} \right\} \supset \forall d \forall m [m(d)]$$

Зависимость статических характеристик от определяющих их параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall a \forall m [m(a)] \forall b \forall m [m(b)] \wedge \forall y \left(\forall m [m(y)] \wedge \forall m [m(y)] \right) \wedge \\ \wedge \forall c \left(\forall m [m(c)] \wedge \forall m [m(c)] \right) \end{array} \right\} \supset \forall c \forall m [m(c)]$$

Таблица 2.1.

Перечень свойств технологических объектов

Код объекта	Наименование объекта	Наименование свойства объекта	Обозначение имени свойства	Обозначение значения свойства	Обозначение множества имен и значений свойства
X	Обрабатываемая поверхность	Условия формообразования	m_{1j}	$[m_{1j}]$	$M_1 = \{ m_{11}, \dots, m_{1n} \}$ $[m_1] = \{ [m_{11}] \dots [m_{1n}] \}$
		Вид поверхности (цилиндр, плоскость)	$m_{1(1)j}$	$[m_{1(1)j}]$	$m_{1(1)}, [m_{1(1)}]$
		Положение поверхности (наружная, внутренняя)	$m_{1(2)j}$	$[m_{1(2)j}]$	$m_{1(2)}, [m_{1(2)}]$
		Качество	m_{2j}	$[m_{2j}]$	$m_2, [m_2]$
		Точность	$m_{2(1)j}$	$[m_{2(1)j}]$	$m_{2(1)}, [m_{2(1)}]$
		Шероховатость	$m_{2(2)j}$	$[m_{2(2)j}]$	$m_{2(2)}, [m_{2(2)}]$
		Физико-механические свойства материала заготовки	$m_{2(3)j}$	$[m_{2(3)j}]$	$m_{2(3)}, [m_{2(3)}]$

Продолжение таблицы 2.1

Код объекта	Наименование объекта	Наименование свойства объекта	Обозначение имени свойства	Обозначение значения свойства	Обозначение множества имен и значений свойства
X	Обрабатываемая поверхность	Геометрические параметры	m_{3j}	$[m_{3j}]$	$m_3, [m_3]$
		Соотношение поверхностей	m_{4j}	$[m_{4j}]$	$m_4, [m_4]$
Y	Обработанная поверхность	Обозначения Аналогичны обозначениям ($m_{1(1)j} \dots [m_4]$) объекта с кодом «X».			
Z	Базовая поверхность	Обозначения Аналогичны обозначениям ($m_{1(1)j} \dots [m_4]$) объекта с кодом «X».			
A	Кинематические характеристики	-	m_{5j}	$[m_{5j}]$	$m_5, [m_5]$
		Производительность	m_{6j}	$[m_{6j}]$	$m_6, [m_6]$
B	Способ воздействия	-	m_{7j}	$[m_{7j}]$	$m_7, [m_7]$
		Обрабатываемость материала заготовки	m_{8j}	$[m_{8j}]$	$m_8, [m_8]$
		Коэффициент использования материала	m_{9j}	$[m_{9j}]$	$m_9, [m_9]$
C	Обработывающий инструмент	-	m_{10j}	$[m_{10j}]$	$m_{10}, [m_{10}]$
		Стойкость	m_{11j}	$[m_{11j}]$	$m_{11}, [m_{11}]$
		Стружкодеделение и стружкоудаление	m_{12j}	$[m_{12j}]$	$m_{12}, [m_{12}]$
D	Динамические характеристики	-	m_{13j}	$[m_{13j}]$	$m_{13}, [m_{13}]$
E	Статические характеристики	-	m_{14j}	$[m_{14j}]$	$m_{14}, [m_{14}]$
U	Станок	-	m_{7j}	$[m_{7j}]$	$m_7, [m_7]$
R	Режим обработки	-	m_{16j}	$[m_{16j}]$	$m_{16}, [m_{16}]$
F	Рабочее приспособление		m_{17j}	$[m_{17j}]$	$m_{17}, [m_{17}]$

Причем:

$$M_5^1 \subset M_5^1; M_6^1 \subset M_6^1$$

и так далее.

Зависимость параметров станка от характеристик метода обработки:

$$\left\{ \forall_{T_1} a \forall_{M_5^1} m[m(a)] \wedge \forall_{T_2} b \forall_{M_7^2} m[m(b)] \wedge \forall_{T_4} d \forall_{M_{13}^4} m[m(d)] \right\} \supset \forall_{T_9} u \forall_{M_{15}^9} m[m(u)]$$

Зависимость режимов обработки от характеристик метода обработки и параметров обрабатываемой детали:

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall_{T_1} a \forall_{M_5^1} m[m(a)] \wedge \forall_{T_2} b \left(\forall_{M_7^2} m[m(b)] \forall_{M_8^2} m[m(b)] \right) \wedge \\ \wedge \forall_{T_3} c \left(\forall_{M_{10}^3} m[m(c)] \forall_{M_{11}^3} m[m(c)] \right) \wedge \forall_{T_4} d \forall_{M_{13}^4} m[m(d)] \wedge \\ \wedge \forall_{T_6} x \forall_{M_2^6} m[m(x)] \wedge \forall_{T_7} y \left(\forall_{M_{2(2)}^7} m[m(y)] \wedge \forall_{M_{2(3)}^7} m[m(y)] \right) \end{array} \right\} \supset \forall_{T_{10}} r \forall_{M_{16}^{10}} m[m(r)]$$

Зависимость параметров рабочих приспособлений от характеристик метода обработки:

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall_{T_5} e \forall_{M_{15}^5} m[m(e)] \wedge \forall_{T_9} u \forall_{M_{15}^9} m[m(u)] \wedge \forall_{T_{10}} r \forall_{M_{16}^{10}} m[m(r)] \wedge \\ \wedge \forall_{T_8} z \forall_{M_{1-4}^8} m[m(z)] \end{array} \right\} \supset \forall_{T_{11}} f \forall_{M_7^1} m[m(f)]$$

Синтез метода обработки может осуществляться по двум основным алгоритмам; по алгоритму эвристического синтеза и по алгоритму морфологического синтеза.

Алгоритм эвристического синтеза

Алгоритм эвристического синтеза метода обработки относительно выбранного прототипа, т.е. наиболее близкого по технической сущности представлен на рис. 2.13 и может быть применен в том случае, если в действующем производстве необходимо улучшить качество обрабатываемых деталей и другие технико-экономические показатели операции или техпроцесса.

Наиболее важными этапами вышеуказанного алгоритма являются поиск и анализ прототипа с определением технического или физического противоречий, а также поиск путей решения выявленных противоречий с фор-

мированием вариантов приемлемых технических решений. Анализ и выбор оптимального метода обработки осуществляется по заранее выбранному критерию оптимальности (себестоимости, производительности, стойкости инструмента и так далее) Для реализации выбранного метода обработки может быть осуществлена разработка нового или модернизация существующего оборудования, инструмента и технологической оснастки.

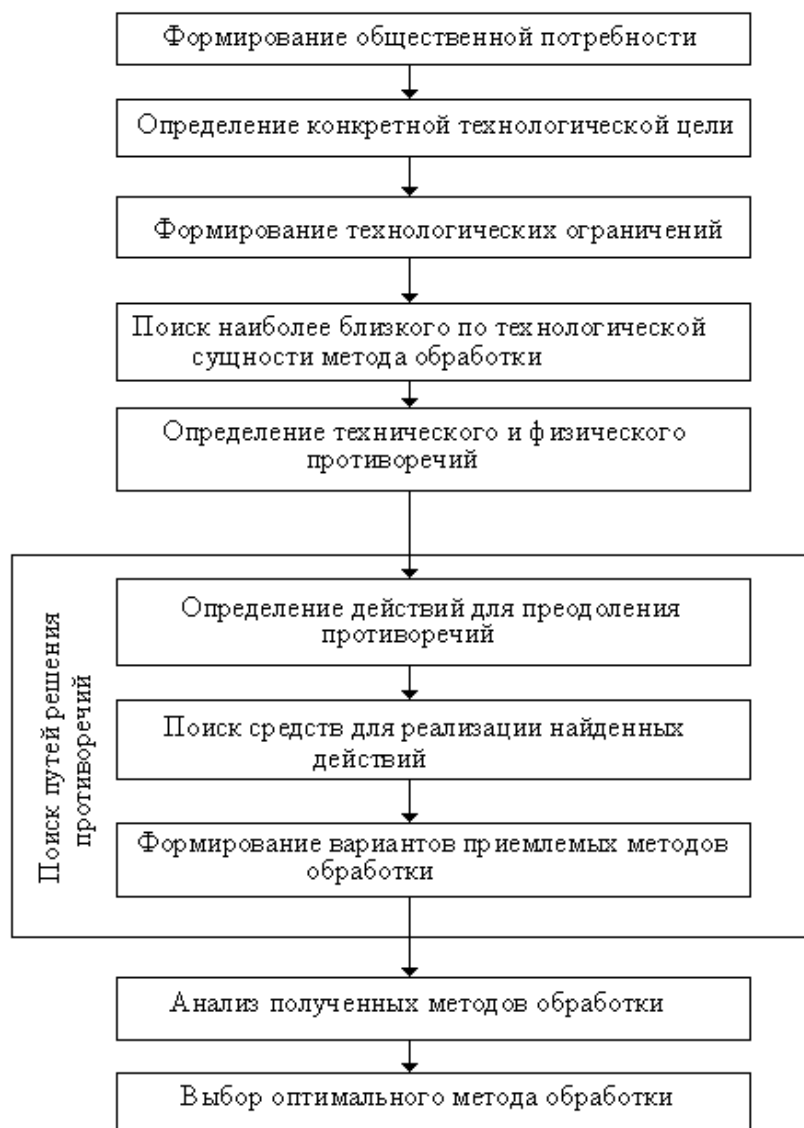


Рис. 2.13. Алгоритм эвристического синтеза метода обработки относительно выбранного прототипа.

При технологической подготовке производства деталей из новых конструкционных материалов может возникнуть необходимость проектирования метода обработки, имеющего принципиальные отличия от всех существующих.

В этом случае проектирование осуществляется по алгоритму, представленному на рис. 2.14, который включает в себя синтез технического ре-

шения по каждой характеристике метода обработки и технологическим объектам его реализации.

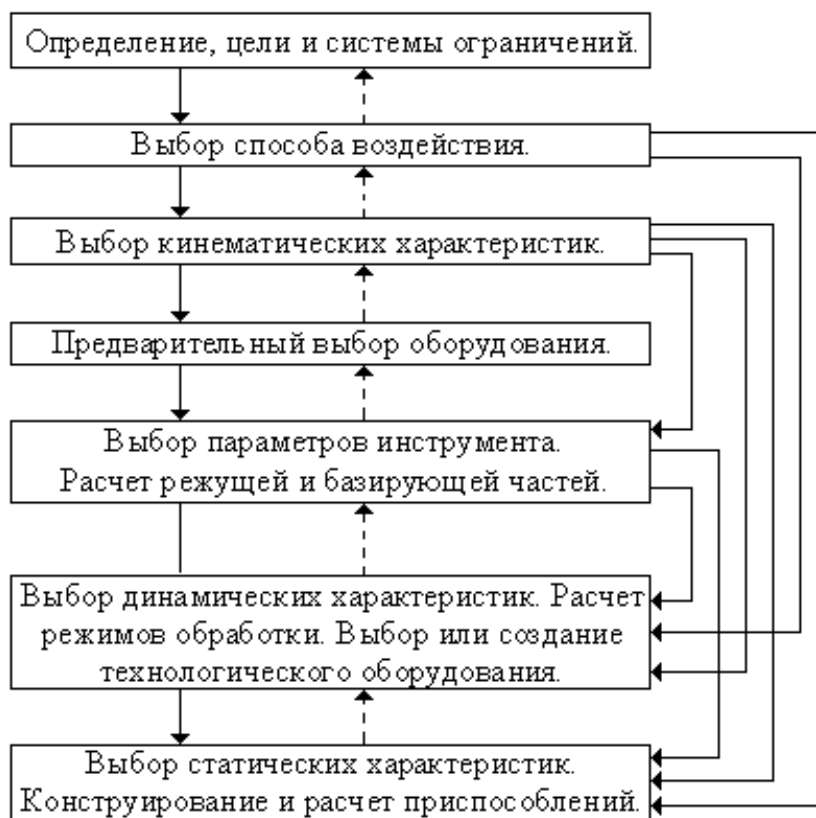


Рис. 2.14. Алгоритм синтеза технического решения по каждой характеристике метода обработки и технологическим объектам его реализации.

В каждом из блоков алгоритма после выбора тех или иных характеристик метода обработки осуществляется проектирование и расчет средств их реализации.

Процесс функционирования созданной модели при реализации цели потребителя состоит из трех этапов: измерения, оценки и принятия решения.

На этапе измерения выбираются технологические и физические параметры согласно целям и ограничениям. На этапе оценки изыскиваются пути решений, заданных целью и ограничениями с помощью баз данных, содержащих два вида информации: временную и базовую. Временную информацию составляют ГОСТы, нормали, справочники, различные нормативные документы и так далее. В базовую информацию входят установленные в настоящее время взаимосвязи между характеристиками метода обработки, тех-

нологическими параметрами и физическими явлениями в зоне обработки по научно-технической и патентной литературе

Если в результате анализа временной и базовой информации невозможно реализовать цель потребителя за счет применения типовых решений или выявляется неопределенность взаимосвязей технологических факторов, параметров качества деталей и физических явлений в зоне обработки, то после проверки цели потребителя на правомерность возникает необходимость проведения технологических и фундаментальных исследований.

Разработанные математические выражения и формальные алгоритмы позволяют приступить к созданию подробных алгоритмов и программ для структурного и параметрического синтеза методов обработки с помощью ЭВМ.

Морфологический синтез методов механической обработки и технологические критерии выбора их характеристик

Для осуществления синтеза по формальной модели, представленной на рис. 2.15 целесообразно использовать морфологический метод или метод морфологического ящика.

При этом морфологический ящик представляет собой n -мерную матрицу, в каждой ячейке которой находится типовое решение. В нашем случае это характеристика метода механической обработки, которая выбирается в зависимости от конкретных условий ее применимости. При синтезе метода обработки осуществляют полный перебор всех вариантов его возможных структур с последующим количественным (параметрическим) определением характеристик метода механической обработки. После этого, может быть осуществлен выбор наиболее эффективного метода обработки для применения его в тех или иных конкретных условиях.

Информация (типовые решения и критерии выбора) для осуществления морфологического синтеза на ЭВМ может быть представлена либо в виде

блочных алгоритмов, либо в виде таблиц соответствий, помещаемых в стандартную реляционную базу данных.

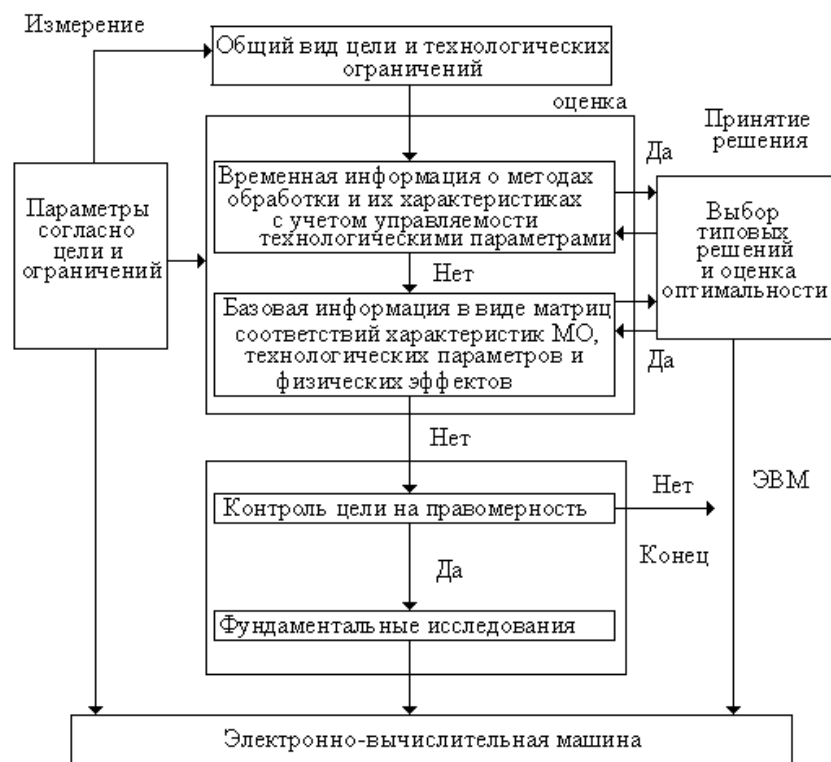


Рис. 2.15. Формальная модель реализации цели потребителя.

При применении стандартной реляционной базы данных для выбора нужного типового решения из множества возможных необходимо иметь систему управления базой данных. Однако основным этапом для реализации морфологического синтеза метода механической обработки на ЭВМ является разработка классификаторов по его характеристикам и проблемно-ориентированного языка для их формализованного описания.

Основной особенностью разработанной системы является то, что технические решения при синтезе методов обработки принимаются с помощью классификаторов, разработанных на основе фундаментальных наук: теории упругости и пластичности, теории разрушения, кинематики, аналитической геометрии, динамики и др. Например, классификация способов механического воздействия осуществлена по следующим параметрам: степень деформации, знак деформации, вид напряженно-деформированного состояния, тем-

пература деформации, скорость деформации, размеры очага деформации, фазовые превращения и физико-химические контактные характеристики.

Общая схема морфологического структурного синтеза характеристик метода обработки представлена на рис. 2.16.

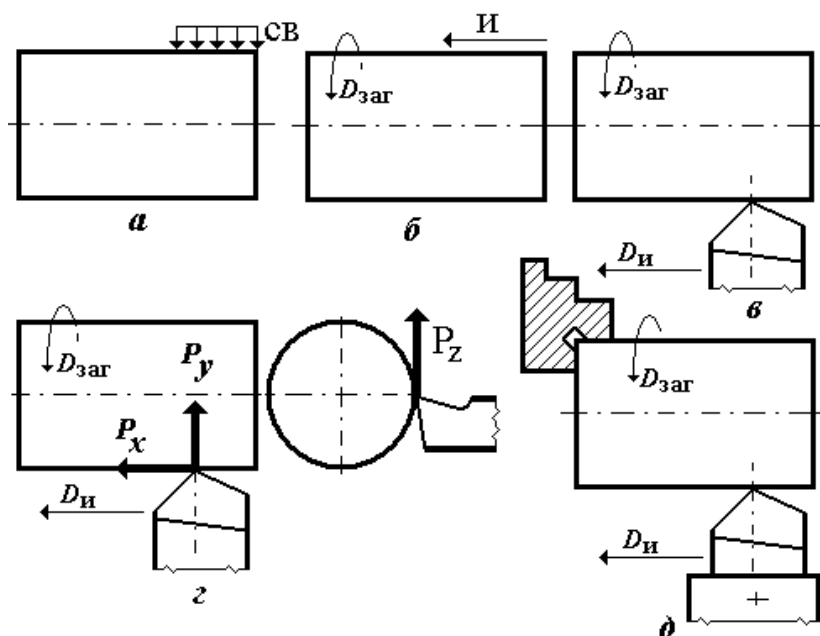


Рис. 2.16. Общая схема морфологического структурного синтеза характеристик метода обработки.

В первую очередь выбирается способ воздействия на обрабатываемый материал согласно алгоритму, представленному на рис. 2.17. Входными данными на этом этапе являются глубина дефектного слоя h , коэффициент обрабатываемости материала K_m , отношение наружного d_n к внутреннему $d_{вн}$ диаметру детали, толщина ее стенки t , вид детали (цилиндрическая, плоская, полая и так далее), шероховатость поверхности и заданные физико-механические свойства материала обработанной детали. Выходными параметрами являются характеристики способа воздействия. Так, например, на выходе алгоритма, обозначенного цифрой "1" будут получены следующие характеристики: способ воздействия - резание; степень деформации - разрушение; вид напряженно-деформированного состояния - сдвиг, знак деформации - прямая плюс обратная.

На следующем этапе формируются кинематические характеристики метода обработки, т.е. варианты кинематических движений инструмента

« $D_{и}$ » и заготовки « $D_{заг}$ » для получения требуемой формы обработанной поверхности.

Фрагмент алгоритма выбора кинематических характеристик представлен на рис. 2.18.

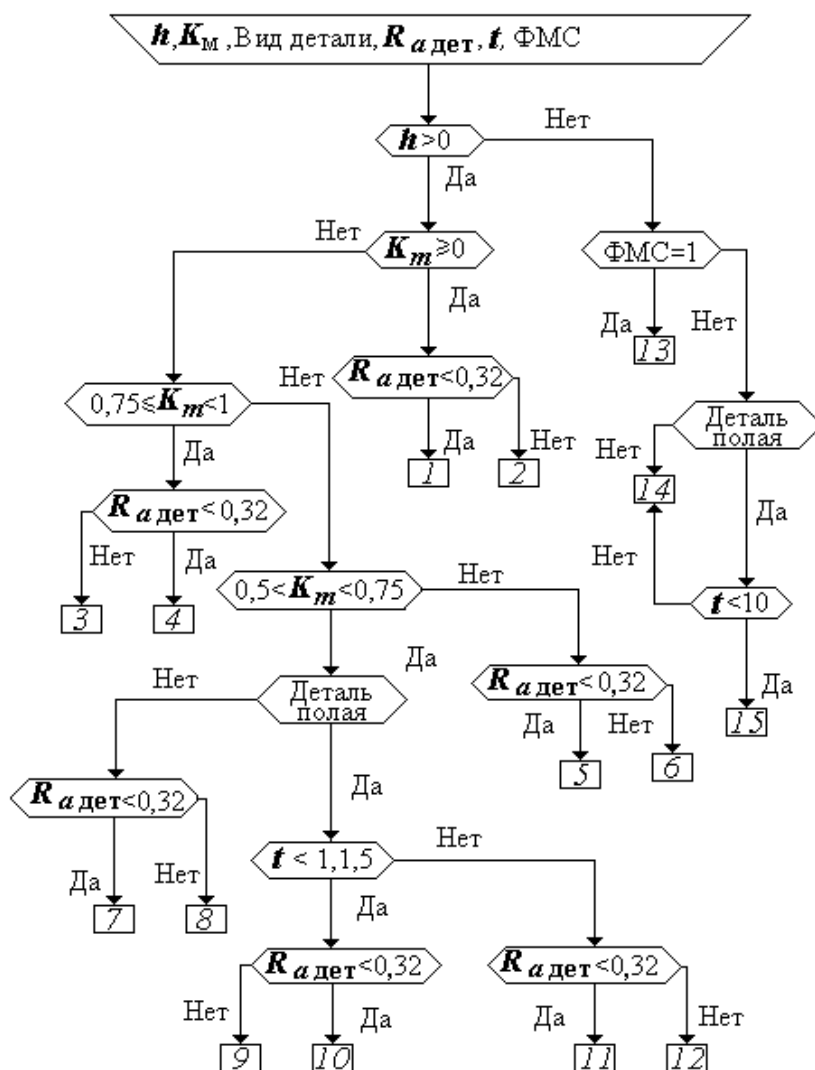


Рис. 2.17. Алгоритм выбора способа воздействия на обрабатываемый материал.

Выбор осуществляется с учетом траектории и направления движений, а также скорости и ускорения рассматриваемых перемещений. Исходными данными, влияющими на выбор вариантов движений, являются вид поверхности (цилиндрическая, наружная, внутренняя, фасонная и так далее), направление, форма и высота микронеровностей обработанной поверхности, соотношение поверхностей (открытая, закрытая и так далее), годовая про-

грамма выпуска деталей, длина обрабатываемой поверхности и знак деформации. На этом же этапе решается вопрос о том, что будет представлять

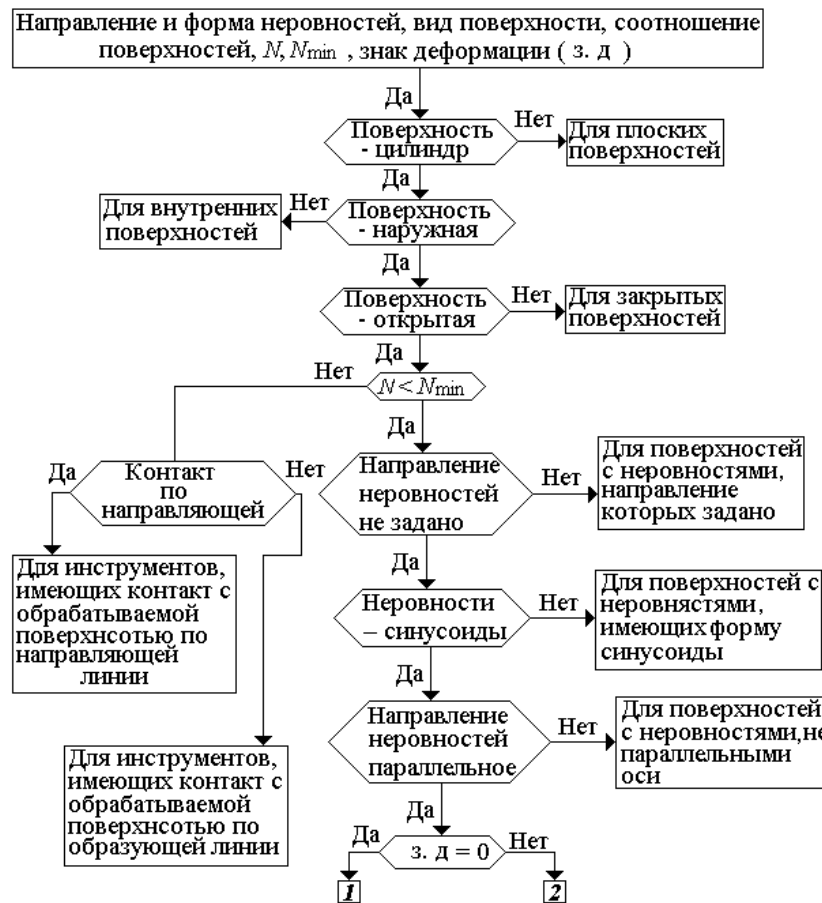


Рис. 2.18. Фрагмент алгоритма выбора кинематических характеристик.

собой зона контакта инструмента и детали: условную точку, направляющую или образующую линии обрабатываемой поверхности. На каждом выходе алгоритма заложены варианты кинематических движений детали и инструмента в цифровых символах, закодированных с помощью таблице 2.2. Например, движения, осуществляемые при токарной обработке с продольной подачей, записываются в следующем виде: $D_{заг} = 1.4.1.0$; $D_{и} = 2.1.1.0$.

Затем для определенных на предыдущих этапах синтеза способа воздействия и кинематических вариантов движений необходимо отыскать характеристики обрабатывающего инструмента: совокупность рабочих поверхностей инструмента, материал рабочей части инструмента, расположение ра-

бочих поверхностей инструмента относительно обрабатываемой поверхности и совокупность базовых поверхностей инструмента. Структурный синтез инструмента осуществляется с использованием созданных классификаторов по каждой вышеперечисленной характеристике.

Таблица 2.2.

Кодировка кинематических движений станка

Траектория Движения	Направление движения	Скорость Движения	Ускорение Движения
1. Вращательное	1. Параллельно плоскости, поверхности, оси	1. Постоянная	0. Отсутствует
2. Поступательное	2. Перпендикулярно поверхности, оси	2. Постоянно изменяющаяся	1. Постоянно положительное
3. Возвратно-поступательное (осцилляция)	3. Под углом к поверхности, оси	3. Дискретно изменяющаяся	2. Постоянно отрицательное
4. Качательное	4. Вокруг точки, оси, поверхности	4. Движение с остановками	3. Изменяющееся ускорение
5. Реверсивное движение	5. Касательное	-	-
6. Сложное	6. В противоположном направлении предыдущему движению	-	-

Кроме кинематических характеристик и характеристик способа воздействия на этом этапе входными данными являются вид поверхности, соотношение поверхностей, твердость материала детали, шероховатость поверхности, предельная стойкость инструмента и условия стружкообразования и стружкоудаления. Фрагмент алгоритма выбора характеристик инструмента представлен на рис. 2.19.

После определения способа воздействия, кинематической схемы обработки и характеристик инструмента, (в частности, расположения его рабочих поверхностей) формируется динамическая схема обработки и определяется система внешних сил, действующих на деталь и инструмент. На последнем

этапе структурного синтеза в зависимости от системы действующих на деталь и инструмент внешних сил, вида детали, совокупности базовых поверхностей инструмента и кинематической схемы обработки определяются принципиальные схемы базирования инструмента и детали, а также структурные элементы рабочих зажимных и ориентирующих приспособлений.

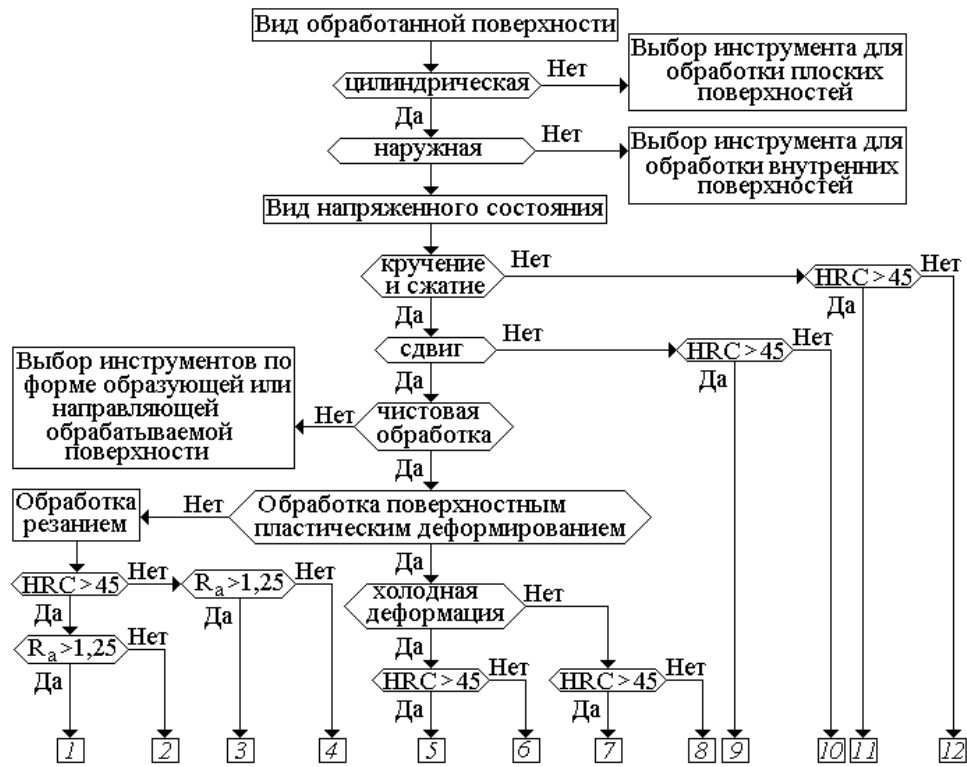


Рис. 2.19. Фрагмент алгоритма выбора характеристик инструмента.

После получения нескольких вариантов структур методов обработки осуществляется параметрический синтез их характеристик. Для этого составляются матрицы связей характеристик метода обработки с параметрами качества «ПК» обрабатываемых деталей и технико-экономическими показателями «ТЭП» технологических операций. В каждой клетке матрицы помещается математическое выражение для расчета количественных показателей характеристики метода обработки с целью получения заданного качества деталей при минимуме затрат на производство и обеспечения максимальной производительности труда. При необходимости на основании проведенных расчетов выбирается метод обработки, обеспечивающий оптимальные технико-экономические показатели.

2.5. Эвристический синтез методов механической обработки и технологические правила его реализации

При совершенствовании методов механической обработки, как уже указывалось выше, целесообразно применить алгоритм эвристического синтеза, основанный на трансформации прототипа, т.е. наиболее близкого по технической сущности методу механической обработки. В первом блоке алгоритма формируется та общественная потребность, которая должна быть удовлетворена проведением совершенствования того или иного метода обработки. При этом формируется проблема. Например, повышение эффективности обработки, которая имеет четко поставленную цель, но конкретные пути ее реализации трудноопределимы на данном этапе. Во втором блоке алгоритма на основании проблемы ставится конкретная технологическая цель, по которой должен быть получен максимальный эффект (например, повышение производительности обработки) и имеющая определенное количество путей ее решения.

При необходимости поддержания других параметров обработки на определенном уровне (обеспечение точности, стойкости инструмента и так далее) формируется система технологических ограничений, которая должна быть выполнена при решении поставленной проблемы и достижении максимального эффекта по технологической цели, имеющей приоритет.

Затем осуществляется поиск наиболее близкого по технической сущности метода обработки. Для реализации данного этапа может быть использован метод обработки, применяемый в модернизируемом производстве, либо может быть осуществлен патентный поиск. После этого, анализируя известный метод обработки, определяют то техническое или физическое противоречие, которое не позволяет достичь данным методом обработки поставленной технологической цели.

Для разрешения выявленных противоречий и достижения поставленной цели необходимо определить идею решения противоречия, т.е. то действие, с помощью которого можно трансформировать известный метод обра-

ботки или объект для его реализации (станочный модуль, приспособление и так далее). После этого, по найденному для достижения цели действию по трансформации объекта (метода обработки), осуществляют поиск типовых решений - технических средств. Обычно таких решений бывает несколько. С помощью найденных действий и средств известный метод обработки или объект для его реализации трансформируется определенным образом, и формируются варианты приемлемых технических решений. Полученные таким образом, усовершенствованные методы обработки сравниваются друг с другом по эффективности выполнения поставленной цели (повышение производительности обработки) и при необходимости по определенной системе технологических ограничений (точность обработки, стойкость инструмента и так далее) На основании анализа полученных методов обработки выбирается один, оптимальный по поставленной цели (производительности).

Контрольные вопросы

1. Что такое «система», какую она имеет структуру?
2. Что такое целостность системы?
3. Что такое членимость системы?
4. Что такое интегративные качества системы?

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Основные понятия и определения

Под технической подготовкой производства понимается весь комплекс подготовительных работ, необходимый для освоения производства нового изделия на конкретном предприятии. Кроме того, техническая подготовка ведется в процессе, как конструктивного совершенствования освоенных изделий, так и совершенствования технологии их изготовления. Техническая подготовка производства включает в себя в качестве основных составляющих конструкторскую подготовку производства /КПП/ и технологическую подготовку производства /ТПП/, а также организационную часть подготовки нового производства.

В соответствии с ГОСТ Р 50995.3.1— 96, *технологическая подготовка производства* (ТПП) - вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающей технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий.

Целью ТПП является оптимальное по срокам и ресурсам обеспечение технологической готовности производства к изготовлению изделий в соответствии с требованиями заказчика или рынка данного класса изделий.

ТПП проводится при проектировании изделий, изготовлении опытных образцов и единичных изделий, постановке на производство серийных изделий и направлена на:

- рациональное по срокам и ресурсам совмещение стадий разработки изделий и подготовки их производства;
- формирование определяющих (принципиальных) технологических и организационных решений по производству изделий в процессе их проектирования;

- выявление и решение принципиальных проблем технологии, применения материалов и организации производства до начала изготовления изделий для приемочных испытаний;
- своевременное обеспечение производства качественными технологическими процессами, материалами, комплектующими изделиями, средствами технологического оснащения на основе использования, при их создании или приобретении, информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений;
- своевременное обеспечение исходной технологической информацией материально-технических и организационно-экономических процессов подготовки производства, в том числе реконструкции, расширения или нового строительства;
- создание условий для организационной, информационной и технической совместимости работ ТПП, проводимых на стадиях разработки и постановки изделий на производство различными исполнителями.

3.2. Сетевая модель ТПП

Последовательность работ по ТПП можно представить в виде графа (рис. 3.1):

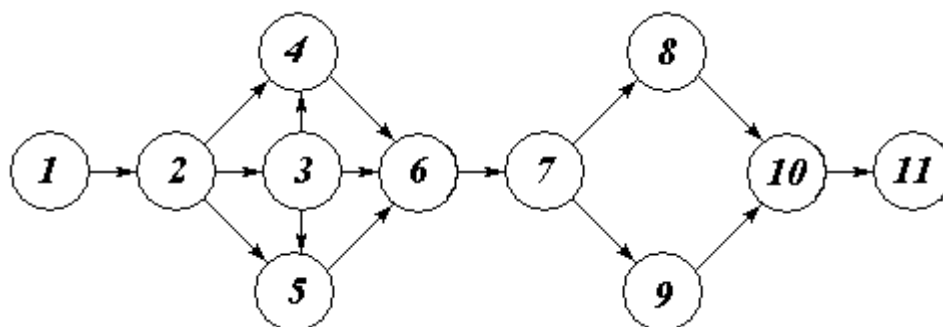


Рис. 3.1 Граф ТПП:

1. получение конструкторской и технико-экономической документации;
2. отработка конструкции на технологичность (технологичной является конструкция или деталь, которая не только полностью удовлетворяет эксплуатационным требованиям, но и обеспечивает применение высокопроиз-

водительных методов изготовления изделий рациональное использование оборудования и материалов, преемственность и повторяемость деталей и сборочных единиц);

3. разработка технологического маршрута изготовления изделия;
4. проектирование или выбор оборудования;
5. проектирование оснастки;
6. изготовление оборудования и оснастки;
7. корректировка технологического маршрута и разработка технологического процесса изготовления изделия;
8. изготовление средств механизации и автоматизации вспомогательных операций и переходов;
9. разработка окончательных нормативов;
10. внедрение принятых решений;
11. выпуск технико-экономической документации и изделия.

ТПП – длительная, сложная и трудоемкая работа. Поэтому ТПП должна основываться на унификации и стандартизации технологических процессов изготовления изделий. Это означает первоочередное применение:

- типовых или групповых технологических процессов;
- специализированной оснастки вместо специальной или уникальной;
- автоматизация инженерного труда на основе применения вычислительной техники.

Для уменьшения времени и затрат на ТПП за счет облегчения системы поиска деталей для унифицированных или групповых технологических процессов научно-исследовательским институтом классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ) Госстандарта России разработан и постановлением Госстандарта России от 23.12.2000 г. № 409-ст утвержден Общероссийский технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (далее - Технологический классификатор).

Технологический классификатор охватывает детали всех отраслей промышленности основного и вспомогательного производств. Он разработан в качестве информационной части ГОСТ 2.201-80 «ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов» единой классификационной обозначенной системы обозначения изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения.

Деление деталей на классы позволяет:

- создать единый информационный язык для автоматизированных систем управления;
- облегчить тематический поиск деталей и их конструкторских документов;
- предотвратить дублирование в работе конструкторов и технологов (разработка объектов аналогичных уже разработанным);
- определить объекты и направления унификации и стандартизации;
- обеспечить возможности использования различными предприятиями и организациями конструкторской документации в проектировании, производстве, эксплуатации, ремонте, разработанной другими организациями, без ее переоформления;
- широко внедрить средств вычислительной техники в сферы проектирования и управления.

Метод построения классов деталей основан на дедуктивном делении классифицируемого множества на подмножества (от общего к частному) по подчиненным (соподчиненным) признакам - иерархический метод классификации. Этим достигается конкретизация признаков деталей на каждой последующей ступени классификационного деления, что обеспечивает создание четкого распознавательного образа для тематического поиска детали.

Классы деталей содержат следующую номенклатуру:

- класс 71 - детали - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.;

- класс 72 - детали - тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, проволочки, разрезные сектора, сегменты; изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические; корпусные, опорные; емкостные, подшипников;
- класс 73 - детали - не тела вращения корпусные, опорные, емкостные;
- класс 74 - детали - не тела вращения: плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы;
- класс 75 - детали - тела вращения и (или) не тела вращения, кулачковые, карданные, с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные, пояснительные, маркировочные, защитные, посуды, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные;
- класс 76 - детали технологической оснастки, инструмента.

В классах 71, 72, 73, 74, 75 в качестве основания деления использован в основном признак "геометрическая форма", в класс 76 расклассифицированы детали, выполняющие самостоятельные функции (однодетальные изделия), а также специфические детали технологической оснастки и инструмента, являющиеся составными частями изделий (например, пуансоны, матрицы и др.), не выполняющие самостоятельных функций.

3.3. Нормативные документы единой системы технологической подготовки производства

Опыт, накопленный предприятиями России по ТПП, позволил создать единую систему ТПП (ЕСТПП) - применение типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки, агрегатного переналаживаемого оборудования, средств автоматизации инженерно-технических работ.

ЕС ТПП регламентируется следующими ГОСТами:

- ГОСТ 14001-73 – Общие положения ТПП
- ГОСТ 14004-83 – Термины и определения ТПП;

- ГОСТ 14201-83 – Общие правила обеспечения технологичности
- ГОСТ 14205-83 – Технологичность, термины и определения
- ГОСТ 14206-73 – Технологический контроль конструкторской документации
- ГОСТ 14301-83 – Общие правила разработки технологических процессов
- ГОСТ 14303-73 – Правила разработки и применения типовых технологических процессов
- ГОСТ 14312-74 – Основные формы организации технологического процесса
- ГОСТ 14323-84, ГОСТ 14324-84 - Роботизация технологических процессов
- ГОСТ 14401-73 – Правила организации работ по автоматизации инженерно-технических задач
- ГОСТ 14402-83, ГОСТ 14407-75, ГОСТ 14408-83, ГОСТ 14409-75, ГОСТ 14411-77, ГОСТ 14412-79, ГОСТ 14413-80, ГОСТ 14414-79, ГОСТ 14415-81, ГОСТ 14416-83, ГОСТ 14418-84, ГОСТ 14419-84 - Автоматизированные системы ТПП.

3.4. Технологические процессы изготовления изделия

В современном производстве можно различить три вида технологических процессов: единичный, типовой, групповой (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Применяемость технологических процессов в различных типах производства.

Каждый ТП разрабатывается при подготовке производства изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Единый технологический процесс предназначен для изготовления одного изделия.

Групповой технологический процесс предназначен для совместного изготовления группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах. Групповой технологический процесс разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Типизация технологических процессов основана на разделении деталей и изделий на отдельные группы, для которых возможна разработка общих технологических процессов или операций.

Эффективность применения того или иного технологического процесса в конкретных производственных условиях определяется возможностью специализации рабочего места т.е. возможностью закрепления за ним на длительный срок одной, постоянно производимой, операции.

Единые технологические процессы

Для единичного технологического процесса условие специализации рабочего места имеет вид: $Q = FK = t_{шт} N$, где: Q - суммарная трудоемкость обработки типоразмеров в норма-часах; $t_{шт}$ - штучное время необходимое для изготовления одной детали в норма-часах; N - количество деталей, подлежащих обработке за данный период времени (год, квартал, месяц, декада, сутки); фонд рабочего времени в часах за данный период времени (при двухсменной работе в течение года фонд рабочего времени составит 4015 часов); K - коэффициент загрузки рабочего места (не ниже 0,66).

Анализ формулы показывает, что данное условие удовлетворяется только при больших значениях K , что соответствует условиям массового производства. При этом за каждым рабочим местом закреплена одна операция детали одного наименования. Следовательно, единичные технологические процессы наиболее эффективны в условиях массового или крупносерийного производства.

В серийном и единичном производстве эти процессы также могут применяться при условии, что специализация рабочих мест не может быть достигнута с помощью унифицированных технологических процессов (оригинальные, сложные конструкции; небольшая номенклатура деталей, которые невозможно сгруппировать).

Типовые технологические процессы

Для типового технологического процесса условие специализации рабочих мест имеет вид: $Q = FK = \sum_{i=1}^n t_{штi} N_i$, где: $t_{штi}$ - штучное время операции обработки i -го типоразмера в нормо-часах; N_i - количество деталей i -го типоразмера подлежащих обработке в заданный период времени; n - количество типоразмеров данного типа; Q - суммарная трудоемкость обработки типоразмеров в нормо-часах.

Суммарная трудоемкость определяется суммой произведений $t_{шт} N$ по всем обрабатываемым типоразмерам. Если количество типоразмеров невелико, значения Q соответствуют крупносерийному производству. Если величина n достаточно велика, то значения Q соответствуют среднесерийному производству.

Типовые технологические процессы характерны для механообрабатывающих цехов. Но, в настоящее время они получили широкое распространение при нанесении покрытий и для термической обработки.

В этом случае, технологический процесс, какого либо вида термической обработки или нанесения покрытия, разработанный как типовая технология используется как рабочий инструктивный документ.

Групповые технологические процессы

В условиях единичного, мелкосерийного (в большинстве случаев и среднесерийного) производства рабочие места не поддаются специализации. В этих условиях выгодно переходить на групповые технологии.

Создание групповых технологий можно вести по двум вариантам: группирование по отдельным операциям (детале-операциям) или группирование по всему технологическому процессу.

Первый вариант используется при обработке несложных деталей, процесс обработки которых состоит из одной операции, создаются группы детали-операций, обрабатываемых на одном специализированном рабочем месте (например, на револьверных станках, прутковых станках - автоматах).

При более сложной обработке (две - три технологические операции) возможно создание двух – трех специализированных рабочих мест или некоторые операции выполнять по единичным технологическим процессам.

Второй вариант используется при обработке более сложных деталей.

Основным признаком группирования в дано случае является единая последовательность обработки входящих в группу деталей.

Детали различных типов, как правило, имеют разное сочетание элементарных поверхностей, и как следствие, различное сочетание технологических операций. Если удастся создать объединить все элементарные поверхности всех деталей входящих в группу в одну деталь (комплексная деталь), то возможно создание комплексного (группового) технологического процесса обработки с единой однонаправленной (прямоточной) последовательностью обработки. При обработке конкретной детали из группы, часть операций не выполняется.

В качестве примера рассмотрим вариант обработки группы из трех валов (рис. 3.3 *а*).

Валы, объединяемые в группу (рис. 3.3, *а, б, в*), имеют небольшие различия (канавка *б*, отверстие *10* ...). Если поверхности *3* и *4* имеют одинаковые характеристики (размер, допуск, микро и макрогеометрия), то их можно объединить в поверхность *8*. Комплексная деталь (рис. 3.3, *г*) составлена из элементарных поверхностей валов входящих в группу.

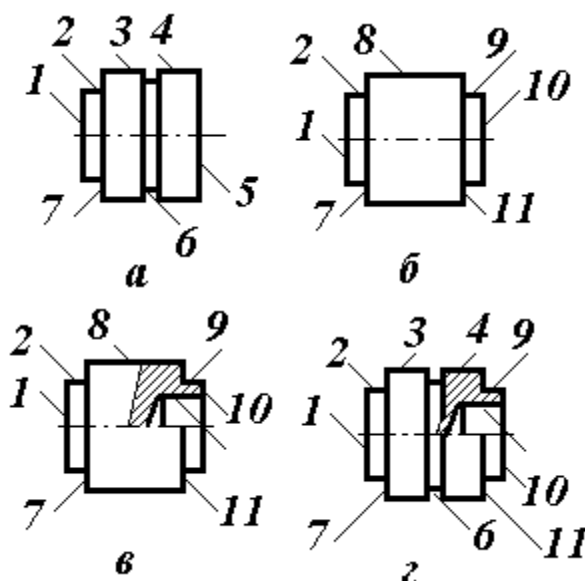


Рис. 3.3. Создание комплексной детали для группы из трех валов:
а, б, в – группа валов; *г* – комплексная деталь; *1 ... 11* – обрабатываемые элементарные поверхности.

При изготовлении любого вала из группы обрабатывается поверхность *8*. При изготовлении первого вала (рис. 3.3, *а*) протачивается канавка *б*, торец *5*, не обрабатывается отверстие *б* и шейка *9*. При обработке второго вала (рис. 3.3, *б*) не протачивается канавка *б*, не растачивается отверстие *б*. При изготовлении третьего вала (рис. 3.3, *в*) не протачивается только торец *5*.

Для группового технологического процесса условие специализации рабочих мест имеет вид:

$$Q = FK = \sum_{i=1}^A t_{\varnothing \alpha} N_i + \sum_{i=1}^B t_{\varnothing \alpha} N_i + \dots + \sum_{i=1}^G t_{\varnothing \alpha} N_i + \sum_{j=1}^F t_{\varnothing \alpha} N_j,$$

где: A, B, \dots, G – количество типоразмеров, входящих в каждый из типов, комплектуемых в группу; F – количество оригинальных (не типовых) деталей, включаемых в группу.

Применение групповой технологии позволяет специализировать рабочие места в условиях единичного и мелкосерийного производства.

3.5. Формы специализации

Специализацию как самих предприятий на базе концентрации производства, так и их цехов и участков можно проводить по трем направлениям: технологическом, предметном или поддетальном.

Технологическая форма внутризаводской специализации организуется в одном цехе или на одном участке по общности технологических операций. Например, в условиях единичного и мелкосерийного производства рационально выделять литейный цех, кузнечно-штамповочный цех, цех гальванических покрытий, цех токарной обработки (имеет только токарные станки), цех обработки зубчатых венцов (только зуборезные станки) и т.д.

В условиях массового и крупносерийного производства рационально выделять заготовительные цеха (литейный цех, цех холодной штамповки и т.д.). Выделение механообрабатывающих однородных технологических операций в отдельные цеха приведет к переброске партий обрабатываемых деталей из цеха в цех (с участка на участок), что резко усложнит организацию производства, усложнится маршрут обработки, увеличится число транспортных операций, усложнится весь цикл обработки.

Предметная форма внутризаводской специализации организуется при механической обработке деталей за счет сосредоточения изготовления в одном цехе (на одном участке) разных деталей, предназначенных для сборки в одно изделие (сборочную единицу). Иногда комплект разнотипных деталей рационально изготавливать для нескольких однотипных изделий (нескольких типоразмеров).

Эта форма специализации выгодна при массовом и крупносерийном типах производства, когда за каждым рабочим местом закреплена одна операция. При этом сборку изделия (сборочной единицы) удобно вести в том же цехе (механосборочный цех).

При серийном и единичном производстве такая специализация нерациональна. Ее применение снижает возможность использования унифицированной технологии, так как одни и те же детали, имеющие большую конструктивно-технологическую общность, будут обрабатываться на разных участках или в разных цехах.

Предметная специализация предприятий целесообразна при массовом выпуске однотипных изделий (шинный завод, подшипниковый завод ...).

Подетальная форма внутризаводской специализации организуется в механических цехах при сосредоточении изготовления в одном цехе (участке) однородных деталей, имеющих конструктивно-технологические или только технологические признаки общности, независимо от принадлежности этих деталей к тем или иным изделиям.

Эта форма специализации цехов (участков) в условиях единичного и серийного производства позволяет внедрять групповые и типовые технологические процессы при обработке трудоемких деталей. Применение этой формы специализации позволяет также переходить к принципам поточного производства при низкой серийности изготовления изделий, а, следовательно, повысить уровень механизации и автоматизации производства.

Основные признаки поточной формы организации производства:

- высокая специализация рабочих мест;
- расстановка оборудования по потоку (в последовательности выполнения операций) – поточные линии;
- ритмичность производства; рабочие места жестко связаны между собой конвейером (возможен и свободный ритм – выполнение дневных, декадных или месячных заданий).

3.6. Поточное производство

К числу основных признаков, характеризующих поточное производство, относятся:

Принцип прямого потока (прямоточность) предусматривающий размещение оборудования и рабочих мест в порядке следования операций технологического процесса. Прямоточность обеспечивает кратчайший путь движения изделия в производстве.

Принцип специализации - создание специализированных поточных линий, предназначенных для обработки одного закрепленного за данной линией изделия или нескольких технологически родственных изделий.

Принцип непрерывности - непрерывное (без межоперационных заделов) движение изделий по операциям при непрерывной работе рабочих и оборудования (непрерывно – поточные линии). Непрерывность – условие равной производительности на всех операциях линии. Если такое равенство не соблюдается, то линия называется прерывно-поточной или прямоточной.

Принцип параллельности - параллельное движение изделий, при котором они передаются по операциям поштучно либо небольшими транспортными партиями.

Принцип ритмичности - ритмичный выпуск продукции на линии и ритмичное повторение всех операций на каждом ее рабочем месте. На непрерывно-поточных линиях с поштучной передачей выпуск (запуск) каждого изделия осуществляется через один и тот же интервал времени, называемый тактом линии. Такт линии (τ) равен: $\tau = \frac{F}{N}$, где: F – фонд времени работы линии за рассматриваемый период времени (год) в минутах; N – программа выпуска линии за рассматриваемый период.

Поточное производство характеризуется:

- расчленение процесса изготовления продукции на ряд составных частей, на более или менее простые операции и закрепление их за отдельными рабочими местами (станками) или за группой одинаковых рабочих мест;

- повторение одних и тех же процессов на каждом рабочем месте;
- оснащение рабочих мест специальным оборудованием, инструментом, приспособлениями, обеспечивающими высокопроизводительное выполнение закрепленных операций;
- транспортная направленность, регламентирующая все производство во времени и в пространстве;
- высокая степень механизации и автоматизации процессов производства;
- непрерывно повторяющееся единообразие всех производственных факторов качества и форм материалов, инструментов и приспособлений и т. п.;
- равномерность выпуска продукции на основе единого расчетного такта поточной линии;
- одновременное выполнение всех составных частей процесса.

Современные поточные линии можно классифицировать по нескольким признакам.

По степени механизации и автоматизации - не механизированные, механизированные, автоматические линии.

По характеру движения обрабатываемых изделий (непрерывные и прерывные). В непрерывных линиях отсутствуют межоперационные заделы, т.е. все операции синхронизированы (одинаковый такт выпуска).

По числу обрабатываемых на линии деталей - однономенклатурные или многономенклатурные линии. Однономенклатурные поточные линии рассчитаны на обработку детали (сборку изделия) одного наименования и одного типоразмера. Многономенклатурные поточные линии организуются для обработки на них деталей (сборки изделий) нескольких наименований или нескольких типоразмеров.

3.7. Автоматизация технологических процессов

Основные понятия и определения

При внимательном рассмотрении структуры штучного времени:

$$(T_{\text{об}} = T_{\text{г}} + T_{\text{агн}} + T_{\text{о.г}} + T_{\text{г.о.аг}} + T_{\text{г.а.д}},$$

где: T_0 – основное время – время непосредственной обработки заготовки; $T_{\text{всп}}$ – вспомогательное время – время дополнительных ходов инструмента, транспортировки заготовки и т.д.; $T_{\text{т.о}}$ – время технического обслуживания рабочего места; $T_{\text{орг.о}}$ – время организационного обслуживания рабочего места; $T_{\text{пер}}$ – время перерывов) видны возможности интенсификации производства за счет уменьшения T_0 (механизация производства) или $T_{\text{всп}}$ (автоматизация производства).

Механизация – замена ручного труда машинным непосредственно при обработке заготовки.

Автоматизация производства – применение технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в процессах преобразования заготовки в деталь (готовое изделие). Цель автоматизации – повышение производительности и эффективности труда, улучшение качества продукции, устранение человека от работы в условиях опасных для здоровья.

Не каждый технологический процесс можно использовать в качестве исходного для создания автоматизированного оборудования. Поэтому из всего многообразия возможных вариантов обработки конкретного изделия необходимо выбрать оптимальный, обеспечивающий заданное качество и производительность при минимальной себестоимости обработки.

Станок - автомат – станок, у которого все основные и вспомогательные движения (в том числе и возобновление цикла работы) осуществляются без участия оператора.

Станок - полуавтомат - рабочая машина, которая работает по автоматическому циклу, но для повторения цикла обработки (чаще всего: для снятия детали и установки заготовки) требуется вмешательство оператора.

Станок – автомат может работать по следующим принципам обработки:

- одинарный – в обработке заготовки участвует только один режущий инструмент;
- параллельный – в обработке заготовки одновременно участвуют несколько инструментов, работающих одновременно;
- последовательный - в обработке заготовки одновременно участвуют несколько инструментов, вступающих в работу последовательно, один за другим;
- параллельно - последовательный – в обработке участвуют несколько групп инструментов, инструменты одной группы работают параллельно, а группы вступают в работу последовательно;
- непрерывный – в обработке заготовки (группы заготовок) участвует группа инструментов при непрерывной подаче заготовок.

Объединение станков – автоматов в единую т систему, расставленную по ходу выполнения технологического процесса преобразования заготовки в готовую деталь (механическая обработка заготовки, межоперационное транспортирование и накопление заготовок, загрузка – разгрузка станков, автоматический контроль хода выполнения операций ...) позволяет получить автоматическую линию.

Автоматические линии и гибкие производственные системы

Автоматическая линия – система станков, расставленных по ходу выполнения технологического процесса, предназначенная для преобразования заготовки в готовую деталь за счет выполнения технологических операций механической обработки (сборки), межоперационного транспортирования и накопления заготовок, загрузки – разгрузки станков, автоматического контроля и т.п.

Все многообразие деталей машин и технологических процессов их обработки привело к большому числу конструктивных решений и компоновок автоматических линий. Классификация линий по конструктивно-компоновочным признакам приведена на схеме (рис. 3.4).

В синхронных линиях заготовки во время обработки передаются непосредственно от одного станка к другому через одинаковые промежутки времени, равные циклу обработки.

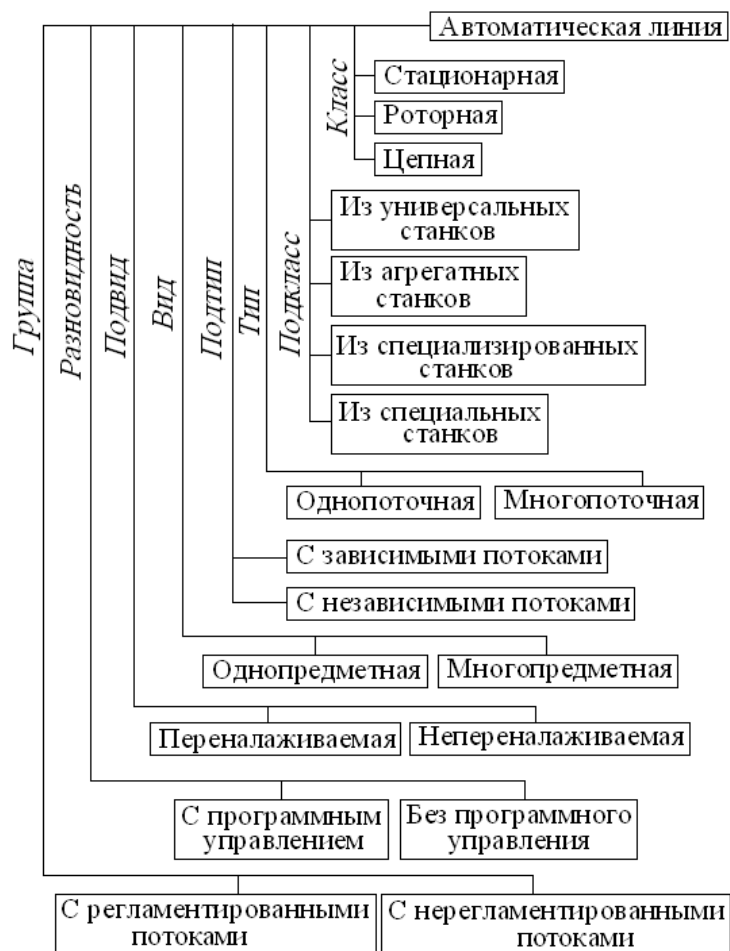


Рис. 3.4. Классификация вариантов автоматических линий по конструктивно-компоновочным признакам.

В несинхронных линиях время обработки заготовок на позициях жестко не связано общим циклом обработки. Заготовки могут накапливаться перед рабочими позициями, что позволяет последующим позициям работать при кратковременных остановках предыдущих. Между станками или группами станков установлены бункеры – накопители или магазины для хранения деталей. Благодаря этому каждая позиция линии может работать независимо.

У стационарных линий заготовки в процессе обработки не изменяют своего положения относительно станка во время обработки, и только после обработки заготовки перемещаются между позициями.

У роторных и цепных линий заготовки непрерывно перемещаются. Каждый станок – ротор вращается непрерывно вокруг своей оси с заданной скоростью. При этом обработка заготовок совмещается с их транспортировкой.

Современное машиностроение характеризуется быстрой сменяемостью объектов производства. В этих условиях актуально построение гибкого автоматизированного производства (ГАП) как в крупносерийном, так и мелкосерийном производстве.

Гибкие автоматизированные производства - автоматизированные технологические системы, включающие станки с числовым программным управлением (ЧПУ), обрабатывающие центры (рис. 3.5), автоматические склады, объединенные с мини-ЭВМ, снабженные определенным набором управляющих программ и обеспечивающие автоматизацию многономенклатурного машиностроительного производства.

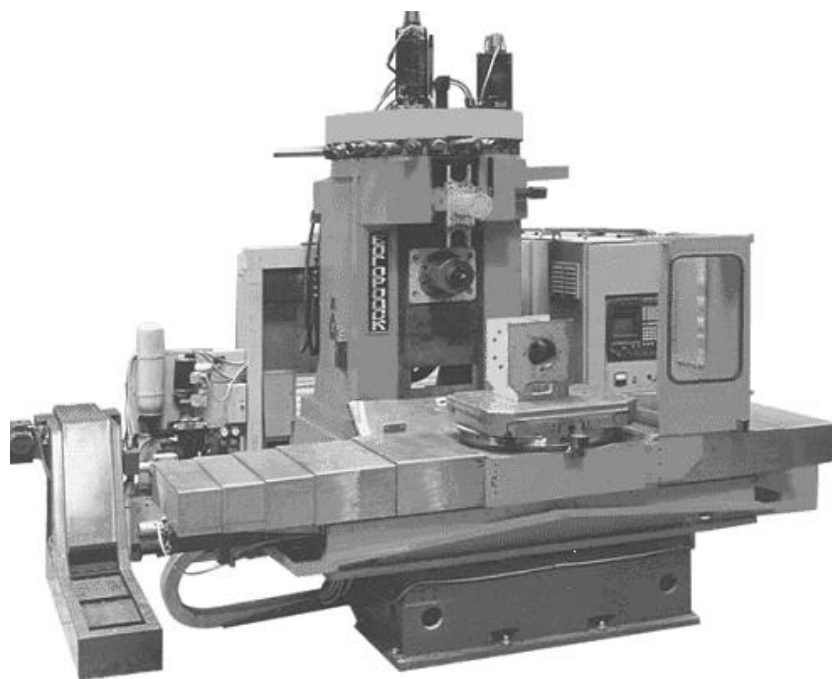


Рис. 3.5. Обрабатывающий центр мод. IP800PM8Ф4 для комплексной обработки корпусных деталей (сверление, зенкование, развертывание, растачивание отверстий по координатам, обработка деталей с поворотом стола, фрезерование плоскостей и пазов сложной конфигурации).

Применение обрабатывающих центров позволяет последовательно выполнять большое число разных этапов обработки различными инструментами на одном рабочем месте без снятия заготовки со станка. В магазинах современных обрабатывающих центров можно разместить до 300 различных инструментов. Поэтому появилась возможность обрабатывать с четырех – пяти сторон сложные корпусные детали, т.е. на одном рабочем месте превратить заготовку в готовую деталь.

Для мелко и среднесерийного производства целесообразно создавать гибкие автоматизированные участки (ГАУ), работающие по схеме «станок – склад». Для крупносерийного и массового производства целесообразно создавать гибкие автоматические линии (ГАЛ), в которых заложены условия высокоэффективного использования оборудования на основе поточного метода изготовления продукции по схеме «станок – станок».

Характерным примером ГАЛ может гибкая служить автоматическая линия по изготовлению корпусных деталей (блоков цилиндров автомобильных двигателей) фирмы "Toyota" (рис. 3.6).

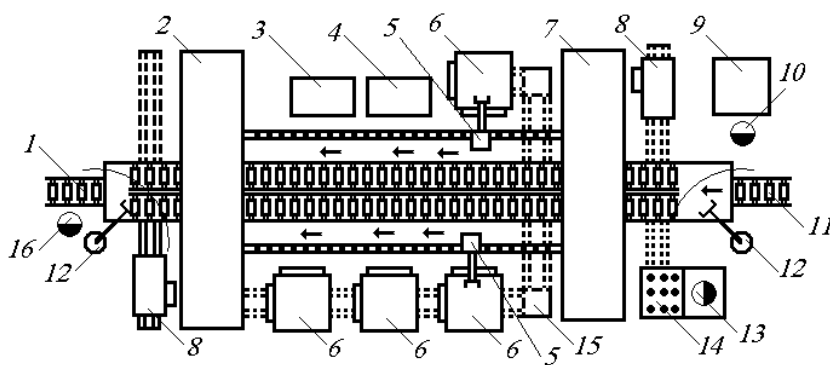


Рис. 3.6. Гибкая автоматическая линия обработки корпусных деталей:

1 – транспортер готовой продукции; 2 – склад

готовой продукции; 3 – трех координатная измерительная машина; 4 – моечная машина; 5, 12 – робот - манипулятор; 6 - обрабатывающий центр (с инструментальным магазином, для 40 инструментов); 7 - склад заготовок; 8 – робот – штабелер; 9 – пульт управления с управляющей вычислительной машиной (УВМ); 10, 13, 16 – оператор; 11 – транспортер заготовок; 14 – рабочее место подготовки режущих инструментов; 15 – система удаления отходов.

Гибкая автоматическая линия предназначена для обработки 80 наименований автомобильных блоков цилиндров, изготавливаемых по заказу в любой последовательности.

Заготовки с обработанными базовыми (технологическими) поверхностями поступают по транспортеру на шариковый стол, где с помощью ручного манипулятора устанавливаются на специальные приспособления - спутники (паллеты). На каждую заготовку приклеивается магнитный информационный носитель, в котором содержится информация о заготовке (номер, материал и т.д.).

В состав автоматической линии входят: 4 обрабатывающих центра 6 с инструментальными барабанами емкостью 40 инструментов; трех координатная измерительная машина 3; автоматическая моечная машина 4; автоматическая транспортно-складская система, состоящая из двух вертикальных ячеистых автоматизированных складов 2 и 7 с двумя роботами-штабелерами 8 и автоматизированного двухдорожечного роликового транспортера с автономным приводом на каждый ролик; автоматизированного пульта управления линией с УВМ 9; рабочее место подготовки режущих инструментов 14; автоматизированной системы удаления отходов 15 двух транспортеров: 1 – готовых деталей и 11 – заготовок.

По команде оператора робот - штабелер устанавливает приспособление-спутник с закрепленной на нем заготовкой в любую свободную ячейку склада заготовок. Считывающее устройство ячейки передает информацию на УВМ участка.

При освобождении от работы любого обрабатывающего центра УВМ линии, в соответствии с оперативным планом производства, переданным с УВМ участка изготовления блоков цилиндров, дает команду роботу - штабелеру склада заготовок на подачу в обработку очередной заготовки определенного типоразмера.

Робот - штабелер извлекает спутник с необходимой заготовкой из ячейки склада и устанавливает на одну из дорожек автоматического транс-

портера, который получает команду от УВМ о доставке приспособления - спутника с заготовкой к свободному обрабатывающему центру. Остановка заготовки против заданного обрабатывающего центра достигается вращением роликов транспортера с автономными приводами от склада до заданного места, а остальные ролики остаются неподвижными.

Одновременно с командой роботу - штабелеру на подачу заготовки УВМ переписывает программу обработки указанной заготовки на программно-носитель обрабатывающего центра, который за время движения заготовки по транспортной системе меняет инструмент для выполнения первого перехода операции и устанавливает необходимые режимы обработки, то есть полностью подготовлен для работы с новой (совершенно другой по параметрам обработки) заготовки.

Робот-манипулятор, также по команде УВМ, перемещается по рельсовой дорожке к свободному обрабатывающему центру и производит перегрузку с транспортера на рабочий стол обрабатывающего центра, где автоматически (с помощью зажимов) приспособление - спутник с заготовкой закрепляется и производится полная обработка блока цилиндров.

По окончании обработки приспособление - спутник с готовой деталью перегружается на транспортер, а с транспортера - в моечную машину. После мойки и сушки таким же образом обработанная деталь поступает на контрольную машину, где контролируется по программе, переданной с УВМ.

В случае соответствия параметров с заданными, готовая деталь поступает по транспортной системе в склад готовых изделий.

Перед помещением в склад готовых изделий оператор снимает готовую деталь с приспособления – спутника, который возвращается на склад заготовок.

В том случае если контролируемые параметры изделия не соответствуют заданным, контрольная машина вызывает оператора, который принимает решение о подналадке системы. При необходимости по команде оператора контрольная машина распечатывает результаты контроля.

С целью экономии рабочего времени, контроль состояния инструментов в инструментальном барабане, и его смена, производится вне обрабатывающего центра на специальном рабочем месте. Для этого инструментальный барабан снимается мостовым краном со специальным поворотным устройством и тут же устанавливается новый барабан.

Основной частью любой ГАЛ и ГАУ является гибкий производственный модуль (ГПМ) – единица технологического оборудования для изготовления изделий произвольной номенклатуры. Примером ГПМ может служить производственный модуль мод. СА630М01 ОАО «Стерлитамакский станко-завод» (рис.3.7).



Рис. 3.7. Общий вид гибкого производственного модуля мод. СА630М01

В состав гибкого производственного модуля входят:

- токарный многофункциональный станок с ЧПУ мод. САТ630С10Ф3 производства ОАО «САСТА» (рис. 3.8);
- портальный манипулятор производства фирмы «*FANUC Robotics Deutschland GmbH*», *Neuhausen*, Германия, с роботом *Fanuc M-710iC/70T*, Япония (рис. 3.9);
- стол - паллета для укладки заготовок и обработанных деталей.

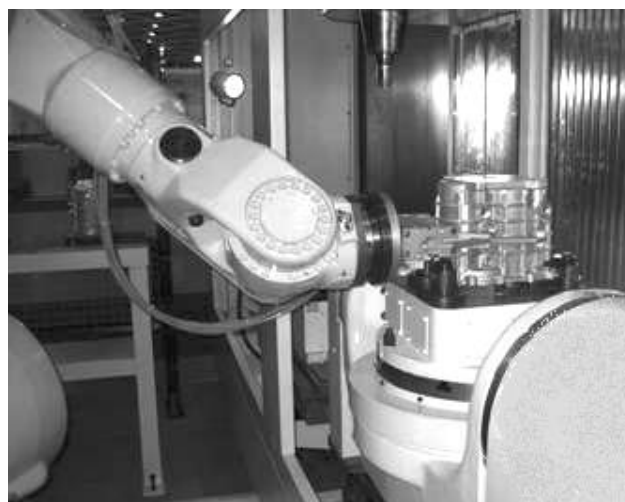
Грузоподъемность робота – 70 кг. Манипулятор берет с паллеты заготовку и устанавливает ее в патрон токарного станка. После обработки заготовки с одной стороны манипулятор переворачивает ее, а после полной обра-

ботки – вынимает из станка, устанавливает в патрон следующую заготовку, предварительно взятую с паллеты, и укладывает на паллету готовую деталь.



Рис. 3.8. Общий вид токарного многофункционального станка с ЧПУ мод. САТ630С10Ф3.

Рис. 3.9. Захват робота *Fanuc M-710iC/70T*.



3.7 Методы реализации ТПП

Исходная информация для разработки ТПП

Исходную информацию для разработки ТПП подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация - данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие, и программу его выпуска.

Руководящая информация:

- требования отраслевых стандартов к ТПП и методам управления ею;
- стандарты на оборудование и оснастку;
- документацию на действующие единичные, типовые и групповые технологические процессы;

- классификаторы технико-экономической информации;
- производственные инструкции;
- материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, норм расхода материалов и др.);

Справочная информация:

- технологическая документация опытного производства;
- описания прогрессивных методов изготовления;
- каталоги, паспорта, справочники, альбомы прогрессивных средств технологического оснащения.

Степень углубленности проектирования технологического процесса зависит от масштаба выпуска изделий: в единичном и мелкосерийном производствах разрабатывают упрощенный вариант без детализации содержания операций. При среднесерийном, крупносерийном и массовом производстве изделий технологический процесс разрабатывают детально с проектированием операционной технологии.

Реализация ТПП на машиностроительных предприятиях возможна за счет:

- управления технологической подготовкой производства;
- вариантного метода;
- адаптивного метода;
- нового планирования.

Управление ТПП

Метод управления ТПП заключается в организации хранения информации по технологическим маршрутам в соответствии с определенной системой классификации и кодирования и выбора нужной информации в соответствии с требованием заказа.

Область применения метода ограничена, так как повторяемость обрабатываемых деталей, как правило, невелика.

Вариантное планирование

Метод основан на разбиении инженерами-технологами деталей на классы. В каждый класс входят детали, изготавливающиеся по аналогичной технологии. В каждом классе выделяются детали-представители, которые являются обобщенными представителями, включающими все специфические особенности каждой детали. Для такой детали-представителя разрабатывается стандартный технологический маршрут. Для каждой конкретной детали данного класса выбирается вариант стандартного маршрута, являющегося его подмножеством.

Вариантное планирование предусматривает возможность уточнения стандартного маршрута путем изменения параметров процесса в определенных границах. Увеличение числа обрабатываемых элементов не допускается.

Метод удобен при ограниченной номенклатуре изготавливаемых изделий.

Адаптивное планирование

Под адаптивным планированием понимается метод, позволяющий изменять план работы системы в масштабе реального времени. Планирование проводится в несколько этапов.

1. Строят некоторое множество технологических маршрутов.
2. Из имеющегося множества технологических маршрутов находят наиболее близкий к заданному.
3. Выбранный технологический маршрут адаптируется к конкретным требованиям заказчика путем добавления, удаления, изменения отдельных шагов проектирования.

Метод нового планирования

Метод нового планирования позволяет вести разработку технологических маршрутов для подобных и новых изделий в соответствии с общими и специфическими данными и правилами технологического проектирования. Информационной основой для реализации метода служат описания изделий

и требования, предъявляемые к их изготовлению. Анализ этих требований позволяет выявить возможные пути решения технологических задач и в соответствии с определенными критериями выбрать метод решения.

Основные этапы разработки технологического процесса обработки деталей методом нового планирования следующие.

- *Анализ исходных данных.* По заданной программе выпуска и конструкторской документации на изделие изучаются его назначение и конструкция, требования к его изготовлению и эксплуатации. Аналогичным образом изучаются требования на изготовление и эксплуатацию конкретной детали.
- *Выбор заготовки.* По классификатору заготовок, стандартам и техническим условиям на заготовку и основной материал выбирают исходную заготовку и методы ее изготовления. Дается технико-экономическое обоснование выбора заготовки.
- *Выбор технологических баз.* Производится оценка точности и надежности базирования. Используют классификаторы способов базирования и существующую методику выбора технологических баз.
- *Составление технологического маршрута обработки* (по документации типового, группового или единичного ТП). Определяют последовательность технологических операций и состав технологического оснащения.
- *Разработка составов технологических операций и расчет режимов обработки.* На основании документации (типовых, групповых или единичных технологических операций) и классификатора технологических операций составляют последовательность переходов в каждой операции.
- *Выбор основного оборудования.* Здесь используются спецификации оборудования, данные о параметрах обработки. В соответствии с заданными критериями, определяется оборудование, на котором должен быть выполнен конкретный технологический переход. При выборе станка производится дополнительная проверка технических и экономических условий использования.

- *Выбор технологической оснастки и инструмента.* Используются каталоги с данными по инструменту, приспособлениям, средствам контроля.
- *Составление программ для станков с ЧПУ.*
- *Нормирование технологического процесса.* Устанавливаются исходные данные расчета норм времени и расхода материалов; производится расчет и нормирование труда на выполнение процесса, расчет норм расхода материалов; определяется разряд работ и профессии исполнителей операций (используют нормативы времени и расхода материалов, классификаторы разрядов работ и профессий).
- *Выбор оптимального технологического процесса* из нескольких вариантов по методике расчета экономической эффективности. При разработке технологических процессов ручными методами количество вариантов не велико. Использование автоматизированных методов позволяет получить более рациональные решения.
- *Оформление технической документации.*

Контрольные вопросы

1. Что такое технологическая подготовка производства?
2. С какой целью проводится ТПП?
3. Опишите этапы ТПП.
4. Какую номенклатуру деталей содержит класс 71?
5. В каких типах производства целесообразно применение групповых технологических процессов?
6. Как организуется технологическая форма внутризаводской специализации в условиях массового производства?
7. Почему предметную форму внутризаводской специализации не рационально организовывать в условиях единичного производства?
8. Опишите основные признаки поточного производства.
9. По каким признакам классифицируются поточные линии?

10. В чем разница между механизацией и автоматизацией производства?
11. Можно ли автоматизировать мелкосерийное производство?
12. По каким признакам классифицируются автоматические линии?
13. Опишите основные элементы гибкой автоматической линии.
14. Что является исходной информацией для проведения ТПП?
15. Какими методами можно управлять ТПП?
16. На чем основан метод вариантного планирования?

ГЛАВА 4. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

4.1. Критерии ресурсосберегающей технологии

Понятие ресурсосбережения непосредственно вытекает из определения технологического процесса получения изделия и метода обработки, а также параметров, их характеризующих. Применительно к машиностроению, технологическим процессом называется определенная последовательность действий для получения конструкционных материалов, заготовок, деталей, агрегатов и машин в целом. Кроме этого, технологический процесс делится на отдельные операции, содержание которых полностью определяются методами обработки, которые, в свою очередь, определяются способами формирования параметров качества изделия с производительностью, соответствующей наименьшим затратам в заданных условиях производства. На основании этого, можно сделать важный вывод о том, что основными параметрами, характеризующими эффективность технологического процесса, операции и метода обработки являются производительность процессов и себестоимость изготовления изделий. Далее, из общей структуры себестоимости следует, что основными направлениями ресурсосбережения являются уменьшение капитальных вложений в новое производство, снижение материалоемкости изделий и энергоемкости процессов обработки, а также минимизация фонда заработной платы и эксплуатационных расходов на амортизацию оборудования, оснастки и инструмента. Каждое из этих направлений характеризуется одним или несколькими параметрами эффективности. В частности, материалоемкость изделия оценивается коэффициентом использования материала, который равен отношению массы всего изделия к массе материалов, затраченных на изготовление деталей, его составляющих. Если речь идет о коэффициенте использования материала при конкретном методе обработки, то в этом случае он представляет собой отношение массы детали к массе заготовки.

Стремление данных коэффициентов к единице характеризует снижение материалоемкости изделия и является одной из основных задач ресурсосберегающей технологии. Эту задачу приходится решать комплексно, так как

вся технология производства машин делится на несколько технологических переделов: металлургию (производство металлов и сплавов), производство заготовок (литье, обработка металлов давлением, методы порошковой металлургии), термическую обработку с тепловым и термохимическим воздействием, механическую обработку (методы резания и поверхностного пластического деформирования) а также сборочное производство.

Многоэтапность технологии объясняется тем, что на каждом технологическом переделе формируются те или иные параметры качества изделия.

В металлургическом производстве обеспечиваются химический состав сплавов, структура и физико-механические свойства основного объема металла; заготовительные методы позволяют придать заготовке первоначальную форму с определенной долей приближения к требуемой, которая окончательно формируется методами резания и поверхностного пластического деформирования. Методы термической и термохимической обработки позволяют изменять структуру, фазовый состав и физико-механические свойства, как основного объема металла детали, так и свойства поверхностного слоя ее отдельных поверхностей. Сборка готового изделия осуществляется из отдельных деталей механическими методами или сваркой с получением подвижных и неподвижных соединений. Вышеуказанные технологические переделы характеризуются рядом взаимосвязанных параметров. Например, общее количество металла, превращаемого при резании заготовки в стружку, в значительной степени зависит от величины припуска на механическую обработку. Припуск на механическую обработку, в свою очередь, определяется методом получения заготовки. Например, при применении круглого проката для изготовления ступенчатого вала коэффициент использования материала невысок. В этом случае необходимо применить метод получения заготовки, обеспечивающий минимальную величину припуска и максимальный коэффициент использования материала. Таким методом является поперечно-клиноватая прокатка, применение которого обеспечивает получение ступенчатой заготовки с формой, в наибольшей степени соответствующей форме обрабо-

танной детали. Это позволяет получить заготовку с минимальными припусками и сократить объем обработки металлов резанием. Однако, продольная и поперечно- клиновая прокатка имеют различную стоимость заготовки и требуют различных капитальных вложений за счет особенностей применяемого инструмента и оборудования соответствующей мощности и стоимости. Кроме этого, данные методы получения заготовки обеспечивают разную производительность процессов. Применение различного по мощности оборудования обуславливает соответствующий расход энергии для осуществления процессов деформации и формообразования заготовок. Увеличение энергоемкости процессов формообразования влечет за собой изменение затрат на эксплуатацию и периодический ремонт данного оборудования. При большей энергоемкости процессов увеличиваются и затраты на используемый при обработке инструмент, так как при повышении величины возникающих сил снижается стойкость инструмента и повышается его расход. Пропорционально увеличиваются затраты на обрабатывающий инструмент и технологическую оснастку, что обуславливает большую себестоимость и цену изделий, отрицательно влияя на их конкурентоспособность.

Энергоемкость достаточно часто применяют в качестве основного критерия при выборе наиболее выгодного в техническом и экономическом плане метода обработки, особенно для процессов с большими затратами энергии (обработка металлов давлением, некоторые виды сварки, черновые операции обработки резанием и другие). Например, для процессов обработки металлов давлением в качестве параметров энергоемкости применяют работу деформации и необходимые усилия. Кроме этого, для процессов деформации целесообразно использовать такой критерий, как мощность, который учитывает не только силовые параметры, но и скорость воздействия. Роль данного критерия становится решающей при сравнении методов обработки, происходящих с большими скоростями.

Согласно классификации, разработанной профессором Подураевым В.Н. все виды обработки можно разделить на три энергетических уровня. К

первому энергетическому уровню относятся методы обработки, при осуществлении которых нарушаются связи между небольшой частью молекул и атомов удаляемого слоя металла. Типовыми представителями методов данного энергетического уровня является обработка металлов резанием. Например, для удаления стружки с поверхности заготовки из стали необходимы затраты энергии, не превышающие величины энергии для ее плавления –

$1 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Второй энергетический уровень составляют методы с затратами энергии от величины энергии плавления до энергии испарения обрабатываемого металла - $(1...6)10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. К их числу относятся методы обработки, при

осуществлении которых ослабляются связи между всеми молекулами и атомами заготовки. К их числу относятся все методы литейного производства. К третьему энергетическому уровню относятся методы обработки с расходом необходимой энергии выше энергии испарения обрабатываемого материала (более $6 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$). При этом полностью разрушаются связи между всеми молекулами и атомами материала заготовки. Такие явления происходят при реализации лазерной, электронно-лучевой, электроимпульсной, электроэрозионной и электрохимической обработки. Методики сравнительной оценки способов обработки по энергоемкости не являются полными, так как расход энергии все же не является основной составляющей себестоимости. Кроме этого, энергетические показатели (кроме мощности) не учитывают скорость осуществления воздействия и не оценивают производительность рассматриваемого процесса.

Наиболее полными показателями эффективности методов обработки и технологических процессов и операций являются производительность и себестоимость обработки заготовок и деталей заданного качества. Поэтому сравнительный анализ может производиться на основе отношений основного времени, необходимого на обработку, а также стоимостей ее осуществления различными методами.

Профессором Этиным А.О. установлено, что вместо отношений основных времен можно использовать для условий обработки деталей резанием отношения произведений скорости резания на среднюю толщину среза, так как данные параметры характеризуют разрешающую способность единицы длины режущей кромки в анализируемых процессах, и, совместно с суммарной шириной среза полностью определяют величину основного времени. При этом отношение основных времен осуществления обработки различными методами выражается в виде непрерывной функции параметров обрабатываемой детали и параметров инструмента. Выявлено также, что отношения штучных времен и величин себестоимости реализации, сравниваемых методов качественно повторяют ту же закономерность. Для конкретизации искомым закономерностей необходимо знать скорости резания и среднюю толщину среза каждого из рассматриваемых методов, которые могут быть определены на основе соответствующих нормативов. Указанные выше параметры среза могут служить также для определения расчетной величины отклонений детали от заданной формы, так как они также определяются кинематикой формообразования и являются следствием погрешностей заготовки, станка, инструмента и других параметров процесса резания. Разработанная вышеуказанным автором методика, основанная на анализе кинематики резания и построении сравнительных графиков производительности и технологической себестоимости в виде непрерывных функций зависимости от параметров обрабатываемой поверхности, позволяет определить рациональную область применения методов обработки.

Комплексным методом обоснованного выбора технологического процесса является его оптимизация с применением математического моделирования. Задача технологической оптимизации заключается в нахождении из множества возможных технологических процессов, обеспечивающих заданные чертежом параметры качества, процесса, обеспечивающего экстремальное значение одного из выбранных технологических критериев. Как указывалось выше, критерием эффективности являются себестоимость или произ-

водительность технологического процесса. При этом следует помнить, что в основе разработки технологического процесса любого передела лежат два основных принципа: технический и экономический. Из этого следует, что техпроцесс должен полностью обеспечивать требования, заданные рабочим чертежом и техническими условиями на изготовление изделия, заготовки или детали, и, в соответствии с экономическим принципом должен иметь минимальные затраты труда и минимальные издержки производства. Соответственно, из возможных вариантов технологического процесса, одинаковых с точки зрения технического принципа, выбирают наиболее эффективный по производительности или рентабельности. При равной производительности разработанных техпроцессов выбирают наиболее рентабельный, из двух, равных по рентабельности – наиболее производительный. Однако, если годовая программа выпуска изделия (а соответственно и производительность) задана техническими условиями на проектирование, то производительность рассматривается как один из параметров системы технологических ограничений. В этом случае, рентабельность или себестоимость техпроцесса является основным критерием его эффективности. Оптимизация технологического процесса является сложной многокритериальной и многовариантной задачей, решение которой осуществляют с помощью математических моделей методами исследования операций. Процедура решения технологических задач в этом случае состоит из следующих этапов: постановка задачи; построение математической модели; нахождение решения; проверка модели и оценка решения; - реализация решения и контроль его правильности.

Постановка задачи, во-первых, требует определения возможных стратегий и управляемых переменных, во-вторых, определения условий среды и неуправляемых переменных, а также, определения структуры технологических целей, их значимости и выделения из множества целей критерия предпочтительного выбора. Так как технологический процесс характеризуется большим количеством факторов, имеющих сложные взаимосвязи, необходимо выбрать наиболее существенные и значимые для конкретных условий об-

работки факторы. Правильная постановка задачи определяет, насколько полученное в результате моделирования решение будет адекватно действительным процессам.

Модели являются формализованными описаниями отображаемых ими явлений, с помощью которых можно определить, как влияют изменения в рассматриваемой системе на качество их функционирования. Чаще всего, модели имеют более простой вид, чем отображаемые ими системы, так как для описания их поведение обычно достаточно небольшого числа переменных. Главный вопрос заключается в правильном выборе нужных значимых переменных и нахождении основных соотношений между ними.

Различают несколько типов моделей. К *изобразительным* моделям относятся объемные макеты объектов в натуральном и уменьшенном виде, а также фотографии, чертежи и эскизы. Данные модели трудно использовать в экспериментальных целях. К *аналоговым* моделям относятся карты, графики и т.д., с которыми легче оперировать, чем с изобразительными. Элементы изобразительной и аналоговой модели используются при разработке блок-схем алгоритмов. Наиболее удобными в экспериментальном плане, являются *символические* модели, которые имеют вид математических выражений, причем ограничения неуправляемых и управляемых переменных выражаются в системе уравнений или неравенств.

В целях исследования поведения различных технологических систем можно разрабатывать модели с различной степенью соответствия этих моделей реальным процессам, используя непосредственный анализ функционирования системы, использование аналога, анализ данных и другие методы. При этом часто менее точная модель, разработанная со значительными допущениями, является более ценной для практических целей исследования систем за счет простоты ее реализации. При разработке сложных иерархических систем осуществляют построение взаимосвязанной совокупности моделей, отображающих каждую из имеющихся подсистем, при этом данные от моделирования одной подсистемы используют в качестве исходных данных для

другой. Для выбора оптимального варианта системы используют модели последовательного принятия решений.

Для отыскания решения достаточно часто применяют методы классической математики, например, дифференциальное исчисление. Если невозможно выразить критерий эффективности в виде простой функции от управляемых и неуправляемых переменных используются итеративные методы трех классов. К первым двум классам относятся методы, при реализации которых после определенного числа итераций (шагов) дальнейшее улучшение решения невозможно. Третий класс итеративных методов использует метод проб и ошибок, при этом последовательные пробы позволяют улучшать результат, но монотонное улучшение решений не может быть гарантировано.

К итеративным методам относятся методы линейного, нелинейного и динамического программирования, применяемые в исследовании операций. Методы экспериментальной оптимизации применяются в тех случаях, когда для разработки детерминированной математической модели не хватает исходных данных по рассматриваемому процессу или решение задачи вызывает чисто математические трудности. К этим методам относятся метод случайного поиска, метод многофакторного анализа, одношаговый метод и метод наискорейшего спуска. Для систем, у которых определенное число параметров являются случайными величинами, используются методы решения задач стохастического программирования.

Применение математических моделей и необходимых методов их решения позволяет на любом технологическом переделе выбрать лучший технологический процесс или метод обработки из множества возможных с учетом минимизации всех показателей ресурсосбережения.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры наиболее полно характеризуют эффективность технологического процесса?
2. Перечислите основные направления ресурсосбережения.

3. Что такое материалоемкость изделия?
4. Почему энергоемкость процесса не является полным показателем эффективности методов обработки?
5. Что такое модель явления?
6. Какие типы моделей Вы знаете?

ГЛАВА 5. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. Классификация конструкционных материалов

Различают конструкционные материалы: металлические и неметаллические; композиционные и порошковые (рис. 5.1).

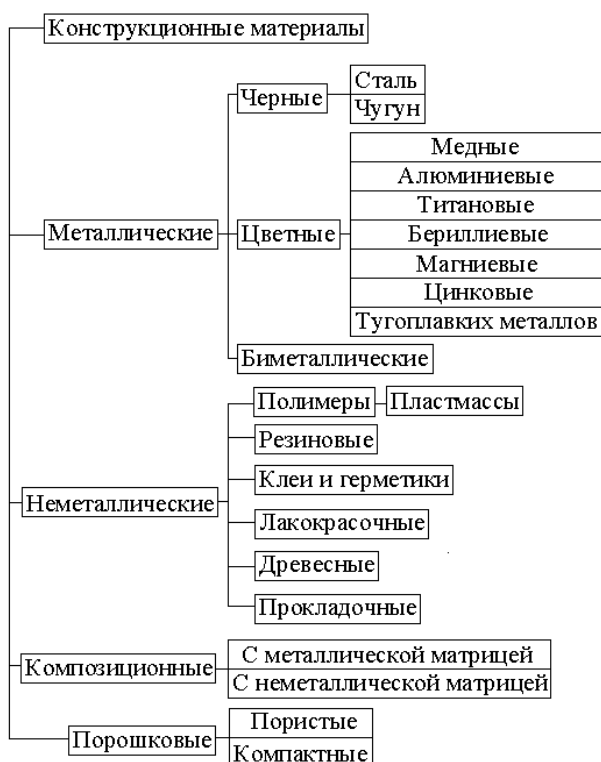


Рис. 5.1. Основные виды конструкционных материалов.

В зависимости от вида основного металла различают: металлические черные (основа - железо), цветные (основа – медь, алюминий, цинк, магний, никель, титан, бериллий и т.д.) и биметаллические материалы.

Среди неметаллических материалов различают: полимеры (пластмассы) и резиновые материалы; клеи и герметики; лакокрасочные (пленочные), древесные и прокладочные материалы.

В зависимости от вида основы (матрицы) различают: композиционные материалы с металлической и неметаллической матрицей.

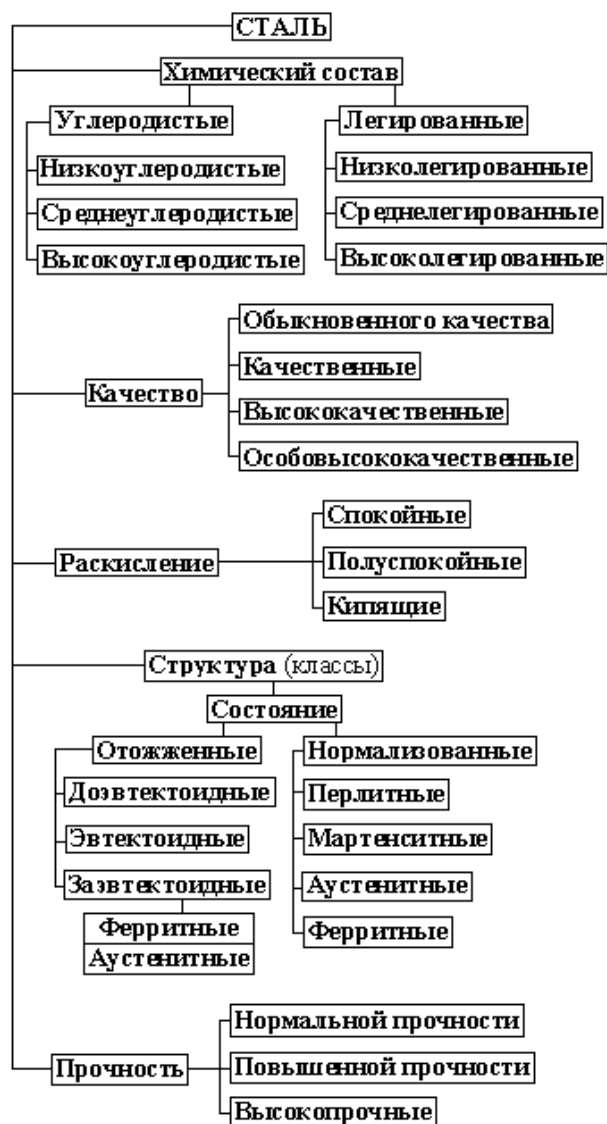
Порошковые материалы подразделяются на пористые и компактные.

5.2. Черные металлы и сплавы

К черным металлам и сплавам относятся железо и сплавы на его основе (сталь и чугун). Вследствие низких эксплуатационных свойств, техническое

железо в машиностроении не применяется. Сталь – многокомпонентный сплав содержанием углерода до 2,14%. Чугун – сплав с содержанием углерода более 2,14%.

Сталь



Стали классифицируют по химическому составу, качеству, степени раскисления, структуре, прочности и назначению (рис. 5.2).

Рис. 5.2. Классификация сталей.

По химическому составу стали делят на углеродистые и легированные. В зависимости от содержания

углерода различают низкоуглеродистые (менее 0,3% C), среднеуглеродистые (0,3 ... 0,7% C) и высокоуглеродистые (более 0,7% C).

Легирование стали в зависимости от введенных основных легирующих элементов могут быть хромистыми, кобальтовыми, марганцовистыми, хромоникелевыми и другими. В зависимости от суммарного содержания легирующих элементов различают низколегированные (менее 5%), среднелегированные (5 ... 10%) и высоколегированные (более 10%) стали.

По назначению стали подразделяют на конструкционные (менее 0,7% С) и инструментальные (более 0,7% С). В свою очередь в зависимости от конкретного применения различают конструкционные стали общего и специального назначений, стали с особыми физическими или химическими свойствами, инструментальные стали для режущих и измерительных инструментов, жаростойкие и жаропрочные стали и многие другие.

В России принята буквенно-числовая система маркировки сталей.

Стали обыкновенного качества поставляют горячекатаными в виде проката. Марки сталей, их химический состав и степень раскисления регламентирует ГОСТ 380-94.

Стали маркируют сочетанием букв «ст» и цифрой (номер стали от 0 до 6). Для всех сталей (кроме ст 0) справедлива следующая формула: Процент содержания углерода = 0,07 x номер стали (например, для ст 3 С % = 0,07 x 3 = 0,21 %).

Степень раскисления указывают добавлением к марке букв «сп», «пс» или «кп», что соответствует спокойным, полуспокойным или кипящим сталям соответственно.

Содержание марганца в сталях возрастает от 0,25 ... 0,5 % - ст1 до 0,5 ... 0,8 % - ст6. у трех марок стали (ст3Гпс, ст3Гсп, ст5Гпс) содержание кремния повышено до 0,8 ... 1,1 %.

Концентрация кремния зависит от способа раскисления стали: у кипящих сталей – не более 0,05 %, у полуспокойных – не более 0,15 %, у спокойных – не более 0,3 %.

Углеродистые качественные конструкционные стали маркируются словом «сталь» и последующим числом, показывающим содержание углерода в сотых долях процента. Например: сталь 10 содержит 0,1% С; сталь 45 – 0,45% С.

В таблице 5.1. приведены механические характеристики углеродистых сталей обыкновенного качества, в таблице 5.2 - цвета маркировки стали несмываемой краской (независимо от группы и степени раскисления).

Таблица 5.1

Механические характеристики углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, для толщины, мм				δ , %, для толщины, мм		
		до 20	20 – 40	40 - 100	свыше 100	до 20	20 – 40	свыше 40
Ст 0	310	-	-	-	-	23	22	23
ст 1кп	310-400	-	-	-	-	35	34	32
ст 1пс, ст 1сп	320-420	-	-	-	-	34	33	31
ст 2 кп	330-420	220	210	200	190	33	32	30
ст 2пс, ст 2сп	340-440	230	220	210	200	32	31	29
ст 3 кп	370-470	240	230	220	200	27	26	24
ст 3пс, ст 3сп	380-490	250	240	230	210	26	25	23
ст 3 Гпс	380-500	250	240	230	210	26	25	23
ст 4 кп	410-520	260	250	240	230	25	24	22
ст 4пс, ст 4сп	420-540	270	260	250	240	24	23	21
ст 5пс, ст 5сп	500-640	290	280	270	260	20	19	17
ст 5 Гпс	460-600	290	280	270	260	20	19	17
ст 6пс, ст 6сп	600	320	310	300	300	15	14	12

Таблица 5.2.

Цвета маркировки углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	Цвет маркировки
ст 0	Красный и зеленый
ст 1	Белый и черный
ст 2	Желтый
ст 3	Кранный
ст 4	Черный
ст 5	Зеленый
ст 6	Синий

Углеродистые качественные инструментальные стали маркируются словом «сталь», последующей буквой «У» и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента. Например: сталь У8 содержит 0,8% С; сталь У12 – 1,2% С.

Для изготовления инструмента применяют углеродистые качественные стали марок У7 - У13 и высококачественные стали марок У7А - У13А. Высококачественные стали содержат не более 0,02 % серы и фосфора, качественные - не более 0,03 %.

По назначению различают углеродистые стали для работы при ударных нагрузках и для статически нагруженного инструмента. Стали марок У7 - У9 применяют для изготовления инструмента при работе с ударными нагрузками, от которого требуется высокая режущая способность (зубила, клейма по металлу, деревообделочный инструмент, в частности пилы, топоры и т. д.). Стали марок У10 - У13 идут на изготовление режущего инструмента, не испытывающего при работе толчков, ударов и обладающего высокой твердостью (напильники, шаберы, острый хирургический инструмент и т. п.). Из стали этих марок иногда изготавливают также простые штампы холодного деформирования.

Конструкционные легированные стали имеют буквенно-числовую маркировку: сталь $\alpha_c L_i \alpha_i$; где: α_c – содержание углерода в сотых долях процента; L_i – обозначение легирующего компонента (таблица 5.3); α_i – содержание легирующего компонента в процентах (если после обозначения легирующего компонента число не стоит, то его содержание примерно 1%. В конце маркировки может находиться буквенное обозначение качества стали и обозначение метода повышения качества (А - высококачественная сталь, Ш - электрошлаковый переплав; «ВД» - вакуумно-дуговой переплав; «ВИ» - вакуумно-индукционная выплавка).

Например: сталь 30Х3МФ - качественная сталь, 0,3%С, 3%Сr, 0,2 ... 0,3%Мо, 0,06 ... 0,12%V. Некоторые стали содержат дополнительную букву после слова «сталь», обозначающую ее группу или тип. Например: Ш – под-

шипниковая сталь (в этих сталях указываются десятые доли процента содержания легирующего компонента), А – автоматная сталь, св – сварочная сталь (уменьшенное содержание серы и фосфора).

Таблица 5.3

Условные обозначения легирующих элементов в металлах и сплавах

Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов		Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов	
		черные	цветные			черные	цветные
Азот	N	А	-	Неодим	Nd	-	Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	-	Н
Барин	Ba	-	Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллии	Be	Л		Олово	Sn	-	О
Бор	B	р	-	Осмий	Os	-	Ос
Ванадии	V	ф	Вам	Палладий	Pd	-	Пд
висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt	-	Пл
Вольфрам	W	В	-	Празеодим	Pr	-	Пр
Гадолиний	Gd	-	Гн	Рений	Re	-	Ре
Галлий	Ga	Ги	Ги	Родий	Rh	-	Rg
Гафнии	Hf	-	Гф	Ртуть	Hg	-	Р
Германий	Ge	-	Г	Рутений	Ru	-	Pv
Гольмий	Ho	-	ГОМ	Самарий	Sm	-	Сам
Диспрозий	Dv	-	ДИМ	Свинец	Pb	-	С
Европий	Eu	-	Ев	Селен	Se	К	СТ
Железо	Fe	-	Ж	Серебро	Ag	-	Ср
Золото	Au	-	Зл	Скандий	Sc	-	С км

Продолжение таблицы 5.3

Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов		Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов	
		черные	цветные			черные	цветные

Индий	In	-	Ин	Сурьма	Sb	-	Сv
Иридий	Ir	-	И	Таллий	Tl	-	Тл
Иттербий	Yb	-	ИТН	Тантал	Ta	-	ТТ
Иттрий	Y	-	ИМ	Теллур	Te	-	Т
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb	-	Том
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремний	Si	С	Кр(К)	Т\лий	Tm	-	ТУМ
Лантан	La	-	Ла	Углерод	С	У	-
Литий	Li	-	Лэ	Фосфор	P	п	Ф
Лютеций	Lu	-	Люн	Хром	Cr	х	Х(Хр)
Магний	Mg	Ш	Мг	Церий	Ce	-	Се
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)	Цинк	Zn	-	Ц
Медь	Cu	Д	М	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Молибден	Mo	М	-	Эрбий	Er	-	Эрм

Качественные углеродистые стали (ГОСТ 1050-88). По содержанию углерода, разделяют на: низкоуглеродистые (менее 0,25% С), среднеуглеродистые (0,3 ... 0,55% С), высокоуглеродистые (0,6 ... 0,85 % С).

Низкоуглеродистые стали обладают невысокой прочностью, высокой пластичностью. Сталь 05 ... сталь 10 применяется для изготовления малонагруженных деталей. Сталь 15 ... 25 применяется для ответственных сварных конструкций и для деталей упрочняемых цементацией. Среднеуглеродистые стали, по сравнению с низкоуглеродистыми, имеют более высокую прочность, но более низкую пластичность; лучше обрабатываются резанием. Сталь 30 ... 55 применяют для изготовления небольших деталей или для деталей, не требующих сквозной прокаливаемости. Высокоуглеродистые стали (сталь 60 ... 65) обладают повышенной прочностью, износостойкостью и упругостью. Из них изготавливают детали, работающие при высоких статических и динамических нагрузках.

Низколегированные конструкционные стали (ГОСТ 19282-73) - широко применяются в авто- тракторостроении. Стали легированные Cr, Cr-Mn, Cr-Si-Mn, Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-V-Va применяют для изготовления коленчатых ва-

лов, зубчатых колес, шатунов, гильз цилиндров. Стали легированные Cr, Cr-Va, Cr-Ni, Cr-Mg, Cr-Mg-Ni обладают: высокой твердостью и износоустойчивостью поверхностного слоя; высокой прочностью и вязкостью. Из этих сталей изготавливают кулачковые муфты, кулачки, зубчатые колеса, поршневые пальцы, втулки, коленчатые и распределительные валы. Автоматные стали (сталь А12 ... АС14ХГН) применяются при обработке заготовок на металло-режущих станках с автоматическим циклом. Обычно, при точении сталей получатся сливная стружка в виде непрерывной ленты, которую трудно убирать при автоматическом цикле станка. В автоматных сталях присутствуют хрупкие включения MnS , вызывающие дробление стружки. Эти стали используют для изготовления метизов (болтов, гаек, шпилек, винтов), втулок.

Подшипниковые стали (сталь ШХ6 ... ШХ15СГ) выпускаются по ГОСТ 801 -78* и используются для изготовления подшипников качения, храповых механизмов, роликов, пальцев машин.

Рессорно-пружинные стали (легирование: Si, Si-Mn, Cr-Si, Cr-Mn, Cr-Va, Cr-Mn-Va, W-Si, Ni-Si) имеют высокий предел упругости и предел выносливости. Из этих сталей изготавливают: пружины и рессоры.

Чугун

В чугуне углерод находится в связанном и в свободном состоянии. Чугун обладает высокой твердостью, низким пределом прочности на растяжение. Наличие свободного графита обуславливает хорошие демпфирующие свойства чугунов. В машиностроении чаще всего применяются отливки из серого, высокопрочного и (реже) ковкого чугуна.

Чугун, содержащий только связанный (в виде Fe_3C) углерод называется белым (рис. 5.3, а). Белые чугуны обладают большой твердостью и хрупкостью, что не позволяет применять изделия из них в машиностроении.

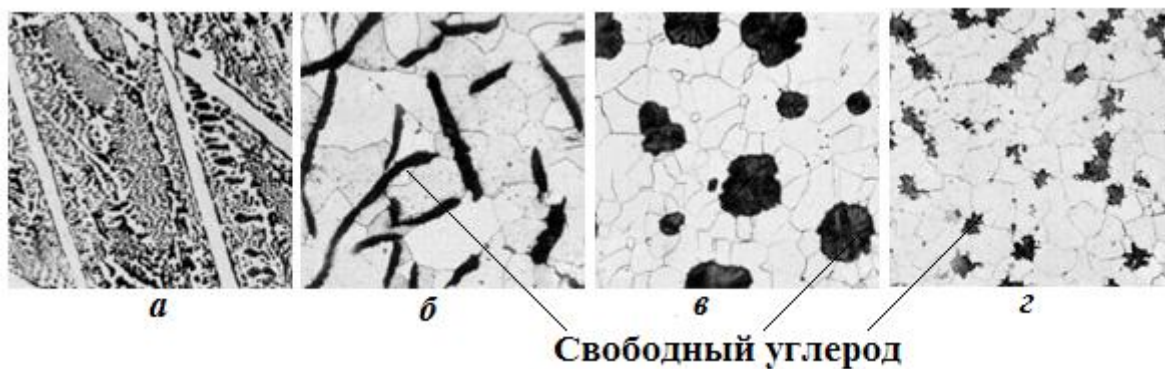


Рис. 5.3. Разновидности чугунов:

а – белый; *б* – серый; *в* – высокопрочный; *г* – ковкий.

Серый чугун содержит свободный углерод в виде пластинок (рис. 5.3, б). По ГОСТ 1412-85* серый чугун обозначается буквами СЧ, и числом, показывающим уменьшенный в 10 раз предел прочности на растяжение, в МПа, например СЧ21 ($\sigma_{\text{в}} = 210$ МПа). Чугуны марок СЧ10 и СЧ15 обладают наименьшим пределом прочности на растяжение, применяются для малоответственных деталей. Наибольшей прочностью обладает чугуны марок СЧ21 ... СЧ35. Они применяются для изделий, работающих при высоких нагрузках или в условия повышенного износа.

Высокопрочный чугун содержит свободный углерод в виде шаровидных включений (рис. 5.3, в). Шаровидные включения значительно меньше ослабляют металлическую основу, чем пластинки. Поэтому данный чугун обладает большим пределом прочности на растяжение. По ГОСТ 7293-85* марка высокопрочного чугуна состоит из букв ВЧ и числа в 10 раз меньшего значения его прочности (ВЧ 100, $\sigma_{\text{в}} = 1\,000$ МПа). Например: ВЧ 100 – $\sigma_{\text{в}} = 1\,000$ МПа. ГОСТ 7293-85* позволяет добавлять в маркировке показатель относительного удлинения. Например: ВЧ 70-2 – $\sigma_{\text{в}} = 700$ МПа, $\delta = 2\%$. Высокопрочные чугуны применяют в машиностроении для ответственных изделий (корпуса подшипников, коленчатые валы, головки блоков цилиндров).

Ковкий чугун содержит свободный хлопьевидный графит (рис.5.3, г). Ковкий чугун получают длительным отжигом тонкостенных (до 50 мм) отливок из белого чугуна. Ковкий чугун не куется, но он достаточно пластичен, и занимает промежуточное положение между серым и высокопрочным чугу-

нами. По ГОСТ 1215-79 ковкий чугун обозначается двумя цифрами: пределом прочности на растяжение (МПа/10) и относительным удлинением (%), например КЧ 35-10 ($\sigma_{\text{в}}=350$ МПа, $\delta=10\%$). В машиностроении, ковкий чугун применяется как заменитель стали при изготовлении зубчатых колес, звездочек, звеньев цепей.

5.3. Цветные металлы и сплавы

Цветные металлы в чистом виде обычно применяются редко, чаще используют различные сплавы. Из числа сплавов цветных металлов в машиностроении наибольшее значение имеют легкие сплавы – алюминия, магния и титана, а также медь и ее сплавы, сплавы на основе никеля, сплавы для подшипников (баббиты), материалы для полупроводников и высокопрочные сплавы на основе тугоплавких металлов.

Сплавы на основе титана, цинка и магния относятся к группе специальных сплавов. Поэтому они имеют оригинальную буквенно-числовую маркировку. На первом месте ставят буквенное обозначение вида сплава («ВТ или ОТ» титановые, «МЛ» магниевые литейные, «МА» магниевые деформируемые, «Ц» цинковые), на втором месте стоит порядковый номер сплава.

Сплавы на основе меди и алюминия имеют двойственную маркировку: современную и традиционную. Современная маркировка похожа на маркировку легированных сталей: на первом месте стоит буквенное обозначение сплава («Л» латунь, «Бр» бронза, «Н» медно-никелевые сплавы, «АЛ» алюминиевый литейный, «АК или Д или АВ или В» алюминиевые деформируемые, «Б» баббиты). Далее стоит буквенное обозначение легирующего компонента (таблица 5.3) и его среднее процентное содержание. Например: АМг6 – алюминиевый сплав, 6% Mg.

Титан и его сплавы

Титан – металл серого цвета, малой плотности и высокой удельной прочности и коррозионной стойкости. Титан обладает низкой жаростойко-

стью и низкими антифрикционными свойствами, высокими механическими свойствами (табл. 5.4), высокой удельной прочностью при комнатных и криогенных температурах, а также хорошей коррозионной стойкостью. Низкий модуль упругости титана (в два раза ниже, чем железа) затрудняет изготовление из него жестких конструкций.

Таблица 5.4

Химический состав и механические свойства технического титана (по ГОСТ 19807-74)

Марка титана	Сумма примесей, %	Механические свойства		
		$\sigma_{в}$, в МПа	$\sigma_{0,2}$, в МПа	δ , %
Иодидный	Менее 0,093	250 ... 300	100 ... 150	50 ... 60
BT1-00	менее 0,10	320 ... 400	180 ... 250	25 ... 30
BT1-0	менее 0,30	450 ... 600	380 ... 500	20 ... 25

Титановые сплавы, по сравнению с техническим титаном, обладают более высокой прочностью при нормальных и повышенных температурах.

Маркировка титановых сплавов включает в себя: буквенное обозначение вида сплава (BT, ПТ и ОТ) и порядковый номер сплава. Буквенное обозначение отражает наименование организации-разработчика (BT - означает «ВИАМ титан»; ПТ - означает «Прометей титан» - разработчик ЦНИИ КМ «Прометей», г. Санкт-Петербург; означает «Опытный титан» - сплавы, разработанные совместно ВИАМом и заводом ВСМПО, г. Верхняя Салда, Свердловской области). Иногда в марку сплава добавляют буквы: У - улучшенный, М - модифицированный, И - специального назначения, Л - литейный сплав, В - сплав, в котором марганец заменен эквивалентным количеством ванадия.

Химический состав и механические свойства типовых титановых сплавов приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5.

Химический состав (ГОСТ 19807) и механические свойства типовых титановых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %, ос-	Механические свойства
--------------	------------------------------	-----------------------

и структура	тальное титан	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
		МПа		
BT5	4,5 ... 6,2 Al, 1,2 V, 0,9 Mo, 0,3 Zr	700 ... 950	660 ... 850	10 ... 15
BT5-1	4,3 ... 6,0 Al, 1,0 V, 2 ... 3 Sn	750 ... 950	650 ... 850	10 ... 15
OT-4	4,5 ... 6,2 Al, 0,7 ... 2,0 Mn	700 ... 900	550 ... 650	12 ... 20
BT20	5,5 ... 7,0 Al, 0,8 ... 2,5 V, 1,5 ... 2,5 Mo, 1,5 ... 2,5 Zr	950 ... 1100	850 ... 1000	8
BT14	3,5 ... 6,8 Al, 0,9 ... 1,9 V, 2,5 ... 3,8 Mo, 0,3 Zr	1150 ... 1400	1080 ... 1300	6 ... 10
BT22	4,4 ... 5,7 Al, 4,0 ... 5,5 V, 4,0 ... 5,5 Mo, 0,8 Zr, 0,8 ... 1,2 Fe	1100 ...1250	1100. 1200	9

Титановые сплавы применяются в авиастроении, автомобилестроении, ракетной технике, судостроении в химической промышленности. Из титановых сплавов изготавливают обшивку сверхзвуковых самолетов, детали реактивных авиационных двигателей (диски и лопатки компрессоров), детали воздухозаборников, колесные диски, корпуса ракет второй и третьей ступеней, баллоны для сжатых и сжиженных газов, обшивку корпусов морских судов, подводных лодок и так далее.

Магний и его сплавы

Магний металл серебристого цвета, имеющий низкую плотность. Магний хорошо обрабатывается резанием, однако, температура воспламенения магния на воздухе равна 623 °С, поэтому магний пожароопасен.

Магниевые сплавы обладают высокой удельной прочностью, хорошо поглощают вибрацию, что определило их широкое использование в авиационной технике. Сплавы в горячем состоянии легко куются, прокатываются и обрабатываются резанием. Магний не взаимодействует с ураном и обладает низкой способностью поглощать тепловые нейтроны. Поэтому магниевые сплавы применяют для изготовления трубчатых тепловыделяющих элементов в ядерных реакторах. Недостатком магниевых сплавов являются: низкий

модуль нормальной упругости (до 43 000 МПа), трудность обработки давлением и плохие литейные свойства, низкая коррозионная стойкость; низкая температура вспышки на воздухе.

В табл. 5.6 приведены химический состав и механические свойства типичных магниевых сплавов.

Таблица 5.6.

Химический состав и механические свойства типичных магниевых сплавов

Марка сплава	Химический состав, в %, остальное – магний	Механические свойства		
		σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %
		МПа		
Деформируемые сплавы				
МА1	1,3 ... 2,5 Mn	180	130	8
МА2-1	3,8 ... 5,0 Al, 0,8 ... 1,5 Zn, 0,3 ... 0,7 Mn	290	180	10
МА5	7,8 ... 9,2 Al, 0,2 ... 0,8 Zn, 0,15 ... 0,5 Mn	320	220	14
МА11	1,5 ... 2,5 Mn, 2,5 ... 4 Nd, 0,1 ... 0,25 Ni	280	140	10
МА14	5 ... 6 Zn, 0,3 ... 0,9 Zr	350	300	9
МА19	5,5 ... 7 Zn, 0,5 ... 1,0 Zr, 0,2 ... 1,0 Cr	380	330	5
Литейные сплавы				
МЛ5	0,15 ... 0,5 Mn, 0,2 ... 0,8 Zn, 7,5 ... 9 Al	255	120	6
МЛ8	5,5 ... 6,6 Zn, 0,7 ... 1,1 Zr, 0,2 ... 0,8 Cd	255	155	5
МЛ9	4 ... 5 Zn, 0,6 ... 1,1 Zr	270	160	6
МЛ10	0,1 ... 0,7 Zn, 2,2 ... 2,8 Nd,	200	95	6
МЛ12	4 ... 5 Zn, 0,6 ... 1,1 Zr	270	160	6
МЛ15	4 ... 5 Zn, 0,7 ... 1,1 Zr, 0,6 ... 1,2 La	210	130	3

Малая плотность и высокая удельная прочность магниевых сплавов определили их широкое применение: в авиационной промышленности (корпуса приборов, насосов, обтекатели, двери кабин); в ракетостроении (корпуса ракет, обтекатели, стабилизаторы, корпуса баков); в автомобилестроении (корпуса коробок скоростей, колесные диски); в приборостроении (корпуса приборов). Деформируемые магниевые сплавы так же применяются для изготовления сильно нагруженных деталей (обшивки самолетов, детали грузоподъ-

емных машин, ткацких станков). Высокопрочные литейные сплавы применяются для изготовления корпусов компрессоров, ферм шасси самолетов.

Алюминий и его сплавы

Для алюминия характерны: малая плотность ($2,7 \text{ г/см}^3$), высокие пластические свойства, высокая теплопроводность и электропроводность и отражательные свойства.

Алюминий характеризуется следующими технологическими свойствами. Хорошо поддается холодной и полугорячей деформации; плохая обрабатываемость резанием (вследствие высокой вязкости); хорошая свариваемость при условии удаления оксидной пленки Al_2O_3 , и применении концентрированных источников энергии.

Алюминий используется в электротехнической промышленности и теплообменниках. Высокая отражательная способность алюминия используется для производства зеркал, мощных рефлекторов. Алюминий практически не взаимодействует с азотной кислотой, органическими кислотами и пищевыми продуктами. Из него изготавливается тара для транспортировки пищевых продуктов, домашняя утварь. Листовой алюминий широко применяется как упаковочный материал. Значительно выросло применение алюминия в строительстве и на транспорте.

В зависимости от содержания примесей алюминий разделяют на сорта: технический, высокой чистоты и особой чистоты.

Для алюминия и его сплавов характерна большая удельная прочность ($\sigma_{\text{в}}/\rho$, где ρ - плотность), близкая к значениям для среднелегированных сталей (для алюминиевых сплавов $\sigma_{\text{в}}/\rho$ 150 ... 182, для конструкционных среднелегированных сталей – 140 ... 170).

Первичный алюминий (ГОСТ 11069-74) поставляется в виде чушек.

Химический состав первичного алюминия и его механические свойства приведены в таблица 5.7.

Химический состав и механические свойства первичного алюминия

Обозначение марок	Химический состав		Механические свойства		
	Алюминий, % не менее	Примеси, % не более	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ	δ , %
Алюминий особой чистоты					
А 999	99,999	0,001	20	80 ... 110	
Алюминий высокой чистоты					
А 995	99,995	0,005	22	84 ... 112	45,5
А 99	99,99	0,010			
А 95	99,95	0,05			
Алюминий технической чистоты					
А 85	99,85	0,15	25	120 ... 133	38,5
А 8	99,8	0,20			
А 7	99,7	0,30			
А 5	99,5	0,50	28	126 ... 175	31,5
А 0	99,0	1,00			

Для алюминия и его сплавов характерна высокая удельная прочность, близкая к значениям для среднелегированных сталей. Алюминий и его сплавы хорошо поддаются горячей и холодной деформациям, точечной сварке, а специальные сплавы можно сваривать плавлением и другими видами сварки.

Традиционная маркировка алюминиевых сплавов включает в себя: буквенное обозначение вида сплава (Д – дюралюмин, В или АВ - высокопрочный сплав, АК – ковочный сплав, АЛ – литейный сплав); порядковый номер сплава. При необходимости конце маркировки может находиться буквенное обозначение состояния поставки (М – мягкий, Т – термически обработанный, Н - нагартованный, П - полунагартованный).

Все сплавы на алюминиевой основе можно разделить на деформируемые, литейные и специальные.

К деформируемым сплавам относятся сплавы систем: Al-Cu-Mg - дюралюмины (Д1, Д16, Д18, Д19, ВД17); Al-Cu-Mg-Fe-Ni - жаропрочные сплавы (АКЦ4-1); Al-Mg-Si-Cu - ковочные сплавы (АК6, АК8) и Al-Zn-Mg-Cu - высокопрочные сплавы (В95, В93, В96Ц1).

Химический состав и механические свойства деформируемых сплавов приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8.

Химический состав (ГОСТ 4784-74) и механические свойства типичных деформируемых сплавов

Марка сплава	Содержание легирующих элементов, %			Механические свойства				Примечание
	Cu	Mg	Mn	$\sigma_{в}$	$\sigma_{0,2}$	δ , %	НВ	
				МПа				
АМц	-	-	1 ... 1,16	130	50	55	30	После отжига
АМг2	-	1,8 ... 2,6	0,2 ... 0,6	190	100	23	45	
Д1	3,8 ... 4,8	0,4 ... 0,8	0,4 ... 0,8	400	240	20	95	После отжига и старения
Д16	3,8 ... 4,9	1,2 ... 1,8	0,3 ... 0,9	440	330	18	105	
В95	1,4 ... 2,0	1,8 ... 2,8	0,2 ... 0,6	540	470	10	150	
АК6	1,8 ... 2,6	0,4 ... 0,8	0,4 ... 0,8	400	299	12	100	

Дюралюмины применяются для изготовления лопастей воздушных винтов, силовых элементов конструкций самолетов, кузовов автомобилей (Д1, Д16), для деталей, работающих при нагреве до 200 ... 250 °С (Д19, ВД17). Сплав АКЦ-1 используется для изготовления деталей реактивных двигателей (крыльчатки насосов, колеса, компрессоры, диски, лопатки).

Сплавы АК6, АК8 применяют для изготовления сложных штамповок, таких как крыльчаток вентиляторов для компрессоров реактивных двигателей, корпусных агрегатных и крепежных деталей. Сплавы системы В95, В93, В96Ц1 отличаются высоким временным сопротивлением (600 ... 700 МПа), но при этом не являются жаропрочными. Максимальная рабочая температура изделий из этих сплавов при длительной эксплуатации не может превышать 100 ... 120 °С.

Для изготовления фасонных деталей применяют литейные алюминиевые сплавы систем: Al-Si или Al-Si-Mg – силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34).

Сплавы АЛ2, АЛ4, АЛ9, АЛ34 отличаются высокими литейными свойствами и герметичностью изготовленных из них отливок. Сплавы предназначены для изготовления герметичных емкостей (АЛ2), корпусов компрессо-

ров, картеров двигателей внутреннего сгорания (АЛ4, АЛ9), крупных корпусных деталей (АЛ34), блоков цилиндров (АЛ 32) и других деталей.

Механические свойства силуминов приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9.

Механические свойства силуминов при 20 °С

Сплав	Состояние (термическая обработка - ТО)	σ_b , МПа	δ , %
АЛ2	Без ТО	170	6,0
АЛ4	Закалка и старение	260	4,0
АЛ9		230	2,0
АЛ32	Без ТО	180	1,5
АЛ34	Без ТО	200	3,0
	Закалка и старение	300	7,0

К специальным алюминиевым сплавам относятся:

- Жаропрочные алюминиевые сплавы систем Al-Si-Cu-Mg (АЛ33), Al-Cu-Mn (АЛ19), обладающие высокой жаропрочностью (до 250 ... 350°С). Сплавы применяются для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенных статических и ударных нагрузок при высоких температурах.
- Конструкционные коррозионно-стойкие сплавы на основе систем Al-Mg (АЛ8, АЛ27) и Al-Mg-Zn (АЛ24) обладающие высокой коррозионной стойкостью.

Конструкционные жаропрочные алюминиевые сплавы систем Al – Si – Cu - Mg (АЛ33), Al- Cu - Mn (АЛ19) подвергают термической обработке (закалке и старению). Эти сплавы обладают высокой жаропрочностью (до 250 ... 350 °С) и применяются для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенных статических и ударных нагрузок при высоких температурах (таблица 5.10)

Таблица 5.10.

Механические свойства жаропрочных литейных сплавов алюминия

Сплав	Термическая обработка	Температура испытания, °С	σ_b , МПа	δ , в %	σ_{100}^T , в МПа
-------	-----------------------	---------------------------	------------------	----------------	--------------------------

АЛ19	Закалка и старение	20	300	8,0	-
		200	270	3,0	150
		300	140	5,0	60
		350	80	8,0	35
АЛ33	Закалка и старение	200	210	4,0	130
		250	140	4,0	55
	Без т/о	200	230	4,0	-
	Закалка и старение	200	250	3,0	160
		300	170	3,0	90

Конструкционные коррозионно-стойкие сплавы на основе систем Al - Mg (АЛ8, АЛ27) и Al - Mg - Zn (АЛ24) обладают более высокой коррозионной стойкостью, по сравнению с другими алюминиевыми сплавами. Недостатком сплавов АЛ8, АЛ27 является их низкая жаропрочность – уровень рабочих температур не должен превышать 60 °С. Эти сплавы применяют для изготовления силовых деталей, работающих при температурах от –60 до +60 °С в различных климатических условиях, включая воздействие морской воды и тумана.

Добавки цинка в систему Al - Mg (сплав АЛ24) позволил увеличить жаропрочность до 150°С, при этом сплав сохранил высокую коррозионную стойкость и хорошие литейные свойства.

Медь и ее сплавы

Медь обладает следующими свойствами: высокая электропроводность и теплопроводность; хорошая коррозионная стойкость и плохая обрабатываемость резанием. В связи с высокой пластичностью чистая медь хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. В процессе холодной деформации медь наклепывается и упрочняется; восстановление пластичности достигается рекристаллизационным отжигом при 500...600 °С в восстановительной атмосфере, так как медь легко окисляется при нагреве.

Чистая медь применяется для проводников электрического тока, различных теплообменников, водоохлаждаемых изложниц, поддонов, кристаллизаторов.

Медные сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами.

Различают три основные группы на основе меди: латуни (ГОСТ 15527-70*), бронзы (ГОСТ 493-79*) и медно-никелевые сплавы (ГОСТ 613-79*).

Латунями называют медно-цинковые сплавы. При дополнительном введении в сплав добавок алюминия, свинца, олова, кремния и других элементов получают специальные латуни.

Латуни маркируют буквой «Л», после которой ставят буквы, обозначающие специально введенные элементы (таблица 5.3) и числа, характеризующие содержание меди и легирующих элементов (кроме цинка). Например, Л68 – латунь, содержащая 68% меди, остальное – цинк. Легирующие элементы, введенные в специальные латуни, имеют обозначения в соответствии с таблицей 5.3.

У литейных латуней иногда содержание меди не указывают, например ЛЦ30А3 – латунь литейная, 30% цинка, 3% алюминия, остальное медь.

Специальные латуни по применению можно подразделить на латуни с высокими антикоррозионными свойствами (ЛКС80-2-2, ЛМцС58-2-2) и латуни повышенной прочности (ЛМцЖ52-4-1). Латуни применяют для изготовления: трубок и прутков (ЛАЖ60-1-1), мелких поковок (ЛЖМ_ц59-1-1, ЛС59-1), втулок и сепараторов подшипников (ЛЦ40С), коррозионно-стойких деталей (ЛЦ30А3, ЛЦ40М_ц5Ж).

Механические свойства и область применения типовых латуней приведены в таблице 5.11.

Латунные детали при длительном хранении, особенно в коррозионно-активной среде растрескиваются. Для предотвращения этого детали подвергают отжигу для снятия остаточных напряжений при 200 ... 300 °С.

Сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием соответственно называются оловянистыми, алюминиевыми, кремнистыми, свинцовистыми, бериллиевыми бронзами.

Таблица 5.11.

Механические свойства и область применения типовых латуней

Сплав	σ_B , МПа	δ , %	Назначение
Деформируемые			
Л90	260	45	Мелкие крепежные элементы
Л60	380	25	Прутки, листы, элементы водяной арматуры
ЛАЖ60-1-1	450	8	Тубы, прутки
ЛЖМц59-1-1	450	10	Полосы, прутки, мелкие поковки
ЛС59-1	400	6	Мелкие поковки
Литейные			
ЛЦ40МцЗЖ	440	10	Корабельные винты, лопасти
ЛЦ38Мц2С2	340	12	Антифрикционные втулки, вкладыши, судовая арматура.
ЛЦ30А3	300	12	Коррозионно-стойкие детали
ЛЦ16К4	340	15	Сложные отливки, работающие при температуре до 250 ° С.
ЛЦ14К3С3	290	15	Втулки, подшипники.

Бронзы обозначают двумя буквами «Бр», далее пишут буквенные обозначения (таблица 5.3) входящих в бронзу элементов (кроме меди) и затем идут цифры, показывающие содержание их в сплаве. Например: БрО10 (10% олова, остальное медь); БрАЖН10-4-4 (10% алюминия, 4% железа, 4% никеля; остальное медь). Бронзы применяют для изготовления: арматуры (БрОФ6,5-0,4, БрОЗЦ12С5), пружин (БрОЦ4-3, БрБ2), вкладышей подшипников (БрОЦС4-4-2,5, БрО5ЦНС5, БрО4Ц4С17).

Области применения и механические свойства типовых бронз приведены в таблице 5.12.

Медно-никелевые сплавы обозначают двумя буквой «М», далее пишут буквенные обозначения входящих в сплав элементов (кроме меди), затем идут цифры, показывающие содержание их в сплаве. Наиболее часто применяют сплавы: константан (МНМ_ц40-1,5) обладающий малой электропроводностью, мельхиор (МНЖМ_ц30-1-1) и монель-металл (МНЖМ_ц29-2,5-1,5) обладающие высокой коррозионной стойкостью.

Таблица 5.12.

Области применения и механические свойства типовых бронз

Сплав	σ_v , МПа	δ , %	Назначение
Деформируемые			
БрОФ6,5-0,4	400	5	Арматура
БрОЦ4-3	330	4	Пружины
БрОЦС4-4-2,5	350	2	Антифрикционные детали
Литейные			
БрОЗЦ12С5	200	8	Арматура
БрО5ЦНС5	175	4	Вкладыши подшипников
Бр04Ц4С17	150	5	Антифрикционные детали

Бериллий и его сплавы

Бериллий – редкий металл серого цвета. Температура плавления бериллия - 1 284 ° С, модуль упругости – 310 ГПа, плотность – 1,8 т/м³. Бериллий отличается высокой теплоемкостью, хорошей теплопроводностью и электропроводностью.

Высокие удельная прочность и жесткость бериллия (σ_v/γ 38; E/γ 16,1) определяет важность металла для самолетостроения и в ракетостроении.

Малое содержание бериллия в земной коре (0,0005 %), сложная и дорогая технология извлечения металла из руд и получения полуфабрикатов определяют высокую стоимость бериллия.

Литой бериллий имеет крупнозернистое строение, поэтому хрупок.

Для улучшения пластичности проводят прокатку полуфабриката. Однако при температуре прокатки (выше 700 ° С) бериллий «схватывается» с инструментом. Поэтому прокатку ведут в стальной оболочке, которую затем стравливают.

Механические свойства бериллия зависят от технологии производства, размера зерна, наличия текстуры и наличия примесей.

Литой бериллий имеет: $\sigma_B = 280$ МПа, $\delta = 2 \dots 3$ %, горячекатаный полуфабрикат - $\sigma_B = 250 \dots 700$ МПа, $\sigma_{0,2} = 230$ МПа, $\delta = 7 \dots 10$ %.

Одним из важнейших недостатков бериллия является его токсичность. Попадая в легкие он вызывает тяжелое заболевание (бериллиоз), попадая на ранки – вызывает опухоли и язвы (предельное содержание бериллия на рабочем месте – $0,001$ мг/м³).

В промышленности применяют сплавы с $5 \dots 80$ % Ве.

Особенностью литейных бериллиевых сплавов является высокая размерная стабильность в условиях возникновения температурных градиентов при эксплуатации изделий. Сплавы маркируются тремя буквами ЛБС (литейный бериллиевый сплав) и порядковым номером (ЛБС-1, ЛБС-2, ЛБС-3).

Химический состав и механические свойства сплавов приведены в таблице 5.13.

Особенностью деформируемых бериллиевых сплавов является высокая жесткость при низкой плотности.

Для повышения жаропрочных свойств бериллия используется сложное последовательное легирование:

На первом этапе выбирается оптимальный состав двойного сплава (таблица 5.14). Далее выбранный двойной сплав легируют титаном, образующим высокопрочные интерметаллиды $TiBe_{12}$.

Например, на основе двойного сплава Ве – Ni разработан сплав ВБД-1 (при изготовлении из порошкового бериллия – ВБД-1-П) со следующим химическим составом: Ni - $7,5 \dots 8,5$ %; Ti - $0,8 \dots 1,2$ %; остальное - Ве. Механические свойства сплава ВБД-1П приведены в таблице 5.15.

Сплав применяется в ракетостроении: фермы переходных отсеков и выносных приборов, кронштейны крепления солнечных батарей: детали отсеков и контейнеров (элементы обшивки, панели, каркасы, шпангоуты).

Таблица 5.13

Химический состав и механические свойства литейных сплавов

Химический состав, %, ос- тальное бериллий		Сплав ЛБС-1	Сплав ЛБС-2
		Al – 24 ... 34; Ni – 3 ... 6; Zr, Sc, Y, Gd, - 0,06 ... 0,21;	Al -36 ... 24; Ni -3,5 ... 4,5; Mg -0,6 ... 0,8; Zr, Sc, Y, Gd, - 0,03 ... 0,12;
Механические свойства			
σ_B , МПа, при температуре, °С	-100	255	274
	0	225	255
	100	186	235
	300	112	118
$\sigma_{0,2}$, МПа, при температуре, °С	-100	235	245
	0	196	216
	100	145	170
	300	103	
δ , %, при температуре, °С	-100	2,8	2,0
	0	2,4	2,1
	100	2,5	2,1
	300	1 ... 2,4	3,0

Таблица 5.14

Механические свойства двойных бериллиевых сплавов

Содержание легирующих элементов, %	Средний размер зерна, мкм	σ_B , МПа, при температуре, °С	
		20	500
6,7 Cu	124	256	146
2,4 Ag	186	282	209
5,8 Ni	160	346	275
1,7 Co	96	301	218
0,2 Fe	347	307	125

Новые деформируемые бериллиевые сплавы (АБМ-1 и АБМ-40-3) обладают плотностью 2,2 ... 2,35 т/м³; модулем упругости -140 ... 180 ГПа; теплопроводностью – 121 ... 138 Вт/м*град. Область применения сплавов: гироскопы (рамы подвеса, блоки чувствительных элементов, корпуса); орбитальные телескопы (многоэлементные корпуса телескопов, детали подвеса телескопов, опытные корпуса зеркал; детали космических аппаратов (антенны наведения, рамы подвеса); компьютерная техника (отливки деталей позиционеров блока памяти на жестких дисках).

Таблица 5.15

Механические свойства сплава ВБД-1П

Температура испытаний, °С	Состояние	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСУ, МДж/м ²
20	Деформированное	500 ... 550	450 ... 490	0,8 ... 1,5	0,01
500	Отожженное	350 ... 370	290 ... 310	2,5 ... 6,0	0,03
700	Отожженное	150 ... 170	100 ... 120	14 ... 18	–

5.4. Биметаллы

В условиях непрерывного удорожания производства легированной стали, цветных металлов и их сплавов большое значение приобретает применение биметаллов и многослойных покрытий. Биметалл – материал, состоящий из металла – основы и нанесенного на него одно или многослойного покрытия. Биметаллы позволяют не только уменьшить расход дефицитных и дорогостоящих цветных сплавов, но и получить материалы с новыми, уникальными свойствами. Например: при изготовлении отвалов плугов используется трехслойная сталь «сталь60-сталь15-сталь60» - износостойкий материал, позволяющий резко повысить стойкость отвала.

В Российском машиностроении применяется:

- сталь листовая трехслойная коррозионно-стойкая (сталь08Х18Н10Т - сталь10 или сталь 08 - сталь08Х18Н10Т) - детали машин для подготовки и внесения в почву удобрений и химзащиты растений;
- сталь листовая трехслойная износостойкая (сталь60 - сталь15 - сталь60) - рабочие органы почвообрабатывающих машин (лемехи, отвалы, полевые доски), ножи для резки сельскохозяйственной продукции, молоточки для молотильных барабанов комбайнов;
- трубы биметаллические (сталь10 - бронза БрОФ6,5-0,15) - подшипники скольжения;

- полосы биметаллические антифрикционные (сталь08 - бронза
- БрОФ6,5-0,4) - вкладыши коренных и шатунных шеек двигателей;
- листы рифленые плакированного дуралюмина (алюминий - дуралюмин Д1 - алюминий) - настилы полов сельхозмашин.

5.5. Полимерные материалы и пластмассы

Общая характеристика полимерных материалов (полимеров)

Полимеры - высокомолекулярные вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных звеньев (мономеров) одинаковой структуры. Их молекулярная масса составляет $10^5 \dots 10^7$. Следовательно, свойства полимера определяется не только его химическим составом, но и строением и взаимным расположением молекул. Своеобразие свойств полимеров обусловлено структурой их макромолекул. По форме макромолекул, различают полимеры: линейные, разветвленные, плоские ленточные, плоские сетчатые, слоистые и пространственные (рис. 5.4).

Гибкие длинные макромолекулы обладают высокой прочностью вдоль цепи и слабыми молекулярными связями, что обеспечивает их эластичность, способность размягчаться при нагреве и затвердевать при охлаждении (полиэтилен, полиамид). Разветвленные молекулы отличаются наличием боковых ответвлений, что препятствует их плотной упаковке (полиизобутилен). Плоские ленточные молекулы состоят из двух цепей, соединенных химическими связями. Они обладают повышенной теплостойкостью и большей жесткостью.

Пространственные молекулы образуются при соединении молекул между собой прочными химическими связями. Образуется сетчатая структура с различной плотностью сетки. Молекулы с редкой сеткой (сетчатые) теряют способность растворяться и плавиться, но обладают упругостью (мягкие резины). Густосетчатые молекулы (пространственные) отличаются твердостью и большой теплостойкостью.

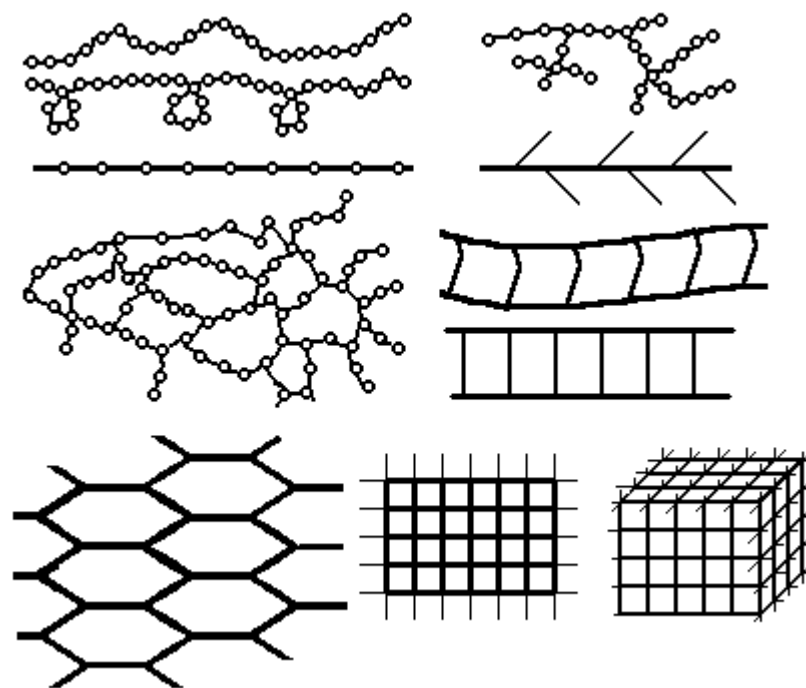


Рис. 5.4. Форма макромолекул.

Эти полимеры лежат в основе конструкционных неметаллических материалов. Аморфные полимеры строятся из цепных молекул, и собраны в пачки. Пачки являются структурными элементами, и могут перемещаться относительно соседних элементов. Некоторые аморфные полимеры состоят из цепных молекул, свернутых в клубки (глобулы). Такая структура дает низкие механические свойства (хрупкое разрушение по границам глобул.). При повышении температуры, глобулы могут разворачиваться, что повышает механические свойства.

Квази кристаллические полимеры образуются только из достаточно гибких макромолекул с регулярной структурой. В этом случае возможно образование пространственных решеток внутри пачки. Гибкие пачки складываются в ленты, многократно поворачиваются на 180° и образуют пластины (рис. 5.5, а). Пластины, наслаиваясь, друг на друга, образуют правильные кристаллы. При затруднении наслаивания образуются сферолиты (рис. 5.5, б), состоящие из лучей, чередованием кристаллических и аморфных зон. Кристаллические участки состоят из микрофибрилл (рис. 5.5, в).

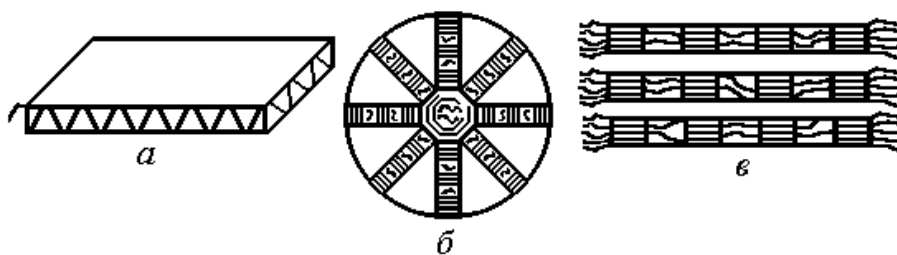


Рис. 5.5. Структура квазикристаллических полимеров:

a – пластина; *б* – сферолит; *в* – микрофибрилла.

По отношению к нагреву, полимеры разделяются на термопластичные и терморезистивные. Термопластичные полимеры имеют линейную или разветвленную структуру молекул. При нагреве они размягчаются, могут плавиться, при охлаждении затвердевают. Этот процесс обратим. Терморезистивные полимеры в начальной стадии образования имеют линейную структуру. При нагреве они размягчаются. Далее образуется пространственная структура, полимер получает термостабильное твердое состояние.

Особенности строения полимеров определяют их свойства. Высокая молекулярная масса, приводит к невозможности перехода в газообразное состояние или образованию низковязких жидкостей. Термостабильные полимеры – не размягчаются. Полимеры могут находиться в трех стабильных состояниях: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем.

Стеклообразное – твердое аморфное состояние, движения звеньев и перемещения макромолекул нет. Высокоэластическое состояние характеризуется способностью материала к большим обратимым изменениям формы под действием незначительных нагрузок. Вязкотекучее состояние напоминает жидкое состояние с большой вязкостью.

Полимеры стареют (самопроизвольно и необратимо изменяются их важнейшие механические свойства) под воздействием света, кислорода (озона), влажности, теплоты, длительного хранения. Процессы старения ускоряются под воздействием механических напряжений. Сущность старения заключена в сложной цепной реакции с образованием свободных радикалов (реже ионов) сопровождаемой деструктуризацией. Наиболее устойчивы к воздействию высоких атмосферных температур и влаги полиэтилен, поли-

тетрафторэтилен, полиамидные волокна. Для замедления старения, в полимеры добавляют стабилизаторы (органические вещества, антиоксиданты). Например: срок службы полиэтилена, стабилизированного сажей увеличивается до 5 лет; поливинилхлорид имеет срок службы до 25 лет.

Общая характеристика пластмасс

Пластмассы – многокомпонентные искусственные материалы, изготовленные на основе полимеров.

Простые пластмассы – это полимеры без добавок (полиэтилен, фторопласты, органическое стекло). Сложные пластмассы – это смеси полимеров (связка) с различными добавками (наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и так далее).

В качестве связки используются: синтетические смолы; эфиры, целлюлоза.

Наполнитель – это органические или неорганические вещества в виде порошков (древесная мука, сажа, слюда, оксид кремния или титана, тальк, графит), волокон (хлопчатобумажные, стеклянные, полимерные, асбестовые) листов (бумага, ткани, древесный шпон). Наполнители добавляют в количестве от 40 до 70 % для повышения механических свойств, снижения расхода дорогостоящей связки, улучшения потребительских свойств пластмассы.

Для повышения эластичности и облегчения обработки в пластмассу добавляют *пластификаторы* (олеиновая кислота, стеарин, дибутилфторат). Пластификаторы уменьшают межмолекулярное взаимодействие и должны быть хорошо совместимы со связкой.

Стабилизаторы сохраняют структуру макромолекул и стабилизируют свойства пластмассы. Под воздействием внешней среды (влажность, газовая атмосфера, солнечная радиация) происходит разрыв макромолекул или разрыв поперечных связей макромолекул (старение пластмассы). Добавка стабилизаторов замедляет старение. Стабилизаторами могут служить различные органические вещества.

Специальные добавки – смазочные материалы, красители, антистатика, добавки для уменьшения горючести, защиты от плесени и другие служат для повышения потребительских свойств пластмассы.

Отвердители – добавляют в термореактивные пластмассы для отверждения. Отвердитель встраивается в общую молекулярную сетку полимера с образованием поперечных связей. В качестве отвердителей используют органические перекиси, серу и другие вещества.

Основной классификации пластмасс служит химический состав связки (основного полимера). В зависимости от вида связки различают пластмассы фенолоформальдегидные (фенопласты), эпоксидные, полиамидные, полиуретановые, стирольные, фторопласты и другие.

По характеру связки, различают термопластичные и термореактивные пластмассы.

Термопластичные пластмассы (термопласты) – пластмассы, которые после формирования изделия сохраняют способность к повторной переработке. Термореактивные пластмассы (реактопласты) – пластмассы, переработка которых в изделие сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала.

По виду наполнителя, различают пластмассы: порошковые (карболи-ты)- с наполнителем в виде древесной муки, графита, талька ... Волокнистые – с наполнителем из: очесов хлопка и льна (волокниты); стеклянных нитей (стекловолокниты); асбеста (асбоволокниты). Слоистые – с листовым наполнителем: бумажные листы (гетинакс); хлопчатобумажные ткани, стеклоткани, асбестовые ткани (текстолит, стеклотекстолит, асботекстолит). Газонаполненные – с воздушным наполнителем (пенопласты, поропласты).

Особенностями пластмасс являются: малая плотность; низкая теплопроводность; большое тепловое расширение; хорошие электроизоляционные свойства; высокая химическая стойкость; хорошие технологические свойства.

Термопластичные пластмассы

Под нагрузкой полимеры ведут себя как вязкоупругие вещества, их деформация складывается из трех составляющих: упругой, высокоэластичной и вязкого деформационного течения.

Вязкие аморфные термопласты при растяжении сильно вытягиваются. При разрыве, остаточная деформация составляет десятки и сотни процентов. Эта вынужденная высокоэластичная деформация возникает в результате вытягивания скрученных макромолекул под действием нагрузки. Пластическое течение на участке $m - n$ (рис. 5.6, *a*) это постепенное распространение шейки на весь образец.

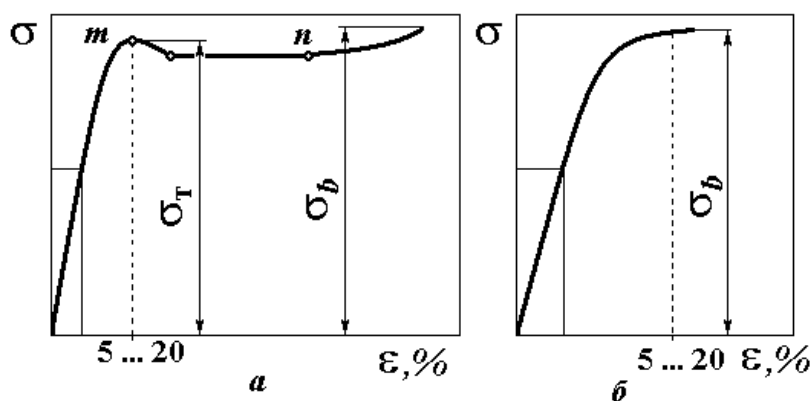


Рис. 5.6. Диаграмма растяжения пластмасс: *a* – вязких аморфных и квази кристаллических термопластов; *б* – хрупких термопластов, термопластов с молекулами, ориентированными вдоль направления растяжения и реактопластов; $m - n$ – участок пластического течения; затемнена область допустимых нагрузок и удлинений.

Сходная картина наблюдается при растяжении квази кристаллических полимеров. При растяжении этих полимеров исходная квази кристаллическая структура заменяется новой, в которой квази кристаллы имеют другую форму и преимущественно одинаково ориентированы (этот процесс называют рекристаллизацией). Рекристаллизация состоит из трех последовательных этапов: разрушения квази кристаллов под действием напряжения; вытягивание молекул по направлению растягивающей силы на участке с разрушенными квази кристаллами; появление новых квази кристаллов между параллельно расположенными макромолекулами.

Термопласты с ориентированной молекулярной структурой при растяжении вдоль направления ориентации не обнаруживают пластического течения (рис. 5.6, б).

Для снижения ползучести в термопласты вводят наполнители, уменьшают содержание пластификаторов. При температурах ниже 20 ... 25 °С прочность термопластов повышается при одновременном снижении вязкости. При отрицательных температурах возможно их хрупкое разрушение. Для предупреждения этого в термопласты добавляют пластификаторы, синтетические каучуки.

Модуль упругости термопластов в 10 ... 100 раз меньше, чем у металлов и сплавов. Наибольший модуль упругости имеют полистирол (3,5 ГПа) и органическое стекло (3,3 ГПа), наименьший – полиэтилен (1,8 ГПа). Прочность термопластов лежит в пределах 10 ... 100 МПа. Термопласты хорошо сопротивляются усталости ($\sigma_{-1} = 0,2 \dots 0,3 \sigma_B$). Однако при переменных нагрузках с частотой более 20 Гц пластмассы поглощают энергию, разогреваются и разрушаются значительно быстрее.

Наиболее применяемые в отечественной промышленности термопласты:

- на полиформальдегидной (возможно с наполнителем из стеклянного волокна до 30 %);
- поликарбонатной (возможно с наполнителем из стеклянного до 30 % или углеводородного волокна до 40 %);
- полифиниленоксидной (возможно с наполнителем из полистирола до 10 % или стеклянного волокна до 30 %);
- полиимидно (возможно с наполнителем из углеводородного волокна до 40 %);
- полиамидоимидной (возможно с наполнителем из стеклянного волокна до 10 ... 30 %) матрице.

Термореактивные пластмассы

Реактопласты получают на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, фенолформальдегидных и кремнийорганических полимеров. Пластмассы имеют сетчатую структуру, поэтому при нагреве не плавятся, устойчивы против старения, водо-масло-бензостойки. Реактопласты после отверждения имеют низкую ударную вязкость, поэтому требуется применение наполнителей. Важными свойствами реактопластов являются удельная жесткость и удельная прочность. При правильно выбранном наполнителе, реактопласты по этим свойствам превосходят многие стали, алюминиевые и титановые сплавы.

Различают реактопласты с порошковым наполнителем, с волокнистым наполнителем (волокниты) и слоистые пластики.

Пластмассы с порошковым наполнителем наиболее однородны по свойствам, хорошо прессуются. Их применяют для наиболее сложных по форме изделий. Но они имеют пониженную ударную вязкость.

Волокниты отличаются повышенными прочностью и ударной вязкостью (при использовании стеклянного волокна – до 20 ... 30 кДж/м²). Наполнение асбестовыми волокнами повышает теплостойкость до 200 °С.

Слоистые пластики – самая прочная и универсальная по применению группа реактопластов. По виду наполнителя различают: текстолиты (хлопчатобумажная ткань); гетинаксы (бумага); древесно-слоистые (древесный шпон); стеклотекстолиты (ткань из стеклянного волокна). В текстолитах и стеклотекстолитах важен вид плетения полотна. При полотняном плетении (нити основы и утка равномерно переплетены) нет особого различия в прочности вдоль и поперек волокон. При кордовом плетении (нити утка расположены редко и предназначены только для сплетения основы) прочность вдоль основы максимальна.

5.6. Резиновые материалы

Резина – продукт специальной обработки (вулканизации) каучука. От других материалов, резина отличается высокой эластичностью (относительное удлинение до 1 000 %).

Вулканизация - физико-химический процесс взаимодействия каучука с вулканизирующим веществом, в результате которого происходит изменение свойств каучука: он теряет пластичность, становится эластичным, увеличивается прочность, стойкость к действию химических веществ.

Основой любой резины служит каучук натуральный (НК) или синтетический (СК). Для улучшения свойств каучуков, в резину вносят специальные добавки:

Вулканизирующие вещества - участвуют в образовании пространственно – сетчатой структуры вулканизата. Обычно применяют серу или селен.

Важнейшим вулканизирующим веществом является сера. Процесс вулканизации в смесях, содержащих одну серу, протекает медленно (в течение нескольких часов). Для сокращения времени вулканизации вводят химические вещества, называемые ускорителями вулканизации. В современной практике резинового производства в основном используются органические ускорители (полисульфиды, оксиды свинца или магния, дифенилгуанидин, альтакс, каптакс, тиурам) в количестве 1—2% массы каучука.

Противостарители (антиоксиданты) замедляют процесс старения резины. Противостарители химического действия замедляют окисление каучука. Физические Противостарители типа парафин и воск образуют на внешней части изделия защитные пленки.

Мягчители (пластификаторы) облегчают переработку резиновой смеси, увеличивают эластичность каучука, повышают морозостойкость резины. Обычно применяют парафин, вазелин, стеариновую кислоту, битумы ...

Наполнители, различаются по воздействию на каучук: инертные (мел, тальк ...) и активные. Инертные наполнители вводятся для удешевления ре-

зины. Активные наполнители (углеродистая сажа, оксид цинка ...) улучшают механические свойства резины.

Регенерат – продукт переработки старых резиновых изделий и отходов резинового производства. Кроме снижения стоимости резины, регенерат снижает склонность резины к старению.

Антипирены – снижают воспламеняемость и горючесть резины.

Фунгициды – защищают резину от воздействия микроорганизмов, особенно в условиях тропиков.

Дезодоранты – подавляют неприятный запах резины.

Красители и пигменты вводят для окраски резины.

Большинство каучуков – непредельные высокомолекулярные соединения с линейной или слабоветвистой структурой. Наличие в молекулах непредельных связей позволяет переводить макромолекулы в стабильное состояние. Для этого, в местах двойной связи присоединяют двухвалентную серу, получая пространственную сетчатую структуру (вулканизация).

Изменяя содержание серы в составе резиновых смесей, можно получать сетку с разной величиной ячейки. Так, например, для получения мягких, высокоэластичных резин в состав смеси вводят 1 ... 3% серы (мелкоячеистая структура); полутвердых резин - около 10% серы, а твердых резин (эбонита) - 30 ... 40% серы.

5.7. Клеи и герметики

Клеи герметики относятся к пленкообразующим материалам. Клеи применяются для склеивания различных материалов. Герметики – обеспечивают уплотнение и герметизацию швов, стыков и т.д. В состав этих материалов входят:

- пленкообразующие вещества (термореактивные смолы, каучук ...).
- растворители (спирты, бензин ...);
- пластификаторы - для устранения усадочных явлений при склеивании, и для повышения эластичности пленки;

- отвердители и катализаторы - для перевода пленкообразующего вещества в термостабильное состояние;
- наполнители - для повышения прочности и других характеристик клеевого слоя.

Клеевые соединения, по сравнению с другими видами соединений, позволяют:

- соединять различные материалы в различных сочетаниях;
- более стойки к коррозии;
- более технологичны при ремонте изделий;
- позволяют соединять тонкие изделия.

Органическая природа многих клеев определяет их низкую длительную теплостойкость (до 350 °С). Клеи на основе кремнийорганических и неорганических полимеров имеют повышенную теплостойкость (до 1000 °С).

Клеи классифицирую по ряду признаков:

- по пленкообразующему веществу - клеи смоляные и резиновые;
- по адгезионным свойствам - клеи универсальные и специальные;
- по отношению к нагреву - клеи обратимые (термопластичные) и необратимые (термостабильные);
- по условия отверждения - клеи горячего или холодного склеивания;
- по внешнему виду - жидкие, пастообразные и пленочные клеи;
- по назначению - конструкционные силовые и не силовые клеи.

Смоляные клеи изготавливают на основе термореактивных смол, которые отверждаются в присутствии катализатора и отвердителей. Клеи холодного склеивания, как правило, обладают малой прочностью. Клеи горячего склеивания, за счет более полного отверждения, имеют высокую прочность и теплостойкость. Рассмотрим основные виды клеев.

Клеи на основе модифицированных фенолформальдегидных смол применяют для склеивания металлических силовых элементов, деталей из стеклопластика и т.д.

Фенолкаучуковые клеи имеют высокую адгезию к металлам, достаточно эластичны и теплостойки, водостойки, обеспечивают прочное соединение при неравномерном отрыве. Выпускаются марки: ВК-32-200; ВК-3; ВК-4; ВК-13.

Фенол кремнийорганические клеи содержат в качестве наполнителя асбест, алюминиевый порошок. Клеи термостойки, водостойки, обладают высокой длительной прочностью. Выпускаются марки: ВК-18, ВК-18М (теплостойкость до 600 °С).

Клеи на основе эпоксидных смол затвердевают только в присутствии отвердителя (соотношение «смола: отвердитель» - 10: 1 ... 10: 3). Они являются силовыми конструкционными клеями, обладают: высокой прочностью пленки, хорошей адгезией к металлам, водостойки, маслобензостойкие, но имеют низкий предел прочности на изгиб и низкую теплостойкость. При увеличении добавки отвердителя, уменьшается время отверждения (от 24 до 1 часа). Для повышения изгибной прочности, в композицию добавляют пластификатор и волокнистые наполнители. К клеям холодного отверждения относят композиции с маркировкой «ЭД», а также марки Л-4, ВК-9, КЛН-1, ЭПО. К клеям горячего затвердевания относят: ВК-32ЭМ, К-153, ФЛ-4С. Эпоксидно-кремниевые композиции ТКМ-75, Т-73 применяются для приклеивания режущей части инструментов. Клей УП-5-207М обладает высокой влагостойкостью, стоек к смене температур, вибрациям и старению. Клеи полиуретановые холодного и горячего отверждения. В состав композиции входят полиэфиры, полиизоцианаты и цементный наполнитель. При смешивании компонентов происходит химическая реакция, в результате которой клей затвердевает. Клеи обладают: универсальной адгезией, хорошей вибростойкостью, прочностью, маслобензостойкостью. Выпускаются композиции: ПУ-2, ВК-5, ВК-11. Эти клеи высокотоксичные.

Клеи на основе кремнийорганических соединений обладают высокой теплостойкостью, маслобензостойкостью, не вызывают коррозию черных сплавов. Применяются для склеивания легированных сталей, титановых

сплавов, неорганических материалов, стеклопластиков и асбобластиков. Выпускаются композиции: ВК-2, ВК-8, ВК-15.

Резиновые клеи предназначаются для склеивания резины с резиной, резины с металлами или со стеклом. Они представляют собой растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях. Многие из них требуют горячей вулканизации ($140 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$). Для увеличения адгезии, в состав композиции вводят синтетические смолы (Клей 88НП). Для повышения хладостойкости и теплостойкости (от $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+300 \text{ }^\circ\text{C}$), в композицию вводят кремнийорганические смолы (КТ-15, КТ-30, МАС-1В).

Неорганические клеи - высокотемпературные клеи. Клеи выпускаются в виде: концентрированных водных растворов; твердых порошков (после нанесения композиции, заготовки нагревают, композиция плавится, потом затвердевает); дисперсных растворов.

Фосфатные клеи – раствор фосфатов с инертным или активным наполнителем. Выпускаются композиции: АХФС, АФС. АФХС (алюмохромофосфатная связка) – температура отверждения $20 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$; $\sigma_{\text{в}}$ $3 \dots 10 \text{ МПа}$; $\tau_{\text{сдвига}}$ $0,9 \dots 1,4 \text{ МПа}$; огнеупорность $1000 \dots 1800 \text{ }^\circ\text{C}$; водо- кислотостоек. Применяется для склеивания различных металлов. АФС (алюмофосфатная связка, наполнитель – $\text{ZrO}_2 + \text{Ti}$); $\sigma_{\text{сж}}$ до 250 МПа .

5.8. Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы применяются с целью нанесения на наружные поверхности деталей защитных или декоративных покрытий. Качественные покрытия наносятся на предварительно обработанные поверхности: шлифовка поверхности до получения шероховатости не более $R_z 0,6 \dots 1,2 \text{ мкм}$, удаление с поверхности жировых, масляных и окисных пленок, нанесение на поверхности специальных грунтовок. Различают лакокрасочные материалы: прозрачные (лак); кроющие (эмаль) и подготовительные (грунтовка).

Лаки состоят из природной или синтетической основы, пластификаторов и красителей. Эмали выполняются на природной или синтетической ос-

нове с добавками: пластификаторов; красителей; пленкообразователей; антипенных, диспергирующих, кроющих и т.д. добавок.

Покрyтия наносятся кистью, распылением, окунанием и др. способами.

В машиностроении применяются ЛКМ на канифольной (КФ), битумной (БТ), глифталевой (ГФ), пентафталевой (ПФ), алкидно-стирольной (МС), эпоксидной (ЭП), алкидно-уретановой (УР), кремнийорганической (КО) и полимерной (ХВ, ХС, АС, ВЛ...) основах.

5.9. Прокладочные материалы

Прокладочные материалы применяются для герметизации соединений корпусных или иных деталей (особенно при высоких давлениях и температурах внутри герметизируемой полости), для теплоизоляции и электроизоляции разъемных частей.

В качестве прокладочных материалов используют естественные, синтетические или композиционные материалы.

Естественные материалы – кора пробкового дерева, асбест, войлок и отожженная медь.

Кора пробкового дерева применяется при небольших давлениях и температурах. Основное ее достоинство – маслoбензостойкость. Но кора пробкового дерева – дефицитный материал, поэтому применение ее, ограничено. Часто применяют пробковую крошку связанную синтетическим клеящим составом.

Асбест обладает прочностью, эластичностью, диэлектрическими свойствами, устойчив при температуре до 1500°.

Войлок – плотный шерстяной материал. Войлочные прокладки предотвращают попадание в соединения посторонних веществ, задерживают смазочные масла, смягчают удары и вибрации, являются хорошим шумоизолятором.

Красную отожженную медь применяют при высоких температурах и давлениях.

Синтетические материалы – маслобензостойкая резина, различные пластмассы. Эти материалы, обычно хорошие диэлектрики, но имеют низкую морозостойкость, теплостойкость, малый срок службы. Применяются в неотвественных соединениях или, как матрица композиционных материалах.

Композиционные материалы – целлюлозосодержащие материалы или композиция: синтетический материал – упрочнитель.

Целлюлозосодержащие материалы (бумага, плотный картон) применяются в качестве тонких прокладок в узлах, не подвергаемых воздействию влаги. Из бумаги, обработанной хлористым цинком, касторовым маслом и глицерином получают фибру. Фибра – прочный и долговечный диэлектрик стойкий к маслу и воде.

Из композиционных материалов чаще всего применяют композиции на основе маслобензостойкая резины. В качестве наполнителя используется: распушенный асбест, графитный порошок, стальная фольга, стальная проволока или их сочетание. Композиционные прокладочные материалы наиболее универсальны, относительно дешевы, имеют большую долговечность.

5.10. Волокнистые (древесные) материалы

В машиностроении достаточно широко применяются древесные материалы. Эти материалы относительно легко поддаются переработке, хорошо сопротивляются раскалыванию, сжатию, изнашиванию. Наиболее широко используется сосна, ель, лиственница, дуб и береза.

Достоинства сосны: легкость; достаточно высокая прочность, хорошая гнилоустойчивость. Ель обладает меньшей прочностью, меньшей смолистостью, хуже обрабатывается резанием. Береза однородная по строению, прочная, хорошо обрабатываемая и более дешевая древесина. К недостатку березы относится – деформации под влиянием переменной влажности воздуха. Дуб – твердая и прочная древесина, применяется для изготовления ответственных элементов конструкции. Лиственница обладает прочностью на 30% больше, чем сосна, стойкостью к гниению.

К древесным материалам относятся: пиломатериалы (доски, брусья, бруски); фанера; древесные плиты.

Доски выпускаются толщиной 16 и более мм. Различают доски: необрезные (после распиливания бревен); полуобрезные (одна из кромок - обрешана); обрезные (обрезаны обе кромки).

Брусья – пиломатериалы квадратного или прямоугольного сечения (100x100 и более). По числу опиленных сторон, различают брусья: двух- трех - и четырех кратные.

Бруски - обрезной пиломатериал толщиной до 100 мм и шириной не более двойной толщины.

Фанера – слоистая клееная древесина, состоящая из трех, пяти и более слоев лущеного березового или соснового шпона, расположенных перпендикулярно друг другу. Фанера легко гнется, не коробится. Фанера выпускается листами толщиной от 1,5 до 18 мм. Размер листа 1220 (2440) x 725 (1525) мм. Слои шпона склеиваются синтетическими смолами. Бакетилизованная фанера имеет повышенную прочность, водостойкость и атмосферостойкость.

Древесные плиты обладают высокой прочностью и формоустойчивостью. Различают плиты: столярные, фанерные, древесностружечные, древесноволокнистые.

Столярные плиты получают склеиванием узких реек в щиты. Выполняются из сосны, ели, березы. Выпускаются плиты размером: 1800 – 2500 x 1220 – 1525 x 16 – 50 мм.

Фанерные плиты отличаются от фанеры большей толщиной (15, 20, 25, 30, 45 мм).

Древесностружечные плиты (ДСП) – композиционный материал. Основа – синтетические смолы, наполнитель – отходы деревообрабатывающих предприятий (стружка). По прочности приближаются к прочности древесины хвойных пород, тяжело режутся, но хорошо склеиваются. Изготавливают: однослойные; трехслойные; покрытые строганным шпоном; с декоративным синтетическим покрытием. Марки: ПС – плоского прессования, средней

плотности; ПТ – плоского прессования, тяжелые; далее в маркировке указывается количество слоев.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) аналогичны ДСП, но наполнитель – древесные или растительные волокна. Обладают большей прочностью. Плиты изготавливают нескольких марок: М – мягкие, ПТ – полутвердые, Т – твердые, СТ – сверхтвердые. ДВП могут выпускаться: с декоративным или водозащитным покрытием; звукопоглощающие плиты.

5.11. Композиционные материалы с металлической матрицей

Композиционный материал – волокно или дисперсные частицы (наполнитель), соединенные в единую композицию с помощью вещества – связки (матрицы). Наполнитель должен быть нерастворим в матрице. В качестве матрицы часто применяют цветные металлы (Al, Mg, Ni ...) или их сплавы.

Волокнистые композиционные материалы

В волокнистых композиционных материалах (ВКМ) наполнитель является упрочнителем. По механизму армирующего действия различают волокнистые композиционные материалы: дискретные – с отношением длины волокна L к его диаметру d : $L/d = 10 \dots 10^3$ и с непрерывным волокном $\frac{L}{d} \rightarrow \infty$.

Дискретные волокна располагаются в матрице хаотично. Диаметр волокон 0,1 ... 100 мкм.

Часто композит с непрерывным волокном представляет собой слоистую структуру, в которой каждый слой армирован большим числом параллельных непрерывных волокон. Нередко волокна сплетаются в трёхмерные структуры.

От обычных сплавов, ВКМ отличается высокими прочностными показателями, пониженной склонностью к трещинообразованию и высокой удельной прочностью (отношение прочностных показателей к плотности). Прочность ВКМ определяется свойствам волокон, матрица должна скреплять

волокон и распределять напряжения между ними. При этом механические свойства ВКМ вдоль волокон значительно выше, чем поперек волокон.

Прочность ВКМ определяется свойствами волокон: матрица должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы.

Чаще всего применяют ВКМ на основе алюминия, магния, титана, никеля и их сплавов.

Для алюминиевых и магниевых ВКМ применяют волокна: борные ($\sigma_B = 2\ 500 \dots 3\ 500$ МПа); углеродные ($\sigma_B = 1\ 400 \dots 3\ 500$ МПа); из карбидов кремния ($\sigma_B = 2\ 500 \dots 3\ 500$ МПа); карбидов, нитридов и оксидов тугоплавких металлов; высокопрочную сталь.

Для армирования титана и его сплавов применяют молибденовую проволоку, волокна сапфира, борида титана.

Для получения высокопрочных ВКМ в качестве упрочнителя используют нитевидные кристаллы из оксида и нитрида алюминия, карбида и нитрида кремния, карбида бора ($\sigma_B = 14\ 000 \dots 28\ 000$ МПа; $E = 400 \dots 600$ ГПа).

Для жаропрочных никелевых ВКМ применяют волокна из вольфрамовой или молибденовой проволоки.

Свойства некоторых ВКМ приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16

Механические свойства некоторых ВКМ

ВКМ	σ_B , МПа	E , ГПа	ВКМ	σ_B , МПа	E , ГПа
В-АL (ВКА-1А)	600 ... 1 300	220	В-Mg: (ВКМ-1)	500 ... 1 300	220
Al-C (ВКУ-1)	350 ... 1 700	350	Al-сталь (КАС-1А)	350 ... 1 700	110

ВКМ используют для изготовления шатунов высокооборотных двигателей внутреннего сгорания, высоконагруженных элементов обшивки аэро-

космической техники, силовых элементов конструкций резервуаров для агрессивных сред.

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы

В отличие от ВКМ в дисперсно-упрочненных композиционных материалах (ДУКМ) матрица является основным материалом, несущим нагрузку, а дисперсные частицы тормозят движение дислокаций матрицы (являются упрочняющей фазой). Высокая прочность достигается при размере частиц 0,01 ... 0,5 мкм, при среднем расстоянии между частицами 0,1 ... 0,5 мкм и равномерном их распределении в матрице.

ДУКМ можно получить на основе практически всех применяемых в технике металлов и сплавов.

Использование в качестве упрочняющих фаз тугоплавких оксидов тория, гафния, индия, оксидов редкоземельных металлов, не растворяющихся в матрице, позволяет сохранить высокую прочность материала до 0,9 ... 0,95 $T_{\text{плавления}}$. Поэтому такие ДУКМ применяют в качестве жаропрочных материалов.

Наиболее широко используют ДУКМ на основе Al – САП (спеченный алюминиевый порошок). САП состоит из Al и дисперсных чешуек Al_2O_3 . С увеличением содержания Al_2O_3 повышается предел прочности на растяжение и уменьшается относительное удлинение. Сравнение механических характеристик САП приведено в таблице 5.17.

Таблица 5.17

Механические характеристики САП

САП	Al_2O_3 , % (по объему)	σ_b , МПа	δ , %	σ_{100} (длительная прочность при $T=500^\circ C$), МПа
САП-1	6...9	300	8	45
САП-3	13...18	400	3	55

Плотность САП равна плотности Al; они не уступают ему по коррозионной стойкости; по длительности прочности они превосходят деформированные алюминиевые сплавы.

В качестве жаропрочных материалов, применяются ДУКМ с матрицей на основе никеля и наполнителем (2 ... 3% по объему) из оксида (ThO_2) или гафния (HfO_2). Обычно, матрица этих ДУКМ – γ - раствор Ni + 20%Cr, или Ni + 15%Mo, или Ni + 20% (Mo+Cr). Например: композиционные материалы: ВДУ-1 (никель, упрочненный двуокисью кремния) при температуре 1 200 ° C имеют σ_{100} 75 МПа, σ_{1000} 65 МПа; ВДУ-2 (никель, упрочненный двуокисью гафния); ВД-3 (матрица - Ni + 20%Cr; упрочнение – окись тория).

ДУКМ применяются при необходимости сочетания высокой удельной прочности с высокой жесткостью; с пониженной склонностью к трещинообразованию или с высокой жаропрочностью. Например: элементы жесткости, панели в автомобилестроении или в сельхозмашиностроении; для облегчения кузовов, рессор, бамперов, в качестве высоконагруженных деталей самолетов (обшивка, лонжероны, панели).

Слоистые композиционные материалы

Слоистые композиционные материалы (СКМ) – многослойные ВКМ (рис. 5.7).

СКМ - важнейший класс композиционных материалов, обладающих широким спектром и уникальным сочетанием таких ценных свойств, как высокая прочность, коррозионная стойкость, электро - и теплопроводность, жаропрочность, износостойкость. По назначению СКМ подразделяются на: коррозионностойкие, антифрикционные, электротехнические, инструментальные и др.

В настоящее время СКМ находят все большее применение в судостроении, авто - тракторостроении, приборостроении, металлургической, горнодобывающей, нефтяной и других отраслях машиностроения. Из СКМ

изготавливают листы, ленты, трубки, проволоки, трубы, фасонные профили, детали и другие конструкции.

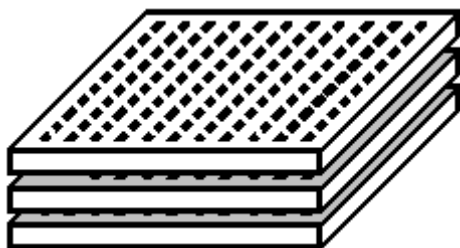


Рис. 5.7. Схема слоистого композиционного материала.

Для деталей, работающих при высокой температуре (например, в камерах сгорания реактивных двигателей) применяют СКМ, содержащие молибденовую и вольфрамовую проволоку в матрицах из титана. Наибольшей прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 2,2$ ГПа) при температуре 1093°C обладает проволока из сплава W—Re—Hf—C , что в 6 раз выше прочности никелевых или кобальтовых сплавов при такой же температуре.

Крупногабаритные листы СКМ размерами $100 \times (600 \dots 1500) \times (1800 \dots 8000)$ мм получают пакетной прокаткой или литейным плакированием с последующей прокаткой. Основной слой — малоуглеродистых (углеродистых) и низколегированных сталей плакируется одним двумя слоями (Cr—Ni ; Cr — сталь, сплавами на основе никеля, алюминия или меди).

Листовой коррозионностойкий СКМ находит применение в судостроении и в пищевой промышленности.

СКМ, основной слой которых — конструкционная или низколегированная сталь, а плакирующий слой — высоколегированная аустенитная сталь (например, сталь 22 — сталь O8X18H10T), применяется для изготовления сосудов атомных электростанций.

5.12. Композиционные материалы с неметаллической матрицей

В композиционных материалах с неметаллической матрицей в качестве основы (матрицы) применяют полимерные (эпоксидная, фенолоформальдегидная, полиамидная и др.), углеродные и керамические материалы. Упрочнителями служат волокна: стеклянные, углеродные, борные, органические,

на основе нитевидных кристаллов (оксиды, бориды, карбиды, нитриды), металлическая проволока.

Свойства материалов зависят от состава композиции, сочетания компонентов, прочности связей между ними. Свойства матрицы определяют, в основном, прочность композита на сдвиг и сжатие, сопротивление усталостному износу. Свойства упрочнителя определяют, в основном, прочность и жесткость материала. В слоистых материалах волокна, нити, ленты, пропитанные связующим, укладывают параллельно друг другу. Полученные слои собираются в пластины. При параллельной укладке свойства композита получаются анизотропными. При укладке волокон под углом друг к другу можно получить материалы с изотропными свойствами. Рассмотрим некоторые наиболее применяемые композиты.

Карбоволокниты (углепласты) представляют собой композиции, состоящие из полимерной матрицы и упрочнителя в виде углеродных волокон (карбоволокон, жгутов, лент, тканей). В качестве матрицы применяются: полимеры (полимерные карбоволокниты); синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу (коксованные карбоволокниты); пиролитический углерод (пироуглеродные карбоволокниты). Для удешевления производства, в композит добавляют стекловолокно (карбостекловолокниты).

В таблице 5.18 приведены свойства современных углепластиков.

Таблица 5.18

Свойства углепластиков на основе различных углеродных наполнителей

Марка наполнителя	$\sigma_{в}$, МПа	E , МПа	Толщина моно-слоя, мм
УКН-П, УКН-М	1400 ... 1600	140	0,17 ... 0,22
ЭЛУР-П; ЭЛУР-П-0,08; ЛУ-П-0,1; ЛУ-П-0,2	700 ... 1100	120	0,08 ... 0,13
ЛУ-24П, Кулон	700 ... 1000	300	0,11 ... 0,13
УОЛ-300	1400	135	0,12 ... 0,23
УТ-900	600	60	0,23 ... 0,27

В ракетостроении и в авиастроении наибольшее применение нашли углепластики следующих марок:

КМУ-7 – высокопрочный углепластик на основе углеродных жгутов и эпоксидной смолы с прочностью при растяжении 1600 МПа и модулем упругости при растяжении 150 ГПа; рабочие температуры до 170°C. Материал используется в кузовостроении, при изготовлении панелей и подшипников.

КМУ-4 – высокомодульный углепластик на основе углеродной ленты Кулон и эпоксидной смолы с модулем упругости при растяжении 200 ГПа.

КМУ-7 – высокомодульный, высокопрочный углепластик на основе углеродной ленты ЛУ-24П и эпоксидной смолы с модулем упругости при растяжении 200 ГПа и прочностью при растяжении 1100 МПа.

КМУ-8 - термостойкий углепластик на основе полиамидоимидной смолы и углеродной ленты ЭЛУР-П; прочность при растяжении 1000 МПа; рабочие температуры до 250°C.

КМУ-400 - термостойкий углепластик на основе гетероциклического полимера и углеродных жгутовых наполнителей в виде лент; рабочие температуры до 400°C; прочность при растяжении 1200 МПа, модуль упругости 200 ГПа, температурный коэффициент линейного расширения $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; используется для изготовления теплонагруженных деталей компрессора и газотурбинного двигателя гражданских авиационных изделий.

ГКМ-3 - гибридный полимерный композиционный материал с послойным чередованием наполнителей в виде углеродной ленты и стеклоткани. Прочность при растяжении 820 МПа, при сжатии 790 МПа, сохранение прочности при 100°C - более 80% от исходной. Рекомендуется применение в деталях, где требуется точность воспроизведения сложных геометрических поверхностей и герметичность.

ВКГ-5 - гибридный полимерный композиционный материал на основе эпоксидного расплавленного связующего с внутрислойным чередованием наполнителей из углеродных жгутов и стекловолокна. Прочность при растяжении 1000 МПа, модуль упругости при растяжении 92 ГПа, прочность при

сжатии 940 МПа, сохранение прочности при 120°С - более 80% от исходной. Используется для изготовления методом намотки лонжеронов лопастей вертолетов, эксплуатирующихся в любых условиях. Обладает высокой влагонепроницаемостью.

Бороволокниты – композиции полимерного связующего (модифицированные эпоксидные смолы) и упрочнителя - борных волокон.

Материалы отличаются высокой прочностью при сжатии, срезе, низкой ползучестью, высокой твердостью. Ячеистая микроструктура борных волокон обеспечивает высокую прочность при сдвиге на границе раздела с матрицей. Бороволокниты обладают высокими сопротивлениями усталости, они устойчивы к воздействию радиации, воды, органических растворителей и горючесмазочных материалов. Так как борные волокна являются полупроводниками, то бороволокниты обладают повышенной теплопроводностью и электропроводимостью. Физико-механические свойства бороволокнитов приведены в таблице 5.19.

Таблица 5.19

Физические свойства бороволокнитов

Материал	Относительное удлинение при разрыве, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Сопротивление усталости на базе 10 ⁶ циклов, МПа	Длительная прочность при изгибе за 1000 ч, МПа	Плотность, т/м ³
КМВ-1м	0,3...0,5	90	400	1 370	2,1
КМВ-1к	0,3...0,4	78	350	1 220	2,0
КМВ-2к	0,3..0,4	110	400	1 200	2,0
КМВ-3к	0,3...0,4	110	420	1 300	2,0

Бороволокниты КМВ-1 и КМВ-1к предназначены для длительной работы при температуре 200° С; КМВ-3 и КМВ-3к могут работать при температуре не выше 100 °С; КМВ-2к работоспособен при 300 °С.

Изделия из бороволокнитов применяют в авиационной технике.

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы, состоящие из полимерного связующего и упрочнителей (наполнителей) в виде синтетических волокон. Такие материалы обладают малой массой, сравнительно высокой удельной прочностью и жесткостью, стабильны при действии знакопеременных нагрузок и резкой смене температуры. Материалы имеют стабильные во времени механические свойства, хорошо работают при повышенной влажности и повышенных климатических температурах и применяются как корпусной материал машин, работающих в тропическом и субтропическом климате.

Недостатком органоволокнитов является сравнительно низкая прочность при сжатии и высокая ползучесть (особенно для эластичных волокон).

Стекловолокониты - пресс - материалы, состоящие из коротких волокон стекловолокна (наполнителя), пропитанные полимерным связующим.

Стекловолокониты обладают высокой удельной прочностью и жесткостью, хорошо противостоят вибрационным и знакопеременным нагрузкам. Они отличаются хорошими диэлектрическими и теплоизоляционными свойствами, которые сочетаются с высокой стойкостью к различным химическим реагентам, к воздействию микроорганизмов и коррозии.

Свойства стекловолоконитов во многом зависят от применяемого наполнителя. Использование щелочных (известково-натриевых) стекол для производства стеклянного волокна дает возможность получать материалы с высокой кислотостойкостью, применение малощелочных (боросиликатных) стекол – материалы с более высокими диэлектрическими показателями и водостойкостью. Существенную роль играет толщина волокна: чем тоньше стекловолокно, тем выше прочность на изгиб, но ниже ударная вязкость.

Высокопрочные ($\sigma_{\text{в}}$ 1200 ... 1500 МПа) стекловолокониты (марки СК-5-211Б, СК-2561) на основе кордных стеклотканей Т-25(ВМ) и Т-50(ВМП) и полимерных связующих применяют для изготовления многолопастных высоконагруженных малозумных винтов винтовентиляторных двигателей широ-

кофюзеляжных самолетов короткого взлета и посадки Ан-70Т, Ан-140, Ил-114 (рис. 5.8).

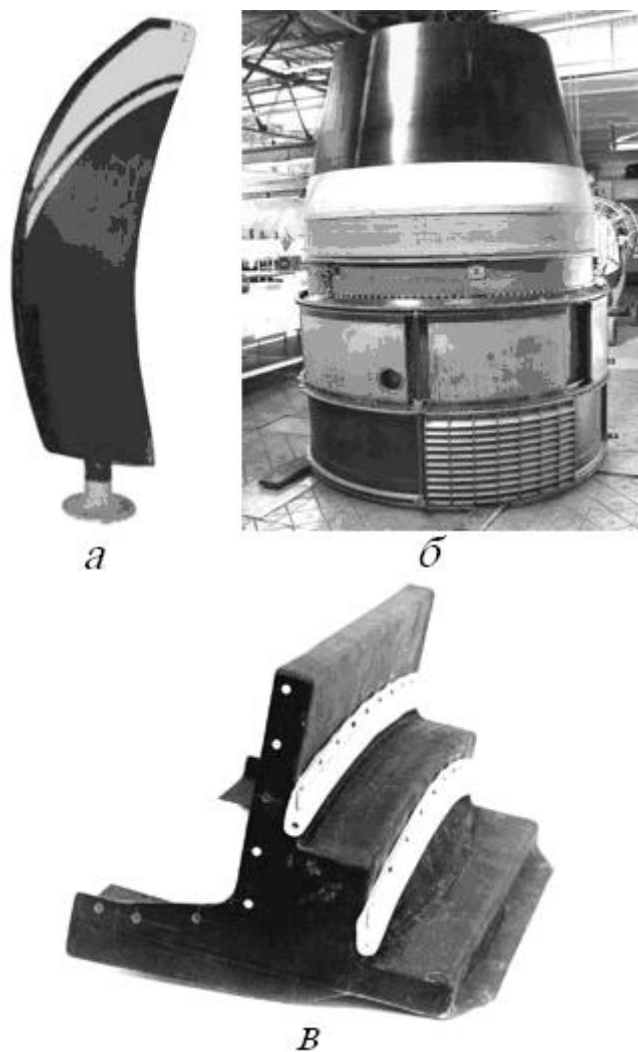


Рис. 5.8. Примеры изделий из стекловолоконитов:

а – лопасть винта самолета АН-70 из стекловолоконита СК-5-211Б; *б* – корпус авиадвигателя из стекловолоконита СК-2561; *в* - детали кожуха мотогондолы из стекловолоконита СТП-97.

Высокопрочные, термостойкие полиимидные стекловолокониты (марок СТП-97, СТМ-Ф) могут работать при температуре до 350 °С и обеспечивают: сохранение высоких

стабильных прочностных характеристик при длительном воздействии повышенных температур и высокую пожаробезопасность конструкций.

Эти стеклопластики применяются при изготовлении кожухов мотогондол двигателей (рис. 5.8, *в*), панелей капотов, защитных экранов.

Кремнийорганические термостойкие стеклопластики (марка ДК-46) могут работать при температуре до 450 °С, обладают высокой жидкотекучестью (при литье возможно получение протяженных стенок толщиной от 0,3 мм), и обеспечивают высокую работоспособность изделия при высоких температурах эксплуатации. Эти стекловолокониты предназначены для изготовления деталей конструкционного и электротехнического назначения (флан-

цевые диски, рассеиватели сигнальных устройств, колпачки, крышки). Примеры электротехнических деталей из материала ДК-46 показаны на рис. 5.9.



Рис. 5.9. Примеры электротехнических деталей из материала ДК-46

Слоистые алюмопластики (СИАЛ-1, СИАЛ-2, СИАЛ-3, СИАЛ-4) - новый класс конструкционных материалов, состоящих из тонких (0,3 ... 0,5 мм) листов из алюминиевых сплавов и прослоек клеевого стекловолокниста.

Материалы отличаются высоким сопротивлением росту трещины усталости при высокой прочности, пониженной плотности, повышенной пожаростойкости (1000 °С, 10 мин без прогорания). СИАЛы применяются при изготовлении обшивок фюзеляжа, внутренних перегородок самолетов.

Базальтопластики (базальтоволокниты) – полимерный композиционный материал основе непрерывных или дискретных базальтовых волокон со слоистой фенолоформальдегидной матрицей.

Материал (по сравнению со стекловолокнистами) имеет высокую прочность на изгиб (на 22...40%), ударную вязкость (на 16...45%), водостойкость (на 10%), плотность (на 14-18%), термостойкость при 400...800°С (на 10-50%).

5.13. Конструкционные порошковые материалы

Изделия из порошковых материалов получают методами порошковой металлургии.

Порошковая металлургия – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Технология получения изделий из порошковых материалов включает в себя прессование металлических порошков в изделия необходимой формы и

размеров с последующим спеканием в вакууме или в защитной атмосфере при температуре $0,75 \dots 0,8T_{\text{плавления}}$.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются:

- возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений;
- экономия металла за счет получения изделий высокой точности (требуется минимальная механическая обработка, отходы составляют 1...3%);
- простота технологии порошковой металлургии.

Различают пористые и компактные ПМ.

5.14. Пористые порошковые материалы

Отличительной особенностью пористых порошковых материалов (ППМ) является наличие равномерной объемной пористости (от 10 до 30%), которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

Антифрикционные пористые порошковые материалы (АППМ) применяются для изготовления подшипников скольжения.

АППМ представляют собой пористую основу (пористость 15...30 %), пропитанную маслом или графитом. При повышении трения подшипник нагревается, масло или графит поступают из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся. Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

При нагрузках до 600 МПа подшипники могут работать при скоростях скольжения до 6 м/с. При меньших нагрузках скорость скольжения можно увеличить до 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06.

Антифрикционные детали изготавливают из железографита (1...7% графита) или из бронзографита (8...10% Sn и 2...4% графита). Металлическая основа железографитных материалов имеет перлитную структуру, что обеспечивает хорошую износостойкость при высоких скоростях и нагрузках.

Для улучшения прирабатываемости добавляют 0,8...1,0% серы или 3,5...4,0% сульфидов. Механические свойства антифрикционных материалов приведены в таблице 5.20.

Таблица 5.20

Механические свойства железографитных и бронзографитных материалов

Вид	Марка	Коэффициент трения		Наибольшая нагрузка, МПа	Наибольшая рабочая температура, град. С	$\sigma_{в}$, МПа	НВ
		Без смазки	Со смазкой				
Железографитные	ЖГр1		0.07	1000	200°	180	60
	ЖГр2	-	-	-		-	-
	ЖГр7		0,09	1500		300	120
Бронзографитные	БрОГр10-2	0.04	0,05	400	250°	30	25
	БрОГр8-4	-	-	-		-	-
		0.09	0.007	500		50	50

Фрикционные материалы (пористость 10...13 %) предназначены для работы во фрикционных механизмах (муфты сцепления, тормозные механизмы). Для фрикционных механизмов характерны следующие условия:

- трущиеся поверхности сильно нагреваются (поверхностные слои - до 1200°С; по объему - до 600°С);
- скорости трения до 50 м/с;
- нагрузки - 350...400 МПа;
- коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7;
- высокая прочность и большая износостойкость.

В состав фрикционных порошковых материалов (ФПМ) входят следующие компоненты:

- основа – медь и ее сплавы (для рабочих температур 500...600°C), железо, никель и сплавы на их основе (для работы при сухом трении и температурах 1000...1200°C);
- твердые смазки – свинец, олово, висмут, графит, сульфиты бария и железа, нитрид бора (необходимы для предотвращения микросхватывания при торможении и предохранения фрикционного материала от износа);
- материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и другие (коэффициент трения у ФПМ на основе: железа – 0,18 ... 0,4 - сплав ФМК11; меди - 0,17 ... 0,25 сплав МК5).

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10%, железо – 5...10 %, кремнезем или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Фильтры (пористость 25...50 %) из спеченных металлических порошковых материалов по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация.

Они могут работать при температурах от -273°C до 900°C , быть коррозионностойкими и жаропрочными (можно очищать горячие газы). Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионностойких материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. в металлургической промышленности применяют материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь. Фильтры на основе титана, алюминия, коррозионно-стойкой стали с пористостью 45 ... 50% и размером пор 2 ... 20 мкм используют для очистки жидкостей и газов.

«Потеющие сплавы» – порошковые материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. За счет испарения жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин).

Сплавы выпускаются на основе порошка нихрома с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа можно использовать и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

Пеноматериалы – материалы с очень высокой пористостью, 95...98 %. Например, плотность вольфрама 19,3 т/см³, а пеновольфрама – всего 3 г/см³. Такие материалы используют в качестве легких заполнителей и теплоизоляции в авиационной технике.

5.15. Компактные порошковые материалы

Компактные порошковые материалы (КПМ) получают из порошков углеродистой и легированной стали; бронзы, латуни, титановых и алюминиевых сплавов.

Изделия из КПМ изготавливают прессованием и ковкой в металлических оболочках (детали, работающие в условиях ударных нагрузок), горячим прессованием (детали, работающие в тяжело нагруженных узлах) прокаткой в ленту и т.д. При производстве жаропрочных, жаростойких и износостойких изделий применяют метод пропитки пористых заготовок жидкими расплавами металлов или их сплавов.

В крупносерийном и массовом производстве из КПМ получают детали относительно простой формы: различные шестерни, кулачки, храповики, звездочки привода газораспределительных механизмов двигателей, специальные гайки, статоры, лопасти насосов, корпусные детали (рис. 5.10).

Детали, полученные из КПМ, часто не требуют или требуют незначительной механической обработки.

Слабонагруженные детали (кулачки, корпуса подшипников скольжения, ролики, звездочки) изготавливают их смеси порошка железа и графита.



Рис. 5.10. Примеры деталей, изготовленных из КПМ.

КПМ из спеченных черных металлов и сплавов

Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латунью.

Детали сложной конфигурации (например, двух венцовые шестерни с центральным отверстием) получают из отдельных заготовок, которые перед спеканием насаживают одну на другую с натягом.

В зависимости от условий работы, шестерни изготавливают из композиций: железо – графит; железо – графит с медью или легирующими элементами. Пропитка композиции маслом обеспечивает самосмазываемость, что уменьшает износ шестерен и шумность передачи.

Поршневые кольца получают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твердая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и увеличивают содержание графита.

Изделия, работающие в агрессивных средах, изготавливают из хромоникелевых порошковых сталей (20% хрома и 15% никеля).

В маркировке КПМ из стали ставят буквы «С» и «П» – сталь порошковая; в конце маркировки указывают процентное содержание пор. Например: СП10-1 (сталь порошковая 10, поры 1%); СП45Х3-2 (сталь порошковая 45, 3% хрома, поры 2%).

КПМ из цветных металлов и их сплавов

Сплавы на основе цветных металлов нашли широкое применение в промышленности. В России принята варианта буквенно-числовая маркировка порошковых сплавов. Для порошковых металлов: на первом месте стоит буквенное обозначение матрицы (АЛП – алюминий порошковый, МП – медь порошковая, БП – бериллий порошковый), после дефиса ставят процентное содержание пор. Например, АЛП-2 – алюминиевый, порошковый, поры - 2%. При обозначении порошковых сплавов на первом месте так же ставят обозначение матрицы (АЛП – алюминиевые сплавы порошковые, БрП – бронза порошковая, ЛП – латунь порошковая), далее ставят буквенное обозначение других компонентов (Д – медь, Ж – железо, Г – марганец ...), после дефиса пишут процентное содержание пор и компонентов (например, АЛПЖ12-4 – алюминиевый сплав порошковый, поры – 2%, железа – 10%).

В машиностроении широко используют КПМ на основе меди, титана и алюминия.

Из сплавов на основе меди изготавливают вкладыши подшипников скольжения (рис. 5.11) и малонагруженные шестерни.

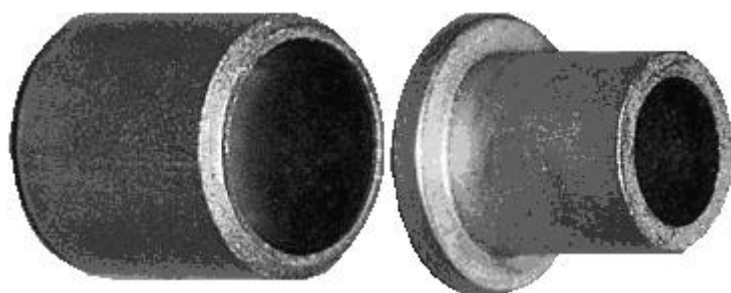


Рис. 5.11. Бронзографитовые вкладыши переднего и заднего подшипников стартера ВАЗ 2110.

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы хорошо обрабатываются давлением.

Спеченные алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

Электротехнические КПМ

Электроконтактные КПМ делятся на материалы для разрывных и скользящих контактов.

Материалы разрывных контактов должны обладать высокой электро- и теплопроводностью, должны быть эррозионностойкими при воздействии электрической дуги, не должны свариваться в процессе работы.

Контактные материалы изготавливают прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжелонагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из композиций вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широко используют материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно – графитовые материалы.

Скользящие контакты широко используют в приборах, коллекторных электрических машинах и электрическом транспорте (токосъемники).

Материал для контактов должен обладать высокими антифрикционными свойствами, причем контакт должен быть мягче, чем контр тело и не изнашивать его, так как заменить скользящий контакт проще, чем коллектор или привод. Для уменьшения коэффициента трения в состав смесей для скользящих контактов вводят твердые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты приборов изготавливают из серебра с графитом, серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, вольфрама с палладием.

Магнитные КПМ

Различают магнитомягкие и магнитотвердые КПМ.

Магнитомягкие – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основной магнитомягкий материал – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом (для повышения электросопротивления легируют кремнием, алюминием). Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Магнитодиэлектрики – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Эти материалы обладают высоким электросопротивлением и минимальными потерями на вихревые токи и на перемагничивание.

Магнитотвердые материалы (постоянные магниты) – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой.

Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо – алюминий – никель, железо – алюминий – никель – кобальт. После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля.

Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

Керамико-металлические материалы (керметы)

Керамико-металлические материалы или «керметы» - искусственные материалы, получаемые спеканием металлических и керамических порошков. Материалы сочетают ценные свойства керамики и металлов (высокая жаростойкость, износостойкость, твердость, прочность).

В качестве керамической фазы в керметах используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Современные керметы из нитридов, карбидов и других тугоплавких соединений используются в производстве материалов для футеровки ванн и ковшей, изготовления тиглей для выплавки и транспортировки жидких металлов и сплавов. Однако, несмотря на высокую жаропрочность тугоплавких керметов, общим их недостатком является высокая чувствительность к тепловым ударам и повышенная хрупкость, как при низких, так и при высоких температурах. Для снижения хрупкости к материалам добавляют металлы, которые выполняют роль вязких цементирующих фаз. Например, детали газовых турбин изготавливаются из спеченных материалов на основе твердых растворов карбида хрома или карбида титана с применением в качестве связующего никель-хромовых, кобальто-хромовых или никель-кобальтовых сплавов.

При производстве газотурбинных двигателей широко применяются керметы на основе оксида алюминия (корунда) и хрома или его сплавов. Эти керметы не окисляются при нагреве до $1280\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдерживают без разрушения до 1000 циклов нагружения по режиму «нагрев до $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ – резкое охлаждение». Предел прочности при изгибе кермета составляет $250 \dots 300$ МПа, а при растяжении – $50 \dots 130$ МПа.

Из керметов изготавливают уплотнительные кольца для насосов, различные электроизоляторы, волокна для протяжки проволоки, пескоструйные сопла, керны для формования отверстий в кирпиче и др. Пористые керметы используются в производстве сопел для электродуговой сварки, пенокерамических фильтров для очистки жидких расплавов металлов, катализаторов для дожигания вредных выбросов автомобилей и промышленных предприятий, газовых фильтров и др.

Частным случаем керметов являются металлокерамические твердые сплавы.

Металлокерамические твердые сплавы

Под металлокерамическими твердыми сплавами понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой, как правило, кобальтом.

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком связки, прессуют эту смесь в изделия необходимой формы и подвергают спеканию (в защитной атмосфере или в вакууме) при 1 400 ... 1 550 ° С. При спекании связка плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет получать плотный материал (пористость не более 2 %), состоящий на 80 ... 95 % из карбидных частиц, соединенных связкой. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости, но повышение вязкости.

Твердые сплавы обладают высокой твердостью 80 ... 92 HRA (73 ... 76 HRC), износостойкостью, теплостойкостью до 800 ... 1 000 ° С, модулем упругости до $6,8 \cdot 10^5$ МПа, пределом прочности на сжатие до 6 000 МПа. Их недостатком является высокая хрупкость и сложность изготовления фасонных изделий.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащаются режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы и др.), а также детали машин, приборов измерительного инструмента.

Свойства твердых сплавов и, следовательно, области их применения зависят от состава и зернистости карбидной фазы (WC, TiC, TaC), а также от соотношения карбидной и связывающей фаз. Регулированием этих факторов можно в определенных пределах менять свойства сплавов.

В соответствии с ГОСТ 3882–74 в России выпускают три группы твердых сплавов: вольфрамовая (однокарбидная), титановольфрамовая (двухкарбидная), и титанотанталовольфрамовая (трехкарбидная).

В обозначении марок сплавов используются буквы: В - карбид вольфрама, К - кобальт, Т – карбид титана, ТТ - карбид титана и карбид тантала. Цифры после букв указывают примерное содержание компонентов в процен -

тах. Остальное в сплаве (до 100%) - карбид вольфрама. Буквы в конце марки означают: В - крупнозернистую структуру, М - мелкозернистую, ОМ - особомелкозернистую.

Сплавы вольфрамовой группы (WC - Co) имеют наибольшую прочность, но более низкую твердость, чем сплавы других групп. Они теплостойки до 800 °С. Карбидная фаза этих сплавов состоит из зерен WC 1 (рис. 5.12, а). При одинаковой концентрации кобальта (связки) они, в отличие от сплавов других групп отличаются наибольшей прочностью, но более низкой вязкостью.

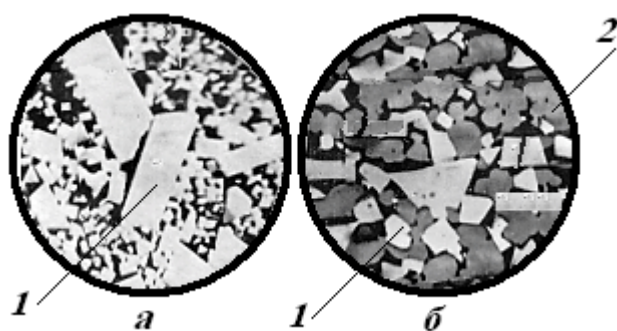


Рис. 5.12. Микроструктуры вольфрамовых сплавов:

а – ВК15; б – Т15К6; 1 – карбиды вольфрама; 2 – твердый раствор (Ti, W)C.

Сплавы применяют в режущем инструменте для обработки чугунов, сталей, цветных сплавов и неметаллических материалов. Повышенная износостойкость и сопротивляемость ударам сплавов группы ВК определяет их применение в горном инструменте и для изготовления штампов, пуансонов, матриц, фильер и т. д.

Сплавы второй группы (WC—TiC—Co) имеют более высокую теплостойкость (до 900 ... 1 000 °С) и твердость. Это связано с тем, что карбиды вольфрама частично растворяется в карбиде титана при температуре спекания с образованием твердого раствора (Ti, W)C, имеющего более высокую твердость, чем WC. Структура карбидной фазы зависит от соотношения WC и TiC в шихте. В сплаве Т30К4 образуется одна карбидная фаза — твердый раствор (Ti, W)C, который придает сплаву максимальную твердость (92 HRA), но пониженную прочность. В остальных сплавах этой группы количество WC превышает растворимость в TiC, поэтому карбиды вольфрама 1 в них присутствуют в виде избыточных частиц (рис. 5.12, б). Эти сплавы применяют в основном для высокоскоростной обработки сталей и чугунов.

Третью группу образуют сплавы системы (WC—TiC—TaC—Co). В этих сплавах структура карбидной основы представляет собой твердый раствор (Ti, Ta, W)C, и избыток WC. Сплавы этой группы отличаются от предыдущей группы большей прочностью, лучшей сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию. Они применяются в наиболее тяжелых условиях резания - при черновой обработке стальных поковок, отливок, а также труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Общим вольфрамовых сплавов, помимо высокой хрупкости, является повышенная дефицитность исходного вольфрамового сырья - основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики.

Хорошо себя зарекомендовали *безвольфрамовые твердые сплавы*, в которых в качестве наполнителя используется карбид титана, а в качестве связки - никель и молибден. Они маркируются буквами КТС и ТН. Твердые сплавы КТС-1 и КТС-2 содержат 15 ... 17 % Ni и 7 ... 9 % Mo соответственно, остальное - карбид титана. В твердых сплавах типа ТН-20, ТН-25, ТН-30 в качестве связующего металла применяют в основном никель в количестве 16 ... 30 %. Концентрация молибдена составляет 5 ... 9 %, остальное - также карбид титана. Твердость подобных твердых сплавов составляет 87 ... 94 HRA, сплавы имеют высокую износостойкость и коррозионную стойкость. Их используют для изготовления режущего инструмента и быстроизнашивающихся деталей технологического оборудования.

КПМ для керамических покрытий, газо-термического упрочнения

В последнее время в технике стали применять керамические покрытия деталей.

Нанесение керамических покрытий – способ защиты металлов и сплавов слоями керамики для предохранения их от химической коррозии в активных средах при повышенной температуре.

Покрытия наносят несколькими способами:

- При газопламенным способом материал в виде порошка расплавляют кислородно-ацетиленовым пламенем. При давлении 50 ... 100 МПа расплавленные частички получают высокую скорость (100 ... 150 м/с), с которой они ударяются об обрабатываемую поверхность детали.
- При детонационном способе порошок для будущего покрытия, с помощью взрывной волны (образующейся от горения смеси ацетилена с кислородом), выбрасывается на поверхность детали со сверхзвуковой скоростью (750 ... 1600 м/с). При соударении частиц порошка с поверхностью детали, частички пластически деформируются и прочно сцепляются с металлом детали (подложкой).
- При плазменном способе разогрев порошка осуществляется плазменной дугой (10 000 ... 20 000 °С). Расплавленный порошок (металл) под воздействием электропроводной плазменной дуги с большой скоростью ударяется о поверхность заготовки, деформируется и сцепляется с подложкой.

Контрольные вопросы

1. Какая предельная концентрация серы и фосфора допускается в высококачественных сталях?
2. Назовите наименьшее количество углерода в высокоуглеродистых сталях?
3. Как маркируются углеродистые качественные конструкционные стали?
4. Расшифруйте марку материала: ст 20; сталь У10; сталь 20ХГТ.
5. Какая форма включений свободного графита в высокопрочном чугуне?
6. Какими конструкторско-технологическими свойствами обладают титановые сплавы?
7. Назовите основные технологические свойства магниевых сплавов.
8. В каких областях промышленности применяются дюралюмины?
9. Какое название имеют медно-цинковые сплавы?

10. Как маркируются литейные бронзы?
11. Назовите основные недостатки бериллиевых сплавов?
12. Что такое биметалл?
13. Опишите свойства полимеров состоящих из плоских ленточных молекул?
14. В чем разница между термопластичными и терморезистивными полимерами?
15. Зачем в пластмассы добавляют пластификаторы?
16. Опишите свойства термопластов.
17. С какой целью проводят вулканизацию резины?
18. Зачем в резину вводят наполнители?
19. Что входит в состав герметиков?
20. Что такое композиционный материал?
21. В каких отраслях промышленности используют композиционные материалы? Приведите примеры.
22. При изготовлении каких деталей применяют пористые порошковые материалы?
23. Что такое «керметы»?