

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

*А.Н. Первышин, А.Н. Дружин*

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**  
**(технология машиностроения)**

САМАРА 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

*А.Н. Первышин, А.Н. Дружин*

# ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ (технология машиностроения)

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2011

УДК СГАУ: 621.01(75)

ББК 34.5

П 266

Рецензенты:

Главный конструктор ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова  
доктор технических наук, профессор В. П. Д а н и л ь ч е н к о;  
доктор технических наук, профессор Н. Д. П р о н и ч е в

*Первышин А.Н.*

П 266 **Введение в специальность (технология машиностроения):**  
учеб. пособие / *А.Н. Первышин, А.Н. Дружин.* – Самара: Изд-  
во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. 67 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-0847-0**

Изложены начальные сведения об информационных технологиях, общие вопросы технологии машиностроения, основные понятия процесса резания, проектирования и автоматизации технологических процессов.

Даны основные понятия точности обработки и качества поверхностей деталей машин, а также виды их сопряжений, методы и средства измерения размеров поверхностей. Обозначены основные направления деятельности инженера-технолога.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения».

УДК СГАУ: 621.01(75)

ББК 34.5

**ISBN 978-5-7883-0847-0**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Термин «технология» происходит от греческих слов «технос» – искусство, мастерство, умение, и «логос» – смысл, понятие, основание. Таким образом, технология – это путь мастерства, или система знаний, умений, навыков, позволяющих так воздействовать на исходный материал, чтобы получить требуемый результат.

Создание высококачественной и конкурентоспособной техники предъявляет исключительно высокие требования к технологии её проектирования, изготовления, сборки, испытаний и эксплуатации. Быстро изменяющиеся условия развития общества и возрастающее значение современных технологических достижений вызывают необходимость использования технологии как стратегического компонента развития предприятия. В связи с этим специальность «технология машиностроения» приобретает особую актуальность и востребованность.

Студентам уже в начале обучения необходимо иметь чёткие представления о будущей профессии, науках, которые необходимо изучить для её освоения, объектах и целях изучаемых дисциплин. В связи с этим в учебном пособии изложены этапы жизненного цикла изделия, начальные сведения об информационных технологиях, обозначены основные направления деятельности современного технолога. Кроме того, даны общие представления о технологии машиностроения, основные понятия процесса резания, рассмотрены вопросы проектирования и автоматизации технологических процессов. Приведены сведения о точности обработки и качестве поверхностей деталей машин, а также о видах их сопряжений, методах и средствах измерения размеров поверхностей.

# Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА

## 1.1. Этапы жизненного цикла продукции

Современное техногенное общество основано на взаимно уравновешенных производстве и потреблении. Они образуют замкнутую систему, т. к. первое служит для второго, а второе стимулирует существование первого. Результатом производства является продукция, которая в той или иной степени удовлетворяет запросы общества. Этот процесс называется *потреблением*. Причём чем полнее удовлетворяются требования потребителя, тем качественнее продукция. Под качеством понимается мера соответствия между требованиями потребителя и свойствами продукции.

Этапы жизненного цикла продукции (ЖЦП) можно представить в виде плоской спирали (рис.1), витки которой проходят через три сектора:

– потребление (эксплуатация продукции в соответствии со служебным назначением);

– инженерный анализ и проектирование;

– производство.

В жизненном цикле продукции происходит преобразование информации в виде запросов общества в материальные объекты производства в следующей последовательности:

*На стадии потребления*

1. Формирование потребности в некоторой продукции, удовлетворяющей конкретные запросы потенциальных потребителей.
2. Определение числа возможных потребителей, конкретных условий потребления и конкурентоспособной цены.

*На стадии инженерного анализа и проектирования*

3. Формализация запросов общества в виде конкретного технического задания (ТЗ).
4. Разработка и защита технического предложения, эскизного, технического и рабочего проектов, в которых последовательно обосновываются технические возможности создания изделия.
5. Разработка комплекта технологической и организационно-технической документации.
6. Изготовление технологического оснащения и первых образцов изделия на соответствие ТЗ.
7. Испытания первых образцов изделия, корректировка при необходимости ТЗ, рабочего проекта, комплекта технологической документации и дооснащение производства.

*На стадии производства*

8. Организация серийного производства, проведение сертификации изделия.
9. Модернизация продукции с целью повышения её качества.
10. Проведение контроля качества и испытаний изделия.
11. Изготовление запасных частей изделия.

Затем изделие опять поступает в *сферу потребления*, где происходит:

12. Использование изделий в соответствии со служебным назначением.
13. Организация сервисного обслуживания и ремонта.
14. Утилизация изношенных и неотребоваанных изделий.

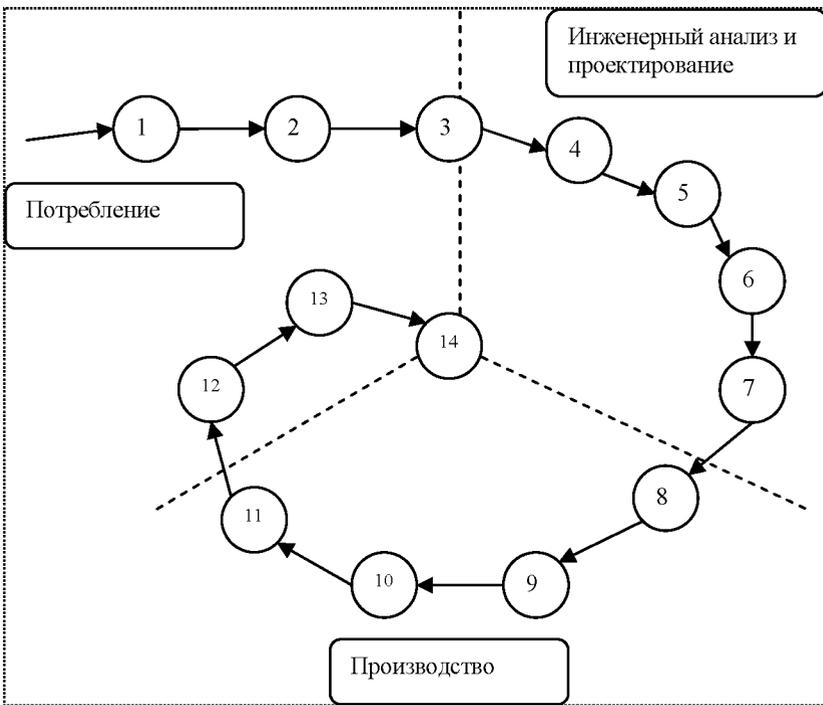


Рис. 1. Этапы жизненного цикла продукции

Направление движения по жизненному циклу идёт от периферии к центру спирали. Инженерный анализ и проектирование поддерживаются соответствующим научным информационным и материально-техническим обеспечением. Производство помимо указанного поддерживается информа-

циями о новых технологиях и методах организации производства. Потребление поддерживается рекламой, маркетингом, продажей, обслуживанием (ремонтом) и материально-техническим обеспечением.

В процессе движения по спирали жизненного цикла информация о сформировавшейся потребности постепенно преобразуется в информацию об облике предполагаемой продукции (материалах, устройствах, машинах); технологии её изготовления и обслуживания, материалах и средствах производства и, наконец, рациональных и экологически целесообразных способах и средствах утилизации.

В секторе *инженерного анализа и проектирования* сосредоточена вся работа по формированию полного объёма информации об облике продукции, технологии, средствах и организации её производства, необходимой и достаточной для материализации замысла, изложенного в ТЗ.

В секторе *производства* происходит материализация информации, разработанной на предыдущих этапах: изготовление технологического оснащения, размещение его на производственных площадях, поставка материалов и комплектующих изделий, собственно производство спроектированной продукции. Изготовленная продукция подвергается испытаниям с целью проверки полноты выполнения требований ТЗ. Неполнота выполнения этих требований приводит к необходимости либо корректировки требований и переходу к производству товарной продукции на втором витке спирали жизненного цикла, либо к существенным изменениям информации об облике продукции, технологии, оснащении и организации её производства. В последнем случае спираль жизненного цикла может иметь столько витков, сколько будет необходимо для достижения требований ТЗ.

Число витков спирали во многом зависит от базы знаний, обеспечивающей информационное сопровождение проектирования. Отсюда следует, что период *активной и эффективной* эксплуатации продукции определяется в первую очередь качеством инженерного анализа и проектирования, информационным обеспечением, а также скоростью его преобразования в систему документов и программ, приводящих к материализации проекта с максимальным приближением к требованиям ТЗ.

## **1.2. Информационные технологии**

Сокращение затрат как материальных, так и временных на этапах инженерного анализа и проектирования, а также производства продукции невозможно без широкого использования различных автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и современных пакетов прикладных программ.

Основные типы АС, использующихся на этих двух этапах ЖЦИ, приведены на рис.2.

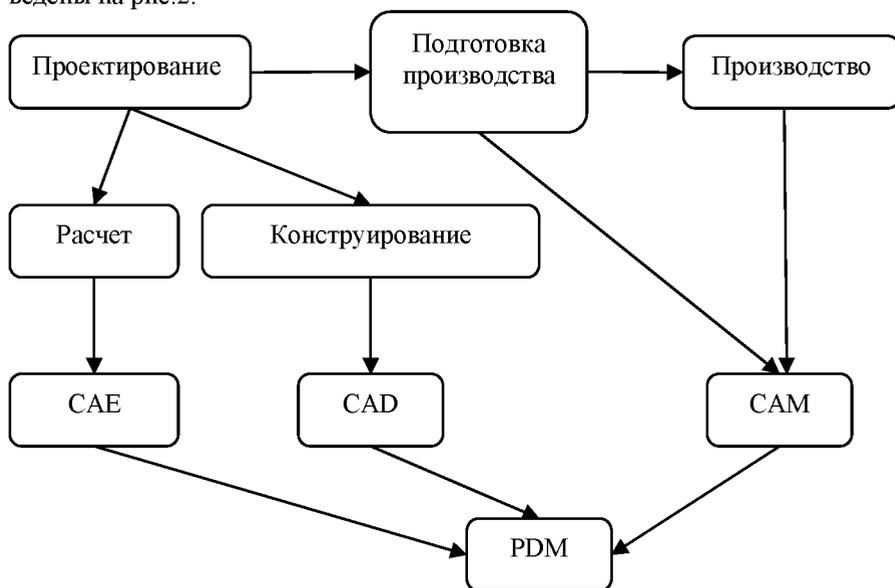


Рис. 2. Информационная поддержка жизненного цикла изделия

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности следующие системы:

- функциональное проектирование, т.е. расчёт и инженерный анализ – CAE;
- конструкторское проектирование – CAD;
- технологическое проектирование, т.е. проектирование технологических процессов – CAM.

Функции координации работы CAE/CAD/CAM систем, управления проектными данными и проектирования возложены на систему PDM – управления проектными данными.

Компьютерная поддержка этапов ЖЦИ получила своё оформление в методологии и стандартах ИПИ/GALS. Методология CALS предложена в департаменте обороны США в середине 80-х годов. Современная трактовка этого термина отражается в его расшифровке «Поддержка непрерывных поставок и жизненного цикла» или «Бизнес в высоком темпе». В русском языке, наряду с термином CALS, используется равнозначный термин ИПИ – Информационная Поддержка процессов жизненного цикла Изделий.

Сущность ИПИ/CALS-концепции состоит не только в том, чтобы проследить формирование и обеспечить удовлетворение возникшей потребности общества до её морального старения, но и в том, чтобы развивалась и совершенствовалась система создания продукции, удовлетворяющей непрерывно развивающиеся потребности в новой продукции.

CALS-технология это стратегия проектирования больших технических систем, которая позволяет успешно сохранять и развивать системы создания и производства продукции. Впервые как целостную систему её использовали при проектировании сложных систем новейших вооружений – аэрокосмической техники, ВМФ, тяжёлой и сложной техники сухопутных войск, в странах с высокоразвитой промышленностью.

Накопленный в этих областях опыт постепенно конвертируется в создание продукции машиностроения мирного назначения. Применение CALS-технологии позволяет существенно сократить объём проектных работ, т.к. описание многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранится в унифицированных форматах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю технологии CALS. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п.

Развитие CALS-технологий должно привести к появлению «виртуальных» производств, в которых процесс создания информационных модулей, достаточных для изготовления продукции, может быть распределён во времени и пространстве между многими организациями. Это позволяет упростить распространение передовых проектных решений, обеспечить возможность многократного воспроизведения частей проекта в новых разработках и т.п.

Такой подход приобретает особое значение для России в условиях экономического кризиса. Чтобы вернуть себе статус мировой промышленной державы, необходимо развитое станкостроение. Ведь при создании новых образцов вооружения, судов, самолётов и мирной продукции проектируется только то, что можно принципиально изготовить. Проектировать новую ракету, не имея соответствующего оборудования, бессмысленно. Поэтому станкостроение – необходимое условие создания и развития технологий. Но технологическая база России абсолютно не соответствует современным требованиям. Так, средняя скорость обработки детали в России сегодня примерно в 15 раз меньше, чем в США, а по высокоточной обработке специальных деталей и сплавов – в 25 раз. Отсюда и низкая производительность и конкурентоспособность.

В результате на российских заводах потребность в квалифицированных рабочих в 5-15 раз выше, чем на западных, при производстве одного и того же объёма продукции – отсюда и дефицит рабочей силы и низкая заработная плата. Ежегодно в России обновляется 0,3% станочного парка, тогда как на Западе 8-10%. Таким образом, за рубежом оборудование обновляют каждые 10 лет, а у нас при таких темпах на перевооружение станочного парка уйдёт 300 лет.

Предлагается решить эту проблему за счёт импорта западного оборудования и технологий. Однако на этом пути Россия полностью лишается шанса создать независимую высокотехнологическую промышленность, т.к. можно купить оборудование для розлива пива, нельзя купить оборудование и технологии для создания истребителя пятого поколения.

Единственный шанс сохранить суверенитет – это развивать собственные ВПК, самолёто- и судостроение, космическую отрасль, развивать отечественную науку и производство.

Развитие внутреннего рынка и создание собственной технологической базы – единственный путь ведущей страны, каковой является Россия.

### ***1.3. Основные направления деятельности современного технолога***

Инженер-технолог, подготовленный по направлению 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств» в рамках специальности 151001 «Технология машиностроения» может работать непосредственно после окончания вуза в областях науки и техники, направленных на конструкторско-технологическое обеспечение конкурентоспособной продукции машиностроения, т.е. ориентированных:

- на создание новых и применение современных производственных процессов и технологий, средств автоматизации методов проектирования, математического, физического и компьютерного моделирования;
- создание технологически ориентированных производственных, инструментальных и управляющих систем различного служебного назначения;
- проведение маркетинговых исследований;
- создание нормативно-технической документации, систем стандартизации и сертификации, методов и средств испытаний и контроля качества изделий машиностроения.

Дипломированный специалист в этой области должен быть подготовлен к решению следующих задач.

**Проектно-конструкторская деятельность:**

- формулирование целей проекта, задач при выданных критериях, целевых функциях, ограничениях, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учётом нравственных аспектов деятельности;
- разработка обобщённых вариантов решения проблем, анализ вариантов и выбор оптимального, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределённости, планирование реализации проектов;
- разработка проектов изделий с учётом механических, технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров;
- использование информационных технологий при проектировании изделий.

**Производственно-технологическая деятельность:**

- разработка и внедрение оптимальных технологий изготовления изделий;
- организация и эффективное осуществление контроля качества материалов, технологических процессов, готовой продукции;
- эффективное использование материалов, оборудования, инструментов, технологической оснастки, средств автоматизации, алгоритмов и программ выбора и расчётов параметров технологических процессов;
- выбор материалов и оборудования и других средств технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов;
- использование информационных технологий при изготовлении изделий;
- разработка программ и методик испытаний, средств технологического оснащения, автоматизации и управления;
- метрологическая проверка основных средств измерения показателей качества выпускаемой продукции;
- стандартизация и сертификация технологических процессов, средств технологического оснащения и автоматизации выпускаемой продукции.

**Организационно-управленческая деятельность:**

- организация процесса разработки и производства изделий, средств технологического оснащения и автоматизации производственных и технологических процессов;
- организация работы коллектива исполнителей, принятие управленческих решений в условиях различных мнений;

- организация выбора технологий, инструментальных средств и средств вычислительной техники при реализации процессов проектирования, изготовления, технического диагностирования и промышленных испытаний изделий;
- нахождение компромисса между различными требованиями (стоимости, качества, безопасности и сроков исполнения) как при долгосрочном, так и краткосрочном планировании и определении оптимальных управленческих решений;
- оценка производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции;
- обучение персонала в рамках принятой организации процесса разработки и (или) производства изделий.

#### **Научно-исследовательская деятельность:**

- диагностика состояния динамики объектов деятельности (технологических процессов, оборудования, средств технологического оснащения, автоматизации и управления) с использованием необходимых методов и средств анализа;
- создание математических и физических моделей процессов и систем, средств автоматизации и управления;
- планирование эксперимента и использование методик математической обработки результатов;
- использование информационных технологий и технических средств при разработке новых технологий и изделий машиностроения.

#### **Эксплуатационная деятельность:**

- настройка и регламентное эксплуатационное обслуживание оборудования, средств технологического оснащения, автоматизации и управления;
- выбор методов и средств измерения эксплуатационных характеристик изделий, средств технологического оснащения, автоматизации и управления, анализ эксплуатационных характеристик.

*Инженер-технолог должен выполнять следующие виды работ:*

- разрабатывать с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) технологические процессы на выпускаемую участком продукцию;
- внедрять технологические процессы в производство;
- устанавливать порядок выполнения работ и пооперационный маршрут прохождения продукции;
- составлять планы размещения оборудования, технического оснащения и организации рабочих мест, рассчитывать производственные мощности и загрузку оборудования;

- участвовать в разработке технически обоснованных норм времени, линейных и сетевых графиков, в отработке изделий на технологичность, рассчитывать нормативы материальных затрат, экономическую эффективность проектируемых технологических процессов;
- разрабатывать технологические нормативы, инструкции, схемы сборки, маршрутные карты и т.д.;
- составлять технические задания на проектирование приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией, участвовать в разработке управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- проводить патентные исследования и определять показатели технического уровня проектируемых объектов техники и технологии;
- участвовать в проведении экспериментальных работ по освоению новых технологических процессов и внедрению их в производство;
- осуществлять контроль за соблюдением технологической дисциплины в цехах и правильной эксплуатацией технологического оборудования;
- анализировать причины брака и выпуска продукции низкого качества, принимать участие в разработке мероприятий по их предупреждению и устранению;
- разрабатывать методы технического контроля и испытания продукции;
- рассматривать рационализаторские предложения по совершенствованию технологии производства и давать заключение о целесообразности их использования в условиях предприятия.

*Инженер-технолог должен знать:*

- постановления, распоряжения, приказы вышестоящих органов;
- методические и нормативные материалы по технологической подготовке производства;
- конструкцию изделий, на которые проектируется технологический процесс;
- технологию производства продукции предприятия, перспективы развития предприятия, системы и методы проектирования технологических процессов и режимов производства;
- основное технологическое оборудование и принципы его работы;
- типовые технологические процессы и режимы производства;
- технические требования, методы анализа технического уровня объектов техники и технологии;
- основные требования научной организации труда при проектировании технологических процессов;
- основы трудового законодательства, правила и нормы охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и противопожарной защиты.

## Глава 2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

### 2.1. Развитие технологии машиностроения

Термин «Технология» (от греч. *techne* — искусство, мастерство, умение) означает совокупность методов обработки, изготовления, изменение состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции. Задачей технологии как науки является выявление физических, химических, механических и других закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных и экономичных производственных процессов.

Термин «процесс» (от лат. *procesus* — продвижение) означает действие, направленное на достижение результата. В нашем случае имеются в виду достижения результата в машиностроительной промышленности.

*Машиностроение* — комплекс отраслей промышленности, изготавливающих орудия труда для народного хозяйства, транспортные средства, а также предметы потребления и оборонную продукцию. Машиностроение является материальной основой технического перевооружения всего народного хозяйства нашей страны.

Развитие любой науки, в том числе и технологии машиностроения, постоянно сопровождается изменением трактовки её содержания. Развитие технологии машиностроения прошло путь от описания опыта обработки и сборки изделий до глубокого изучения закономерностей, возникающих в процессе изготовления изделий и их коррекции путем автоматического саморегулирования технологических процессов. Задачами технологии машиностроения останутся снижение себестоимости и повышение производительности обработки при высоком качестве изделий. Причём технологический процесс должен строиться с учётом автоматического саморегулирования, поскольку с автоматизацией технологических процессов человек должен быть отстранён не только от непосредственного осуществления, но и от управления производственным процессом изготовления изделий. Эти функции передаются ЭВМ, а человеку остается только следить за их работой. Но для этого необходимо всесторонне изучить все связи и закономерности процесса изготовления изделия.

Понятие «технология» применимо практически ко всем отраслям народного хозяйства, в которых можно выделить не только способы, методы приёма труда, но и установить, что собой представляют средства и предметы труда, как их лучше использовать и легче установить между ними взаимосвязи.

Одним из основных факторов, определяющих ускорение научно-технического прогресса, является быстрое развитие технологии при опережающем развитии фундаментальных исследований. Главной целью разработки и освоения любой новой технологии должно быть обеспечение заданных темпов роста производительности труда при снижении себестоимости и повышении качества выпускаемых изделий. Необходимость разработки новых технологий особенно остро ощущается в тех производствах, где старые методы во многом уже исчерпали себя, и совершенствование традиционных методов не может существенно улучшить экономические показатели. Создание новых технологий обуславливается также ограниченностью трудовых и топливно-сырьевых ресурсов. Новые технологии должны обеспечивать снижение затрат на единицу конечной продукции, причём чем ограниченнее ресурсы, тем в большей мере совершенствование технологии должно быть направлено на их экономию.

В последние годы происходит постепенный переход от традиционных технологических методов обработки к более прогрессивным физическим, химическим и биологическим методам. Совокупность методов и приёмов изготовления машин, выработанных в течение длительного времени и используемых в определённой области производства, составляет технологию этой области. В связи с этим появились понятия: технология литья, обработки давлением, сварки, механической обработки, сборки и др.

Однако под технологией машиностроения принято понимать научную дисциплину, изучающую преимущественно процессы механической обработки деталей и сборки машин, которая также затрагивает вопросы выбора заготовок, методы их изготовления и т. д.

Сложность процесса и физической природы явлений, связанных с механической обработкой, вызывает трудность изучения всего комплекса вопросов в пределах одной технологической дисциплины и обуславливает образование нескольких специализированных дисциплин.

Технология машиностроения тесно связана со всеми фундаментальными, прикладными науками и с производством, поэтому необходимо использовать весь арсенал научных и практических данных, которые имеются в нашем распоряжении на сегодняшний день. Научно-технический процесс позволяет решать не только технологические, но и экономические, а также социальные задачи. К экономическим задачам в первую очередь относятся экономия всех видов ресурсов (материалов, топлива, энергии, труда) и снижение себестоимости продукции; к социальным задачам – повышение доли творческого труда в общем его объёме. Как экономические, так и социальные задачи решают путём разработки и внедрения новых технологий.

В настоящее время возрастает роль научно-технического прогресса в технологии. Своеобразие нынешнего этапа состоит в том, что нужно одновременно проводить трудно-, фондо- и материалосберегающую политику. Это возможно только при переходе к новым технологиям, при которых одновременно обеспечивается рост производительности труда, повышение фондоотдачи и сокращение материалоемкости, в частности за счёт применения более эффективного инструмента, расширения использования методов горячего и холодного объёмного деформирования, сварки, штамповки, поверхностного упрочнения деталей, порошковой металлургии и др. Принципиально изменяет технологию металлообработки внедрение станков с числовым программным управлением, обрабатывающих центров и гибких автоматизированных производств. Органической частью технологического оборудования для обработки металлов и конструкционных материалов всё чаще становятся управляющие ЭВМ.

В машиностроении увеличиваются объёмы применения в машинах и приборах деталей, изготовленных методом порошковой металлургии. Всё большую роль в производстве играют лазерный луч, магнитное поле, ультразвук и другие способы воздействия на материал изделия. С помощью лазерной технологии с большой производительностью и точностью можно обрабатывать различные по химическому составу и твёрдости материалы. На станках с программным управлением, в которых роль традиционного резца выполняет электрическая искра, можно обрабатывать детали любой конфигурации, при этом не нужны слесарно-доводочные операции.

Внедрение новых технологий в производство приводит к революционным изменениям в экономике страны. Поэтому технология машиностроения становится ключевой составляющей научно-технического прогресса.

Развитие технологии любого производства основывается на комплексной механизации и автоматизации, обеспечивающих рост производительности труда и снижение себестоимости продукции. Основными направлениями развития технологии в машиностроении являются:

- создание принципиально новых технологических процессов изготовления деталей, узлов и агрегатов, обеспечивающих экономию различных видов ресурсов (материальных, энергетических, трудовых и финансовых);
- комплексная автоматизация и механизация производства на основе разработки и освоения новых видов высокопроизводительного технологического оборудования;
- совершенствование систем управления технологическими процессами на основе программно-целевого метода.

Повышение требований к качеству и технологичности продукции обуславливает необходимость изменения парка технологического оборудования.

Важнейшим критерием эффективности технологии являются минимальные затраты времени и материальных ресурсов при заданном качестве продукции. Решению этой задачи способствует информационная технология, являющаяся техническим средством, которое позволяет извлекать новые знания из растущего информационного потока в области технологии машиностроения. Информационная технология — методы, системы и средства, используемые для хранения и обработки информации с помощью компьютера. Ни одну крупную проблему нельзя решить без переработки значительного объема информации. Информационными ресурсами являются библиотеки, банки данных и знания каждого отдельного специалиста. В настоящее время в мире создано около 3500 баз данных, к которым разрешён диалоговый доступ. В них хранится примерно 150 млн документов. Базы данных связаны между собой и с миллионами пользователей. Они постоянно расширяются и обновляются. В целом ежегодный мировой информационный поток составляет примерно 10 млн названий, что в пересчете на одного специалиста составляет 1500 страниц в день. Проанализировать такой объем информации очень сложно даже с применением ЭВМ. Так как информацию можно хранить, перерабатывать и передавать, то должны быть носитель, передатчик и получатель информации. Часто употребляют термин «данные», но он не является синонимом информации. *Данные* — это величины, факты, т. е. они являются сырьём для создания информации, полученной в результате обработки данных. *Информация* – процесс обучения и анализа данных, которые человек превращает в знания.

Человек отбирает ценную для себя информацию. Проблема определения ценности информации в настоящее время является наиболее актуальной. Значимость информации часто оценивается специалистом интуитивно, на основании собственного интеллекта, опыта и полученных данных. Компьютер стал основным источником информации, поэтому необходимо уделять внимание совершенствованию форм и методов работы с информационными технологиями, при этом следует учитывать, что компьютер решает скорее расчётную информационную нежели интеллектуальную задачу.

Цель заставляет человека думать, а информационная технология позволяет значительно сократить затраты труда на информационный поиск и способствует более правильному принятию специалистом окончательного решения.

Технология машиностроения в той или иной степени использует достижения науки и техники и развивается вместе с ними. Отсюда технология

машиностроения определяется как отрасль науки, занимающаяся изучением связей и закономерностей процесса изготовления машин, задачами которой являются: повышение качества, снижение себестоимости изделий и повышение производительности труда на базе достижений науки и техники. При этом конечной целью развития технологии машиностроения является автоматическое саморегулирование процессов изготовления изделий автоматически, без участия человека. Для решения этой задачи необходимо досконально знать все технологические процессы изготовления машин и уметь управлять ими.

## **2.2. Основные понятия и положения**

### **2.2.1. Термины и определения**

В технологии машиностроения как и в любой другой науке необходимо придерживаться терминологии, установленной государственными стандартами (ГОСТ). Каждому понятию установлен один стандартизованный термин, обязательный для применения во всех видах научной, технологической и учебной деятельности. *Термин* – слово или сочетание слов, употребляемое с оттенком специального научного значения. Правильное использование терминов является неотъемлемой частью работы специалиста. К одному из основных терминов относится «изделие» (рис. 2.1).

*Изделие* – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают изделия основного и вспомогательного производства. *Изделия основного производства* предназначены для реализации. *Изделия вспомогательного производства* служат исключительно для собственных нужд предприятия-изготовителя. Когда одни и те же изделия одновременно реализуют и используют для собственных нужд, то их считают изделиями основного производства. В зависимости от наличия составных частей различают специфицированные и неспецифицированные изделия.

*Специфицированными* называют изделия, состоящие из двух и более составных частей (сборочные единицы, комплексы и комплекты). *Неспецифицированными* – изделия, которые не имеют составных частей (детали и заготовки). Изделием является единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках (экземплярах). К изделиям относятся завершенные и незавершенные предметы производства, в том числе заготовки. Для автозавода изделием является автомобиль, для завода двигателей – двигатель, для метизного завода – болт, для станкостроительного завода – станок и т. д.

*Деталью* называют изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Следует учитывать, что деталью, например, является труба после покрытия её защитными или декоративными покрытиями или после того, как из куска однородного листового материала была изготовлена труба и место стыка сварено. Эти примеры демонстрируют исключение, в большинстве же случаев применение любых сборочных операций приводит к созданию сборочной единицы.

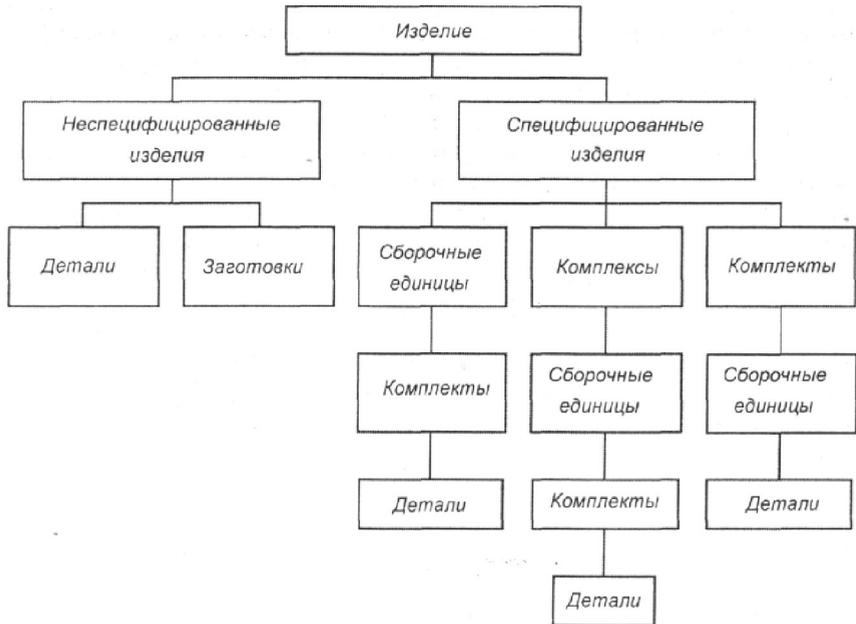


Рис. 2.1. Классификация изделий

*Сборочной единицей* называют специфицированное изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (станок, коробка перемены передач, сцепление и др). Из специфицированных изделий состоят комплексы.

*Комплексом* называют два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Примером комплекса может служить автоматическая линия или цех-автомат. В этом случае оборудование связано между собой специальными устройствами, которые передают заготовки от начала до конца их обработки.

*Комплектом* называют два и более изделия, не соединённых на предприятии-изготовителе сборочными операциями, которые представляют собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера. В комплект могут входить детали и сборочные единицы, например комплект измерительной аппаратуры вместе с запасными частями и упаковочным ящиком, отдельный комплект запасных частей, комплект запасных ключей, комплект оборудования для производства определённых деталей и т.д.

### 2.2.2. Качество изделий

*Качеством* изделий называют совокупность свойств и характеристик продукции, которая придаёт изделиям способность удовлетворять обусловленные ими предполагаемые потребности.

В машиностроении качество изделия определяется надёжностью, техническим, эстетическим и экологическим уровнями (рис.2.2). На качество изделия влияют многие взаимосвязанные технологические процессы, например проектирование, производство, сборка, эксплуатация и др.

*Надёжность* определяют как свойство изделия, заключающееся в его способности сохранить свои технические параметры во времени.



Рис. 2.2. Составляющие качества изделия

Соблюдение *технологической дисциплины* является гарантией обеспечения заданного качества выпускаемых изделий, а следовательно, и их надёжности. Надёжность закладывают при проектировании и обработке конструкции на технологичность. Она обеспечивается уровнем и стабильностью технологических процессов механической и химико-технологической обработки, сборки, контроля и поддерживается в процессе эксплуатации.

Недостаточная надёжность изделий приносит большие материальные и моральные потери. Однако увеличение надёжности требует дополнительных затрат средств и времени.

Учитывая, что надёжность – это свойство сохранять во времени в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в определённом режиме работы, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования – необходимо проведение экономического анализа эффективности мероприятий по увеличению надёжности на всех стадиях перехода изделия из исправного состояния в неработоспособное.

*Безотказность* характеризуется долей выявленных отказов в заданном интервале времени.

*Долговечность* – возможность сохранять работоспособность до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Чем больше наработка изделия до предельного износа (состояния), тем оно долговечнее. Показателями долговечности являются ресурс и срок службы изделия.

*Ремонтпригодность* – характеризуется эксплуатационной технологичностью.

Существенное влияние на эксплуатационные и производственные показатели оказывает конструкция изделия. Повышение уровня технологичности конструкции позволяет в значительной мере повысить эффективность производства. Обеспечение технологичности конструкции начинается с первых шагов разработки изделия и заканчивается прекращением его выпуска. Под *технологичностью конструкции изделия* понимается совокупность свойств конструкции, определяющих её приспособленность к достижению *оптимальных* затрат при производстве, эксплуатации, техническом обеспечении, ремонте и утилизации для заданных показателей качества, объёма выпуска и условий выполнения работ.

Повышение уровня технологичности конструкции входит в комплексную систему управления качеством продукции. Основные задачи и показатели технологичности конструкции регламентированы нормативно-техническими документами. Технолог обязан осуществлять проверку конструкторской документации, оценивать уровень технологичности на всех эта-

пах проектирования и давать своё заключение о технологичности данного изделия. После того, как технолог принимает чертежи от конструктора, вся ответственность по технологичности конструкции ложится на него. В случае возвращения технологом документов конструктору на доработку с предложениями по изменению конструкции требуются дополнительные затраты средств и времени. Поэтому целесообразно вести эту работу с самого начала совместно, что и практикуется в настоящее время в мировой практике. Считается, что критерием качества является выполнение изделия согласно лучшему мировому стандарту.

*Требования покупателя определяют качество продукции.* Нельзя создать конкурентоспособные изделия, например коробки перемены передач, станки или автомобили, не зная условий конкуренции на рынке. Маркетингом занимаются практически все машиностроительные предприятия-производители. Деятельность заводов сводится не только к изучению рынка и отдельных его элементов, но и к использованию результатов изучения в обеспечении качества продукции.

*Маркетинг* – философия бизнеса, это не набор отдельных элементов, а цельная система. Некоторые предприятия машиностроения, ведя маркетинговые исследования, находят рынки сбыта то в одной, то в другой стране, т. е. продолжают продажи даже относительно устаревших изделий. Уровень же конкурентоспособности определяется к конкретному рынку сбыта. Если изделие безнадежно устарело, но реализация продолжается, научные и производственные силы отвлечены на его производство, то это подрывает престиж предприятия. Только изучая спрос, доход, жизненный уровень и запросы потребителя, проводя наблюдения, интервьюирование, пробные продажи своих изделий, можно достичь результата. Исследование рынка на наличие спроса на новый товар является наиболее сложной задачей, с которой сталкивается машиностроительное предприятие.

Предприятие, которое занимается сбытом своей продукции, стремится достигнуть такого качества изделий, чтобы её рекламировал сам потребитель. Многие дочерние машиностроительные предприятия только собирают узлы и агрегаты, получая детали от разных фирм. С поставщиками комплектующих деталей заключаются договора, исключаящие дефектные поставки. Если в процессе поставки будет обнаружено изделие, качество которого не соответствует заданному, то производится контроль всех изделий, поступающих от этого предприятия. При этом поставщика обязывают внедрять у себя статистические методы контроля качества. При повторных поставках от этого поставщика некачественных изделий от его услуг отказываются.

Поставщик несёт ответственность за качество поставляемых изделий, поэтому сборочное предприятие не включает в технологический процесс

входной контроль. При этом детали должны поставляться точно в срок, что позволяет заказчику практически не хранить эту продукцию на складах. Важным вопросом взаимодействия с поставщиками является их подготовленность к заказу, требованиям по качеству, срокам поставки и т. п.

Перспективнее начинать взаимодействовать с поставщиками на стадии проектирования нового изделия, при этом предприятия-поставщики становятся составной частью предприятия-заказчика и берут на себя функции по обеспечению качества изделий. Если поставщик постоянно совершенствует систему обеспечения качества, повышает производительность обработки и снижает её себестоимость, то ему не придётся участвовать в конкурентной борьбе поставщиков, он будет работать на долгосрочной основе, что даёт наибольший эффект в достижении высшего качества изделий. Крупное машиностроительное предприятие должно направлять своих специалистов как для контроля уровня качества, так и для ознакомления сотрудников предприятия-поставщика с проблемами совершенствования качества.

Следует учитывать, что затраты на эти мероприятия окупаются. Повышать свой технический уровень весьма престижно, так как высокая квалификация тесно взаимосвязана с положением в обществе и материальным благополучием. Это заставляет стремиться к повышению своей квалификации, и, в частности, в области патентной грамотности, поскольку в обязанность специалистов машиностроительных предприятий входит также выявление «ноу-хау».

Выражение «ноу-хау» (от англ. *know-how* – знаю как) имеет довольно много определений. В машиностроении это выражение имеет следующий смысл: конструкторские или технологические не запатентованные особенности производства, без знания которых воспроизводство новой техники по образцам или информации практически невозможно, что заставляет держать эти особенности производства втайне от конкурентов и позволяет опережать их.

На уровне предприятий это означает необходимость иметь методику выявления и оценки ноу-хау, умение оценивать технико-экономическую и коммерческую ее значимость.

Доступ к ноу-хау должен быть только у тех, кто непосредственно связан с данным решением по производственной необходимости, и только в той части, в которой это необходимо. Это в какой-то мере противоречит привычному пониманию распространения передового опыта. Но выход на мировой рынок и успешная конкуренция с другими фирмами не возможны без опережения их по уровню технологии. Фактически ноу-хау – это тот же товар и его можно продавать и иметь дополнительный источник финансовых поступлений для предприятия, на котором были разработаны новые технологические режимы обработки, новые методы обработки, сборки, наладки и т. д.

Таким образом, поиск таких технологических решений, которые могут составить ноу-хау или быть запатентованы, проводится специалистами постоянно, начиная со стадии проектирования и заканчивая эксплуатацией.

Специалисты России часто не анализируют, какие из новых технических решений следует патентовать или перевести в ранг ноу-хау. К сожалению, существенной помощи от патентных и других служб в этом вопросе они пока не получают. Поэтому и вопрос ноу-хау тоже должен быть в поле зрения современного специалиста-машиностроителя. С выходом на мировой рынок в условиях повышения качества изделий и осуществления внешнеторговых операций изучение проблем, связанных с новыми решениями технологических задач, приобретает огромное значение.

*Качество изделий* характеризуется обобщенными характеристиками (точностью, качеством поверхностного слоя, долговечностью, надежностью, эстетичностью и т. п.).

Повышение качества является основной задачей машиностроительного производства, но какой ценой оно будет достигнуто – является очень важным вопросом. Существует понятие *оптимальное качество* ( $K_{\text{опт}}$ ), т. е. самое выгодное для изготовления в конкретных производственных условиях (рис.2.3).

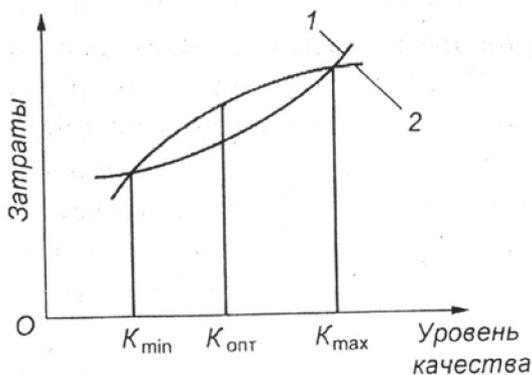


Рис. 2.3. Оценка оптимального качества изделия:

1 – производитель; 2 – потребитель

Производитель 1 несет определенные затраты на приобретение, эксплуатацию, ремонт оборудования, обрабатывающего и контрольного инструмента, технологической оснастки, на закупку материала, заготовок и др.

Потребитель 2 затрачивает средства на устранение брака при эксплуатации изделия, покупку запасных частей при выходе их из строя по мере износа, техническое обслуживание и т. д. Целесообразно изготовление изделия с оптимальным уровнем качества  $K_{\text{опт}}$ , при котором разность между кривой 1 и 2 максимальна. Если же уровень качества будет выше  $K_{\text{max}}$  или ниже  $K_{\text{min}}$ , то производство станет убыточным. Только правильно построенный технологический процесс может обеспечить высокое качество изделий при оптимальной стоимости, удовлетворяющей как изготовителя, так и потребителя. Не следует забывать, что методы и средства достижения качества изделия должны оставаться определенное время внутри предприятия как её интеллектуальная собственность.

### 2.2.3. Производственный процесс

*Производственным процессом* называют совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции. В производственный процесс входят все процессы, обеспечивающие изготовление изделий, начиная с момента поступления на предприятие исходных заготовок, их транспортирования, складирования, контроль, механическая и термическая обработка, сборка, а также сопутствующие им вспомогательные процессы изготовления инструмента и технологической оснастки, заточка и контроль инструмента и т. д.

*Производственный цикл* — интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления или ремонта изделия. *Производственная мощность* — расчетный максимально возможный в определенных условиях объем выпуска изделий в единицу времени. *Производственной партией* называют предметы труда одного наименования и типоразмера, выпускаемые в течение определенного интервала времени.

Состав произведенных процессов предприятия зависит от его специализации, объема выпуска, объема кооперирования и характера технологических процессов. Часто машиностроительные предприятия закупают сложные и металлоемкие заготовки и практически никогда не изготавливают крепежные детали, так как по кооперации их поставляют специализированные предприятия, что значительно дешевле. Также из экономических соображений предприятия закупают готовые изделия или агрегаты. Как правило, в состав машиностроительного предприятия входят заготовительные металлообрабатывающие и вспомогательные цехи, транспортные, складские, энергетические, санитарно-технические и общезаводские устройства.

Производственный процесс можно рассматривать не только в рамках всего предприятия, но и в рамках отдельного цеха, участка и т. д. Например, все виды работ на механическом участке по производству шестерни будут включены в производственный процесс этого участка.

Различают основное и вспомогательное машиностроительное производство. *Основным производством* называют производство товарной продукции (изделия основного производства). *Вспомогательным производством* называют производство средств, необходимых для обеспечения функционирования основного производства (изделия вспомогательного производства).

Производственный процесс оценивают, в частности, программой выпуска, т. е. количеством изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени (день, месяц, квартал, год).

#### **2.2.4. Технологический процесс**

*Технологическим процессом* называют часть производственного процесса, содержащую целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния изделия. Например, в процессе механической обработки изменяют размеры, форму, взаимное расположение и величину микронеровностей обрабатываемых поверхностей; при термической обработке — состояние изделия, его твердость, структуру и другие свойства материала; при сборке изделия — относительное положение деталей в собираемом узле.

Технологический процесс составляет главную часть производственного процесса. По технологическому процессу механической обработки заготовок можно судить о последовательности, способах времени обработки и др.

*Технологическая дисциплина* — соблюдение точного соответствия технологического процесса изготовления или ремонта изделия требованиям технологической и конструкторской документации.

*Групповым* технологическим процессом называют технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

*Типовым* технологическим процессом называют технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Необходимо стремиться к построению оптимального (наилучшего, наиболее соответствующего определенным условиям и задачам) технологического процесса.

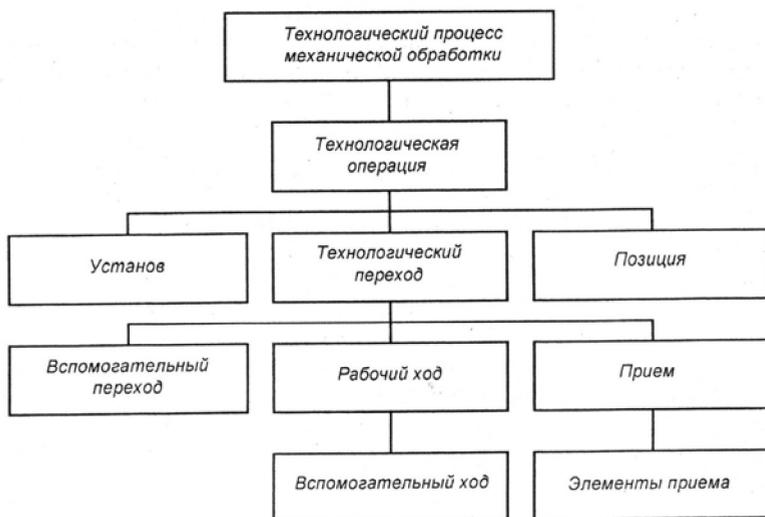


Рис. 2.4. Схема элементов технологического процесса

Весь технологический процесс механической обработки заготовок делят на составные элементы: технологические операции, технологические переходы, позиции и др. Основной частью технологического процесса является технологическая операция (рис.2.4).

### **Технологическая операция**

*Технологической операцией* называют законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Следует учитывать, что *рабочим местом* является элементарная единица структуры предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживающие технологическое оборудование, на ограниченное время оснастка и предметы труда. Например, обработку ступенчатого вала можно выполнять в следующей последовательности: на первой операции подрезают торцы и зацентрируют вспомогательные базы, на второй — обтачивают наружную поверхность, на третьей — шлифуют эти поверхности.

Типовой технологической операцией называют технологическую операцию, характеризуемую единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с одними конструктивными и технологическими признаками.

Групповой технологической операцией называют технологическую операцию совместного изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

*Виды технологических операций.* Технологический процесс можно построить по принципу концентрированных или же дифференцированных технологических операций.

*Концентрированной* технологической операцией называют такую, которая включает в себя большое количество технологических переходов. Как правило, данная операция имеет многоинструментальную наладку. Пределом концентрации операций является полная обработка детали на одной операции.

Критерием оценки степени концентрации операций является количество переходов, осуществляемых в одной операции. Различают три основных вида концентрации операций: последовательную (рис. 2.5,*а*), параллельную (рис. 2.5,*б*) и параллельно-последовательную (рис. 2.5,*в*). Если переходы в операции выполняются один за другим, то концентрацию называют последовательной (универсальные станки), если же они совмещены в один сложный технологический переход, т. е. выполняются одновременно, то концентрацию операций называют параллельной (многоинструментальные станки). Концентрацию называют параллельно-последовательной, если последовательно одновременно обрабатывается несколько поверхностей (многоинструментальные станки).

Достоинство параллельной концентрации операций состоит в следующем: сокращается длительность технологического цикла, уменьшаются число установов заготовок, количество рабочих приспособлений, применяются высокопроизводительные станки, упрощаются учет и планирование производства, уменьшаются количество рабочих станочников и потребная производственная площадь.

Недостатками параллельной концентрации операций является необходимость в сложном и дорогостоящем оборудовании; сложная и трудоёмкая наладка.

*Дифференцированной* называют операцию, состоящую из минимального количества переходов. Пределом дифференциации является выполнение технологической операции, состоящей из одного технологического перехода.

Достоинства дифференциации операций состоят в следующем: применяется сравнительно простое и дешевое оборудование, простота и незначительная сложность их наладки, создается возможность применения более высоких режимов обработки.

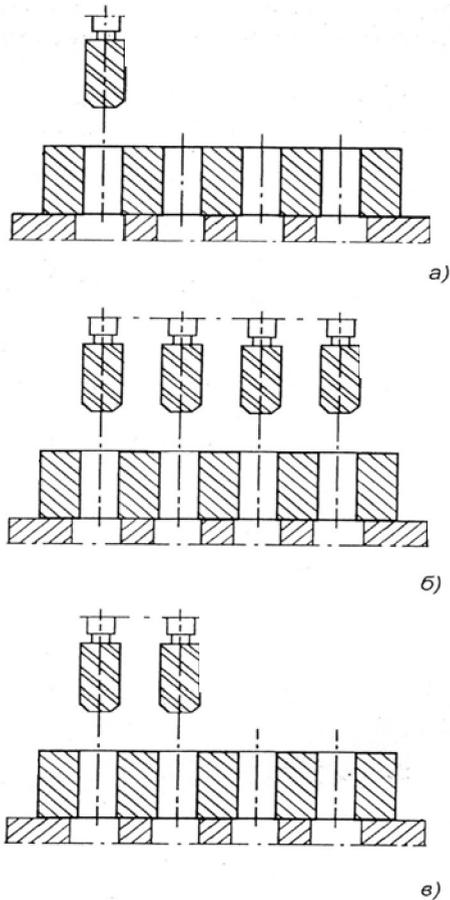


Рис. 2.5. Основные виды концентрации операций:  
*а* – последовательная; *б* – параллельная; *в* – параллельно-последовательная

Недостатки принципа дифференциации операций: удлиняется технологическая линия, увеличиваются количество требуемого оборудования и производственная площадь, число рабочих и установок.

Не следует опрометчиво стремиться к высокой степени концентрации операции. Часто бывает нецелесообразно производить обработку с высокой степенью концентрации операции. Неправильное определение оптимальной концентрации приводит к серьезным ошибкам и большим неоправданным затратам, которые значительно повышают себестоимость изделий.

## Технологический переход

*Технологическим переходом* называют законченную часть технологической операции, выполняемой одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке. Если при обточке валика сменяли инструмент, то обработка этим инструментом той же поверхности заготовки будет являться новым технологическим переходом (рис. 2.6). Но сама смена инструмента является вспомогательным переходом.

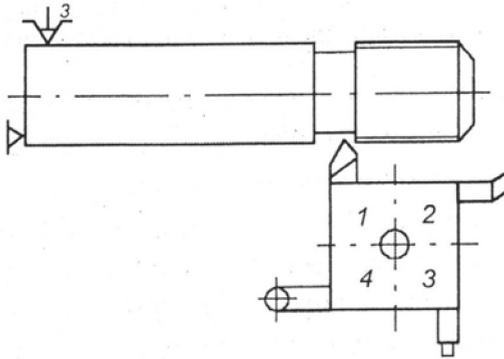
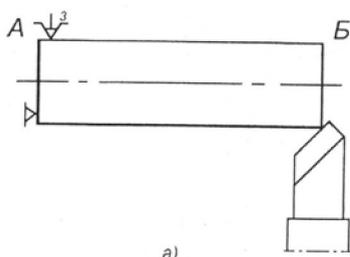


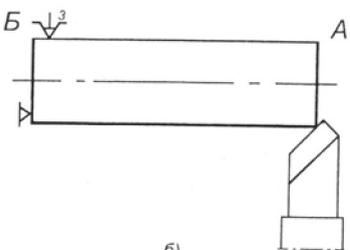
Рис. 2.6. Схема технологического перехода

*Вспомогательным переходом* называют законченную часть технологической операции, состоящей из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Переходы могут быть совмещены во времени за счёт одновременной обработки нескольких поверхностей, т.е. могут осуществляться последовательно (черновая, полужистовая, чистовая обточки ступенчатого вала или сверления четырёх отверстий одним сверлом), параллельно (обточка ступенчатого вала несколькими резцами или сверление четырёх отверстий сразу четырьмя свёрлами) или параллельно-последовательно (после обточки ступенчатого вала одновременно несколькими резцами, одновременное снятие фасок несколькими фасонными резцами или сверление четырёх отверстий последовательно двумя свёрлами).

*Установ* — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы. Поворот деталей на какой-либо угол является новым установом. Если валик вначале обтачивают в трехкулачковом патроне с одного установа, а затем его перевернут и обтачат, то это потребует двух установов при одной операции (рис. 2.7).



а)



б)

Рис. 2.7. Схема первого (а) и второго (б) установов

**Позиция.** Установленная и закрепленная на поворотном столе заготовка, подвергаемая сверлению, рассверливанию и зенкерованию, имеет один установ, но с поворотом стола она будет занимать новую позицию.

*Позицией* называют фиксированное положение, занимаемое жестко закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции. На многошпиндельных автоматах и полуавтоматах заготовка при одном ее закреплении занимает различные позиции относительно станка. Заготовка перемещается в новое положение вместе с зажимным устройством (рис.2.8).

При разработке технологического процесса обработки заготовок предпочтительно *заменять установки позициями*, так как каждый дополнительный установ вносит свои погрешности обработки.

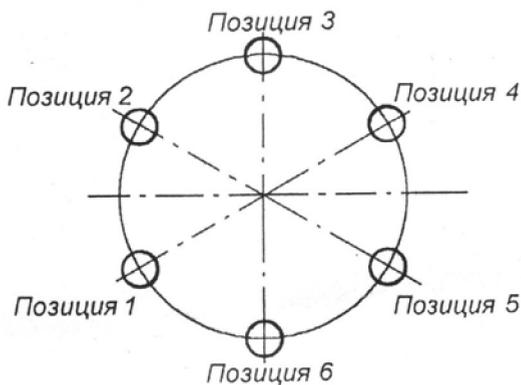


Рис. 2.8. Схема смены позиций заготовки на многошпиндельном станке

**Рабочий и вспомогательный ходы.** *Рабочим ходом* называют законченную часть технологического перехода, состоящего из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки. Рабочий ход обычно сопровождает непрерывную обработку одного слоя заготовки, например на токарном станке — обработка вала на проход, на строгальном станке — одно перемещение резца при резании.

*Вспомогательным ходом* называют законченную часть технологического перехода, состоящую из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода. Например, при черновой обточке вала резец возвращается в исходное положение, совершая вспомогательный ход.

**Прием.** *Приемом* называют законченную совокупность действий человека, применяемых при выполнении технологического перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. Обычно приемом является вспомогательное действие оператора при управлении станком (вручную), измерение заготовки. *Элемент приема* — нажатие кнопки, перемещение рукоятки и т. д.

Важными характеристиками технологического процесса и операции являются цикл технологической операции, такт и ритм выпуска.

**Цикл, такт и ритм выпуска.** *Циклом* технологической операции называют интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

*Тактом* называют интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенных наименований, типоразмера и исполнения.

*Ритмом* выпуска называют количество изделий или заготовок определенных наименований, типоразмеров и исполнений, выпускаемых в единицу времени.

Желательно, чтобы время, затрачиваемое на выполнение одной операции, было равным времени такта выпуска или кратным ему. Такое корректирование затрачиваемого времени на операцию достигается той или иной степенью концентрации операций, применением оптимальных режимов обработки, сокращением вспомогательного времени за счет многоместных приспособлений, автоматизации загрузки, транспортирования, использования более высокопроизводительного оборудования, параллельной работы на однотипных станках-дублерах и др.

## Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

### 3.1. Общие сведения о резании металлов

Обработка металлов резанием представляет собой процесс удаления режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки с целью получения заданной геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхности детали.

При обработке заготовки детали режущий инструмент и заготовка надёжно закрепляются в рабочих органах станка и им сообщается движение относительно друг друга. Движения, обеспечивающие срезание с заготовки поверхностного слоя металла или изменение состояния обработанной поверхности, называют *движением резания*. К ним относят главное движение и движение подачи.

*Главным движением* называют движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки.

*Движением подачи* называют движение, обеспечивающее непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Движение подачи в зависимости от вида обработки может быть вращательным, поступательным, возвратно-поступательным, непрерывным или прерывистым.

Движение подачи может быть продольным, поперечным, вертикальным, круговым и др.

Главным движением обычно является вращательное движение заготовки или режущего инструмента.

Схемы процесса резания для точения и фрезерования показаны на рис. 3.1.

Кроме указанных движений режущий инструмент должен совершать и ряд вспомогательных движений, служащих для подготовки к процессу резания и для завершения операции.

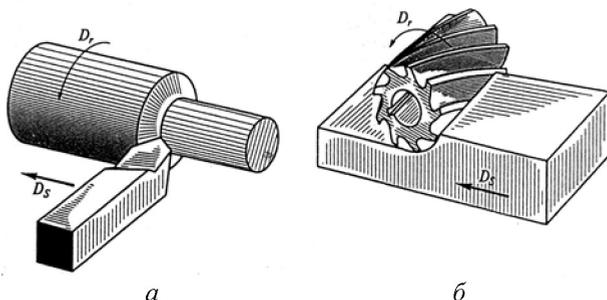


Рис. 3.1. Схемы процесса резания для точения (а) и фрезерования (б):  
 $D_r$  – главное движение;  $D_s$  – движение подачи

### 3.2. Элементы процесса резания

Основными элементами процесса резания являются скорость резания, подача и глубина резания. Совокупность этих элементов называется *режимом резания*.

*Скорость резания*  $v$  – путь режущей кромки инструмента в направлении главного движения относительно заготовки в единицу времени. Единицы измерения скорости резания: для лезвийной обработки – метр в минуту (м/мин); для абразивной обработки – метр в секунду (м/с).

Определение скорости резания, м/мин, при вращательном главном движении производят по формуле.

$$v = \frac{\pi D_3 n}{1000},$$

где  $D_3$  – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки (диаметр вращающегося инструмента), мм;  $n$  – частота вращения заготовки (вращающегося инструмента), об/мин.

При продольном точении скорость резания имеет постоянную величину на протяжении всего времени резания (если диаметр заготовки на протяжении всей её длины одинаков, а частота вращения неизменна). При подрезке торца, когда резец перемещается от периферии заготовки к центру, скорость резания при постоянной частоте вращения переменна, имеет наибольшее значение у периферии и равна нулю в центре. В этом случае учитывают максимальную скорость резания.

*Скорость движения подачи (подача)*  $S$  – это путь режущего лезвия инструмента относительно заготовки за единицу времени в направлении движения подачи. При токарной обработке может быть *продольная подача*, когда резец перемещается параллельно оси заготовки; *поперечная подача*, когда резец перемещается перпендикулярно оси заготовки; *наклонная подача* – под углом к оси заготовки (например, при точении конической поверхности).

Различают следующие виды подачи: в минуту (минутная подача), на оборот, на зуб и подача на двойной ход.

Подача в минуту  $S_m$  – перемещение режущего инструмента в минуту, мм/мин; подача на оборот  $S_0$  – перемещение режущего инструмента за один оборот заготовки или инструмента, мм/об; для многозубых инструментов подача на зуб  $S_z$  – перемещение режущего инструмента за время поворота на угол, равный угловому шагу зубьев, мм/зуб; подача на двойной ход  $S_{2x}$  – пе-

ремещение режущего инструмента за один двойной ход, мм/2х. Взаимосвязь различных видов подач можно представить в виде формулы

$$S_M = S_0 n = S_z n z = S_{2x},$$

где  $z$  – число зубьев инструмента.

*Глубина резания  $t$*  – величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности. При наружном продольном точении глубина резания представляет собой половину разности между диаметром заготовки и диаметром обработанной поверхности, полученной после одного прохода:

$$t = (D_3 - D_d)/2,$$

где  $D_d$  – диаметр обработанной поверхности;  $D_3$  – диаметр заготовки.

Форма и размеры срезаемого слоя зависят от глубины резания, подачи на оборот, геометрии режущего инструмента и формы режущей кромки резца. При перемещении инструмента вдоль оси заготовки его вершина описывает винтовую линию с шагом, равным  $S_0$ .

### **3.3. Износ и стойкость режущего инструмента**

При резании металлов возникают сложные физико-химические процессы, протекающие при больших давлениях, высоких температурах и на относительно малых поверхностях контакта. Механизм изнашивания инструмента при резании очень сложен, его можно подразделить на абразивный, адгезионный (молекулярный) и диффузионный.

*Абразивное изнашивание* происходит в результате трения обработанной поверхности о переднюю и заднюю поверхности резца. Большое абразивное воздействие оказывает также литейная корка и окалина на заготовках.

*Адгезионное изнашивание* происходит в результате действия значительных сил молекулярного сцепления (прилипания, сваривания) между материалами заготовки и инструмента, вызывающих при скольжении отрыв мельчайших частиц материала инструмента. Этот процесс носит местный характер и возникает на малых участках контакта поверхностей инструмента со стружкой, в местах повышенных пластических деформаций и температур.

*Диффузионное изнашивание* происходит в результате взаимного растворения обрабатываемого материала и материала инструмента. Этот про-

цесс характерен для резания твёрдосплавным инструментом на высоких скоростях резания.

Интенсивность изнашивания инструмента зависит от ряда факторов: физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала инструмента; состояния поверхностей и режущих кромок инструмента; рода и физико-химических свойств смазывающе-охлаждающей жидкости; режимов резания; геометрии режущей части инструмента; состояния станка; жёсткости технологической системы и других условий обработки.

В общем случае изнашивание резца происходит по передней и задней поверхностям (рис. 3.2). В зависимости от условий обработки может преобладать тот или иной из указанных износов. Износ по задней поверхности характеризуется высотой ленточки  $h_3$ , а износ по передней поверхности – глубиной  $h_n$  и шириной лунки  $b$  (длина лунки  $l$  изменяется незначительно).

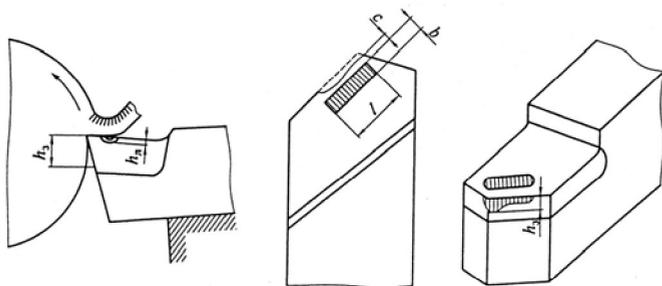


Рис. 3.2. Износ резцов по задней и передней поверхностям:

$h_3$  – высота ленточки (износ по задней поверхности резца);  $h_n$ ,  $b$ ,  $l$  – глубина, ширина, длина лунки соответственно (износ по передней поверхности резца);  $c$  – ширина режущей кромки

Определение оптимального времени работы инструмента производится на основании исследования зависимости износа инструмента от времени его работы (рис. 3.3). На графике зависимости износа от времени работы можно выделить три основные зоны: 1 – период приработки; 2 – период нормального изнашивания; 3 – период повышенного (катастрофического) изнашивания.

Период приработки 1 характеризуется сильным истиранием наиболее выступающих частиц поверхности – чем ровнее будут поверхности трения, тем менее резко возрастает износ за одно и то же время. Период нормального изнашивания 2 характеризуется тем, что износ постепенно возрастает с уве-

личением времени работы. При достижении некоторого износа условия трения изменяются, значительно повышается температура резания и наступает третий период повышенного изнашивания. В этот период возрастает шероховатость обработанной поверхности, снижается точность обработки, появляются вибрации и другие негативные явления.

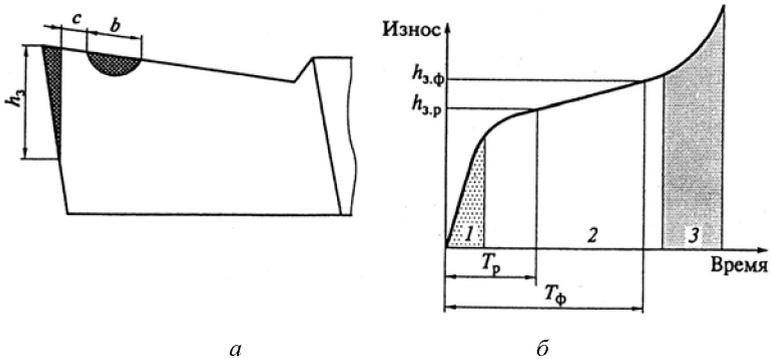


Рис. 3.3. Схема износа инструмента (а) и график зависимости износа инструмента от времени (б) резания:  $h_{3,ф}$ ,  $h_{3,р}$  – соответственно физический и размерный износ по задней поверхности;  $T_ф$ ,  $T_p$  – соответственно физическая и размерная стойкость инструмента; 1 – период приработки; 2 – период нормального изнашивания; 3 – период повышенного изнашивания;  $h_3$  – физический износ инструмента по задней поверхности;  $c$  – ширина перемычки;  $b$  – ширина лунки

Время работы инструмента от переточки до переточки называют *стойкостью*. Физическая стойкость  $T_ф$  – это время работы инструмента до аварийного изнашивания (инструмент изнашивается до величины  $h_{3,ф}$ ). При чистовой обработке износ может существенно влиять на точность обработки, поэтому для чистовой обработки назначают так называемую размерную стойкость  $T_p$  (инструмент изнашивается до величины  $h_{3,р}$ , при которой происходит существенное влияние износа на точность обработки).

Также различают минутную стойкость  $T_m$  – период работы инструмента в минутах до переточки и штучную стойкость  $T_{шт}$  – число обработанных заготовок деталей до переточки.

Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания, поэтому в расчётах стойкости чаще всего используют зависимость

$$C = vT^m,$$

где  $C$  – постоянная величина;  $v$  – скорость резания;  $T$  – стойкость; показатель относительной стойкости.

### **3.4. Смазывающе-охлаждающие технологические жидкости и их влияние на процесс резания**

Современные смазывающе-охлаждающие технологические жидкости (СОТЖ) представляют собой сложные многокомпонентные соединения продуктов нефтяного и химического производства и используются для уменьшения тепловыделения, поглощения и отвода части выделяемой теплоты при резании. При этом чем выше теплоёмкость и теплопроводность СОТЖ, тем выше эффект охлаждения.

Смазывающе-охлаждающая жидкость должна подводиться к месту отделения стружки обильным потоком под давлением, после тщательной фильтрации, в достаточном количестве (8...12 л/мин, а при высоких скоростях – до 20 л/мин).

Использование СОТЖ при обработке деталей повышает стойкость инструмента, уменьшает силу резания (вследствие облегчения процесса стружкообразования и уменьшения трения), улучшает качество обработанной поверхности, способствует удалению стружки из зоны резания. В основе действия СОТЖ лежат три основных эффекта: смазочный, охлаждающий и моющий.

*Смазочный эффект* проявляется при условии проникновения СОТЖ между контактирующими поверхностями по капиллярам и образования плёнки, уменьшающей коэффициент трения. Смазочный эффект приводит к уменьшению сил адгезии и трения на поверхности инструмента.

*Охлаждающий эффект* происходит благодаря влиянию СОТЖ на прочность отделяемого при резании металла, повышению его хрупкости, уменьшению работы, затрачиваемой на стружкообразование. Интенсивность теплоотвода в основном зависит от вязкости, теплопроводности и скорости движения СОТЖ, разности температур охлаждаемой поверхности и СОТЖ. При непрерывных процессах резания СОТЖ практически не достигает контактных поверхностей в зоне резания. Интенсивность охлаждения можно увеличить с помощью высоконапорной подачи СОТЖ или подачи её со стороны задней поверхности, либо по специальным каналам через инструмент. Хороший эффект даёт подача СОТЖ в виде тумана. При этом СОТЖ в виде эмульсии или водных растворов имеет лучшие охлаждающие свойства по сравнению с масляными СОТЖ.

*Моющий эффект* обеспечивает вынос из зоны резания стружки, продуктов изнашивания режущего инструмента и продуктов распада СОТЖ. Особенно важен этот эффект при выполнении финишных операций.

Вследствие химического и электрохимического взаимодействия СОТЖ с поверхностями инструмента и уменьшения защитного действия нароста при черновых операциях (особенно при низких скоростях резания) может возникнуть и отрицательное действие от применения СОТЖ. Сопоставление стойкости инструментов с охлаждением и без показывает, что существует пороговая скорость, ниже которой применение СОТЖ нежелательно. Так, для быстрорежущих сталей пороговой скоростью является скорость резания 10 м/мин. При применении твёрдосплавных инструментов значение пороговой скорости резания равно 80 м/мин при использовании распылённой СОТЖ и 100 м/мин – при использовании охлаждения поливом.

В отечественном машиностроительном производстве применяют два основных вида СОТЖ: масляные и водорастворимые (синтетические).

Масляные СОТЖ состоят из 60...95% минерального масла и присадок (антифрикционных, антизадирных, антитуманных, ингибиторов коррозии и т.д.).

Водорастворимые СОТЖ (эмульсолы) содержат 70...85% минерального масла, эмульгаторы (вещества, облегчающие получение эмульсии) и присадки. Для уменьшения расходов на транспортировку и хранение СОТЖ выпускаются в виде концентрата, который по мере необходимости разбавляется потребителем до нужной концентрации водой.

## **Глава 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

### **4.1. Принципы и задачи проектирования**

Основой проектирования технологических процессов в машиностроении служат два принципа – технический и экономический. *Технический принцип* предусматривает полное обеспечение технологическим процессом всех требований рабочего чертежа и технических условий на изготовление заданного изделия, *экономический* – минимальные затраты труда и издержки производства. Основное условие и требование к технологическому процессу – выполнение обработки изделия с наиболее полным использованием технических возможностей средств производства при наименьших затратах времени и наименьшей себестоимости изделий.

Технологические процессы разрабатывают при проектировании новых и реконструкции существующих промышленных предприятий, а также при организации новых производственных объектов на действующих заводах. Кроме того, технологические процессы корректируют или разрабатывают новые на действующих заводах при выпуске освоенной продукции. Это вызвано непрерывным текущим усовершенствованием объектов производства и необходимостью внедрения в действующее производство новейших достижений производственной техники.

Проектирование технологических процессов механической обработки имеет целью дать подробное описание процессов изготовления детали с необходимым технико-экономическим обоснованием принятого варианта обработки. В результате оформления технологической документации инженерно-технический персонал и рабочие-исполнители получают необходимые данные и инструкции для осуществления спроектированного технологического процесса на предприятии. Технологические разработки позволяют выявить необходимую номенклатуру обрабатываемого оборудования, инструментов, технологической оснастки для выпуска изделий, трудоёмкость и себестоимость изготовления изделий.

### **4.2. Классификация технологических процессов**

Технологические процессы в зависимости от своего назначения и условий производства могут иметь различные виды и формы. Вид технологического процесса определяется числом изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий).

В соответствии с ГОСТ 3.1109-82 технологические процессы подразделяют на единичные, унифицированные, типовые, групповые, перспективные, рабочие, проектные, временные и стандартные.

*Единичный технологический процесс* – это технологический процесс изготовления изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. Разработка такого процесса характерна для оригинальных изделий, не имеющих общих признаков с изделиями, ранее изготовленными на предприятии.

*Унифицированный технологический процесс* – это технологический процесс, относящийся к группе деталей, характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков. Унифицированные технологические процессы подразделяются на типовые и групповые и находят широкое применение во всех видах серийного производства.

*Типовой технологический процесс* – это технологический процесс изготовления группы деталей с общими конструктивными и технологическими признаками, характеризуется общностью содержания и последовательности большинства технологических операций для группы таких деталей и используется как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса.

*Групповой технологический процесс* – это технологический процесс изготовления группы деталей с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

В соответствии с этим определением групповой технологический процесс представляет собой процесс обработки деталей различной конфигурации, состоящий из комплекса групповых технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления определённой группы деталей (ГОСТ 14.316-75). Групповые процессы, применяемые в промышленности, разрабатывают на конструктивно и технологически сходные детали для всех типов производства не только на уровне предприятия.

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

*Рабочий технологический процесс* – это технологический процесс, выполняемый по рабочей технологической документации, разрабатывается только на уровне предприятия и применяется для изготовления конкретной детали.

*Проектный технологический процесс* выполняется по предварительному проекту технологической документации.

*Временный технологический процесс* применяется на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены на более современный.

*Стандартный технологический процесс* – это технологический процесс, установленный стандартом и выполняемый по рабочей технологической документации, оформленной стандартом (ОСТ, СТП), и относящийся к конкретному оборудованию, режимам обработки и технологической оснастке.

*Комплексный технологический процесс* – это процесс, в состав которого включаются не только технологические операции, но и транспортно-накопительные, контрольные, моечные, загрузочно-разгрузочные и др. Такие процессы проектируются при создании АЛ и ГПС.

Классификация технологических процессов в зависимости от их видов, характера производства, технологических и других признаков показана на рис.4.1.



Рис. 4.1. Классификация технологических процессов

### 4.3. Этапы проектирования технологических процессов

В целом проектирование технологических процессов обработки деталей и сборки узлов представляет собой сложную, трудоёмкую и многовариантную задачу. Поэтому его выполняют в несколько последовательных этапов.

Вначале делают предварительный проект технологического процесса; на последующих стадиях его уточняют и конкретизируют на основе детальных технологических расчётов. Последовательным уточнением предварительного проекта получают законченные разработки технологического процесса. Правильное решение удаётся получить только после разработки и сравнения нескольких технологических вариантов.

Степень проработки технологического процесса в деталях зависит от типа производства. В условиях массового производства технологические процессы разрабатывают подробно для всех деталей изделия. Такие процессы называют *операционными*. Технологическая документация на них содержит подробную информацию об операциях и переходах, режимах обработки и межоперационных размерах деталей, инструменте, оснастке и т.д. В единичном производстве ограничиваются сокращённой разработкой технологических процессов, так как подробная разработка их в данных условиях экономически не оправдывается. Эти технологические процессы называют *маршрутными*.

Процесс проектирования содержит взаимосвязанные и выполняемые в определённой последовательности этапы, к которым относятся:

- определение типа производства и методов работы;
- выбор метода получения заготовки и установление предъявляемых к ней требований;
- выбор и обоснование технологических баз;
- назначение маршрута обработки отдельных поверхностей и составление маршрута обработки детали в целом;
- расчёт припусков, установление технологических допусков и предельных размеров заготовки на отдельных стадиях обработки;
- уточнение степени концентрации операций технологических переходов;
- выбор обрабатывающего оборудования, технологической оснастки и инструментов;
- расчёт режимов резания;
- определение настроечных размеров;
- установление норм времени и квалификации рабочих на операциях;
- оформление технологической документации.

Взаимосвязь этапов проектирования и многовариантность частных и общих решений поставленной задачи хорошо видна из рассмотрения укруп-

нённой схемы (рис. 4.2) последовательного выполнения этапов проектирования технологии механической обработки заготовки применительно к условиям массового производства.



Рис. 4.2. Основные этапы проектирования технологических процессов механической обработки

Общие и частичные варианты (выполнения отдельных этапов) показаны штриховыми разветвляющимися линиями. Отдельные этапы, например расчёт темпа и определение типа производства, расчёт режимов резания, установление нормы времени на обработку, решаются однозначно по предварительно установленным условиям и исходным данным.

При проектировании технологических процессов обработки сложных деталей суммарное число возможных вариантов может быть весьма значительным. Оптимизацию проектируемых и действующих технологических процессов производят по различным целевым функциям (минимальной себестоимости изготовления детали, максимальной производительности обработки, по заданному сроку окупаемости дополнительных капитальных вложений в производство).

Исходными данными для проектирования технологических процессов механической обработки являются:

- рабочий чертёж обрабатываемой детали с указанием её материала, конструктивных особенностей и размеров;
- технические условия на изготовление детали, характеризующие точность и качество обрабатываемых поверхностей, а также особые требования к твёрдости и структуре материала, термической обработке, балансировке и т.п.;
- объём выпуска изделий, в состав которых входит изготавливаемая деталь, с учётом выпуска запасных частей;
- планируемый интервал времени (обычно в годах) выпуска изделий;

При проектировании технологических процессов для действующего производства необходимо располагать информацией о имеющемся оборудовании, площадях и других местных производственных условиях. При проектировании используют справочные и нормативные материалы, каталоги и паспорта оборудования, альбомы приспособлений; ГОСТы и нормативы на режущий и измерительный инструменты, нормативы точности, шероховатости, расчёта припусков, режимов резания и технического нормирования времени; тарифно-квалификационные справочники и другие материалы. Оформление технологических разработок производится на бланках технологической документации.

Проектированию технологического процесса предшествует подробное изучение рабочего чертежа детали, технических условий на её изготовление и условий её работы в изделии. Особое внимание уделяется возможности улучшения технологичности конструкции детали, так как в результате может быть получен значительный эффект от снижения трудоёмкости и себестоимости выполнения процессов обработки.

Разработанные технологические процессы оформляются на соответствующих технологических документах.

## Глава 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 5.1. Основные понятия и направления автоматизации

Под *автоматизацией* технологических процессов понимается замена ручного труда машинным на стадии обслуживания и управления станком, системой станков или технологическим процессом в целом.

*Механизация* охватывает ту часть технологического процесса, которая оценивается временем обработки заготовки и представляет собой замену ручного труда машинным непосредственно при обработке заготовки:

$$T_{\text{шт}} = \underbrace{T_0}_{\text{Механизация}} + \underbrace{T_{\text{всп}} + T_{\text{т.о}}}_{\text{Автоматизация}} + T_{\text{орг.о}} + T_{\text{пер.}}$$

Автоматизация является дальнейшим развитием механизации и предусматривает замену ручного труда уже на стадии обслуживания и управления.

Автоматизация решает задачу создания принципиально новой техники, методов обработки, конструкции и компоновки обрабатывающего и сборочного оборудования, которые были бы невозможны при участии рабочего.

Автоматизация станков, заключающаяся в оснащении их загрузочными и разгрузочными устройствами, приспособлениями и механизмами, упрощающими и ускоряющими некоторые действия рабочего, называется *малой автоматизацией*.

Развитие и внедрение автоматизации обеспечивает повышение производительности труда и качество выпускаемых изделий, сокращение числа производственных рабочих по сравнению с этими показателями при неавтоматизированном производстве.

Вместе с тем повышается стоимость, усложняются ремонт, наладка и обслуживание оборудования.

Важнейшим фактором успешного внедрения автоматизации и механизации является *надёжность* автоматизированного оборудования.

Следует учитывать, что не каждый технологический процесс пригоден в качестве исходного для создания автоматизированного оборудования. Поэтому необходимо из всего многообразия возможных вариантов обработки данной заготовки выбрать оптимальный, обеспечивающий заданное качество и точность изделий при наивысшей производительности труда и минимальной себестоимости обработки.

*Станок-полуавтомат* – это самодействующая машина, автоматически выполняющая все элементы цикла при ручном возобновлении последнего.

*Станок-автомат* выполняет в автоматическом режиме все элементы цикла (включая возобновление) кроме наладки и контроля.

Основным направлением развития автоматизации производства является автоматизация процессов сборки, так как в настоящее время она составляет лишь 6% при трудоёмкости сборки 25% от трудоёмкости изготовления автомобиля.

## **5.2. Автоматические линии и их классификация**

В машиностроении под автоматической линией (АЛ) понимается система станков, расставленных по ходу выполнения технологического процесса, предназначенная для преобразования заготовки в готовую деталь путём выполнения технологических операций механической обработки (сборки), межоперационного транспортирования и накопления заготовок, загрузки и разгрузки станков, автоматического контроля и т.д. При этом межстаночное перемещение заготовок может осуществляться непосредственно от станка к станку или с помощью приспособлений-спутников.

Применение АЛ для изготовления различных деталей с выполнением разнообразных операций механической обработки, сборки, контроля, упаковки, термической обработки и т.п. вызвало необходимость в большом числе конструктивных решений и компоновок линий. Классификация линий по конструктивно-компоновочным признакам показана на схеме.

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

В *несинхронных* АЛ обрабатываемые заготовки не связаны жёстко с транспортом, они могут накапливаться перед рабочими позициями, что позволяет работать последующим позициям при кратковременных остановках предыдущих.

Несинхронные АЛ состоят из станков, каждый из которых снабжён бункером или магазином для хранения заготовок деталей. Благодаря гибкой связи станки могут работать независимо.

Линии с жёсткой и жёстко-гибкой связью создают как с *приспособлениями-спутниками*, так и без них.

*Стационарные* АЛ характеризуются тем, что заготовки в процессе обработки не изменяют своего положения относительно станка и лишь после выполнения обработки на очередной позиции транспортируются на следующую.

На *роторных* и *цепных* АЛ заготовки перемещаются непрерывно. Каждый станок-ротор вращается непрерывно вокруг своей оси с определённой скоростью. При этом обработка заготовок совмещается с транспортированием.

Для обработки на АЛ заготовок сложной формы используют АЛ с приспособлениями-спутниками, которые перемещаются вместе с заготовками деталей от позиции к позиции. После обработки заготовок спутники должны возвращаться в исходное положение, для чего требуются специальные транспортеры на линиях.

В настоящее время вместо прямоточных АЛ проектируют линии, основанные на принципе *ветвящегося потока*, что позволяет существенно увеличить их производительность. Построение АЛ по этому принципу иногда почти в 2 раза увеличивает их производительность без существенного увеличения числа станков.

Весьма эффективным решением повышения производительности и надёжности АЛ при массовом выпуске продукции является проектирование АЛ из параллельных потоков.

В зависимости от конструктивных особенностей изготавливаемых деталей и программы их выпуска АЛ компонуют из универсальных, агрегатных, специализированных, специальных станков или станков-роторов.

### **5.3. Гибкие производственные системы**

Современное машиностроительное производство характеризуется быстрой сменяемостью объекта производства и большой номенклатурой выпускаемых изделий. В этих условиях основой развития машиностроения должно быть автоматизированное гибкое производство во всех его видах (массовое, крупносерийное, серийное и даже мелкосерийное).

Каждый вид гибкого автоматизированного производства требует особых принципов построения оборудования. Так, для серийного и мелкосерийного производства создают гибкие производственные участки (ГАУ), работающие по схеме станок–склад.

Гибкие автоматические линии для крупносерийного производства сохраняют и развивают основные достоинства традиционных автоматических линий – комплектность обработки и системную автоматизацию производства всех деталей, входящих в изделие, для получения максимального эффекта перехода на новую или модернизированную продукцию без потерь в производительности, точности, ритмичности оборудования, без существенных дополнительных финансовых потерь производства.

Согласно принятой в нашей стране терминологии (ГОСТ 26228-81) под ГАЛ понимается гибкая производственная система (ГПС), в которой технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций. В отличие от ГАЛ ГАУ – это ГПС, функционирующая по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

Составной частью любой ГПС является гибкий производственный модуль (ГПМ), которым называют единицу технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры. ГПМ с программным управлением автономно функционирует, автоматически осуществляет все функции, связанные с изготовлением изделий разной номенклатуры, обладает возможностью встраивания в ГПС.

#### **5.4. Промышленные роботы**

*Робот* – механическая система с манипуляционными устройствами, системой управления, комплексом чувствительных элементов и средствами передвижения в пространстве.

В роботах реализуется идея функционального моделирования производственных рабочих, занятых на различных технологических операциях производственного процесса.

Под *промышленным роботом* понимается перепрограммируемый манипулятор, способный автоматически выполнять комплекс действий, предусмотренных программой.

В общем случае промышленный робот включает в себя следующие основные элементы: манипуляционные устройства, систему управления, чувствительные элементы и средства передвижения.

*Манипуляционные устройства робота* – исполнительные органы, имитирующие действие человеческих рук в натуральном масштабе с любым увеличением или уменьшением, а также усилением по мощности.

*Система управления* (с ЭВМ или без неё) может иметь несколько уровней, аналогично различным ступеням нервной системы и мозга человека.

*Чувствительные элементы* робота дают необходимые сигналы в систему управления о приближении руки к предметам, прикосновении и т.д. Эти элементы позволяют роботу ориентироваться нужным образом для достижения определённых целей в среде, где он функционирует.

*Средства передвижения* робота могут быть любыми в зависимости от его назначения: шагающие механизмы; устройства на колёсах; устройства на гусеницах; комбинация всех трёх способов.

Робот – многоцелевая машина и отличается от обычного автомата гибкостью и универсальностью выполнения различных операций.

По методу управления роботы делятся на три группы: с ручным, автоматическим и комбинированным управлением.

Термин «промышленный робот» обычно относится к манипуляторам с автоматическим или комбинированным управлением.

Применение промышленных роботов характеризуется тем, что:

- не требуется длительных сроков внедрения;
- не требуется больших затрат при переводе промышленного робота от одной работы к другой;
- обеспечивается низкая стоимость отладки робота.

Существующие роботы можно подразделить на три класса;

- человекоподобные;
- информационные (спутники Земли и др.);
- промышленные.

По своим возможностям промышленные роботы относятся к следующим трём поколениям:

*Первое поколение* представляет собой манипулятор с программным устройством управления.

*Второе поколение* – роботы с осязанием. Исполнительные руки робота снабжаются различными датчиками, выдающими информацию о состоянии рук и предметов, с которыми он должен манипулировать, а также об основных свойствах среды, где происходит процесс. Такими датчиками могут быть контактные датчики, сигнализирующие о прикосновении руки робота к предметам; локационные, определяющие скорость движения и расстояние до предметов; телевизионные и оптические, образующие искусственное зрение, а также датчики, различающие цвет, теплоту, звук и т.д.

*Третье поколение* – роботы с искусственным интеллектом.

Конструкции промышленных роботов классифицируют по следующим признакам:

- *назначение* – универсальные и специальные;
- *характер движения руки* – совершающие движение по цилиндрической и сферической поверхностям;
- *тип приводов движения* – гидравлические, пневматические, электрические и смешанные;
- *тип передвижения робота* – неподвижные (напольные и подвесные), напольные подвижные, подвесные подвижные;
- *размещение пульта управления* – отдельный пульт и пульт на роботе;

- *конструкция пульта управления* – программа задаётся на перфоленте, магнитной ленте или барабане, программа задаётся панелью со штекерным набором, управление от ЭВМ;
- *технические возможности*;
- *масса поднимаемых деталей и величина раскрытия захватов*;
- *величина подъёма и выдвигения захвата*.

По производственно-технологическому признаку промышленные роботы могут быть подразделены на две группы:

- производственные (не более 20% общемирового парка);
- подъёмно-транспортные.

К первой группе относятся промышленные роботы, непосредственно участвующие в технологическом процессе в качестве производящих или обрабатывающих машин: сварочные, покрасочные.

Наиболее эффективно применение промышленных роботов в условиях многономенклатурного производства, требующего частой смены выпускаемых изделий и соответствующих изменений технологического процесса и переналадки оборудования. В этих условиях в наибольшей степени используются универсальные свойства роботов.

### **5.5. Автоматизация проектирования технологических процессов**

Применение ЭВМ позволяет решить большие технологические задачи: проектировать типовые технологические процессы изготовления стандартных деталей, разрабатывать нормативы для технологического проектирования. С помощью ЭВМ можно выбрать метод получения заготовки, рассчитать припуск на обработку и точность обработки, режимы резания и нормы времени и т.п. Поэтому проектирование технологических процессов обработки резанием и сборки с помощью ЭВМ является одной из основных технологических задач. ЭВМ можно использовать и как средство автоматического управления комплексом технологического оборудования.

Проектированию технологического процесса на ЭВМ предшествует разработка его математической модели в виде аналитических или экспериментальных зависимостей, таблиц. Следует учитывать, что сложные явления невозможно описать точными математическими формулами, поэтому их представляют приближёнными (аппроксимирующими) выражениями.

Наиболее сложной задачей является предварительная разработка алгоритма технологического проектирования и составления программы ЭВМ.

*Алгоритмом* называют систему операций, выполняемых в определённом порядке для решения поставленной задачи. Программа представляет собой описание алгоритма на определённом языке. Программы перед вводом в ЭВМ кодируются на языке машины и записываются на различных носителях. После этого программа представляет собой совокупность команд, преобразуемых ЭВМ в управляющие сигналы.

Технологические маршруты обработки заготовок деталей разрабатывают на основе типовых технологических процессов. Исходными данными являются конструкция детали и технологические условия на её изготовление, вид заготовки, объём выпуска, данные об оборудовании и технологической оснастке. При этом деталь относят к классу, группе или подгруппе в соответствии с общесоюзным классификатором. Сначала кодируют исходную информацию, а затем записывают её на перфоленту, которая вводится в приёмное устройство ЭВМ. При кодировании операций указывают их код, характеризующий операцию и выполняемые работы.

Использование ЭВМ при проектировании технологических процессов обработки резанием обеспечивает снижение трудоёмкости в 10-15 раз и себестоимости, по сравнению с обычными методами проектирования, в 2-4 раза. Себестоимость детали в целом снижается на 50-70%.

## Глава 6. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### 6.1. Характеристики точности и факторы, её определяющие

Степень соответствия изготовленной детали заданным размерам, форме и иным характеристикам, вытекающим из служебного назначения детали, называется *точностью обработки*.

Основные признаки соответствия изготовленной детали заданным требованиям следующие:

- точность формы, т.е. степень соответствия отдельных поверхностей детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются (цилиндр, конус, сфера и т.п.);
- точность размеров поверхностей детали;
- точность взаимного расположения поверхностей детали;
- степень соответствия реальной шероховатости поверхности детали идеально гладкой поверхности.

Точность изготовления детали зависит от комплекса технологических процессов, применяемых в данном производстве. Всякий технологический процесс изготовления детали вносит те или иные погрешности, поэтому абсолютно точную деталь получить практически невозможно.

Отклонения от формы и взаимного расположения поверхностей можно подразделить:

- на отклонения от правильной цилиндрической формы в поперечном сечении – некруглость, в продольном – бочкообразность, изогнутость, конусообразность, седлообразность;
- отклонения от плоской поверхности – непрямолинейность, неплоскостность, выпуклость, вогнутость;
- отклонения от правильного взаимного расположения поверхностей – несоосность, торцевое биение, радиальное биение, непараллельность осей, непараллельность и перпендикулярность плоскостей.

Точность взаимного расположения поверхностей зависит не только от работы станка, но от положения обрабатываемой заготовки относительно станка, последовательности технологических операций и типа применяемого оборудования.

*Шероховатость поверхности* – размерная характеристика микрогеометрических неровностей, возникающих в процессе резания под влиянием пластических деформаций и других факторов, сопутствующих резанию.

Величину погрешностей при обработке характеризуют отклонения значений параметров реальной детали от заданных чертежом.

При проектировании чертежа детали конструктор устанавливает размер детали, который требуется по условиям её работы. Этот размер называется *номинальным размером*.

Учитывая погрешности обработки, конструктор указывает в чертежах не одно значение допустимого размера, а два: *наибольший предельный размер* и *наименьший предельный размер*. Разность между ними сокращённо называется *допуском на обработку* или просто *допуском*. Следовательно, допуск показывает разрешённую погрешность обработки, заранее предусмотренную и отражённую в чертеже детали. В этом случае годными и взаимозаменяемыми будут такие детали, у которых размер, полученный после обработки, находится в пределах допуска.

Правильность получения размеров при обработке заготовки деталей определяется их измерением. Измерить размер – значит сравнить его значение с заданным. Все приборы и инструменты, применяемые для измерений, имеют общее название – *средства измерения*.

*Погрешностью измерения* называется разность между показаниями измерительного средства и действительной величиной измеряемого размера.

*Действительный размер* – это размер, полученный в результате измерения с допустимой погрешностью.

На точность обработки влияет ряд факторов, присущих самому процессу обработки: неточность и износ станка, приспособления и инструментов; погрешности установки заготовки на станке; нежесткость технологической системы и самой обрабатываемой заготовки, копирование погрешностей предшествующей обработки; неточность средств и методов измерения и др.

## **6.2. Суммирование погрешностей обработки**

Все погрешности обработки можно разделить на две группы: *систематические* и *случайные*. Суммарная погрешность обработки представляет собой поле рассеяния выполняемого размера в результате воздействия на технологический процесс различных факторов. Суммирование погрешностей обработки осуществляется в зависимости от вида погрешностей (систематических или случайных). Правила суммирования различны. При суммировании погрешностей следует иметь в виду, что отдельные погрешности могут взаимно перекрывать друг друга.

Систематические погрешности суммируются арифметически. Систематические и случайные погрешности суммируются с учётом менее выгодных вариантов, т.е. когда они имеют один знак. Независимые случайные по-

грешности подчиняются закону нормального распределения (распределения Гаусса) и суммируются по правилу квадратного корня:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_m^2},$$

где  $\Delta_{\Sigma}$  – суммарная погрешность;  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_m$  – составляющие погрешности.

Если все составляющие погрешности подчиняются одному какому-либо закону распределения, то суммарная погрешность обработки определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = K \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_m^2},$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий вид кривой распределения погрешностей.

Отступление от закона нормального распределения ( $K=1$ ) вызывает изменение  $K$  в пределах  $1,1 \dots 1,73$ . При работе на настроенных станках в условиях массового производства  $K=1,2$ .

### **6.3. Качество поверхности (определения и основные понятия)**

Качество поверхности деталей машин в значительной мере определяет эксплуатационные свойства деталей и долговечность их работы. В отличие от теоретической поверхности детали, изображаемой на чертеже, реальная поверхность всегда имеет неровности различной формы и высоты, зависящие от метода механической обработки (рис.6.1, *a*). Высота, форма, характер расположения и направление неровностей поверхностей заготовок зависят от режима резания ( $v$  и  $s$ ), условий охлаждения и смазки режущего инструмента, химического состава обрабатываемого материала, конструкции, геометрии и режущей способности инструмента, типа и состояния оборудования.

Отклонения от теоретической формы могут быть трёх групп: макрогеометрические (овальность, конусообразность, вогнутость и другие отклонения от правильной геометрической формы); волнистость (рис. 6.1, *б*) поверхности (следствие вибраций и неравномерности процесса резания); микрогеометрические или микронеровности, образующиеся в результате воздействия режущей кромки инструмента на обрабатываемую поверхность, а также вследствие пластической деформации металла в процессе резания.

Характер и расположение микронеровностей обработанной поверхности зависят от направления главного движения при резании и направления подачи. Направления имеют характерный вид для каждого метода механической обработки и шесть характерных разновидностей 9 типов направлений

неровностей: параллельное, перпендикулярное, перекрещивающиеся, произвольное, кругообразное и радиальное. Типы направлений неровностей и их условные обозначения, проставляемые на чертежах, даны в табл. 6.1.

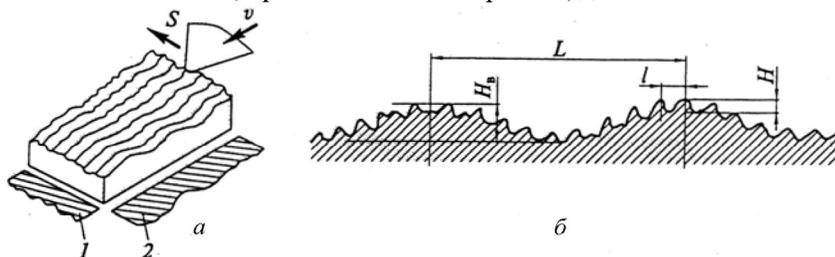


Рис. 6.1. Шероховатость (а) и волнистость (б) поверхности:

1, 2 – поперечная и продольная шероховатость поверхности;  $v$  – скорость резания;

$S$  – подача;  $L$  – базовая длина;  $l$  – шаг микронеровностей;  $H_B$  – высота волны;

$H$  – высота микронеровностей

Таблица 6.1

### Типы направлений неровностей

Тип направления неровностей	Схема направления неровностей	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающиеся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

#### 6.4. Параметры оценки шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля (рис. 6.2), получаемого путём сечения реальной поверхности плоскостью. Для отделения шероховатости поверхности от других неровностей с относительно большими шагами её рассматривают в пределах базовой длины  $\ell$ .

Базой для отсчёта отклонений профиля является средняя линия профиля –  $m$ - $m$ -линия, имеющая форму номинального профиля и проведённая так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии минимально.

ГОСТ 2789-73 установлены следующие параметры шероховатости (рис. 6.2).

1. Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  – это среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |y(x)| dx.$$

где  $\ell$  – базовая длина;  $y$  – отклонение профиля (расстояние между любой точкой профиля и базовой линией  $m$ - $m$ ).

При дискретном способе обработки профилограммы параметр  $R_a$  рассчитывают по формуле:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $y_i$  – измеренные отклонения профиля в дискретных точках;  $n$  – число измеренных дискретных отклонений на базовой длине.

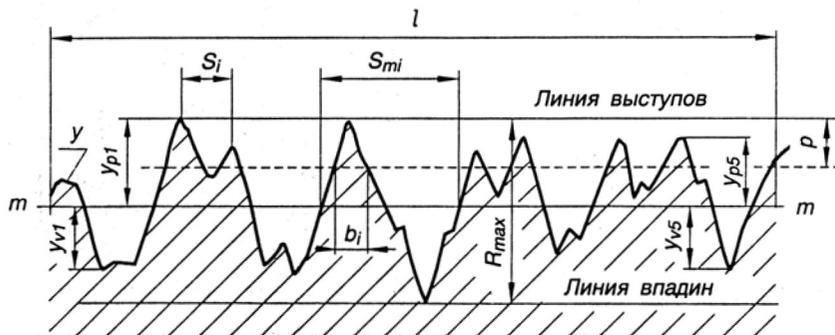


Рис. 6.2 Профиль поверхности

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

где  $y_{pi}$  – высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

3. Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины (рис.6.2).

4. Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины (рис. 6.2).

5. Средний шаг местных выступов  $S$  – среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины (см. рис. 6.2).

6. Относительная опорная длина профиля  $t_p$  – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \left( \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^n b_i \right) \cdot 100\%,$$

где  $\sum_{i=1}^n b_i$  – опорная длина профиля (сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне  $p$  в материале профиля линий, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины).

Требования к шероховатости поверхности детали устанавливаются исходя из функционального назначения поверхности путём указания числового значения параметра  $R_a(R_z)$  или иных параметров в зависимости от класса шероховатости (табл. 6.2).

На чертежах приняты следующие обозначения шероховатости:

- ✓ – вид обработки поверхности не установлен;
- ▽ – шероховатость, образуемая удалением слоя металла резанием;
- ▽ – шероховатость, образуемая без удаления стружки;

$\sqrt{R_a 0,4}$  – для параметров  $R_a$  в обозначении шероховатости указывается его наибольшее значение;

$\sqrt{R_z 50}$  – для  $R_z$  в обозначении указываются символ и величина шероховатости.

Таблица 6.2

### Классы шероховатости поверхности

Классы шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a$ , мкм, не более	Высота неровностей $R_z$ , мкм, не более	Базовая длина, мм
1	—	320	8
2	—	160	
3	—	80	
4	—	40	2,5
5	—	20	
6	2,5	—	0,8
7	1,25	—	
8	0,63	—	
9	0,32	—	0,25
10	0,16	—	
11	0,08	—	
12	0,04	—	
13	—	0,1	0,08
14	—	0,05	

При обозначении шероховатости на чертеже знак всегда направлен на обрабатываемую поверхность.

### **6.5. Методы и средства оценки шероховатости поверхности**

Шероховатость поверхности оценивают по качественным и количественным критериям. Качественную оценку производят сравнением с образцами шероховатости. Этот способ прост и удобен в цеховых условиях. Образцы изготавливают из тех же материалов, что и контролируемые детали, и обрабатывают теми же методами. Образцами могут быть эталонные детали.

Так как глазомерная оценка шероховатости субъективна и может привести к значительным погрешностям, для сравнительной (качественной) оценки шероховатости применяют пневматические приборы сравнения, основанные на измерении расхода воздуха, проходящего по каналам вдоль поверхности. Наконечник прибора прижимается к проверяемой поверхности и по расходу воздуха (показания манометра) судят о величине шероховатости. Также применяют приборы-рефлектометры, действие которых основано на использовании отражательной способности проверяемой поверхности.

Количественная оценка шероховатости поверхности состоит в определении высоты шероховатости по одному из параметров –  $R_a$  или  $R_z$  или иных при помощи приборов, которые можно подразделить на две группы: контактные и бесконтактные (оптические).

Контактные приборы для определения шероховатости подразделяются на профилографы и профилометры.

Профилометры представляют собой электродинамические и индуктивные приборы, колебания «ощупывающей» алмазной иглы которых преобразуются в измеряемое напряжение электрического тока.

Измерение шероховатости поверхности бесконтактным способом производится с помощью микроскопа сравнения или двойного микроскопа В.П. Линника МИС11.

## **6.6. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин**

Эксплуатационные свойства деталей машин находятся в прямой связи с геометрическими характеристиками поверхности и свойствами поверхностного слоя. Износ деталей в значительной степени зависит от высоты и формы неровностей поверхности и определяется главным образом верхней частью профиля шероховатости.

На износостойкость поверхности влияют сопротивляемость поверхностного слоя разрушению и макрогеометрические отклонения, которые вызывают неравномерное изнашивание отдельных участков. Волнистость приводит к увеличению удельного давления, так как трущиеся поверхности соприкасаются с выступами волн. Вершины макронеровностей могут вызвать разрывы масляной плёнки, вследствие чего в местах разрывов создается сухое трение.

Прочность деталей также зависит от шероховатости поверхности, так как наличие рисок, глубоких и острых царапин создаёт очаги концентрации внутренних напряжений, приводящих к разрушению деталей. Такими очага-

ми могут являться и впадины между гребешками микронеровностей, что не относится к деталям из чугуна и цветных сплавов, в которых концентрация напряжений возможна в меньшей степени.

От шероховатости поверхности (особенно от высоты микронеровностей) зависит прочность прессовых соединений, поскольку при запрессовке одной детали в другую фактическая величина натяга зависит от шероховатости поверхности и отличается от величины натяга при запрессовке деталей с гладкими поверхностями для тех же диаметров.

Шероховатость поверхности детали оказывает значительное влияние и на её коррозионную стойкость, так как с уменьшением микронеровностей поверхности уменьшается и площадь соприкосновения с корродирующей средой, следовательно, меньше влияние среды. С увеличением глубины впадин микронеровностей и резкости их очертаний повышается разрушающее действие коррозии, направленное в глубь металла.

### ***6.7. Взаимосвязь шероховатости поверхностей и точности при различных видах обработки деталей машин***

На основании практики и результатов технологических исследований определена связь между точностью обработки и величиной шероховатости поверхности. Так, например, установлено, что средняя высота неровностей не должна превышать 10...25% от допуска на обработку детали. Зная достижимую точность различных видов механической обработки для чугуна, стали, цветных металлов и сплавов (информация дана в справочной литературе по технологии машиностроения), можно установить достижимую шероховатость поверхности для этих материалов и видов обработки.

Сопоставляя затраты при разных способах обработки для одной и той же детали, можно установить экономически достижимую шероховатость поверхности.

## **Глава 7. ВИДЫ СОПРЯЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

### **7.1. Понятие о посадках и допуске посадки**

Узлы и агрегаты собираются из отдельных деталей, которые в зависимости от условий работы в машине сопрягаются между собой с зазором или натягом. Если у соединяемых между собой деталей размер отверстия больше размера вала, то в соединении будет зазор. Если размер вала больше размера отверстия, то в соединении будет натяг. Поэтому *зазором* называется положительная разность между размерами отверстия и вала, а *натягом* – положительная разность между размерами вала и отверстия.

Характер соединения двух деталей, зависящий от величины зазора или натяга, полученный при сборке узла, называется *посадкой*. В машинах требуются посадки с различными зазорами и натягами. Посадки подразделяются на три вида:

- *подвижные*, обеспечивающие зазор в соединении;
- *неподвижные* (прессовые), обеспечивающие натяг соединений;
- *переходные* (не гарантирующие зазор или натяг до сборки узла).

Для оценки точности соединений (посадок) пользуются понятием *допуска посадки*, под которым понимают разность между наибольшим и наименьшим зазорами (в посадке с зазором) или наибольшим и наименьшим натягом (в посадке с натягом).

В переходных посадках допуск посадки равен разности между наибольшим и наименьшим натягами или сумме наибольшего натяга и наибольшего зазора. Допуск посадки равен также сумме допусков отверстия и вала.

### **7.2. Методы и средства измерения деталей машин**

В условиях производства деталей машин различают прямые и косвенные методы измерения размеров. При *прямых измерениях* измеряемый размер определяют непосредственно по показаниям прибора (например, измерение длин штангенинструментом и микрометрами).

При *косвенных измерениях* искомый размер или отклонение определяют по результатам прямых измерений одной или нескольких величин, связанных с искомой определённой зависимостью. Примером может служить

тригонометрическое измерение углов по двум катетам либо по катету и гипотенузе.

Измерения размеров могут производиться абсолютным и относительным методами. При *абсолютном методе* весь измеряемый размер определяют непосредственно по показаниям прибора. При *относительном (сравнительном) методе* измерения определяют только отклонение размера от установочной меры, по которой прибор установлен на ноль. Приборы при этом требуют дополнительных затрат времени на предварительную настройку по установочной мере. Наиболее эффективно их можно использовать в условиях массового производства, где они более производительны и обеспечивают более высокую точность измерения.

Кроме того, методы измерения подразделяются на комплексные и дифференцированные.

*Комплексный метод* основан на сопоставлении действительного контура проверяемой детали с её предельными контурами, определяемыми величинами и расположением полей допусков отдельных элементов этого объекта. Этот метод обеспечивает проверку накопленных погрешностей взаимосвязанных элементов детали, ограниченных суммарным допуском. Примером комплексного метода измерения может служить контроль зубчатых колёс на межцентромере.

*Дифференцированный метод* заключается в независимой проверке каждого элемента отдельно. Этот метод не может непосредственно гарантировать взаимозаменяемости изделий.

Комплексный метод измерения используется, как правило, при контроле изделий, а дифференцированный – при проверке инструментов и при выявлении причин выхода размера детали за пределы допуска.

Каждый из перечисленных методов измерения может осуществляться контактным и бесконтактным методами.

*Контактный метод измерения* осуществляется при непосредственном соприкосновении измерительных элементов прибора с поверхностью контролируемой детали.

При *бесконтактном методе* измерения контакт с проверяемым объектом отсутствует (например, при проекционном или пневматическом методе измерения).

Применяемые в металлообразующей промышленности измерительные средства можно разделить на три группы: концевые меры длины, калибры и универсальные инструменты и приборы.

*Универсальные инструменты и приборы* служат для определения значений измеряемой величины и различаются по конструктивным признакам, пределам измерения, цене деления и другим показателям.

Универсальные инструменты и приборы делятся по конструктивным признакам:

- на штриховые инструменты, снабжённые кониусом-штангенциркулем, штангенглубиномеры и штангенрейсмусы;
- микрометрические инструменты, основанные на применении микропар, – микрометры, микрометрические нутромеры, глубиномеры и др.;
- рычажно-механические приборы, которые подразделяют: на собственно рычажные приборы (миниметры и др.); рычажно-зубчатые приборы (микрометры и др.); приборы с пружинной передачей (микрокаторы и др.);
- рычажно-оптические приборы (оптиметры и др.);
- оптические приборы (длинномеры, интерферометры, проекторы и др.);
- пневматические приборы с манометром и ротаметром;
- электрифицированные приборы (индуктивные, ёмкостные, фотоэлектрические и др.).

Широко используемые в производстве штангенинструменты позволяют производить измерения с погрешностью до 0,1 мм.

По числу одновременно проверяемых размеров приборы можно разделить на одномерные и многомерные.

По установившейся на производстве терминологии простейшие измерительные средства – калибры, линейки, штангенинструменты и микрометрический инструмент обычно называют *измерительным инструментом*.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверьянов, О.И. Основы инжиниринга в машиностроении: учеб. пособие / О.И. Аверьянов, И.О. Аверьянова – М.: МГИУ, 2007. – 64с.
2. Основы взаимозаменяемости в авиастроении: учеб. пособие / Е.В. Бурмистров [и др.]; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2002. – 104с.
3. Виноградов, В.М. Технология машиностроения (введение в специальность): учеб. пособие / В.М. Виноградов. – М.: Академия, 2007. – 176с.
4. Клепиков, В.В. Технология машиностроения: учеб. / В.В. Клепиков, А.Н. Бодров – М: Форум – ИНФРА-М, 2004. – 860с.
5. Махаринский, Е.И. Основы технологии машиностроения: учеб. / [Е.И. Махаринский и др.] – М.: Глобус, 2005. – 350с.
6. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учеб. пособие / А.Д. Никифоров. – М.: Высшая школа, 2003. – 510с.
7. Схиртладзе, А.Г. Оборудование машиностроительных производств: учеб. / [А.Г. Схиртладзе и др.] – М.: Глобус, 2006. – 320с.
8. Заботин, В.Г. Теплотехнические измерения в ДЛА: учеб. пособие / В.Г. Заботин, А.Н. Первышин; КуАИ. – Куйбышев, 1990. – 66с.
9. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986. – 234с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ – СТРАТЕГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>4</b>
1.1. Этапы жизненного цикла продукции.....	4
1.2. Информационные технологии .....	6
1.3. Основные направления деятельности современного технолога..	9
<b>Глава 2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ .....</b>	<b>13</b>
2.1. Развитие технологии машиностроения.....	13
2.2. Основные понятия и положения.....	17
2.2.1. Термины и определения.....	17
2.2.2. Качество изделий .....	19
2.2.3. Производственный процесс.....	24
2.2.4. Технологический процесс .....	25
<b>Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ .....</b>	<b>32</b>
3.1. Общие сведения о резании металлов .....	33
3.2. Элементы процесса резания .....	34
3.3. Износ и стойкость режущего инструмента .....	35
3.4. Смазывающе-охлаждающие технологические жидкости и их влияние на процесс резания.....	37
<b>Глава 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....</b>	<b>39</b>
4.1. Принципы и задачи проектирования.....	39
4.2. Классификация технологических процессов .....	39
4.3. Этапы проектирования технологических процессов .....	42
<b>Глава 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ..</b>	<b>45</b>
5.1. Основные понятия и направления автоматизации.....	45
5.2. Автоматические линии и их классификация .....	46
5.3. Гибкие производственные системы .....	47
5.4. Промышленные роботы.....	48
5.5. Автоматизация проектирования технологических процессов... ..	50

<b>Глава 6. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ И КАЧЕСТВЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....</b>	<b>52</b>
6.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ И ФАКТОРЫ, ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ .....	52
6.2. СУММИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ .....	53
6.3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ (ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ) .....	54
6.4. ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ.....	56
6.5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ.....	58
6.6. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	59
6.7. ВЗАИМОСВЯЗЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТОЧНОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	60
<b>Глава 7. ВИДЫ СОПРЯЖЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ .....</b>	<b>61</b>
7.1. ПОНЯТИЕ О ПОСАДКАХ И ДОПУСКЕ ПОСАДКИ.....	61
7.2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН .....	61
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>64</b>

*Учебное издание*

*Первышин Александр Николаевич  
Дружин Алексей Николаевич*

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
(технология машиностроения)**

*Учебное пособие*

Редактор Н. С. Купринова  
Доверстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 06.05.2011. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 4,25.

Тираж 100 экз. Заказ . Арт. С-13/2011.

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.