

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Научно-образовательный модуль
в системе дистанционного обучения Moodle

САМАРА
2012

УДК 621.3
Т 384

Автор-составитель: **Матюнин Сергей Александрович**

Технологические процессы автоматизированных производств [Электронный ресурс]
: научно-образоват. модуль в системе дистанц. обучения Moodle / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. С. А. Матюнин. - Электрон. текстовые и граф. дан. (17,3 Мбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-R).

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Лекционный курс.
2. Интерактивные тесты.
3. Контрольные вопросы.

Научно-образовательный модуль разработан на кафедре электронных систем и устройств радиотехнического факультета для обучения бакалавров по направлению подготовки 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств» в 6 семестре.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

МИНЕСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра «Электронные системы и устройства»

ЛЕКЦИИ

Технологические процессы автоматизированных производств

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СУСЛОВ, АНАТОЛИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ. ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ : [УЧЕБ. ДЛЯ ВУЗОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТ. БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ "ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТ. ПР-В" И НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТ. ДИПЛОМИР. СПЕЦИАЛИСТОВ "КОНСТРУКТ.-ТЕХНОЛ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТ. ПР-В"] / А. Г. СУСЛОВ. - 2-Е ИЗД., ПЕРЕРАБ. И ДОП. - М. : МАШИНОСТРОЕНИЕ, 2007. - 429 С ЭКЗЕМПЛЯРЫ: ВСЕГО:8

2. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ : [УЧЕБ. ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ "ТЕХНОЛ., ОБОРУД. И АВТОМАТИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТ. ПР-В", "КОНСТР.-ТЕХНОЛ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТ. ПР-В"; "АВТОМАТИЗИР. ТЕХНОЛОГИИ И ПР-ВА" / О. С. КОМАРОВ [И ДР.] ; ПОД ОБЩ. РЕД. О. С. КОМАРОВА. - МИНСК : НОВОЕ ЗНАНИЕ, 2005. - 559 С. - (ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ)

ЭКЗЕМПЛЯРЫ: ВСЕГО:6

3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ : УЧЕБНИК : [ДЛЯ ВУЗОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТ. ДИПЛОМИР. СПЕЦИАЛИСТОВ - "КОНСТРУКТ.-ТЕХНОЛ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТ. ПР-В"] / Е. И. МАХАРИНСКИЙ, В. А. ГОРОХОВ, А. Г. СХИРТЛАДЗЕ [И ДР.] ; ПОД ОБЩ. РЕД. П. И. ЯЩЕРИЦЫНА. - 3-Е ИЗД., ДОП. И ПЕРЕРАБ. - М. : ГЛОБУС, 2005. - 412 С ЭКЗЕМПЛЯРЫ: ВСЕГО:27

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ : [УЧЕБ. ДЛЯ ВУЗОВ / Н. М. КАПУСТИН, П. М. КУЗНЕЦОВ, А. Г. СХИРТЛАДЗЕ И ДР.] ; ПОД РЕД. Н. М. КАПУСТИНА. - М. : ВЫСШ. ШК., 2004. - 415 С ЭКЗЕМПЛЯРЫ: ВСЕГО:4

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Капустин, Николай Михайлович. Автоматизация машиностроения : [учеб. для вузов по направлению "Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в", "Автоматизация и упр."] / Н. М. Капустин, Н. П. Дьяконова, П. М. Кузнецов ; под ред. Н. М. Капустина. - М. : Высш. шк., 2003. - 223 с. Экземпляры: всего:3

2. Базров, Борис Мухтарбекович. Основы технологии машиностроения : [учеб. для вузов по направлению подгот. бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в"] / Б. М. Базров. - М. : Машиностроение, 2005. - 736 с Экземпляры: всего:1

3. Технология машиностроения : [учеб. пособие для вузов по направлению подгот. бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в"] : в 2 кн. / [Э. Л. Жуков и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. - Изд. 2-е, доп. - М. : Высш. шк. - 2005. - ISBN 5-06-004245-6 Кн. 1 : Основы технологии машиностроения : рекомендовано Мин.образования. - 2005. - 278 с.Экземпляры: всего:1

4. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : [учеб. для вузов / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. - Изд. 2-е, стер. - М. : Высш. шк., 2007. - 415 с. Экземпляры: всего:2

5. Волчкевич, Леонид Иванович. Автоматизация производственных процессов : [учеб. пособие для вузов специальности 120900 "Проектирование техн. и технол. комплексов"] / Л. И. Волчкевич. - 2-е изд., стер. - М. : Машиностроение, 2007. - 379 с Экземпляры: всего:3

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. ПРОЦЕССЫ И ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ. Физический и технический процессы. Входные и выходные потоки. Формирование технического состояния продукции. Управление техническим состоянием изделий. Управление технологическими процессами.

ТЕМА 2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ. Формообразующие технологии. Термические процессы. Технологии механосборочных работ. Технический контроль. (интерактивные)

ТЕМА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИИ АВИАЦИОННЫХ СПЛАВОВ. Основные технологии. Автоматизация технологических процессов в литейном и прокатном производствах. (интерактивные)

ТЕМА 4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РЭС.

Технологические процессы микроэлектронного производства. Автоматизация регулировочных процессов. Автоматический контроль. (интерактивные)

ТЕМА 1. ПРОЦЕССЫ И ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ.

Лекция 1.1

Основные определения

Производство — технико-организационное подразделение труда, предназначенное для получения продуктов труда. Очевидно, что более конкретное определение производства зависит от структурного иерархического уровня данного подразделения и его предметной содержательности.3

Деятельность или совокупность видов деятельности, использующая ресурсы и управляемая с целью преобразования входов в выходы, может рассматриваться **как процесс** (Международный стандарт ISO9001-2008. Системы менеджмента качества требования)[1].

В общем случае термин «процесс» означает последовательную смену состояний какого-либо объекта. Например, выполнение компьютерной программы является процессом.

Под **физическим процессом** понимают последовательную смену состояний объектов физического мира. Процессами в этом смысле являются движение, химические реакции или теплообмен. Процессы данного типа: промышленное или химическое производство, кондиционирование воздуха в помещении (изменение влажности и температуры), движение транспортного средства (изменение его скорости и положения).

Технический стандарт DIN66201 (Германия) характеризует **физический процесс** как комбинацию связанных событий в системе, в результате которых изменяются, перемещаются или запасаются материя, энергия и информация.

Там же, под термином **технический процесс** понимается процесс, физические переменные которого можно измерить и изменить техническими средствами. Разница между физическим и техническим процессом заключена в том, что физический процесс не обязательно должен управляться извне, а технический процесс включает обработку информации для достижения заданной целевой функции.

Любой физический процесс характеризуется входом и выходом в виде:

- материальных компонентов;
- энергии;
- информации.

Примеры входных и выходных потоков рассмотрены в табл.1.1

Вход/выход	Химический реактор	Кондиционирование воздуха	Управление самолетом
Ввод материальных компонентов (сырья)	Потоки исходных реагентов	-	-
Выход материальных компонентов (продукции)	Один или несколько новых продуктов	-	-
Ввод энергии	Нагревание или охлаждение	Нагревание или охлаждение	Топливо к двигателям
Выход энергии	Получение тепла от реакции	Излучение тепла	Движение самолета
Ввод информации	Управление входными потоками реагентов и дополнительным нагревом	Управление температурой и интенсивностью поступления нагревающей / охлаждающей жидкости	Управление двигателем и аэродинамическими поверхностями
Вывод информации	Измерение температуры, давления, интенсивности потоков, концентрации	Измерение температуры	Измерение скорости, высоты, углов атаки, крена, курса

В общем случае материальные компоненты (энергию и информацию) можно рассматривать как входные и выходные потоки, которые изменяются в ходе физических либо технических процессов.

При физико-химическом анализе любых процессов потоки являются основными кинетическими характеристиками системы, описывающей какой-либо технологический процесс или аппаратно-процессную единицу (АПЕ).

Например, для кинетической характеристики любого процесса достаточно знания четырех потоков: массы, компонента, теплоты (энтальпии) и импульса.

Поток массы — количество вещества, проходящее через поверхность в единицу времени. Единица потока массы — кг/ч или кг/с. При определении потока массы ее химический состав не учитывают.

Поток компонента является частным случаем потока массы. Из закона сохранения массы следует, что сумма потоков компонентов равна потоку массы/Единицы потока компонента — моль/ч или моль/с. При этом химический состав компонента принимается во внимание.

Поток теплоты (энтальпии) в инженерных расчетах является энергетической характеристикой потока и равен количеству теплоты в единицу времени при нормальных условиях ($T=298\text{ К}$, $p = 10^4\text{ Па}$). Размерность потока теплоты Дж/с.

Поток импульса характеризует изменение импульса в единицу времени. Размерность потока импульса — кг·м/ч² или кг·м/с².

Конвективный поток образуется под действием какой-либо силы, обуславливающей перенос некоторого множества частиц (массы) из одного места системы в другое. Такое множество частиц характеризуется обобщенной плотностью Γ и элементарным объемом V . Следовательно, масса элементарного объема частиц составит ΓV . Элементарный конвективный поток данного множества частиц $J_k = \frac{d(\Gamma V)}{d\tau}$.

Помимо описанных компонентов, существуют посторонние по отношению к цели процесса факторы, которыми нельзя управлять, но которые оказывают влияние на процесс. Эти факторы рассматриваются как возмущения, отклоняющие процесс от штатного рабочего режима (рис.1.1). Возмущения сами по себе не являются физическими величинами, а проявляются в виде случайных флуктуаций в потоках материалов, энергии и информации.

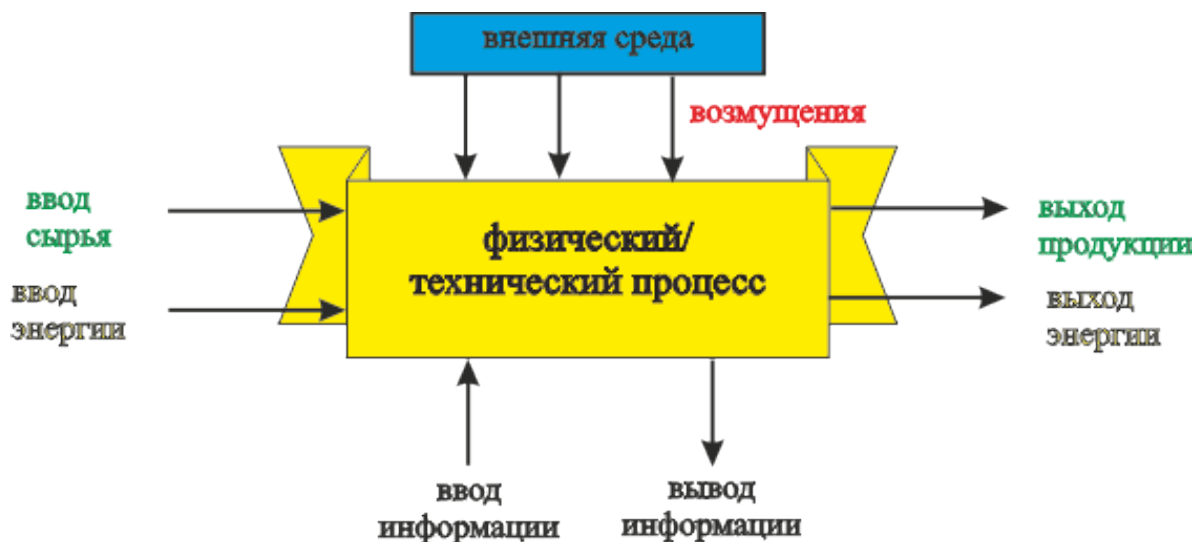


Рис. 1.1. Обобщенная модель физического/технического процесса [2]

Существование флуктуации термодинамических величин является следствием их статистической природы. Возникновение флуктуации означает переход системы из более вероятного состояния в менее вероятное.

В любой системе возникают флуктуации как кинетической и потенциальной энергий частиц, так и распределения частиц в пространстве. Флуктуации кинетической энергии условно относят к динамическим, а флуктуации потенциальной энергии и концентрации частиц — к статическим искажениям.

Флуктуации параметров системы во времени различны, несмотря на их постоянное среднее значение. Отклонение параметра в определенный момент времени будет скомпенсировано противоположными отклонениями его в другие моменты, хотя эти отклонения и неравнозначны. Например, изменение давления во времени для равновесной системы

$$\sum \Delta p = 0 \quad (1.1)$$

Количественной мерой флуктуации параметров системы служит среднеквадратичная флуктуация $(\Delta\Phi)^2$, равная среднему значению суммы квадратов разностей $\Phi_i - \bar{\Phi}$:

$$(\overline{\Delta\Phi})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\Phi} - \Phi_i)^2}{n} = \frac{(\bar{\Phi} - \Phi_1)^2 + (\bar{\Phi} - \Phi_2)^2 + \dots + (\bar{\Phi} - \Phi_n)^2}{n}, \quad (1.2)$$

где Φ_i — истинное значение параметра; $\bar{\Phi}$ — среднее значение параметра; n — число рассматриваемых значений параметра. Квадратичная флуктуация всегда однозначна и положительна. Величину $\sqrt{(\overline{\Delta\Phi})^2}$ называют *абсолютной*, а $\sqrt{(\overline{\Delta\Phi})^2}/\bar{\Phi}$ — *относительной флуктуациями*.

Динамические искажения приводят то к появлению, то к исчезновению статических искажений. Аналогично статические искажения приводят к появлению и исчезновению динамических искажений.

Флуктуации параметров играют существенную роль во многих технологических процессах и физических явлениях. Например, распределение дефектов структуры пленок по объему физически закономерно, если рассматривать это явление как «замораживание» флуктуации, даже если отвлечься от многих других причин возникновения дефектов.

Процесс производства заключается в выпуске продукции из сырья с соответствующими затратами (вводом) энергии. Входной информацией являются технологические инструкции, выраженные в виде набора параметров, которые можно явно контролировать. Выходная информация есть набор измеряемых переменных и параметров, которые описывают текущее состояние процесса и его изменение. Большое количество информации заключено в самом конечном продукте. Информация, следовательно, есть не только данные для наблюдения и управления, но технологические и организационные процедуры, вплоть до циркулирующих по кабинетам служебных документов и заявок на поставку.

Для обработки информации применяются компьютерные и микропроцессорные системы (рис. 1.2), которые выполняют две основные функции:

- 1) контролируют, находятся ли параметры технического процесса в заданных пределах;
- 2) индицируют соответствующие управляющие воздействия, чтобы параметры оставались в этих пределах даже при наличии внешних возмущений.



Рис. 1.2. Применение компьютера в управлении процессом

Производственные процессы характеризуются наличием, движением и взаимодействием материальных и информационных потоков (рисунки 1.3).

Совокупность отдельных процессов, связанных с переработкой сырья и полуфабрикатов в заготовки, готовые детали, узлы и механизмы машин на данном предприятии, называется *производственным процессом*

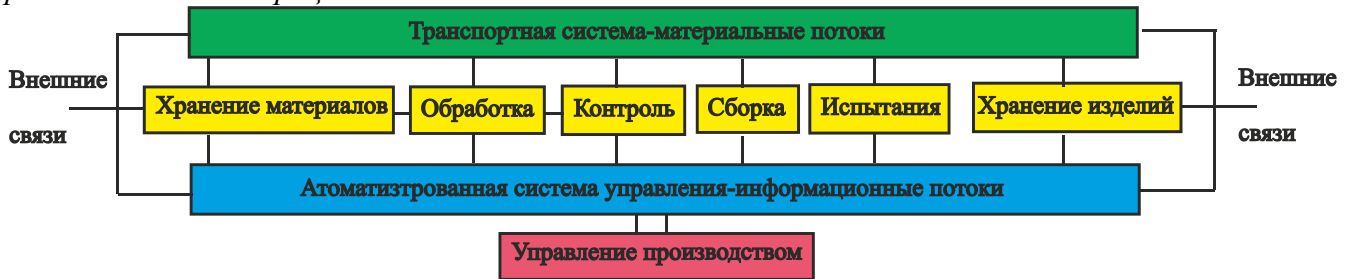


Рис.1.3. Материальные и информационные потоки

Объекты материальных потоков — материалы, заготовки, детали, сборочные единицы, готовые изделия, комплекты, вспомогательные материалы, режущий, контрольный, измерительный инструмент, технологическая оснастка и отходы производства.

Материалы и заготовки перемещаются в соответствии с предписанными технологическими маршрутами. Поступая на предприятие, они хранятся на складе, откуда следуют в заготовительные цеха, проходят полный цикл обработки, становятся деталями и узлами, поступают на сборку.

Режущий, контрольный и измерительный инструмент приобретается, готовится к применению, (собирается, настраивается, затачивается, контролируется), направляется на инструментальный склад, затем доставляется на рабочие места, устанавливается на станках или в приспособлениях. Рабочее состояние контролируется. По истечению периода стойкости режущий инструмент демонтируется со станка, изымается с рабочего места, проходит этап восстановления режущих свойств, повторно поступает на склад, откуда цикл его применения повторяется.

Технологическая оснастка разрабатывается, модернизируется, изготавливается, хранится, доставляется на станок или рабочее место, используется при обработке изделий, переналаживается или меняется, проходит аттестацию и ремонт, повторно используется.

Изделия и комплекты собираются из деталей и узлов, упаковываются, хранятся на складе готовой продукции и отгружаются потребителям.

Отходы производства — стружка, использованная упаковка, отработанные масла, СОЖ, изношенное оборудование и инструмент, производственный мусор — утилизируются.

Объекты информационных потоков — конструкторская и технологическая документация, программы обработки и испытаний, управляющие программы, проекты планов, производственных заданий, сводки, отчеты и т.д.

Информация о деталях, сборочных единицах, изделиях и комплектах оформляется в виде чертежей и спецификаций.

Различные этапы производственного процесса обычно выполняются в отдельных цехах или в одном цехе. В первом случае производственный процесс делят на соответствующие части и говорят о производственных процессах литейного, механического, сборочного цехов и т. д. Во втором случае производственный процесс является комплексным.

Часть производственного процесса, непосредственно связанная с изменениями размеров, форм и свойств материала обрабатываемой заготовки, выполняемая в определенной последовательности, называется *технологическим процессом*.

Технологические процессы включают в себя все виды обработки: механической, термической, вакуумной (напыление, имплантация ионно-плазменное травление и т.д.) химической, гальванической и сборку. В технологический процесс включается ряд дополнительных действий орудий производства и рабочих, непосредственно связанных или сопутствующих качественным изменениям объекта производства. К таким действиям относятся, например, контроль качества, очистка заготовок и деталей, в ряде случаев - транспортирование их или собираемых объектов. Технологический процесс может включать в себя совокупность технологических операций, например литография (нанесение фоторезиста, экспонирование, задубливание, проявление, травление рисунка).

По физическим и экономическим причинам процесс изготовления продукции обычно делится на несколько частей. В качестве примера можно привести процесс сборки телевизора на

конвейерной линии, изготовление сложной детали с обработкой заготовки на токарных, фрезерных и сверлильных станках. В структуру технологического процесса входят операции, состоящие, в свою очередь, из нескольких элементов. Основными элементами операции являются: переход, проход, установка и позиция.

Законченная часть технологического процесса совместной обработки одной или нескольких деталей, выполненной на одном рабочем месте непрерывно до перехода к обработке следующей детали, называется **операцией**.

Операции присваивают наименование в зависимости от вида обработки: центровочная, токарная, фрезерная, шлифовальная, слесарная и номер через 5 или через 10, т.е. 5, 10, 15 и т.д. или 10, 20, 30 и т.д.

Основными технологическими элементами, из которых формируется и на которые делится операция, являются переходы.

Переходом называется часть операции, осуществляемая одним и тем же инструментом или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения режима резания при обработке одной и той же поверхности. Применительно к обработке резанием переход представляет собой законченный процесс получения каждой новой поверхности или сочетания поверхностей детали при обработке одним режущим инструментом.

Информация о технологических процессах оформляется в виде описаний технологических процессов, технологических карт, ведомостей, контрольных карт, эскизов, управляющих программ и программ испытаний.

Управляющая информация об объемах, сроках и направлении движения материальных и информационных потоков, а также персонала оформляется в виде приказов, распоряжений, нарядов, сводок, производственных отчетов и учетных документов.

Информация хранится и представляется на бумажных, магнитных и электронных носителях, а её движение образует информационные потоки, которые параллельны материальным потокам и управляют ими.

В неавтоматизированном производстве многие информационные процессы оказываются скрытыми и неформальными, поскольку они осуществляются людьми, которые могут дополнять недостающую информацию благодаря своим знаниям, опыту и связям.

В автоматизированном производстве логические операции должны быть формализованы и автоматизированы, а вмешательство человека ограничено.

Автоматизированный технологический процесс представляет собой совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности системой автоматических машин и механизмов, преобразующих исходный материал в готовое изделие, отвечающее требованиям технических условий рабочего чертежа и Госстандарта, без непосредственного участия в этом процессе рабочего, которому остается только наблюдать за исправностью работы механизмов и системы управления и периодически поднастраивать рабочий инструмент.

В отличие от процессов неавтоматизированного серийного и даже поточного производства при проектировании автоматизированных технологических процессов наряду с расчетом точности и производительности обработки должны быть решены задачи выбора систем автоматического управления, автоматической загрузки, выгрузки, транспортировки и контроля обрабатываемых деталей и автоматической оптимизации режимов обработки.

Автоматизация современного производства заключается в автоматизации материальных и информационных потоков.

Автоматизация материальных потоков осуществляется применением автоматизированных средств и их систем.

Автоматизация информационных потоков осуществляется применением компьютеров и контроллеров, их программного обеспечения и каналов связи (электрических, оптоволоконных, индуктивных, акустических, электромагнитных и др.), датчиков, воспринимающих параметры процессов, преобразователей параметров в электрические сигналы, блоков управления, обрабатывающих сигналы контроля и вырабатывающих сигналы управления, а также отчетные формы.

Управляющие компьютеры и контроллеры образуют посты и центры управления, которые объединены в единую сеть информации и управления.

Взаимодействие материальных и информационных потоков происходит в пространстве и во времени с изменением свойств материалов, формы и размеров предметов обработки. Поэтому для

реализации автоматизированного производственного процесса необходимо согласовать размерные, временные и информационные связи, посредством автоматизированных систем аппаратных и программных средств, управляющих единым производственным комплексом.

Автоматизированные средства технологического оснащения и системы аппаратных и программных средств, используемые на всех стадиях создания и производства изделия (исследования, конструкторская и технологическая подготовка производства, организация и управление), совместно осуществляющие автоматизированный производственный процесс, образуют **интегрированный производственный комплекс (ИПК)**.

Механизация производственного процесса – замена физического труда человека работой механизмов, получающих энергию от какого-либо источника энергии неживой природы.

Автоматизация производственного процесса – замена физического труда человека, затрачиваемого на управление механизмами и машинами, работой специальных устройств, обеспечивающих это управление (регулирование различных параметров, получение заданной производительности и качества продукта без вмешательства человека и т. п.).

Автоматическими называются процесс, оборудование или производство, не требующие присутствия человека в течение определенного промежутка времени для выполнения ряда повторяющихся рабочих циклов.

Автоматизированным называется такой процесс, часть которого выполняется автоматически, а другая часть требует присутствие рабочего.

Автомат – самостоятельно действующее устройство или совокупность устройств, выполняющее по заданной программе без непосредственного участия человека процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации.

Полуавтомат - это такое устройство, для возобновления рабочего цикла которого требуется вмешательство рабочего.

Рабочий цикл – это последовательность автоматически выполняемых запрограммированных действий.

Автоматизация управления – замена физического и умственного труда человека, затрачиваемого на управление, работой технических средств, обеспечивающих выполнение определенных управленческих работ с заданной производительностью и качеством без вмешательства человека, за которым остаются только функции наблюдения и подготовки технических средств к работе.

При автоматизации управления производственным процессом работа технических средств управления обеспечивает автоматический сбор и обработку данных о состоянии процесса, воздействие на процесс через исполнительные механизмы, вывод данных оператору или выполнение части этих функций.

Автоматизированная система – понятие, имеющее двойной смысл. С одной стороны, под автоматизированной системой понимается организационная система, использующая технические средства. С другой стороны, понятие используется для пояснения совершенства технической системы управления.

В автоматизированной системе, в отличие от автоматической, технические средства не обеспечивают полной автоматизации, и для успешного функционирования системы необходим труд людей – операторов, диспетчеров и др.

Главное отличие автоматизированной системы от автоматической - отсутствие замкнутой цепочки управления в автоматических исполнительных механизмах.

Техническая система управления – совокупность технических средств, имеющих между собой электрические, пневматические, гидравлические или иные информационные связи, а также независимые средства оргтехники, используемые для управления производственными или другими процессами по правилам и методике, предусмотренной в соответствующей организационной системе управления. Техническая система управления может предназначаться для управления производственными процессами, участками, цехами, производствами, предприятиями и т. д.

Автоматизированная система управления (АСУ) производством или технологическим процессом – разновидность систем управления, включающая технические средства, которые обеспечивают замену физического и умственного труда человека работой машин для сбора, переработки и вывода информации, требующих, однако, затрат труда операторов для своего

обслуживания и выполнения отдельных функций управления. Для автоматизированных систем управления характерны значительные затраты труда на сбор, обработку и вывод информации, несмотря на использование технических средств.

Такие системы необходимы, например, в том случае, если часть первичной информации не может быть получена и введена в технические средства или системы автоматически, без участия человека, или если автоматическое управление с помощью технических средств невозможно, или если это можно сделать, но ценой неоправданно больших затрат или неоправданного усложнения технических средств.

Автоматизированные системы управления могут быть информационными и информационно-советующими. Последние отличаются тем, что предлагают оператору проекты готовых решений, рекомендации. Например, «Советчик мастера» – система, автоматически собирающая информацию о состоянии производственного процесса, обрабатывающая эту информацию и выдающая решения в виде рекомендаций. Система «замыкается» человеком, который принимает окончательное решение и реализует его. Такие системы считаются разомкнутыми, хотя цепь воздействий «замыкается» человеком.

Автоматическая система управления – разновидность систем управления, включающая технические средства, которые обеспечивают автоматический сбор, обработку информации, в том числе принятие решения и реализацию принятого решения. Затраты труда человека необходимы только для контроля функционирования и обслуживания системы. Автоматическая система управления состоит из управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой. Объектов и управляющих устройств в системе может быть несколько.

Применение самых совершенных технических средств не определяет полностью степени совершенства системы. Она в значительной мере зависит от идей, заложенных в организационной части системы (например, будет ли система адаптивной, обучающейся).

При внедрении автоматическая система управления технологическим процессом обычно используется вначале как автоматизированная система, работающая в информационном режиме, а после накопления опыта, проверки надежности системы и т. п. переводится в автоматический режим.

Непрерывные системы (аналоговые) – системы, в которых входные сигналы действуют непрерывно в течение всего времени работы системы.

Дискретные (импульсные) системы – с прерывистым воздействием сигнала на входе.

Рассмотрим обобщенную структуру автоматической системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) см. рис. 1.4.

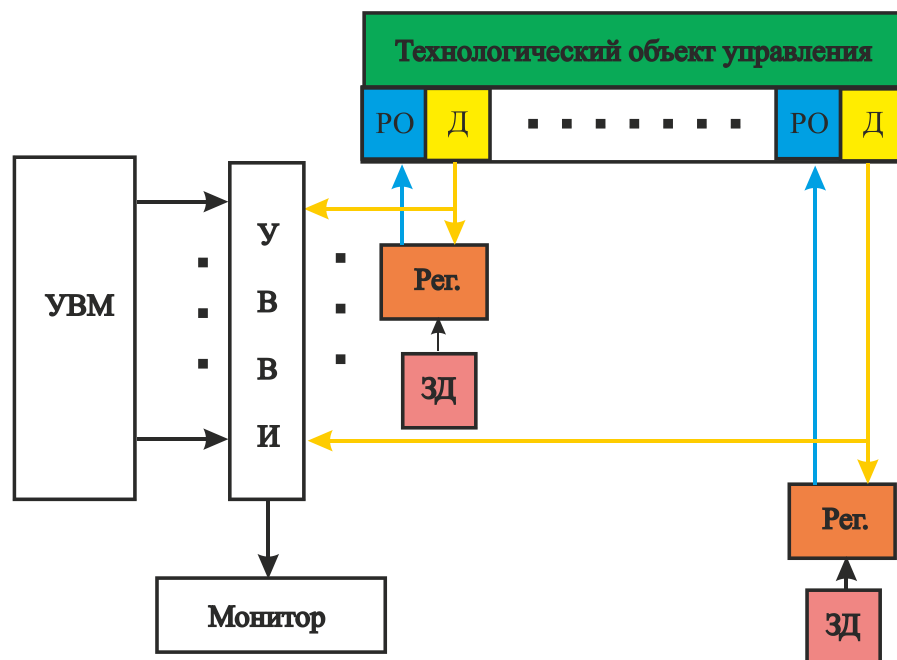


Рис. 1.4. Обобщенная структура АСУ ТП

Элементы обобщенной структуры АСУ ТП:

Д – датчик.

РО – регулирующий орган (клапан, вентиль, заслонка).

Рег. – автоматический регулятор (поддерживает на заданном уровне значение технологической величины).

ЗД – задатчик (вводит в автоматический регулятор значение регулируемой величины).

УВВИ – Устройство Ввода и Вывода Информации.

УВМ – Управляющая Вычислительная Машина. УВМ может работать в следующих режимах:

1. Режим слежения – обработка поступившей информации, вывод информации на монитор.
2. Режим советника – анализ ситуации, рекомендации по исправлению возникших ошибок.

Автоматизированные системы управления процессом обычно выполняет много различных функций, типовая функциональная структура АСУ представлена на рис. 1.5.

Функции АСУ ТП:

1. Информационные - сбор, преобразование и хранение информации о состоянии ТОУ; представление этой информации оперативному персоналу или передача ее для последующей обработки.
2. Первичная обработка информации о текущем состоянии ТОУ.
3. Обнаружение отклонений технологических параметров и показателей состояния оборудования от установленных значений.
4. Расчет значений не измеряемых величин и показателей (косвенные измерения, расчет ТЭП, прогнозирование);
5. Оперативное отображение и регистрация информации.
6. Обмен информацией с оперативным персоналом.
7. Обмен информацией со смежными и вышестоящими АСУ.

Управляющие функции обеспечивают поддержание экстремальных значения критерия управления в условиях изменяющейся производственной ситуации, они делятся на две группы: первая – определение оптимальных управляющих воздействий; вторая – реализация этого режима путем формирования управляющих воздействий на ТОУ (стабилизация, программное управление; программно-логическое управление).

Вспомогательные функции обеспечивают решение внутрисистемных задач.

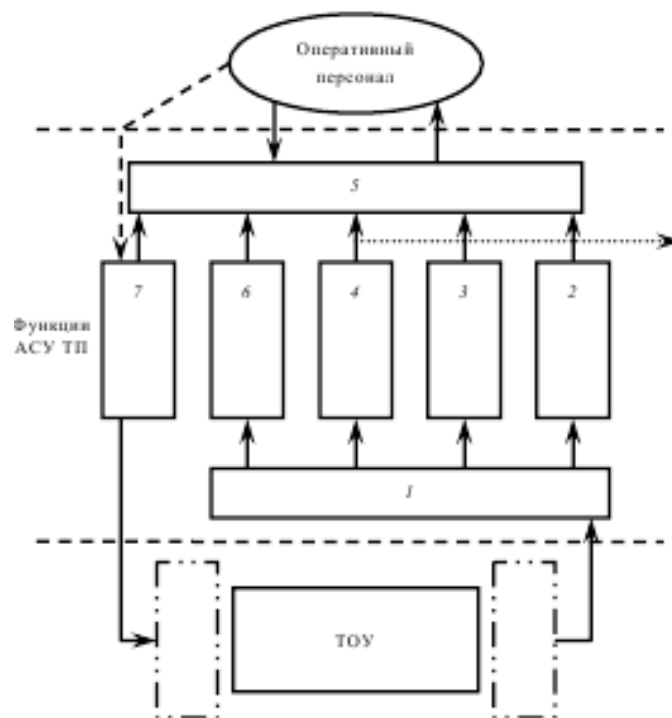


Рис. 1.5. Типовая функциональная структура АСУ ТП. 1 – первичная обработка информации (И); 2 – обнаружение отклонений технологических параметров и показателей состояния оборудования от установленных значений (И); 3 – расчет не измеряемых величин и показателей (И);

- 4 – подготовка информации и выполнение процедур обмена со смежными и другими АСУ (И);
 5 – оперативное и (или) по вызову отображение и регистрация информации; 6 – определение рационального режима технологического процесса (У); 7 – формирование управляющих воздействий, реализующих выбранный режим; ТОУ - технологический объект управления



Рис. 1.6. Основные функции управления

Описанный выше перечень функций можно разделить на три большие группы (рис.1.6):

- 1) сбор и оценка данных технического процесса – мониторинг;
- 2) управление некоторыми параметрами технического процесса;
- 3) связь входных и выходных данных – обратная связь, автоматическое управление.

Мониторинг

Мониторинг процесса, или сбор информации о процессе, – это основная функция, присущая всем системам управления, осуществляющая сбор значений переменных процесса, их хранение и отображение в подходящей для человека-оператора форме.

Мониторинг может быть ограничен лишь выводом первичных или обработанных данных на экран монитора или на бумагу, а может включать более сложные функции анализа и отображения. Например, переменные, которые нельзя непосредственно измерить, должны рассчитываться или оцениваться на основе имеющихся измерений. Другой классической чертой мониторинга является проверка, что измеренные или рассчитанные значения находятся в допустимых пределах.

Когда функции системы управления процессом ограничены сбором и отображением данных, все решения об управляющих действиях принимаются оператором. Этот вид управления, называемый **супервизорным**, или дистанционным управлением (supervisory control), был очень распространен в первых системах компьютерного управления процессами. Он до сих пор применяется, особенно для очень сложных и относительно медленных процессов, где важно вмешательство человека. Примером являются биологические процессы, где определенную часть наблюдений нельзя выполнить без помощи автоматики.

При поступлении новых данных их значение оценивается относительно допустимых границ. В более развитой системе контроля несколько результатов могут комбинироваться на основе более или менее сложных правил для проверки: находится ли процесс в нормальном состоянии или вышел за какие-либо допустимые пределы. В еще более современных решениях, в особенности построенных на экспертных системах или базах знаний, комбинированная оперативная информация от датчиков объединяется с оценками, сделанными операторами.

Управление

Управление – это функция, обратная мониторингу. В прямом смысле управление означает, что команды ЭВМ поступают к исполнительным механизмам для воздействия на физический процесс. Во многих случаях на параметры процесса можно воздействовать только опосредованно, через другие параметры управления.

Автоматическое управление

Система, которая действует автономно и без прямого вмешательства оператора, называется автоматической. Система автоматического управления может состоять из простых контуров управления (одного для каждой пары входных и выходных переменных процесса) или из более сложных регуляторов со многими входами и выходами.

Существуют два основных подхода к реализации обратной связи в вычислительных системах. При традиционном прямом цифровом управлении (ПЦУ, Direct Digital Control – DDC) центральная ЭВМ рассчитывает управляющие сигналы для исполнительных устройств. Все данные наблюдения передаются в полном объеме от датчиков к центру управления, а управляющие сигналы – обратно к исполнительным устройствам.

В системах распределенного прямого цифрового управления (Distributed Direct Control) вычислительная система имеет распределенную архитектуру, а цифровые регуляторы реализованы на основе локальных процессоров, т. е. расположены вблизи технического процесса. ЭВМ верхних уровней управления рассчитывают опорные значения, а локальные процессоры ответственны главным образом за непосредственное управление техническим процессом, т. е. выработку управляющих воздействий для исполнительных механизмов на основе данных локального мониторинга. Эти локальные ЭВМ включают в себя цифровые контуры управления.

С точки зрения структурирования уровней управления и обработки различие между прямым цифровым управлением и распределенным прямым цифровым управлением заключается в том, что в первом случае, даже при наличии нескольких ЭВМ, они занимаются только передачей информации и не принимают решений (кроме центрального) об управляющих действиях. В распределенной структуре ЭВМ на уровнях процесса, участка и общего управления могут действовать более или менее автономно и не зависеть от центральной ЭВМ. Такое различие влияет на надежность сложной системы. Так, при отказе центральной ЭВМ управляющая система, при прямом цифровом управлении, останавливается, а распределенная система, даже при отказе одного или нескольких элементов утратит часть функций, но будет продолжать работу.

В более простых системах, осуществляющих управление опорными значениями (setpoint control), ЭВМ рассчитывает опорные значения, которые затем поступают на обычные регуляторы. ЭВМ в этом случае выполняет роль только вычислителя (без измерения и генерации управляющих воздействий).

Виды обеспечения автоматических систем управления технологическими процессами

Автоматическая система управления технологическими процессами (АСУ ТП) включает оперативный персонал, организационное и информационное, программное и техническое обеспечение (ГОСТ 24.103-84).

Оперативный персонал АСУ ТП включает технологов-операторов автоматизированного технологического комплекса (АТК), осуществляющих управление технологическим объектом, и эксплуатационный персонал АСУ ТП, обеспечивающий функционирование системы. Ремонтный персонал в состав оперативного персонала не включается. Оперативный персонал может работать как в самом контуре управления, так и вне его. В первом случае оперативный персонал реализует функции управления, используя рекомендации, выдаваемые комплексом технических средств. Вне контура управления оперативный персонал задает системе режим работы, контролирует работу системы и, при необходимости (при отказе оборудования, аварийной ситуации), принимает на себя управление технологическим процессом.

Организационное обеспечение АСУ ТП включает описание функциональной, технической и организационной структур системы, инструкции и регламенты для оперативного персонала по работе АСУ ТП. Оно должно содержать совокупность правил и предписаний, обеспечивающих требуемое взаимодействие оперативного персонала между собой и комплексом средств.

Информационное обеспечение АСУ ТП включает систему кодирования технологической и технико-экономической информации, справочную и оперативную информацию. Информационное обеспечение содержит описания всех сигналов и кодов, используемых для связи технических средств. Формы выходных документов и другие формы представления информации не должны вызывать трудностей у персонала при их использовании.

В информационном обеспечении в соответствии с требованиями технического задания предусматривается некоторая избыточность, позволяющая обеспечить расширение массивов при развитии системы, а также совместимость со смежными и вышестоящими системами по содержанию, системе кодирования и форме представления информации, используемой для обмена.

Программное обеспечение АСУ ТП включает общее программное обеспечение, поставляемое со средствами вычислительной техники, в том числе программы-диспетчеры, транслирующие программы, операционные системы, библиотеки стандартных программ и др. Специальное программное обеспечение – совокупность программ, реализующих функции конкретной системы и обеспечивающих функционирование комплекса технических средств, в том числе встроенное программное обеспечение (ПО).

Централизованная и распределенная архитектура АСУ ТП

Системы управления технологическими процессами применяются в различных отраслях промышленности. При этом каждому объекту автоматизации присущи индивидуальные особенности технологического процесса, которые приходится учитывать разработчику. Однако в целом всю совокупность технологических процессов разработчики делят на следующие типы:

- 1) непрерывный (Process Control);
- 2) дискретно-непрерывный (Batch Control);
- 3) дискретный (Factory automation)

Управление описанными технологическими процессами подчиняется общей (классической) модели управления, приведенной на рис. 1.7.

Архитектура современных систем АСУ ТП в настоящее время имеет два варианта реализации:

1. Централизованные – это системы которые объединяют управляющую подсистему, систему ввода-вывода и отображения. Примеры подобных систем: станки с ЧПУ, пульты управления плавильными печами, автоматизированные линии.

2. Распределенные – это системы которые позволяют:

- приблизить управляющий контроллер к объекту;
- разделение подсистем управления и визуализации;

– управление в масштабе предприятия.

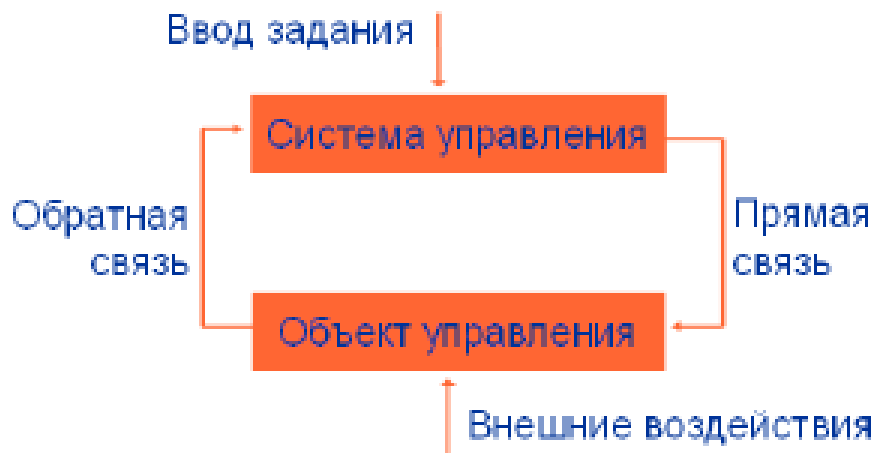


Рис. 1.7. Модель управления технологическими процессами

Централизованные АСУ ТП (рис. 1.8) обычно имеют 2 уровня: верхний и нижний. На верхнем уровне располагается вычислительное устройство. На нижнем – исполнительные приводы, датчики обратных связей.

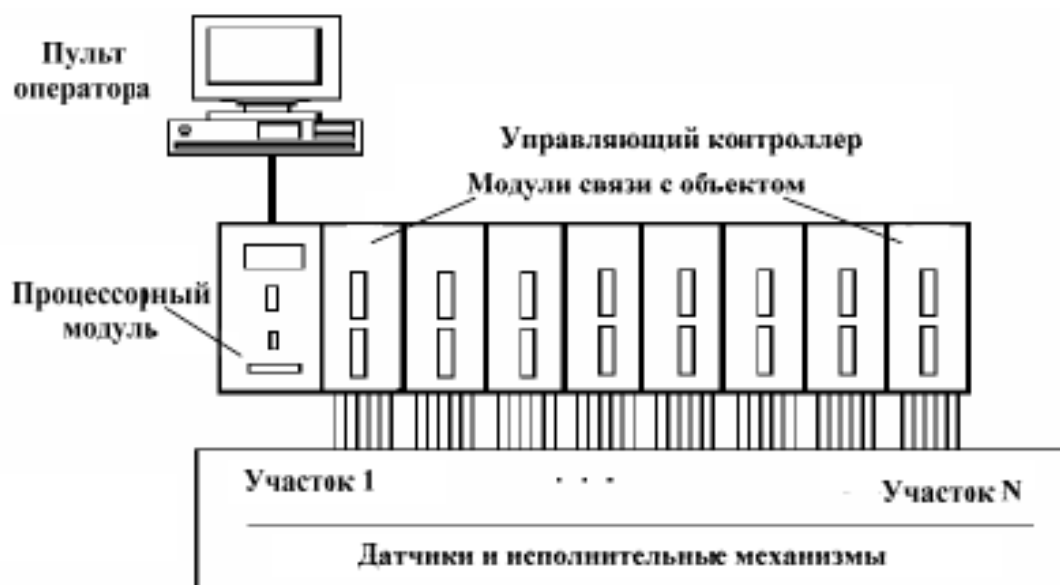


Рис. 1.8. Централизованная АСУ ТП

Управление техническим состоянием изделий. Управление технологическими процессами.

Централизованная АСУ ТП имеет ряд недостатков:

Необходимость применения в управляющих контролерах мощных высокопроизводительных процессоров. Поскольку все задачи решаются только одним процессором, то при большом количестве периферийных устройств и модулей ввода-вывода он должен иметь достаточно большую производительность.

Большие трудности, связанные с расширением системы. При расширении или модернизации требуется замена конструктива контроллера и модификация или полная замена программного обеспечения.

Невысокая надежность системы и повышенная подверженность действию помех. Поскольку электронные блоки системы при таком подходе сосредоточены в одном месте, то к ним приходится прокладывать большое количество силовых и сигнальных цепей (от датчиков

и исполнительных устройств), что при больших габаритах системы снижает надежность и увеличивает стоимость (большой расход дорогостоящей кабельной продукции) системы.

Распределенные АСУ ТП (рис. 1.9), как правило, разделяются на 3 уровня: верхний, нижний и средний. На верхнем уровне располагается автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

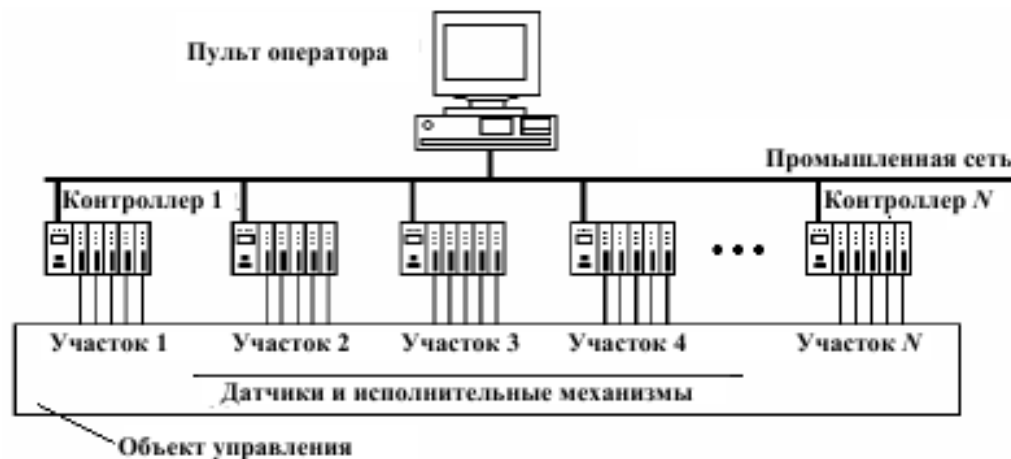


Рис. 1.9. Распределенная АСУ ТП

Достоинства распределенной АСУ ТП:

Высокая надежность работы системы. Четкое распределение обязанностей в распределенной системе делает ее работоспособной даже при выходе из строя или зависании любого узла. При этом работоспособные узлы продолжают осуществлять сбор данных и управление процессом или осуществляют последовательный останов технологического оборудования.

Малое количество проводных соединений. Контроллеры имеют возможность работать в тяжелых промышленных условиях, поэтому они, как правило, устанавливаются в непосредственной близости от объекта управления. В связи с этим существенно снижается расход кабельной продукции, а для организации сети, как правило, достаточно всего двух или четырех проводов.

Легкая расширяемость системы. При появлении дополнительных точек контроля и управления достаточно добавить в системы новый узел (контроллер, интеллектуальный модуль ввода-вывода).

Малые сроки проведения модернизации. Наибольший выигрыш достигается при модернизации крупных систем, поскольку большая часть аппаратных средств и программного обеспечения не требует модификации.

Использование компьютеров и контроллеров меньшей мощности.

Легкость тестирования и отладки. Поскольку все элементы системы активны, легко обеспечить самодиагностику и поиск неисправности.

В последнее время в области автоматизации технологических процессов наметился переход от централизованных систем, в которых один мощный процессорный модуль управляет большим количеством пассивных периферийных устройств, к распределенным, где каждый элемент системы является активным устройством сбора данных и управления.

В связи с резким удешевлением микропроцессорной техники с одновременным повышением их отказоустойчивости, уменьшением их размеров и увеличением их функциональных возможностей появилось большое количество малогабаритных контроллеров и

компьютеров, обладающих невысокой стоимостью. Наличие развитых сетевых средств позволяет связывать эти контроллеры в единую сеть, причем различные узлы (контроллеры, интеллектуальные модули ввода-вывода, компьютеры) этой сети могут быть разнесены друг от друга на достаточно большие расстояния, что делает наиболее предпочтительным вариант распределенной АСУ ТП.

Лекция 1.2

Классификация промышленных объектов управления

По характеру установившегося значения выходной величины объекта управления при действии на его вход ступенчатого сигнала выделяют объекты с самовыравниванием и без самовыравнивания.

По количеству входных и выходных величин и их взаимосвязи объекты делятся на одномерные (один вход и один выход) и многомерные.

Многомерные могут быть многосвязными, когда наблюдается взаимное влияние каналов регулирования друг на друга, либо несвязными, взаимосвязь между каналами которых мала.

По виду статических характеристик объекты делятся на линейные и нелинейные. В последних статическая характеристика может быть гладкой, линеаризуемой в окрестности заданной точки, либо носить существенно нелинейный характер. (Статические характеристики объекта управления устанавливают связь между установившимися значениями входа и выхода объекта.) При наличии в объекте нескольких нелинейностей графическим методом определяется его суммарная нелинейная характеристика. Большинство систем регулирования относится к классу систем автоматической стабилизации режима работы объекта относительно его рабочей точки (относительно номинального режима работы). В этом случае в процессе работы отклонения переменных относительно рабочей точки будут малы, что позволяет использовать линейные модели объекта управления. Однако при смене рабочей точки происходит изменение коэффициента усиления объекта, что будет негативно влиять на динамику замкнутой системы.

Объекты могут быть как стационарные, так и нестационарные. В нестационарных объектах параметры изменяются с течением времени (дрейфуют). Примерами таких объектов могут быть химический реактор с катализатором, активность которого падает с течением времени, или аэрокосмический аппарат, масса которого по мере выгорания топлива уменьшается. Такие явления должны учитываться при проектировании соответствующих систем управления.

В зависимости от интенсивности случайных возмущений, действующих на объект, они делятся на стохастические и детерминированные. В реальных условиях часто точно неизвестны ни точка приложения возмущения F , ни его характер (рис. 1.10).

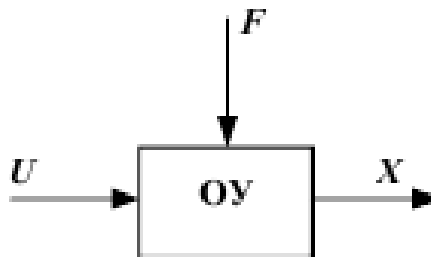


Рис. 1.10. Внешние возмущения в объектах управления

Известно, что лишь при наличии достаточно точной математической модели объекта можно спроектировать высококачественную систему управления этим объектом. Причем, согласно принципу Эшби, сложность управляющего устройства должна быть не ниже сложности объекта управления. Поэтому основной целью построения математической модели объекта управления является определение структуры объекта, его статических и динамических характеристик.

Особенно важно определение структуры для многомерных и многосвязных объектов управления. В тоже время, для локальных объектов управления определение структуры может быть сведено к определению порядка дифференциального уравнения, описывающего объект. Кроме того, оцениваются входные сигналы и возмущения, действующие на объект (их статистические характеристики, точки приложения, максимальные амплитуды). Значение этих характеристик позволяет выбрать структуру регулятора и рассчитать параметры его настройки, ориентируясь также на критерий качества работы этой системы.

Наряду с динамической частью $W(p)$ в структуре объекта могут содержаться различные запаздывания в сигналах управления, измерения и состояния (рецикла), рис. 1.11.

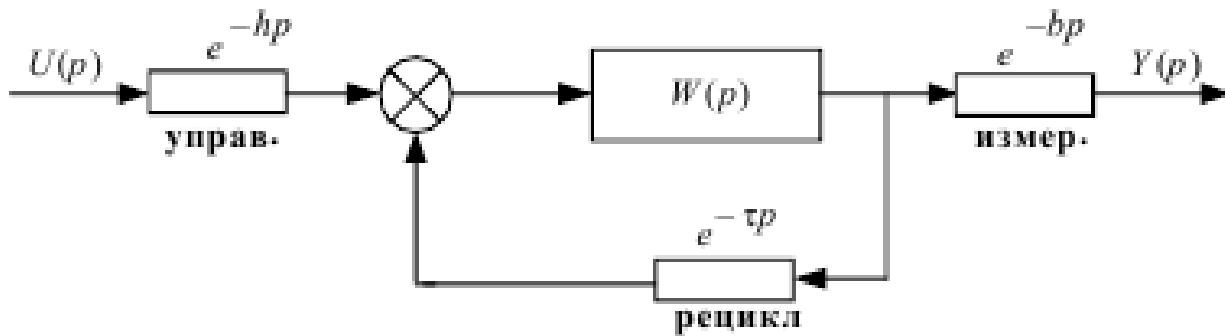


Рис. 1.11. Объект управления с запаздыванием

В промышленных объектах под рециклом понимается возврат части продукта с выхода объекта на его вход с целью повторной переработки.

Большинство промышленных объектов управления имеют запаздывания. Наличие запаздывания объясняется конечной скоростью распространения потоков информации в технологических объектах (транспортное запаздывание). Наряду с этим при понижении порядка модели объекта, вводят дополнительное динамическое запаздывание. Для этого выделяют одну наибольшую постоянную времени, а все остальные малые постоянные времени заменяют звеном динамического запаздывания.

Классификация параметров технологических процессов

Управление осуществляется на основании получаемой информации. Состояние технологических объектов находит отражение в особом виде информации – параметрах.

Параметр в технике – величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, явления, системы, технического устройства. Параметры можно классифицировать по многим признакам (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Классификационные признаки параметров технологических процессов

По характеру физических величин параметры можно, в свою очередь, классифицировать по ряду признаков, как показано на рис. 1.13.



Рис. 1.13. Классификация параметров по характеру физических величин

По характеру измерений параметры можно также подразделить в соответствии с классификацией измерительных сигналов, приведенной на рис. 1.14. Под сигналом в общем случае понимают материальный носитель информации. Измерительный сигнал несет информацию в виде отражения физического процесса либо представляет собой кодовый или дискретный сигнал.



Рис. 1.14. Классификация параметров по характеру измерений



Рис. 1.15. Классификация параметров по видам измерительных сигналов

По характеру дискретизации параметры подразделяются на непрерывные и прерывистые, или дискретизированные во времени или в пространстве. Непрерывные параметры (аналоговые) характеризуют физический процесс, непрерывный во времени или пространстве. Дискретизированные параметры определяют физический процесс только в определенные моменты времени или в определенных точках пространства (например, импульсы электрического тока, совокупность электрических зарядов, расположенных в отдельных точках поверхности диэлектрика).

По отношению к технологическому процессу параметры подразделяются на входные, промежуточные и выходные. Входные параметры характеризуют качество и количество исходных продуктов, данные лабораторных испытаний, показания аналитических приборов и т. п. Промежуточные параметры отражают ход технологического процесса в промежуточных звеньях технологической цепочки. Выходные параметры характеризуют обобщенные технико-экономические показатели, которыми оценивают качество и экономическую эффективность работы объектов и процессов.

По информативному признаку параметры подразделяются на информативные и неинформативные. Информативные параметры – параметры процесса, являющиеся измеряемыми физическими величинами. Неинформативные параметры – параметры, не связанные функционально с измеряемой величиной. Неинформативные параметры могут оказывать воздействие на средство измерений, вызывая изменение его показаний.

По возможности контроля параметры можно классифицировать на контролируемые и неконтролируемые, причем первые определяются показаниями аналитических приборов, операциями учета и др. Неконтролируемые параметры характеризуются влияниями случайных процессов флуктуаций характеристик материала, изменениями окружающей среды, влияниями износа и старения оборудования, явлениями наводок и т. д.

По направлению управления параметры подразделяются на управляемые и управляющие. Управляемые параметры характеризуют состояние технологического процесса, который подвергается управлению. Управляющие параметры определяют воздействия, с помощью которых поддерживаются заданный технологический режим процесса, изменения состояний агрегатов и технических средств и т. п.

По степени локализации параметры классифицируются на сосредоточенные и распределенные. Сосредоточенные параметры характеризуют состояние локальных участков процесса, например нагрузку на балку на малом участке по сравнению с длиной балки. Распределенные параметры определяют физические величины, распределенные в пространстве, например распределенную емкость линии электропередач.

Классификация технических средств регулирования

По роду используемой энергии:

- а) гидравлические;
- б) пневматические;
- в) электрические;
- г) смешанные.

По закону регулирования:

- а) П-закон;
- б) И-закон;
- в) ПИ-закон;
- г) ПД-закон;
- д) ПИД-закон.

По характеру поддержания заданного значения:

- а) стабилизирующие;
- б) программные регуляторы;
- в) экстремальные – поддерживают значение регулируемой величины на наибольшем или наименьшем уровне;
- г) следящие системы – слежение за некоторым входным сигналом, изменяющимся во времени по заранее неизвестной зависимости;

Уровень АПП определяется необходимой долей участия оператора в управлении этим процессом. Различают автоматизацию производства трех уровней:

1. **Частичная автоматизация** – это автоматизация отдельных операций технологического процесса (применение станков с ЧПУ).
2. **Комплексная автоматизация** – это АПП изготовления деталей и сборки с использованием автоматических систем машин (автоматическая линия (АЛ), гибкие производственные системы (ГПС)).
3. **Полная автоматизация** – это высшая ступень автоматизации, где все функции изготовления, контроля и управления производством выполняются автоматически (автоматический цех, завод). При полной автоматизации присутствие человека не требуется (**безлюдный режим работы** – это такая степень автоматизации, при которой станок, производственный участок, цех или весь завод могут работать автоматически в течение хотя бы одной смены без участия человека).

Технико-экономические преимущества автоматически управляемых производственных систем по сравнению с ручным управлением следующие:

1. более высокое быстродействие, позволяющее повышать скорости протекания производственных процессов, а, следовательно, повышать производительность производственного оборудования.
2. более высокое и стабильное качество управления процессами, обеспечивающее высокое качество продукции при более экономном расходовании материалов и энергии.
3. возможность работы автоматов в тяжелых, вредных и опасных для человека условиях.
4. стабильность ритма работы, возможность длительной работы без перерыва вследствие отсутствия утомляемости, присущей человеку.
5. сокращение периодов времени от начала проектирования до начала выпуска продукции.
6. возможность расширения производства без увеличения трудовых ресурсов.

Повышение производительности труда при автоматическом производстве достигается следующим образом:

1. полным использованием календарного времени при круглосуточной автоматической работе оборудования
2. повышением скорости протекания процессов, которые не ограничиваются возможностями человека.
3. высвобождением обслуживающего персонала.

Автоматическое регулирование процесса предотвращает потери вследствие поломок инструмента и вынужденного простоя оборудования.

Автоматизация проектирования и изготовления продукции с использованием ЭВМ позволяет значительно сократить количество бумажных документов (чертежей, схем, графиков), необходимых в неавтоматизированном производстве.

Степень автоматизации производственных процессов.

Степень автоматизации – безразмерный показатель, позволяющий количественно оценить уровень автоматизации отдельной машины, систем машин или производственного процесса.

Степень АПП оценивается отношением времени автоматической работы к рассматриваемому периоду времени. Различают:

1. Цикловая степень автоматизации ($\hat{E}_{\sigma}$)

$K_u = \frac{t_a}{t_u}$ – это отношение времени автоматической работы устройства (t_a) в течение цикла к полному времени цикла (t_{σ}).

$$t_{\sigma} = T_0 + T_{\text{ант.}} \text{ и т.д.}$$

2. Рабочая степень автоматизации ($\hat{E}_D$)

$\hat{E}_D = \frac{t_a}{t_{\text{шт.}} \cdot (t_{\sigma})}$ – это отношение доли штучного времени автоматической работы ко всему штучному времени.

$$t_{\sigma} = T_0 + T_{\text{ант.}} + T_{\text{ид.}} + T_{\text{машино-соед.}}$$

3. Эксплуатационная степень автоматизации ($\hat{E}_{\Sigma}$)

$\hat{E}_{\Sigma} = \frac{t_a}{t_{\Sigma}}$ – это отношение Σ времени автоматической работы в течение расчетного периода времени (смены, месяца, квартала, года) к расчетному периоду времени эксплуатации.

Области применения технологического оборудования с различными уровнями автоматизации для основного производства:

1. Единичное, мелкое и среднесерийное производство – механизированное и автоматизированное универсальное оборудование с ручным управлением, оборудование с ЧПУ, гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие производственные участки (ГПУ).
2. Крупносерийное и массовое производство – специальные и агрегатные станки автоматические линии (АЛ), автоматы и полуавтоматы, гибкие автоматические линии (ГАЛ).
3. Сверхмассовое производство – автоматические роторные линии и автоматические роторно-конвейерные линии (АРКЛ).

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) – совокупность устройств получения, передачи, хранения, обработки и представления информации о состоянии и ходе различных процессов и выработки управляющих воздействий на них. ГСП состоит из унифицированных элементов, модулей и блоков, допускающих информационное, энергетическое и конструктивное сопряжение в агрегатных комплексах и

автоматизированных системах управления. В ГСП входят электрические, пневматические и гидравлические приборы.

ГСП составляет техническую основу для реализации информационно-управляющих систем в промышленной и непромышленной сферах народного хозяйства страны. ГСП охватывает измерительную, управляющую и регулирующую технику.

На сегодняшнем этапе основой ГСП являются агрегатные системы. Каждая система регулирования строится за счет комбинирования, изменения порядка подключения различных блоков и модулей, обменивающихся унифицированными сигналами.

Блок – конструктивное сборное устройство, выполняющее одну или несколько функций, смонтированное в одном корпусе.

Модуль – более простая структурная единица, унифицированный узел, выполняющий одну элементарную операцию и входящий в состав блока или прибора.

Исполнительные механизмы – устройства для преобразования управляющей информации в механическое перемещение регулирующего органа и развивающее мощность, достаточную для потребителя.

Реализация типовых функций АСУ ТП осуществляется в ГСП аппаратными средствами, иерархическая структура которых изображена на рис. 1.16. Средства первого уровня включают в себя датчики и исполнительные устройства. Средства второго и третьего уровней выполняют функции программного управления, стабилизации режимов работы объекта управления и вывода на режим, включая ручное управление и программно-логическое. Задачи исследования объекта управления и оптимизации процесса управления решаются средствами четвертого уровня. С помощью этих же средств выполняются и функции представления информации, и сервисные функции.

Одна из задач ГСП – создание ограниченной номенклатуры унифицированных устройств, способных максимально удовлетворить потребности экономики, а одним из важнейших принципов, лежащих в основе построения ГСП, является требование конструктивного сопряжения устройств в системах контроля, регулирования и управления технологическими процессами.



Рис. 1.16. Иерархическая структура технических средств ГСП

Унифицированный сигнал ГСП – это сигнал дистанционной передачи информации с унифицированными параметрами, обеспечивающий информационное сопряжение (интерфейс) между блоками, приборами и установками ГСП. В зависимости от вида унифицированных параметров в ГСП применяют унифицированные сигналы четырех групп:

- 1) тока и напряжения электрические непрерывные;
- 2) частотные электрические непрерывные;
- 3) электрические кодированные;
- 4) пневматические.

Электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 9895–78 следующие:

токовые сигналы постоянного тока: 0...5 мА (наиболее распространены); –5 ... +5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА;

сигналы по постоянному напряжению 0...10 мВ; –10 ... +10 В;
0...24 В; 0...48 В; 0...110 В; 0...220 В;

сигналы по переменному напряжению 0...1 В; 0...2 В; 0...36 В;
0...127 В; 0...220 В.

Частотные электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 10938–75:

0...8 Гц; 2...4 Гц; 4...8 Гц; 0...100 Гц.

Пневматические сигналы: 0,1...1,0 атм; 0,01...0,1 МПа.

Характеристика поточного и непоточного производства

На выбор методов организации поточного или непоточного производства влияют следующие факторы:

- 1) размеры и масса изделий - чем крупнее изделие, тем сложнее организовать поточное производство;

2) количество изделий, подлежащих выпуску за определенный период времени (год, квартал, месяц, сутки) – при выпуске небольшого количества изделий нецелесообразно организовывать поточное производство из-за больших капитальных затрат;

3) периодичность выпуска изделий – изделия могут выпускать регулярно и нерегулярно. При регулярном выпуске (например, по 20 изделий ежемесячно) целесообразно организовывать поточное производство. Если регулярность неопределенная, т. е. через различные промежутки времени и в различных количествах, то используют непоточное производство.

4) точность и шероховатость поверхностей деталей - при высокой точности и малой шероховатости следует применять непоточное производство.

Поточное производство основано на ритмичной повторяемости согласованных во времени основных и вспомогательных операций, которые выполняются на специализированных рабочих местах, расположенных в последовательности технологического процесса, что позволяет реализовать принципы прямоточности, специализации, непрерывности, параллельности, пропорциональности и ритмичности.

Поточное производство обеспечивает непрерывность движения заготовки, детали, сборочной единицы или машины и их выход со станка, механического или сборочного участка, цеха с требуемым тактом.

Расчетный такт работы станка, участка или цеха:

$$\tau_p = \frac{\Phi_H}{N} K_T \quad ; \text{ шт/см}$$

Φ_H – номинальный фонд времени (год, квартал, месяц, смена, час).

N – программа выпуска изделий в планируемый период времени.

K_T – коэффициент технического использования оборудования.

В поточном производстве изготовление изделий ведется на поточных линиях, в которые включены все виды оборудования, необходимые для изготовления изделий. Оборудование расставлено строго по ходу технологического процесса и связано с транспортными устройствами, которые передают изделия с одной операции на другую.

В поточном производстве отсутствуют промежуточные склады, поэтому готовые детали сразу же передаются на сборку. На случай непредвиденных потерь времени и колебаний затрат времени на выполнение операции, на отдельных рабочих местах, на транспортных устройствах создаются резервные (страховые) запасы изделий.

Технологический процесс для поточного производства разрабатывают таким образом, чтобы продолжительность операции была по возможности равна или кратна такту выпуска. Это позволяет наиболее полно использовать оборудование поточной линии и обеспечить ритмичность производственного процесса.

Непоточное производство не обеспечивает непрерывности движения изготавливаемых изделий и равномерного их выпуска в единицу времени. Данный тип производства характеризуется следующими факторами:

1. многообразие разработки объектов новой продукции.
2. частая сменяемость выпускаемых изделий.
3. многономенклатурность производства изделий.
4. снижение объема выпуска отдельных изделий при увеличении объема выпуска других

Преимущества поточного производства в сравнении с непоточным:

- 1) более высокая производительность производственного процесса;
- 2) более короткий цикл изготовления изделий;
- 3) более высокие технико-экономические показатели (например: выпуск продукции на единицу площади, единицу оборудования, на одного работающего и т. п.);
- 4) высокий уровень и постоянство качества продукции;
- 5) значительное упрощение планирования, управления и учета;
- 6) значительное снижение себестоимости.

Недостатки поточного производства: сложность перехода поточного производства на выпуск новых изделий, т. к. это требует больших капитальных затрат на проектирование и

изготовление нового технологического оборудования, оснастки, режущего инструмента и т. д. Все это снижает гибкость производства.

Поточное производство характерно для крупносерийного и массового производства.

Построение автоматизированного производственного процесса, изготовление деталей в непоточном производстве

Развитие радиоэлектроники, программирования, серийного производства многоцелевых станков с ЧПУ, использование групповой технологии обуславливают переход к гибкому автоматизированному производству и к внедрению ГПС. Создание ГПС направлено на обеспечение выпуска серийных и мелко серийных изделий дискретными партиями, номенклатура и размеры которых могут меняться во времени. ГПС обладают широкой гибкостью и обеспечивают высокую производительность, которая приближается к производительности АЛ, скомпонованных из специализированных станков.

ГПС – это автоматизированное производство, построенное на современных технических средствах (станки с ЧПУ, РТК, ГПМ транспортно – накопительные и складские системы и т.д.) для выпуска широкой номенклатуры продукции и способное безинерционно переходить на выпуск новой номенклатуры изделий любого наименования.

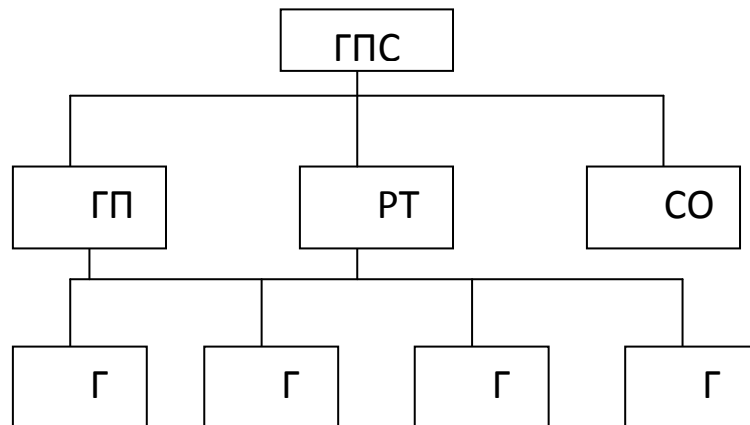


Рис. 1.17. Структура ГПС

Функционально элементы ГПС можно разделить на 2 группы

1. производственно- технологические функциональные элементы ГАП, составляющие производственно технологическую часть ГПС;
2. электронно- вычислительные функциональные элементы ГАП, составляющие информационно- вычислительную и управляющую часть ГПС.

ГПМ- это единица технологического оборудования с ЧПУ для производства изделий произвольной номенклатуры, автономно функционирующая и автоматически осуществляющая все функции, связанные с изготовлением продукции и имеющая возможность встраиваться в более сложную ГПС.

В ГПМ входят:

1. специальное технологическое оборудование с ЧПУ (1-3 станка)
2. контрольно – измерительная аппаратура и установки
3. промышленные роботы и манипуляторы
4. средства автоматизации техпроцесса.
5. средства идентификации деталей, заготовок, оснастки и инструментов

Основные требования к ГПМ, работающим в режиме безлюдной технологии:

1. управление от ЭВМ
2. наличие магазина инструментов
3. наличие конвейера для сбора стружки
4. автоматический зажим и разжим заготовки в патроне станка

Дополнительные требования:

1. возможность автоматической переналадки патрона по программе
2. возможность регулировки силы зажима заготовки в зависимости от ее жесткости.

РТК- это совокупность единиц технологического оборудования (от 3-х до 10-ти станков с ЧПУ), промышленных роботов и средств их оснащения (устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи деталей и т.д.), автономно функционирующих и осуществляющих многократные циклы с автоматической переналадкой и возможностью встраиваться в ГПС.

ГПК- это ГПС, состоящая из нескольких ГПМ или РТК и объединенная автоматической системой управления (АСУ), автоматизированной транспортно- складкой системой (АТСС), автономно функционирующая в течении заданного времени и способная встраиваться в систему с более высоким уровнем автоматизации.

ГАЛ- это ГПС, состоящая из нескольких ГПМ или РТК, объединенных АСУ, в которой технологическое оборудование располагается в принятой последовательности технологических операций вдоль АТНС (автоматизированной транспортно- накопительной системы)

ГАУ- это ГПС, состоящая из нескольких ГПМ, РТК, ГАЛ и отдельных единиц специального технологического оборудования, АТНС, объединенных АСУ в гибкий участок, в котором предусмотрено изменение последовательности использования оборудования в пределах заданного технологического маршрута.

ГАЦ- это ГПС, объединяющая ГАУ (или ГАЛ), вспомогательные участки и отдельные ГПМ, РТК, АТСС и управляемая автоматизированной системой.

ГАЗ- это ГПС, состоящая из ГАЦ заготовительного производства, ГАЦ обрабатывающих и сборочных стадий, автоматизированных складов материалов, заготовок, комплектующих изделий, готовых деталей и изделий, автоматизированной транспортной системы, объединенных АСУ.

Система обеспечения функционирования

СОФ ГПС в автоматическом или автоматизированном режимах включает:

1. АТранспортноСкладскаяСистема - система взаимосвязанных автоматизированных транспортных и складских устройств для временного накопления, распределения и доставки предметов производства и технологической оснастки к ГПМ, РТК или другому оборудованию в ГПС;
2. АСИО – автоматическая система инструментального обеспечения, предназначена для подготовки, хранения, и автоматизированной замены инструмента;
3. АССИ – автоматическая система слежения за износом и поломкой инструмента;
4. АСОН – автоматизированная система обеспечения надежности работы оборудования, осуществляет контроль за состоянием оборудования;
5. АСУ КП – автоматизированная система управления качеством продукции;
6. АСУ ОП – автоматизированная система удаления отходов производства.

Классификация ГПС (для механообработки)

По **организационному признаку** подразделяются на:

1. ГАЛ состоит из:
 1. автоматическое оборудование, специальные и агрегатные станки
 2. РТК
 3. технологическое оборудование
 4. промышленный робот технологический
 5. промышленный робот вспомогательный
 6. средства оснащения (устройства ориентации, накопления и т. п.)
 7. ГПМ
 8. СОФ
2. ГАУ состоит из:
 - оборудование с ЧПУ
 - п. п. № 2-8 из состава ГАЛ
 - отдельное технологическое оборудование

3. ГАЦ состоит из:

1. ГАЛ
2. ГАУ
3. СОФ
4. роботизированная технологическая линия (РТЛ)
5. РТУчасток
6. РТЛиния
7. отдельное технологическое оборудование
8. АСУП.

По **назначению** ГПС бывают:

1. предметные – это системы машин на которых полностью изготавливается определенная группа изделий (корпуса, валы, втулки и т.п.);
2. узловые – это системы машин, продуктом производства которых являются комплекты деталей и узлы определенных типоразмеров.
3. операционные – это системы машин для выполнения однородных технологических операций, которые являются частью комплексного техпроцесса изготовления определенной группы изделий .

По **уровню автоматизации**, т.е. способности выполнять определенные функции в автоматическом режиме. Уровень автоматизации определяется показателем, равным отношению времени автоматической работы оборудования к общему фонду времени его использования.

Структурная схема РТК

Различают:

- 1) роботизированные технологические комплексы – это системы и комплексы, автоматизированные с помощью ПР
- 2) робототехнические технологические комплексы – это РТК, в которых ПР выполняют основные технологические функции.

Структура РТК и степень участия человека в производственном процессе зависит от уровня автоматизации и характеров связей с внешними и смежными производственными подразделениями.

Состав РТК определяется характером выполняемого технологического процесса и формируется на основе следующих данных:

- номенклатура изготавливаемых изделий
- заданная годовая программа выпуска
- состав технологического оборудования
- организация потока материалов (транспортирование, промежуточное хранение деталей и заготовок)
- **число подразделений обслуживания оборудования**

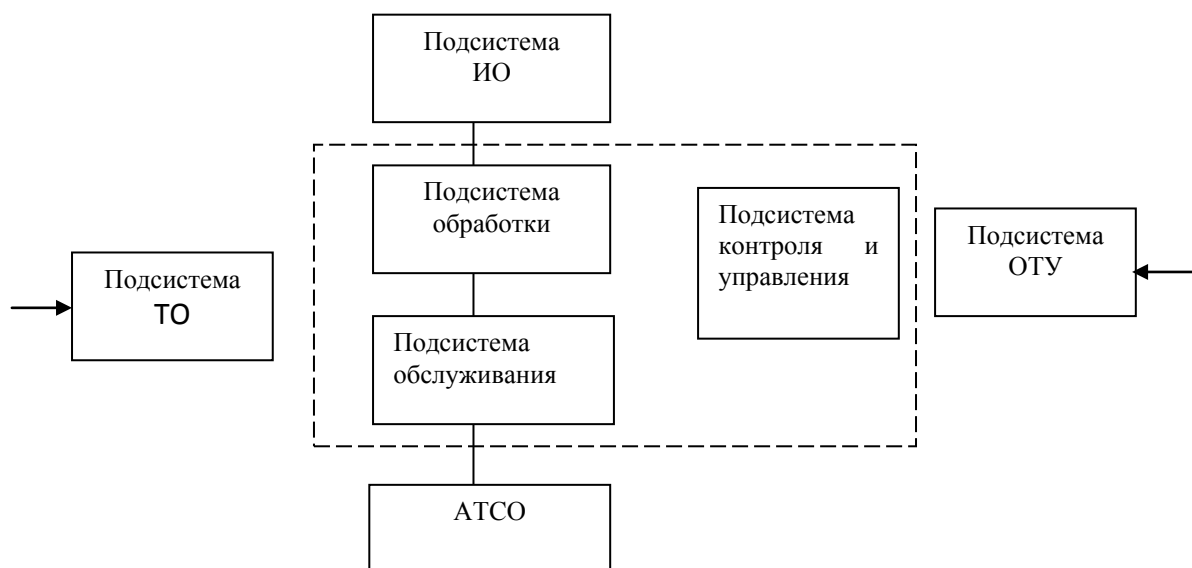


Рис.1.18. Структурная схема РТК

Подсистема обработки – формируется на основе технологического оборудования, модернизированного для взаимодействия с ПР.

Подсистема обслуживания – формируется на основе устройств для размещения заготовок на входе в РТК, межоперационных транспортирующих устройств и накопителей, устройств приема деталей, а также ПР.

Подсистема контроля и управления – состоит из комплекса программ, средств контроля измерений, регулирования вычислений, логического управления, регистрации и аварийной защиты. Подсистема оснащена датчиками, которые осуществляют вышеперечисленные функции.

Сложные РТК помимо названных подсистем могут иметь дополнительные подсистемы:

- 1) Подсистема инструментального обеспечения;
- 2) Подсистема технического обслуживания;
- 3) Подсистема организационно – технического управления;
- 4) Автоматизированное транспортно – складское обеспечение.

Особенности проектирования техпроцессов обработки на РТК

При разработке тех. процесса в условиях РТК необходимо обеспечить:

- 1) Максимально возможную концентрацию операций на станках с ЧПУ, которая позволяет сократить число переустановок заготовок при обработке, повысить точность обработки и сократить время производственного цикла.
- 2) Использование технологической оснастки, позволяющей при быстрой переналадке осуществить точное базирование и надежное закрепление заготовок широкого диапазона размеров.
- 3) Тщательная подготовка технологических баз, которая может выполняться как на РТК, так и вне него.
- 4) На РТК следует выполнять операции в течение времени не превышающего нормативного периода стойкости режущего инструмента.
- 5) Рекомендуются специализация РТК по двум группам операций:
 - РТК для черновых и чистовых операций;
 - РТК для финишных операций.
- 6) Технологическое оборудование РТК следует выбирать таким образом, чтобы положение заготовки при ее транспортировании и обработке было постоянным.
- 7) В условиях среднесерийного производства использование РТК целесообразно только на базе группового метода обработки.

Организационно – технические особенности автоматизации.

Анализируя тенденцию и историю развития автоматизации произв. процессов, можно отметить четыре основных этапа, на которых решались различные по своей сложности задачи.

Это: 1. Автоматизация рабочего цикла создания машин автоматов и полуавтоматов.

2. Автоматизация систем машин, создание АЛ, комплексов и модулей.

3. Комплексы автоматизации производ. процессов с созданием автоматических цехов и заводов.

4. Создание гибкого автоматизированного производства с автоматизацией серийного и мелкосерийного производства, инженерного и управленческого труда.

1 На первом этапе – модернизировалось универсальное оборудование.

Как известно время обработки одного изделия опре-ся по формуле:

$$T = tP + tX$$

Таким образом, для повышения производительности работы оборудования сокращалось время t_P и t_X и совмещалось t_P и t_X значит, если машина кроме рабочих ходов (t_P) могут самостоятельно выполнять холостые хода (t_X), то она представляет собой автомат.

Необходимо учитывать, что под холостыми ходами следует понимать не только перемещение отдельных узлов станка без обработки, но и загрузку, ориентацию детали, их фиксацию. Однако, как показала практика, автоматизация универсальных станков, с точки зрения производительности имеет свои пределы, т.е. рост производительности труда составил не выше 60%. Поэтому в дальнейшем стали создавать специальные станки автоматы с применением новых принципов:

- многоинструментальные и многопозиционные автоматы применялись в поточных линиях, что явилось высшей формой первого этапа автоматизации (структурная схема см. рис.1.19).

Структурная схема автомата №1

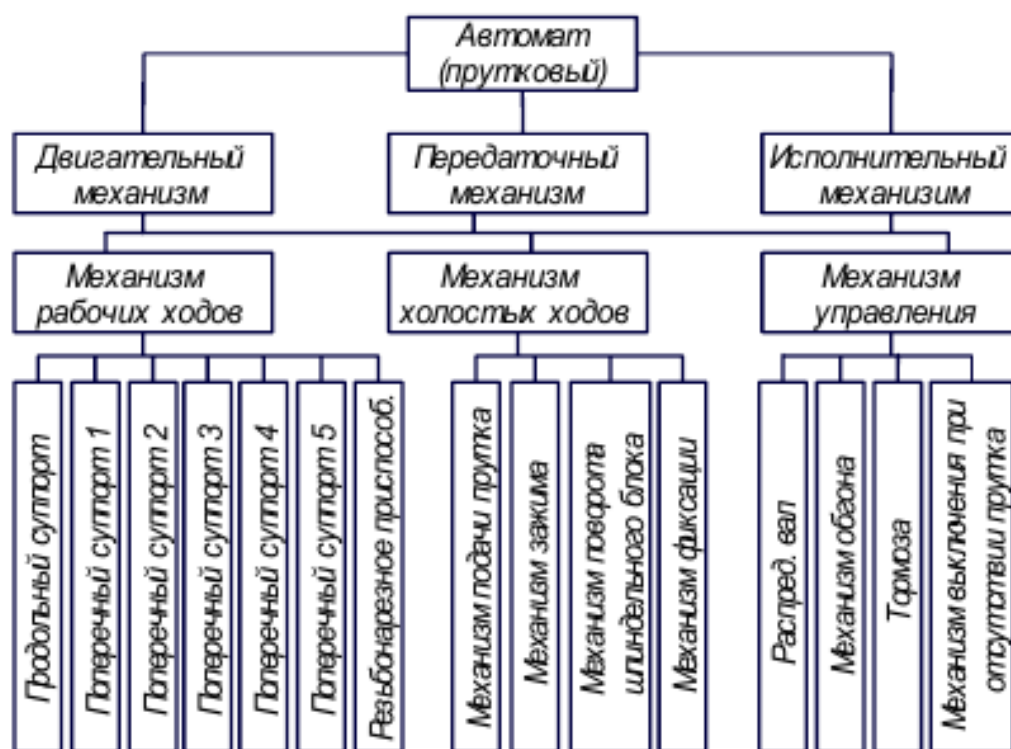


Рис.1.19

Схемы автоматизации ТП, принципы их выполнения

Схемы автоматизации является основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также энергия, сырьё и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии.

Задачи автоматизации решаются наиболее эффективно тогда, когда они прорабатываются в процессе разработки технологического процесса.

В этот период нередко выявляется необходимость изменения технологических схем с целью приспособления их к требованиям автоматизации, установленным на основании технико-экономического анализа. При разработке схем автоматизации технологических процессов необходимо решить следующее:

- получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им;
- стабилизация технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

Указанные задачи решаются на основании анализа условий работы технологического оборудования, выявленных законов и критериев управления объектом, а также требований, предъявляемых к точности стабилизации, контроля и регистрации технологических параметров, к качеству регулирования и надежности.

Результатом составления схем автоматизации является:

- выбор методов измерения технологических параметров;
- выбор основных технических средств автоматизации, наиболее полно отражающих предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизированного объекта;
- определения приводов исполнительных механизмов регулирующих и запорных органов технологического оборудования, управляемого автоматически или дистанционно;
- размещение средств автоматизации на щитах, пультах, технологическом оборудовании и трубопроводах и т.п. и определение способов представления информации о состоянии технологического процесса и оборудования.

Схемы автоматизации разрабатывают в целом на техническую (инженерную) систему или ее часть – технологическую линию, блок оборудования, установку или агрегат. Технологическое оборудование и коммуникации при разработке схем автоматизации должны изображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. Однако изображенная таким образом технологическая схема должна давать ясное представление о принципе ее работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

Технологическое оборудование на схемах автоматизации рекомендуется изображать в соответствии со схемой соединений, принятой в основном комплекте марки ТХ или схемами инженерных систем. При этом допускается упрощать изображение технологического оборудования, не показывая на схеме оборудование, коммуникации и их элементы, которые не оснащаются техническими средствами автоматизации и не влияют на работу систем автоматизации.

Технологические коммуникации и трубопроводы жидкости и газа изображают условными обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.784-70, приведенным в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Условные цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов по ГОСТ 2.784-70

Наименования среды, транспортируемой	Обозначение
Вода	-1-1-
Пар	-2-2-
Воздух	-3-3-
Азот	-4-4-
Кислород	-5-5-
Инертные газы:	
аргон	-6-6-
неон	-7-7-
гелий	-8-8-
криптон	-9-9-
ксенон	-10-10-
Аммиак	-11-11-
Кислота (окислитель)	-12-12-
Щелочь	-13-13-
Масло	-14-14-

Жидкое горючее	-15-15-
Горючие и взрывоопасные газы:	
водород	-16-16-
ацетилен	-17-17-
фреон	-18-18-
метан	-19-19-
этан	-20-20-
этилен	-21-21-
пропан	-22-22-
пропилен	-23-23-
бутан	-24-24-
бутилен	-25-25-
Противопожарный трубопровод	-26-26-
Вакуум	-27-27-

Изображение средств измерения и автоматизации

Приборы, средство автоматизации, электрические устройства и элементы вычислительной техники на схемах автоматизации показывается в соответствии с ГОСТ 21.404-85 и отраслевыми нормами и документами.

При отсутствии в стандартах необходимых изображений разрешается принимать нестандартные изображения, которые следует выполнять на основании характерных признаков изображаемых устройств.

ГОСТ 21.404-85 предусматривает систему построения графических и условных буквенных обозначений по функциональным признакам, выполняемым приборами (табл. 1.3).

В стандарте установлены два способа построения условных обозначений:

- 1) упрощенный, при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места расположения);
- 2) развернутый, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления.

Для упрощенного способа построения достаточно основных условных обозначений, приведенных в табл. 1.3, и буквенных обозначений, приведенных в табл. 1.4.

Развернутый способ построения условных графических обозначений может быть выполнен путем комбинированного применения основных (табл.1.3 и 1.4) и дополнительных обозначений, приведенных в табл.1.3 и 1.4.

Таблица 1.3. Основные условные обозначения приборов и средств автоматизации по ГОСТ 21.404-85

Наименование	Обозначение
Прибор, установленный вне щита (по месту):	
а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	
Прибор, установленный на щите, пульте:	
а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	
Исполнительный механизм.	
Общее назначение.	
Исполнительный механизм, который при	

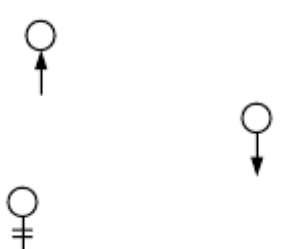
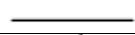
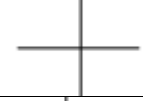
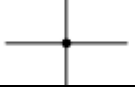
прекращении подачи энергии или управляющего сигнала: а) открывает регулирующий орган б) закрывает регулирующий орган в) оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом (обозначение может применяться в сочетании с любым из дополнительных знаков, характеризующих положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала)	
Регулирующий орган	
Линия связи. Общее обозначение	
Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
Пересечение линии связи с соединением между собой	

Таблица 1.4. Буквенные условные обозначения по ГОСТ 21.404-85

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное назначение первой буквы	Дополнительное назначение, уточняющее назначение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное назначение

A	-	-	-	Сигна Лизация	-
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	Регулиро- вание, управле- ние	-
D	Плотность	Разность, пе- репад	-	-	-
E	Любая электри- ческая величина	-	-	-	-
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
G	Размер, положе- ние, перемеще- ние	-	-	-	-
H	Ручное воздей- ствие	—	—	—	Верхний предел измеря- емой ве- личины
I	—	—	Показа- ние	—	—
J	—	Автоматиче- ское переключе- ние, обема- ние	—	—	—
K	Время, времен- ная программа	—	—	—	—
L	Уровень	—	—	—	Нижний предел измеряе- мой ве- личины
M	Влажность	—	—	—	—
N	Резервная буква	—	—	—	—
O	Резервная буква	—	—	—	—

P	Давление, вакуум	—	—	—	—
Q	Величина характеризую- щая качество, состав, концентрацию и т. п.	Интегрирование, суммирование по времени	—	—	—
R	Радиоактив- ность	—	Регистрация	—	—
S	Скорость, Частота	—	—	Включение, отключение, переключе- ние, сигнализация	—
T	Температура	—	—	—	—
U	Несколько разнородных измеряемых величин	—	—	—	—
V	Вязкость	—	—	—	—
W	Масса	—	—	—	—
X	Не рекомендуемая, резервная буква	—	—	—	—

Сложные приборы, выполняющие несколько функций, допускается изображать несколькими окружностями, примыкающими друг к другу.

Методика построения графических условных обозначений для упрощенного и развернутого способов является общей. В верхней части окружности наносится буквенное обозначения измеряемой величины и функционального признака прибора. В нижней части окружности наносят позиционное обозначение (цифровое или буквенно-цифровое), служащее для нумерации комплекта измерения или регулирования (при упрощенном способе построения условных обозначений) или отдельных элементов комплекта (при развернутом способе построения условных обозначений).

Порядок расположения буквенных обозначений в верхней части (слева направо) должен быть следующим: обозначение основной измеряемой величины; обозначение, уточняющее (если необходимо) основную измеряемую величину; обозначение функционального признака прибора.

Функциональные признаки (если их несколько в одном приборе) также располагаются в определенном порядке. При построении условных обозначений приборов следует указывать не все функциональные признаки прибора, а лишь те, которые используются в данной схеме. Так, при обозначении показывающих и самопишущих приборов (если функция “показание” не используется) следует писать TR вместо TIR, PR вместо PIR и т.п.

В обоснованных случаях (например, при позиционных обозначениях, состоящих из большого числа знаков) для обозначения первичных преобразователей и приборов допускается вместо окружности применять обозначения в виде эллипса.

Щиты, стивы, пульта управления на схемах автоматизации изображаются условно в виде прямоугольников произвольного размера, достаточно для нанесения условных графических обозначений устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализации по ГОСТ 21.404-85.

Дополнительные буквенные обозначения, отражающие функциональные признаки приборов и преобразователей сигналов и вычислительных устройств представлены в ГОСТ 21.404-85.

Комплектные устройства (машины централизованного контроля, управляющие машины и др.) обозначаются на схемах автоматизации также в виде прямоугольников.

Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации, установленными на щитах и пультах, на схемах показывают тонкими сплошными линиями. Каждая связь обозначается одной линией независимо от фактического числа проводов или труб, осуществляющих эту связь. К условным обозначениям приборов и средств автоматизации для входных и выходных сигналов линии связи допускается подводить с любой стороны, в том числе сбоку и под углом. Линии связи должны наноситься на чертежи по кратчайшему расстоянию и проводиться с минимальным числом пересечений.

Допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не допускается.

На схемах автоматизации приборам и средствам автоматизации присваиваются позиционные обозначения (позиции). Буквенные обозначения присваиваются каждому элементу функциональной группы в порядке алфавита в зависимости от последовательности прохождения сигнала – от устройств получения информации к устройствам воздействия на управляемый процесс (например, приемное устройство – датчик, вторичный преобразователь – задатчик – регулятор – указатель положения – исполнительный механизм, регулирующий орган).

Позиционные обозначения должны присваиваться всем элементам функциональных групп, за исключением: отборных устройств; приборов и средств автоматизации, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием; регулирующих органов и исполнительных механизмов, входящих в данную систему автоматического управления, но заказываемых и устанавливаемых в технологических частях проекта.

При определении границ каждой функциональной группы следует учитывать следующее обстоятельство: если какой-либо прибор или регулятор связан с несколькими датчиками или получает дополнительные воздействия под другим параметром (например, корректирующий сигнал), то все элементы схемы, осуществляющие дополнительные функции, относятся к той функциональной группе, на которую они оказывают воздействие.

Позиционные обозначения в схемах автоматизации проставляют рядом с условными графическими обозначениями приборов средств автоматизации (по возможности с правой стороны или над ними).

Схему автоматизации обычно выполняют на одном листе, на котором изображают средства автоматизации и аппаратуру всех систем контроля, регулирования, управления и сигнализации, относящуюся к данной технологической установке. Вспомогательные устройства, такие как редукторы и фильтры для воздуха, источники питания, реле, автоматы, выключатели и

предохранители в цепях питания, соединительные коробки и другие устройства, и монтажные элементы, на схемах автоматизации не показывают.

Для технологических процессов с большим объемом автоматизации схемы автоматизации могут быть выполнены раздельно по видам технологического контроля и управления (схемы автоматического управления, контроля и сигнализации).

Как уже указывалось, приборы, и средства автоматизации при выполнении схем автоматизации могут быть изображены, развернуто и упрощенно. При развернутом изображении приборы, встраиваемые в технологические коммуникации, показывают в разрыве линии изображения коммуникации, устанавливаемые на технологическом оборудовании (с помощью закладных устройств) показывают рядом. Остальные технические средства автоматизации показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, расположенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваиваются заголовки, соответствующие показанным в них техническим средствам. Первым располагают прямоугольник, в котором показаны внешние приборы, конструктивно не связанные с технологическим оборудованием, с заголовком “Приборы местные”, ниже – прямоугольники, в которых показаны щиты и пульты, а также комплексы технических средств (при необходимости). Заголовки прямоугольников, предназначенных для изображения щитов и пультов, принимают в соответствии с наименованиями, принятыми в эскизных, чертежах общих видов, для комплексов технических средств – в соответствии с их записью в спецификации оборудования.



Рисунок 1.20 - Условное изображение прибора, встраиваемого в технологические коммуникации

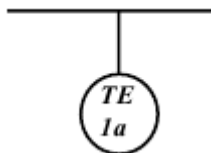


Рисунок 1.21 – Условное изображение прибора, устанавливаемого на технологическом оборудовании (с помощью закладных устройств)

Примеры выполнения схем автоматизации развернутым способом с использованием локальной автоматики и микропроцессорной техники приведены в приложениях F и G.

При упрощенном изображении контуры контроля и управления, а также одиночные приборы наносят рядом с изображением технологического оборудования и коммуникаций (или в их резерве) по рисункам 1.20 и 1.21. В нижней части схемы рекомендуется приводить таблицу контуров. В таблице контуров указывают номера контуров и номер листа основного комплекта, на котором приведен состав каждого контура.

Для облегчения понимания сущности автоматизируемого объекта, возможности выбора диапазонов измерения и шкал приборов, уставок регуляторов на схемах автоматизации указывают предельные рабочие (максимальные или минимальные) значения измеряемых или регулируемых технологических параметров при установившихся режимах работы.

При развернутом способе выполнения схем эти значения в единицах шкалы выбираемого прибора или по ГОСТ 8.417 указываются на линиях связи от отборных устройств датчиков до приборов. Для обозначения разряжения (вакуума) ставят “минус”. Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование и не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения величин указывают рядом с обозначением приборов.

При упрощенном способе выполнения схем автоматизации предельные рабочие значения измеряемых (регулируемых) величин указывают рядом с графическими обозначениями контуров или в дополнительной графе таблицы контуров.

Рассмотрим пример - схему многоконтурного регулирования процесса сушки в барабанной сушилке (см. рис.1.22).

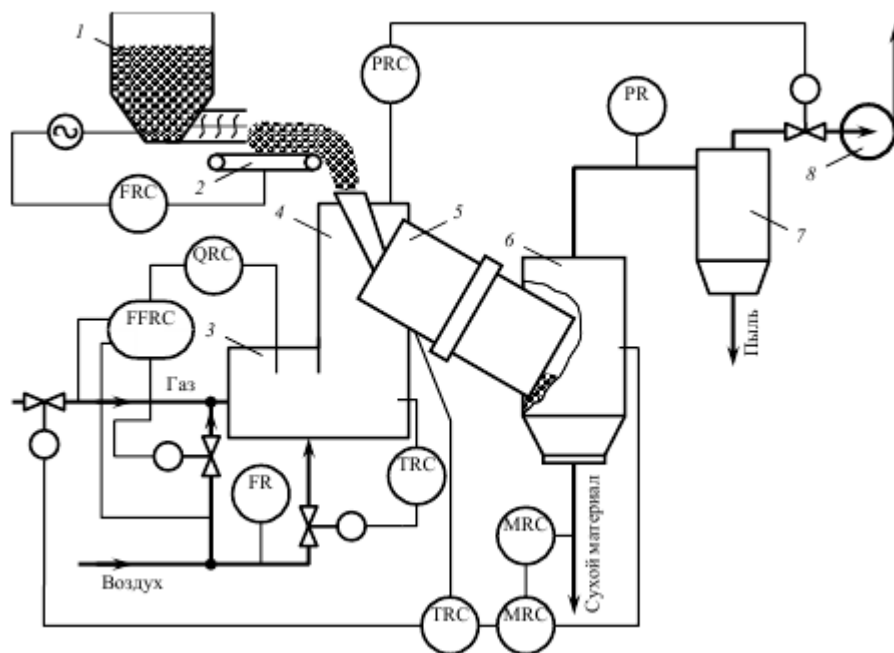


Рис. 1.22. Схема многоконтурного регулирования процесса сушки в барабанной сушилке.
1 – бункер влажного материала; 2 – дозатор; 3 – печь; 4 – смесительная камера; 5 – сушильная камера; 6 – бункер сухого материала; 7 – циклон; 8 – вентилятор.

Схема обеспечивает высушивание влажного твердого материала до заданной остаточной влажности. В рассматриваемом случае подачей топливного газа на установку управляет каскадная система регулирования температуры воздуха в барабане (стабилизирующий регулятор) с коррекцией по влажности воздуха на выходе из сушилки (корректирующий регулятор).

При наличии надежного измерительного преобразователя остаточной влажности высушиваемого материала возможно введение в данную систему еще одного контура с регулятором влажности твердого материала, выходной клапан которого в качестве задания направляют на регулятор влажности сушильного агента. При отсутствии такого измерительного преобразователя и в случае необходимости периодически корректируют задание регулятора влажности сушильного агента по данным лабораторного анализа.

Для повышения чувствительности АСР температуры воздуха измерительный преобразователь (термопару) устанавливают в пределах первой трети барабана, т. к. вначале аппарата температура теплоносителя изменяется более интенсивно, чем в его конце. При этом уменьшается также запаздывание объекта. Термопару монтируют непосредственно на поверхности барабана, а ее свободные концы подсоединяют к передающему преобразователю через специальное токосъемное устройство с подвижными контактами. При необходимости компенсации изменения нагрузки установки по расходу влажного материала можно предусмотреть дополнительный контур регулирования по возмущению этой величины.

Полнота сгорания топливного газа обеспечивается АСР соотношения расходов топливного газа и первичного воздуха, управляющей подачей первичного воздуха в топку. При изменении теплотворной способности топлива целесообразно корректировать это соотношение по

содержанию кислорода в топочных газах.

Классификация технологических процессов

Технологические процессы по характеру ориентации изделий и по необходимости обеспечения строгой кинематической связи движений заготовки и рабочего инструмента можно разбить на два основных класса.

К **первому классу** относятся процессы, при осуществлении которых требуется обязательная ориентация изделий относительно рабочего инструмента, а характер относительного движения заготовки и инструмента подчиняется строгой кинематической зависимости. К этому классу относится большая часть процессов механической обработки и сборки. Автоматизация этих процессов наиболее сложна.

Ко **второму классу** относятся процессы, при выполнении которых не требуется ориентация заготовок, а рабочий инструмент представляет собой активную обрабатывающую среду. К числу таких процессов можно отнести термическую обработку, сушку, мойку и окраску деталей простейших форм методом погружения, очистку заготовок в галтовочных барабанах, травление в кислотных ваннах. При выполнении этих процессов заготовки могут занимать безразличное положение, соблюдение кинематической связи не требуется и автоматизация процессов осуществляется более просто.

Существует и промежуточный класс процессов, когда заготовки должны занимать определенное положение, а рабочий инструмент представляет собой активную рабочую среду (окраска методом пульверизации, гальванопокрытие, напыление), или когда при наличии рабочего инструмента исходный материал подается в рабочую зону без ориентации движений (прессование заготовок из пластмасс). Автоматизация этих процессов также не представляет больших затруднений.

С точки зрения непрерывности технологические процессы можно разбить на три класса:

- к первому классу относятся процессы, осуществляемые на машинах дискретного действия. При выполнении каждой операции они периодически прерываются из-за необходимости выполнения ряда вспомогательных движений и холостых ходов, установки и снятия обработанных заготовок (собранных узлов).
- ко второму классу относятся процессы, выполняемые на машинах непрерывного действия (бесцентровое шлифование на проход гладких валков, волочение проволоки, проката и некоторые другие виды обработки). Процесс обработки в пределах данной партии заготовок или данного количества материала не прерывается. Эти процессы характеризуются непрерывным движением изделий при неподвижном положении рабочего инструмента.
- к третьему классу относятся процессы, в которых обработку осуществляют при непрерывном движении и изделий и инструмента в одном транспортном потоке. Эти процессы обычно осуществляются на машинах роторного типа.

Первый класс процессов. Он осуществляется на автоматах и полуавтоматах и характеризуется строгой цикличностью протекания элементов выполняемой операции. Основные (технологические) движения связаны с выполнением процесса обработки (сборки); вспомогательные движения (подвод и отвод инструмента, поворот инструментальных головок и столов, установка, закрепление, открепление и снятие заготовок) обеспечивают выполнение основной работы. Время вспомогательных движений сводят к минимуму, осуществляя их на повышенных скоростях или совмещая эти движения (частично или полностью) с основной работой. Фактическая производительность определяется по формуле

$$Q_{\phi} = \frac{1}{t_{\phi} + t_n + t_{\text{обсл}} + t_{\text{орг}}}.$$

Технологические процессы, осуществляемые на оборудовании дискретного действия, в основном применяют при производстве штучных заготовок.

Повышение производительности машин дискретного действия достигается:

а) сокращением основного времени путем совмещения по времени технологических переходов при многоместной и многоинструментальной обработке, повышение режимов работы оборудования и другими мероприятиями технологического характера;

б) сокращением времени вспомогательных движений за счет рационального построения рабочего цикла, совмещения во времени вспомогательных движений, повышая их скорости;

в) сокращением внецикловых потерь работы оборудования в результате конструкторских, технологических и организационных мероприятий (применение быстросменных настраиваемых вне станка инструментальных блоков, улучшение конструкции регулирующих устройств, улучшение организации рабочих мест). На оборудовании дискретного действия обычно получают наибольшую точность обработки. Это обусловлено его значительной жесткостью и высокой геометрической точностью.

Второй класс процессов. Его осуществляют на оборудовании непрерывного действия, которое характеризуется тем, что изделия штучного или нештучного характера производятся непрерывно. Технологический процесс протекает без периодической остановки оборудования для остановки и снятия обрабатываемых заготовок (собираемых изделий). Производимая продукция сходит с оборудования непрерывным потоком. К непрерывным технологическим процессам относятся: волочение проволоки и прутков круглого и специального профиля, используемых для изготовления деталей на автоматах, непрерывная прокатка специального проката, непрерывная навивка спиральных пружин на специальных автоматах, пескоструйная и дробеструйная обработка заготовок, расположенных на непрерывно движущемся конвейере, для очистки от окалины и упрочнения.

Примером непрерывного процесса обработки со стационарным инструментом является конвейерное протягивание.

Примерами непрерывных процессов служат: мойка деталей на конвейерной установке моечной машины, сушка деталей, окраска на подвесном конвейере в электростатическом поле, нагрев детали при непрерывном перемещении через печь или при прохождении ими индуктора тока высокой частоты, естественное или ускоренное (в струе воздуха) охлаждение после термической обработки и т.п. Для этого типа процессов (при штучных изделиях) производительность оборудования (шт./мин) определяется по формуле:

$$Q = \frac{V_{\text{тех.}}}{\ell + \ell_1},$$

где: $V_{\text{тех.}}$ – скорость технологического движения, м/мин.;

ℓ – длина изделия в направлении технологического движения, м;

ℓ_1 – расстояние между изделиями в том же направлении, м.

При $\ell_1 = 0$ достигается наибольшая производительность процесса обработки. Под скоростью технологического движения понимают минутную продольную подачу при бесцентровом шлифовании штучных заготовок на проход, скорость резания при конвейерном протягивании, скорость движения прутков или проволоки при волочении. Данный класс технологических процессов характеризуется высокой производительностью и возможностью сравнительно легкой автоматизации. Его в основном применяют для массового изготовления мелких и средних деталей. Здесь может быть достигнута достаточно высокая точность. Например, при бесцентровом шлифовании на проход при хорошем состоянии оборудования может быть достигнута точность по диаметру по 6 качеству.

Третий класс процессов. Его осуществляют на автоматизированном оборудовании роторного типа. Он характеризуется тем, что изделие в процессе обработки (сборки) совершают непрерывные перемещения (транспортирование) от загрузочной позиции к позиции съема. В настоящее время имеется много разновидностей роторного оборудования – от полуавтоматических станков до автоматических линий.

Производительность роторного станка (шт./мин) определяется по формуле:

$$Q = \frac{V_{\text{тр}}}{\ell + \ell_1},$$

где: $V_{\text{тр}}$ – скорость транспортирующего движения (окружная скорость рабочего или транспортного роторов в м/мин. берется по линии расположения не них обрабатываемых

изделий), м/мин.; ℓ - длина изделия, м; ℓ_1 - расстояние между изделиями в направлении транспортирующего движения, м.

Повышая скорость транспортирующего движения, можно увеличить производительность роторного оборудования. Эта скорость не может быть установлена произвольно, она взаимосвязана со скоростью рабочих (технологических) движений.

Точность данных процессов ниже процессов первого класса. Это обусловлено тем, что технологический процесс выполняется при непрерывном движении изделия (в этом случае на точность влияют кинематическая погрешность) и что жесткость роторного оборудования меньше, чем оборудования дискретного действия. При использовании самоустанавливающихся систем (развертывание плавающей отверткой, калибрование отверстий, запрессовка) может быть достигнута такая же точность, как и на оборудовании дискретного действия.

На роторном оборудовании (автоматических линиях) легко осуществляются комплексные технологические процессы, включающие механическую и термическую обработку, сборку и контроль качества изделий. Это оборудование, являющееся специальным, дорогим и в большинстве случаев труднопереналаживаемым на выпуск других изделий, применяют для малогабаритных изделий, выпускаемых в больших количествах по принципу массового производства. На сложность, а, следовательно, надежность и стоимость автоматического оборудования оказывает большое влияние кинематика основных и вспомогательных движений. Предпочтительны технологические процессы, у которых траектория этих движений – прямые линии (объемная штамповка, электроэрозионная обработка, клепка). В этом случае применяют инструменты объемного типа (штампы, электроды, обжимки). Их рабочая поверхность воспроизводит соответствующую поверхность объектов производства. Более сложны случаи обработки, основанные на сочетании двух движений (вращение заготовки и радиальная подача фасонного резца при обтачивании поверхности с криволинейной образующей). Оборудование еще более усложняется, если процесс обработки (сборки) основан на кинематическом сочетании трех или большего количества движений (обработка сложнопрофильных поверхностей по копиру или на станке с программным управлением).

ТЕМА 2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Лекция 2.3

Формообразующие технологии

К формообразующим технологиям в машиностроении относятся различные технологические процессы резания.

Обработка резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя материала в виде стружки для получения необходимой геометрической формы детали, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости ее поверхностей. При обработке инструмент и заготовку устанавливают в рабочих органах станка: в шпинделе, патроне, на столе, в револьверной головке и т.п. Для осуществления процесса резания необходимо наличие относительных движений заготовки и инструмента, которые выполняют рабочие органы станка. Движения рабочих органов подразделяют на движения резания, установочные и вспомогательные.

Движения резания – обеспечивают срезание слоя материала в процессе формообразующей обработки детали или изменение состояния поверхностного слоя заготовки в процессе отделочной обработки. К движениям резания относят главное движение и движения подачи. Эти движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру: вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Главное движение определяет скорость отделения стружки и называется скоростью резания. Скорость резания обозначается символом V .

Движения подачи определяют непрерывность врезания режущего лезвия инструмента в новые слои материала заготовки. Движения подачи обозначают символом S .

При резании с поверхности заготовки срезается слой материала толщиной t .

Скорость резания – V , подача – S и глубина резания – t определяют параметры режима резания.

Установочные движения – обеспечивают взаимное положение инструмента и заготовки. Предшествуют движениям резания.

Вспомогательные движения – не связаны непосредственно с процессом срезания слоя материала. Вспомогательные движения: транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка и др.

Методы обработки резанием можно подразделить по направлениям.

1. По назначению: формообразующие и отделочные.
2. По характеру режущего инструмента: лезвийные и абразивные.
3. По виду выполняемой операции: точение, сверление, шлифование, фрезерование, зубообработка, строгание, протягивание и др.

Формообразующие методы предназначены для изготовления деталей заданной формы и заданного уровня показателей точности.

Отделочные методы предназначены для обеспечения заданного уровня качества поверхности и поверхностного слоя при сохранении уровня точности, достигнутого при формообразующих методах обработки.

Лезвийные методы характеризуются использованием лезвийного режущего инструмента. Лезвийным инструментом называют такой, геометрия режущей части и режущие свойства которого регламентируются условиями технологического процесса и могут быть воспроизведены при переточке инструмента. Лезвийный инструмент, применяемый для обработки резанием подразделяют на однолезвийный и многолезвийный. Пример однолезвийного – токарный резец. Пример многолезвийного – фреза.

Абразивные методы характеризуются использованием абразивного режущего инструмента.

Абразивный инструмент имеет статистические характеристики геометрии и режущих свойств множества режущих лезвий. Путем переточки могут быть воспроизведены режущие свойства и основные элементы формы.

2.1. Способы обработки металлов резанием и элементы режима резания

В процессе обработки исходная заготовка и режущий инструмент получают рабочее движение от механизмов металлорежущих станков и перемещаются относительно друг друга. Для осуществления обработки резанием необходимо сочетание двух видов движения: главного движения резания и движения подачи.

Главное движение резания — прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью V в процессе резания. *Движение подачи* — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость V_p ; которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обработанную поверхность. В зависимости от направления движения подачи различают продольное, поперечное и другие движения подачи.

Наиболее распространенными способами обработки металлов резанием являются точение, сверление, фрезерование, строгание, шлифование (на рис.2.1 стрелками указаны направления главного движения резания и движения подачи).

При точении (рис.2.1, а) заготовке сообщается главное движение резания, а инструменту — движение подачи; при сверлении (рис.2.1,б) оба движения, как правило, сообщаются сверлу; при фрезеровании (рис.2.1,в) главное движение резания осуществляет фреза, а движение подачи — заготовка; при строгании на поперечно-строгальных станках (рис.2.1, г) главное движение резания совершает резец, движение подачи — заготовка, а на продольно-строгальных станках наоборот; при шлифовании (рис.2.1,д) главное движение резания осуществляет шлифовальный круг. Продольная подача при плоском шлифовании сообщается обычно заготовке, а поперечная — заготовке или шлифовальному кругу.

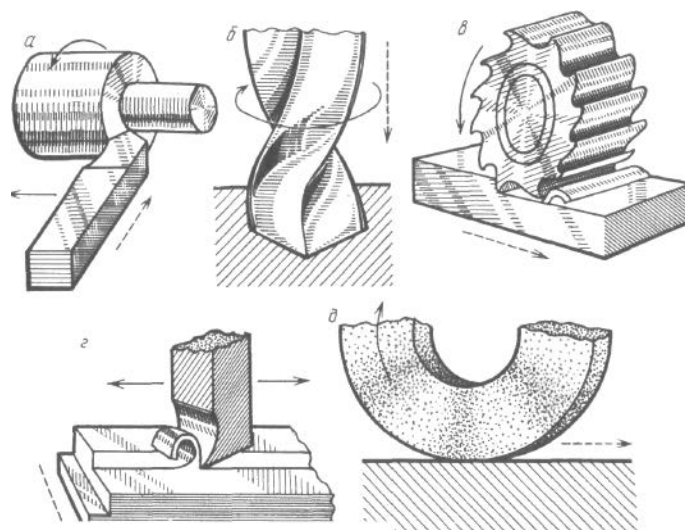


Рис.2.1. Способы обработки металлов резанием

В общем случае процесс резания характеризуется элементами режима резания: скоростями главного движения резания и движения подачи; подачей; толщиной, шириной, а также площадью срезаемого слоя; машинным и штучным временем.

Скорость главного движения резания, V — скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания:

$$V = \pi Dn / 1000, \quad (2.1)$$

где V — скорость главного движения резания, м/мин; D — диаметр поверхности обрабатываемой заготовки, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин.

Скорость движения подачи — скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи.

Подача S — отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей цикла другого движения во время резания или к числу определенных долей цикла этого другого движения.

Под циклом движения понимают полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. Долей цикла является часть оборота, соответствующая угловому шагу зубьев режущего инструмента. Под ходом понимают движение в одну сторону при возвратно-поступательном движении.

Различают: подачу на оборот S_0 , на зуб S_r , на ход S_x , на двойной ход S_{2x} , минутную S_m .

Толщина срезаемого слоя a — длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя b — длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания. При наружном и внутреннем точении с продольной подачей $a = (D_1 - D_2) / 2$, где D_1, D_2 — диаметр отверстия или вала соответственно до и после обработки. Площадь f среза (площадь сечения срезаемого слоя) $f = ab$.

Время, затрачиваемое непосредственно на процесс отделения стружки, называют основным технологическим: $T_o = Li / (nS_o) = Lh / (naS_o)$, (2.2)

где L — путь, проходимый резцом в направлении подачи, мм; i — число проходов резца на данной операции; h — припуск на обработку, мм.

По основному технологическому времени рассчитываются нормы выработки на данном виде оборудования.

Силы резания Сила резания, приложенная к передней поверхности резца, преодолевает сопротивление металла снятию стружки и зависит от ряда факторов: рода обрабатываемого материала, размера стружки, углов заточки резца, скорости резания и др.

Сила резания P может быть разложена на три взаимно перпендикулярные составляющие P_x , P_y , P_z (рис. 2.2). Составляющая P_x действует в направлении продольной подачи и называется осевой составляющей силы резания. Сила P_y направлена по радиусу главного вращательного движения резания в вершине лезвия и называется радиальной составляющей силы резания. Направление силы P_z совпадает с направлением скорости главного движения резания в вершине лезвия и называется главной составляющей силы резания.

Ее необходимо знать для расчета резца, деталей коробки скоростей и других сборочных единиц станка на прочность, а также для определения мощности и вращающего момента на шпинделе.

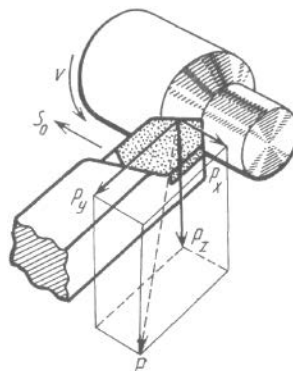


Рис. 2.2. Схема сил резания при точении

По осевой составляющей силы резания $P_X = (0,1...0,25)P_Z$ рассчитывают, например, детали механизма подачи станка на прочность. Радиальная составляющая $P_Y = (0,25...0,5) P_Z$.

Сила резания P рассчитывается по формуле, $P = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2}$

Главная составляющая силы резания P_Z создает на обрабатываемой детали момент сопротивления вращению $M_c = P_Z D / 2$,

Мощность, затрачиваемая в процессе резания,

$$N_e = P_Z V, \quad (2.3)$$

а расчетная мощность электродвигателя станка

$$N_{ог} = N / \eta \quad (2.4)$$

где η — КПД станка (для современных токарных и фрезерных станков $\eta = 0,75... 0,9$, сверлильных — $0,85... 0,9$, шлифовальных — $0,8... 0,95$).

2.2. Основы выбора оптимальных режимов резания

Оптимальный режим резания характеризуется таким сочетанием отдельных его элементов, которое обеспечивает качественное выполнение данной операции с наименьшими затратами труда. Следовательно, оптимальным является такой режим, который обеспечивает наименьшую себестоимость обработки при условии удовлетворения всех требований к качеству продукции.

Важнейшим фактором, обуславливающим снижение себестоимости изготовления деталей, является повышение производительности металлорежущего оборудования, т. е. обеспечение минимального машинного времени (T_m , мин) при обработке деталей.

С учетом формул (2.1) и (2.2)

$$T_i = Lh\pi D / (1000VS_0t)$$

При точении одних и тех же деталей величина $L\pi D/1000$ остается постоянной. Обозначив ее буквой C , получим

$$T_i = Ch / (VS_0t)$$

Отсюда видно, что наименьшее машинное время при точении может достигаться при наибольшем значении произведения VS_0t .

Последовательность выбора V , S_0 , a определяется их влиянием на стойкость резца. Аналитически найдено, что стойкость резца зависит от глубины резания в меньшей степени, чем от подачи; с повышением скорости резания стойкость резца снижается наиболее интенсивно. **Поэтому для определения рационального режима резания при заданной стойкости инструмента необходимо вначале выбирать максимально допустимую глубину резания, затем устанавливать максимальную технологически допустимую подачу, а по выбранным глубине резания и подаче определять скорость резания.**

Глубина резания определяется припуском на обработку. Из формулы машинного времени видно, что наименьшим оно будет в случае, когда весь припуск снимается за один проход резца. Хотя современные методы изготовления заготовок предусматривают минимальные припуски на механическую обработку, однако чаще ее приходится производить в два прохода — черновой и чистовой. В этом случае весь припуск h делят на предварительный $h_{пр}$ и чистовой $h_{ч}$, причем $h_{пр} = 0,85h$.

Максимальную технологически допустимую подачу определяют с учетом установленной глубины резания и требований к обработанным поверхностям, прочности и жесткости механизма подачи станка, способа крепления резца и других ограничивающих факторов.

Скорость резания при точении зависит от качества обрабатываемого и инструментального материалов, стойкости режущего инструмента, геометрических параметров режущей части резца, способа охлаждения зоны резания и других факторов. Скорость резания (v , м/мин) определяют по эмпирической формуле

$$v = C_v k_v / (T^m a^{x_v} S_o^{y_v})$$

где C_v — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, кинематические элементы и характеристики резания, условия обработки; x_v , y_v — показатели степеней, зависящие от условий обработки; k_v — поправочный коэффициент.

Значения k_v , y_v , x_v приводятся в нормативных материалах. По рассчитанной скорости резания определяется необходимая частота вращения заготовки n и подбирается по паспорту станка частота вращения шпинделя.

После выбора толщины среза и скорости главного движения резания рассчитывают мощность, затрачиваемую в процессе резания, по формуле (2.3).

2.3. Элементы технологического процесса обработки металлов резанием и пути повышения его эффективности

Технологический процесс механической обработки — это часть производственного процесса, связанная с последовательным изменением размеров и формы заготовки до превращения ее в готовую деталь. Этот процесс состоит из ряда операций, которые могут выполняться при одной или нескольких установках детали.

Физический процесс установки детали или заготовки в приспособление на столе станка, на другом виде оборудования или на конвейере с требуемой точностью называется *установкой*. Этот процесс обычно включается в операцию как один из составляющих ее переходов. Каждое из отдельных положений закрепленной детали относительно станка и режущего инструмента называется **позицией**. Технологическая операция механической обработки выполняется за один или несколько **переходов**, под которыми понимают часть операции, выполняемой на одной обрабатываемой поверхности одним и тем же режущим инструментом при данном режиме резания (например, обточка цилиндра — один переход, подрезка торца — другой и т. д.).

Различают последовательное и параллельное выполнение переходов и операций технологического процесса.

Проходом называется однократное относительное движение режущего инструмента и обрабатываемой детали, в результате которого с поверхности или сочетания поверхностей снимается один слой металла при неизменной установке инструмента и при неизменном режиме резания.

Переходы делят на проходы, когда нельзя с одного раза (за один проход) снять весь слой металла, подлежащий удалению в данном переходе. В результате каждого прохода на детали получается новая поверхность или сочетание поверхностей.

Чтобы иметь способность обрабатывать заготовку (деталь), ее необходимо, прежде всего, установить и закрепить с требуемой точностью в приспособлении или на столе станка или другого вида оборудования.

Если деталь в процессе обработки приходится устанавливать и закреплять несколько раз, то говорят об обработке детали с несколькими установками.

Для выполнения отдельных частей технологического процесса обрабатываемый или собираемый объект производства, установленный и закрепленный в приспособлении,

должен занимать вместе с ним одно или ряд последовательных положений в пространстве.

Различие между установкой и позицией заключается в том, что при каждой новой установке объект производства меняет свое положение относительно приспособления или стола станка. При смене позиции объект производства сохраняет свое положение относительно приспособления, в котором он установлен и закреплен и меняет свое положение относительно оборудования, рабочего места или сборочного станда совместно с приспособлением. Наглядным примером может служить обработка детали на многошпиндельных станках.

Частью прохода является рабочий прием. Им принято называть законченное действие, необходимое для выполнения операции. Рабочие приемы весьма разнообразны. Они могут быть связаны с установкой и снятием детали, сменой инструмента, настройкой станка на необходимый режим резания, переключением станка и т. д.

Организация работы по последовательной схеме присуща серийному производству. Параллельная схема технологического процесса обеспечивает более высокую производительность, так как обработка деталей осуществляется с одновременным выполнением ряда переходов в одной операции на многорезцовых и многошпиндельных станках, применение которых целесообразно при значительных программах выпуска изделий.

Технологический процесс механической обработки зависит от ряда факторов: формы и размеров детали, требуемой точности обработки; вида заготовок и способа их получения, программы выпуска деталей, наличного парка оборудования и др. Во всех случаях следует стремиться к нахождению оптимального варианта технологического процесса, обеспечивающего наибольшую производительность при наименьшей себестоимости обработки.

При механической обработке резанием вначале проводят черновую или обдирочную обработку, затем чистовую и в заключение - отделочную обработку, обеспечивающую нужную точность и степень шероховатости поверхности детали.

Повышение производительности при механической обработке резанием может быть достигнуто совершенствованием конструкции типовых металлорежущих станков, режущего инструмента и приспособлений, а также технологического процесса обработки на типовых металлорежущих станках. Кроме того, решение указанной задачи связано с совершенствованием систем управления металлорежущими станками, повышением степени механизации и автоматизации процесса, улучшением организации работ, применением новых видов оборудования и способов обработки металлов.

Совершенствование режущего инструмента достигается как за счет использования новых материалов (твердых сплавов, металло-керамических) и обеспечения оптимальных его форм, так и создания комбинированного инструмента и инструмента для ступенчатой обработки. Режущие инструменты из быстрорежущей стали работают при скоростях резания в 2...4 раза больших, чем инструменты из углеродистой стали. При оснащении инструментов пластинками из твердых сплавов скорость резания может быть увеличена еще в 3...5 раз. Износостойкость минералокерамического инструмента в 2...3 раза больше, чем инструмента из твердых сплавов. При работе инструментом со ступенчатым лезвием удельный расход мощности в 1,9 раза меньше, а производительность процесса в 2 раза больше, чем при обычном лезвии.

При совмещении операций (черновой и чистовой обработки одной поверхности) или видов обработки резанием (сверления и зенкерования с развертыванием,

резьбонарезанием, фрезерованием и др.), выполняемых комбинированным инструментом на одной рабочей позиции станка, производительность процесса значительно выше, чем при последовательной обработке несколькими типовыми инструментами.

Совершенствование технологического процесса механической обработки на типовых металлорежущих станках может быть достигнуто за счет правильного выбора станка, режущего, мерительного инструмента и приспособлений; применения интенсивных режимов резания; улучшения конструкции режущего инструмента; модернизации станков и усовершенствования приспособлений; одновременной обработки несколькими инструментами; увеличения числа одновременно обрабатываемых деталей и др.

Улучшение использования станков и повышение их производительности может быть достигнуто за счет сокращения затрат рабочего времени по основным элементам, составляющим штучное время.

Сокращение машинного времени обработки обеспечивается повышением характеристик режимов резания, применением высокопроизводительных инструментов и новых прогрессивных инструментальных материалов, повышением технологичности деталей, уменьшением припусков на обработку, модернизацией приводов станков и т. п.

Уменьшение вспомогательного времени достигается за счет применения быстродействующих приспособлений для зажима заготовок и систем управления станком, автоматизации процесса загрузки и выгрузки деталей, подвода и отвода инструментов, измерений деталей и т. п.

Эффективный путь автоматизации единичного и серийного производства — внедрение гибких производственных систем (ГПС) на базе гибких автоматизированных модулей. При внедрении ГПС улучшаются условия труда; снижается возможность появления брака в результате нарушения технологического режима; повышается загрузка оборудования за счет трехсменного режима работы; улучшается управление, в частности производственно-оперативное планирование.

2.4. Методы формообразования поверхностей деталей машин

Пространственную форму детали определяет сочетание различных поверхностей.

Геометрическая поверхность представляет собой совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой образующей, движущейся по другой производящей линии, называемой направляющей. Например, для образования круговой цилиндрической поверхности прямую линию (образующую) перемещают по окружности (направляющей). При обработке поверхностей деталей на металлорежущих станках образующие и направляющие линии воспроизводятся комбинацией движений заготовки и инструмента, скорости которых согласованы между собой. **Движения резания являются формообразующими.**

Обработка резанием деталей машин реализует четыре метода формообразования поверхностей: метод копирования, метод следов, метод касания, метод обкатки.

Метод копирования — режущая кромка инструмента соответствует форме образующей линии обрабатываемой поверхности детали. Направляющая линия воспроизводится вращением заготовки. Главное движение является формообразующим. Движение подачи необходимо для получения поверхности заданного размера. Метод применяется для обработки фасонных поверхностей.

Метод следов — образующая линия 1 является траекторией движения точки (вершины) режущей кромки инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точки заготовки. Движения резания являются формообразующими. Метод

наиболее широко распространен при обработке резанием. Отличается невысокой производительностью.

Метод касания – образующей линией 1 служит режущая кромка инструмента, а направляющая линия 2 поверхности является касательной к ряду геометрических вспомогательных линий – траекторий точек режущей кромки инструмента в направлении подачи. Движение подачи – формообразующее.

Метод обкатки – направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Образующая линия 1 получается как огибающая кривая к ряду последовательных положений режущей кромки инструмента относительно заготовки благодаря согласованию двух движений подачи. Скорости движений согласуются так, что за время прохождения круглым резцом расстояния L он делает один полный оборот относительно оси вращения.

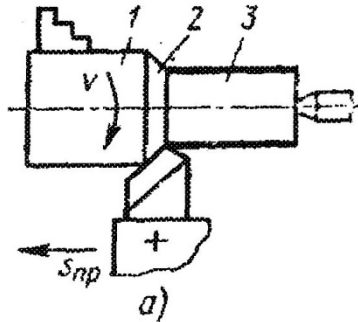


Рис.2.3. Схема обработки

от резания. Схема обработки при операции точения показана на рисунке 2.3.

Инструмент показывают в положении окончания обработки (при ручном управлении станком) или в исходном положении (при автоматическом управлении). Обработанную поверхность выделяют толстой линией или другим цветом. В процессе обработки на заготовке различают обрабатываемую поверхность 1, обработанную поверхность 2, и поверхность резания, образуемую режущим лезвием инструмента и являющуюся переходной зоной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

2.5. ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

2.5.1. Обработка заготовок на токарно-винторезных станках

Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей выполняют прямыми, отогнутыми или упорными проходными резцами с продольной подачей; гладкие валы, — при установке заготовок в центрах и с использованием люнетов – подвижного или неподвижного. Схемы обработки заготовок на токарных станках показаны на рисунке 2.4. Здесь: а – точение наружной цилиндрической поверхности (методы обработки: б - многопроходная, в - однопроходная), г - подрезание торцевой поверхности, д - обработка фасонных поверхностей, е – обработка канавок, ж – сверление отверстия, з, и – растачивание, л – варианты отрезки детали

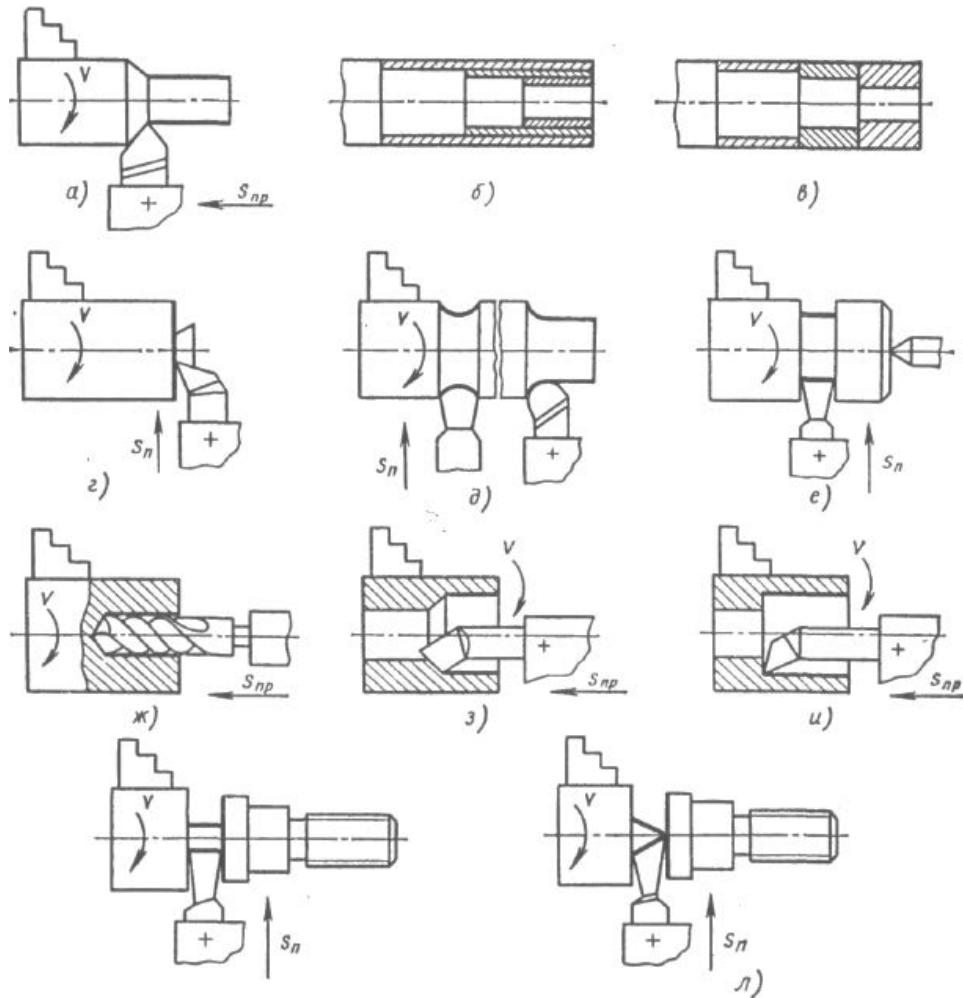


Рис.2.4 Схемы обработки заготовок на токарных станках

2.5.2. Обработка заготовок на вертикально-сверлильных станках

На сверлильных станках выполняют **сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание резьбы и обработку сложных отверстий.**

Сверление сквозного отверстия показано на рис. 2.7, а. Режущим инструментом служит спиральное сверло. В зависимости от требуемой точности и величины партии обрабатываемых заготовок отверстия сверлят в кондукторе или по разметке.

Рассверливание — процесс увеличения диаметра ранее просверленного отверстия сверлом большего диаметра (рис. 2.7, б). Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка в работе не участвовала. В этом случае осевая сила уменьшается.

Зенкерование — обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости многолезвийным режущим инструментом — зенкером (рис. 2.5, в).

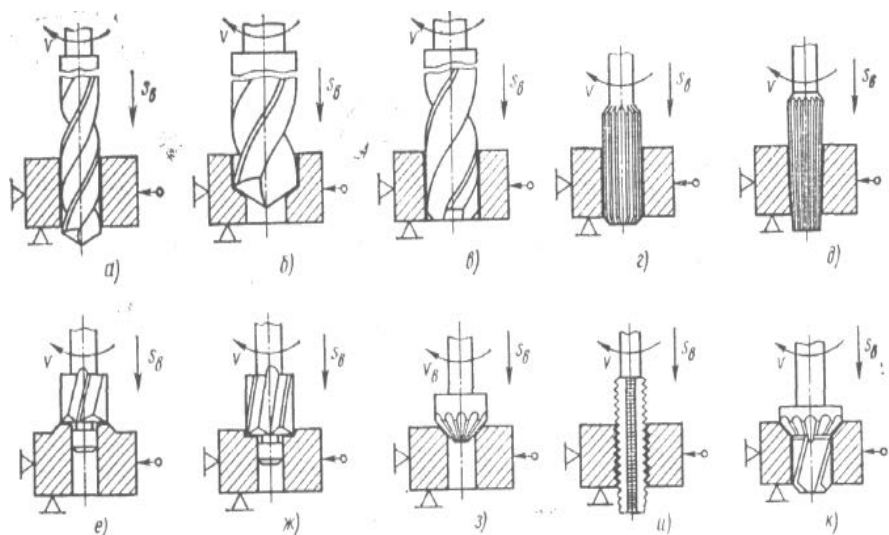


Рис. 2.5. Схемы обработки заготовок на вертикально-сверлильных станках

Развертывание — окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой (обычно после зенкерования) / в целях получения высокой точности и малой шероховатости обработанной поверхности (рис. 2.5, з, д).

Цекование — обработка торцевой поверхности отверстия торцовым зенкером для достижения перпендикулярности плоской торцевой поверхности к его оси (рис. 2.5, е).

Зенкованием получают в имеющихся отверстиях цилиндрические или конические углубления под головки винтов, болтов, заклепок и других деталей. На рис. 2.5, ж, з показано зенкование цилиндрического углубления цилиндрическим зенкером (зенковкой) и конического углубления коническим зенкером.

Нарезание резьбы — получение на внутренней цилиндрической поверхности с помощью метчика винтовой канавки (рис. 2.5, и).

Отверстия сложного профиля обрабатывают с помощью комбинированного режущего инструмента.

2.5.3. Обработка на расточных станках

На расточных станках обрабатывают отверстия, наружные цилиндрические и плоские поверхности, уступы, канавки, режут конические отверстия и нарезают внутреннюю и наружную резьбы резцами. Наиболее распространенный вид обработки на расточных станках — растачивание отверстий.

Растачивание цилиндрических отверстий выполняют резцами, установленными на консольной или двухопорной оправке. Использование консольной оправки целесообразно в тех случаях, когда длина обрабатываемого отверстия $L < D$, так как с увеличением длины оправки снижается ее жесткость.

На рис. 2.6, а показана схема растачивания отверстия небольшой длины двухлезвийным пластинчатым резцом, закрепленным в консольной оправке. Заготовке сообщают продольную подачу. При небольшой длине отверстия, когда возможна работа с короткой жесткой оправкой, растачивают при осевой подаче расточного шпинделя. Растачиванием с продольной подачей заготовки получают более правильное отверстие вследствие постоянного вылета шпинделя.

Отверстия с отношением $L/D > 5$ и соосные отверстия растачивают резцами, закрепленными в двухопорной оправке.

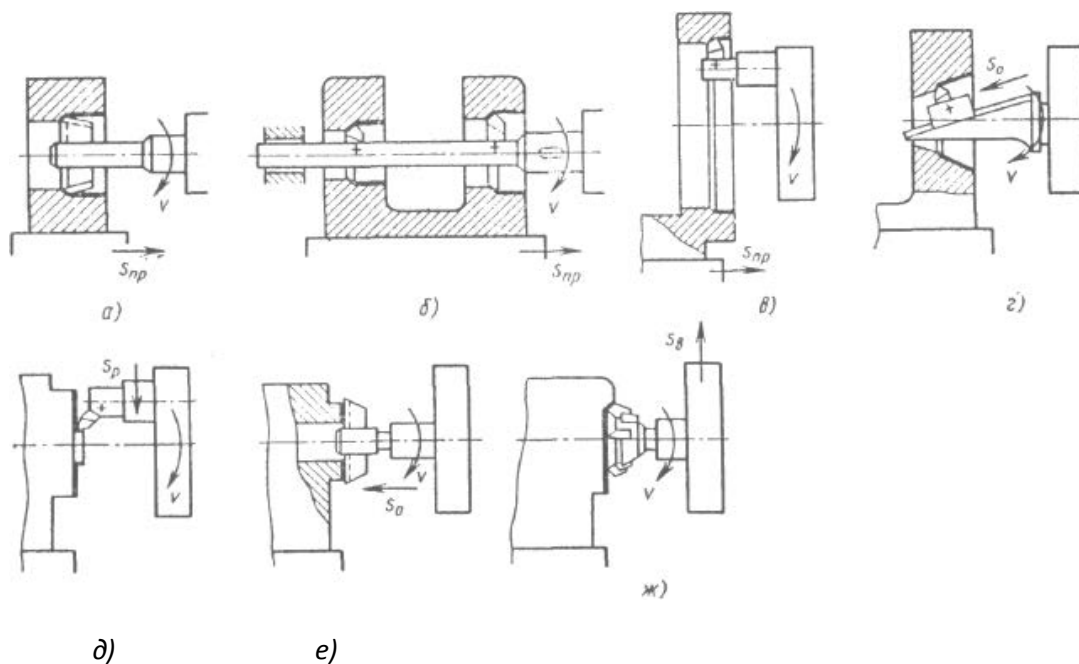


Рис. 2.6. Схемы обработки заготовок на горизонтально-расточных станках

На рис. 2.6, б показано одновременное растачивание двух соосных отверстий. Оправка с резцами получает главное вращательное движение, а заготовка — продольную подачу в направлении от задней стойки к шпиндельной бабке.

Отверстия большого диаметра, но малой длины, растачивают резцом, закрепленным в радиальном суппорте планшайбы (рис. 2.8, в). Планшайбе с резцом сообщают главное вращательное движение, а столу с заготовкой — продольную подачу. Отверстия диаметром более 130 мм обрабатывают расточными блоками и головками.

Растачивание параллельных и взаимно перпендикулярных отверстий выполняют с одной установки заготовки. После растачивания первого отверстия перемещают стол в поперечном направлении или шпиндельную бабку в вертикальном направлении на величину, равную межцентровому расстоянию, затем растачивают второе и другие отверстия. Если требуется расточить взаимно перпендикулярные отверстия, то после растачивания первого отверстия стол поворачивают на 90° и растачивают второе отверстие.

Растачивание конических отверстий осуществляют расточными головками, закрепленными в расточном шпинделе, которому сообщают осевую подачу. Конические отверстия диаметром более 80 мм растачивают резцом с использованием универсального приспособления, смонтированного на радиальном суппорте планшайбы (рис. 2.7, г),

Сверление, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование и нарезание резьбы метчиками выполняют на расточных станках так же, как и на вертикально-сверлильных. Инструмент закрепляют в расточном шпинделе и сообщают ему главное вращательное движение и осевую подачу. Заготовка, установленная на столе станка, остается неподвижной. Большое значение имеет свободный доступ ко всем элементам детали при обработке и измерении. Обрабатываемые поверхности рекомендуется располагать параллельно или взаимно перпендикулярно. Применение наклонных обрабатываемых поверхностей затрудняет изготовление деталей из-за сложности установки их на станке.

2.5.4. Обработка на фрезерных станках характеристика метода фрезерования

Фрезерование — один из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом — фрезой.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением подачи. Подачей может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенность процесса фрезерования — прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки, до следующего врезания.

На рис. 2.7. показаны схемы фрезерования плоскости цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами. При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу выполняют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности фрезы. При торцовом фрезеровании плоскостей в работе участвуют зубья, расположенные на цилиндрической и торцевой поверхностях фрезы.

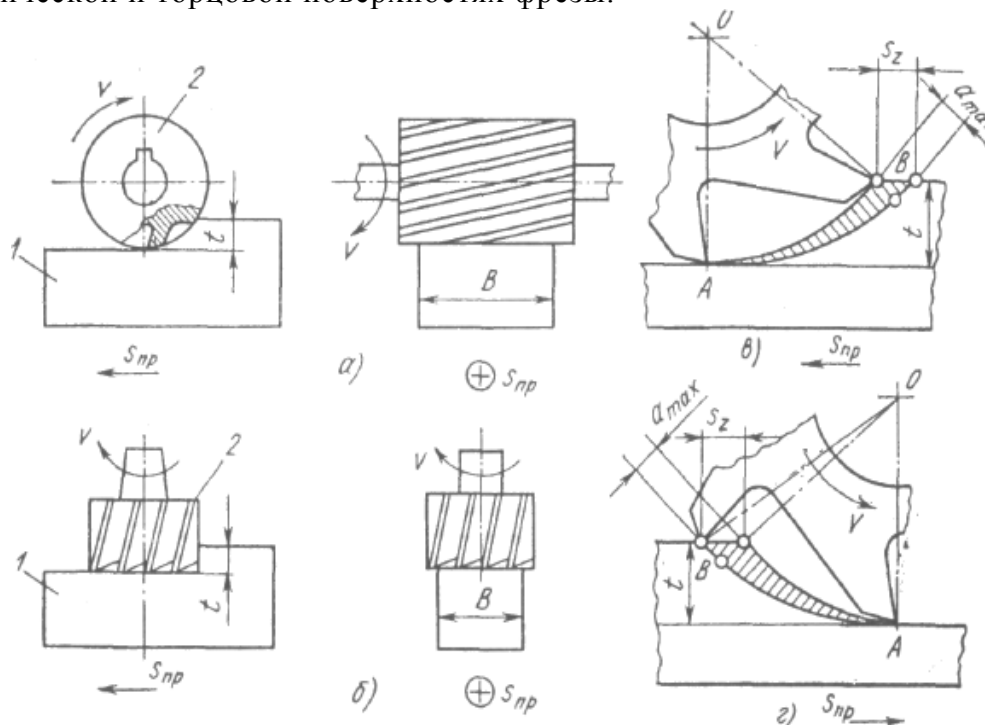


Рис. 2.7. Схемы фрезерования цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами, против подачи (в) и по подаче (г): 1 — заготовка; 2 — фреза

Цилиндрическое и торцовое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами: 1) против подачи (встречное фрезерование), когда направление подачи противоположно направлению вращения фрезы (рис. 2.7, в); 2) по подаче (попутное фрезерование), когда направления подачи и вращения фрезы совпадают (рис. 2.7, г).

При фрезеровании против подачи нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом фрезерования против подачи является работа зубьев фрезы «из-под корки», т. е. фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке В. Недостатком является наличие начального скольжения зуба по наклепанной поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы. При фрезеровании по подаче зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ.

2.5.5. Обработка заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках

Горизонтально-фрезерные станки. Заготовка, устанавливаемая на столе в тисках или приспособлении, получает подачу в трех направлениях: продольном (перемещение стола по направляющим салазок, поперечном (перемещение салазок по направляющим консоли) и вертикальном (перемещение консоли по направляющим станины). Главным движением является вращение шпинделя. Коробка подач размещена в консоли. Хобот служит для закрепления подвески, поддерживающей конец фрезерной оправки.

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называют универсальными.

Вертикально-фрезерные станки. Главным является вращательное движение шпинделя. Заготовка, установленная на столе, может получать подачу в трех направлениях: продольном, поперечном и вертикальном. На рис. 2.8 показаны схемы фрезерования поверхностей на горизонтально - и вертикально-фрезерных станках. Движения, участвующие в формообразовании поверхностей в процессе резания, на схемах указаны стрелками.

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами и на вертикально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 2.8, б). Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцовыми фрезами вследствие большей жесткости их крепления в шпинделе и более плавной работы, так как число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы больше числа зубьев цилиндрической фрезы.

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 2.8, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (рис. 2.8, г).

Наклонные плоскости и скосы фрезеруют торцовыми (рис. 2.8, д) и концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. Скосы фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 2.8, е).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 2.8, ою) на горизонтально-фрезерных станках. Точность взаиморасположения обработанных поверхностей зависит от жесткости крепления фрез по длине оправки. С этой целью применяют дополнительные опоры (подвески), избегают использования несоразмерных по диаметру фрез (рекомендуемое отношение диаметра фрез не более 1,5).

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми (рис. 2.8, з) и дисковыми (рис. 2.8, и) фрезами на вертикально – и горизонтально-фрезерных станках.

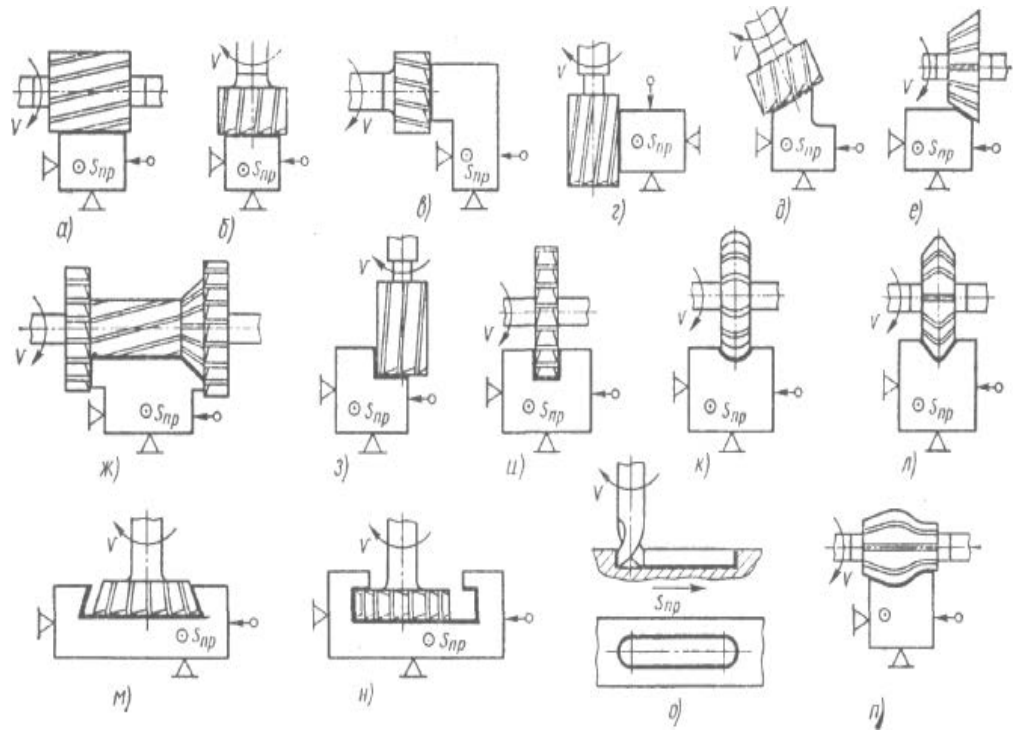
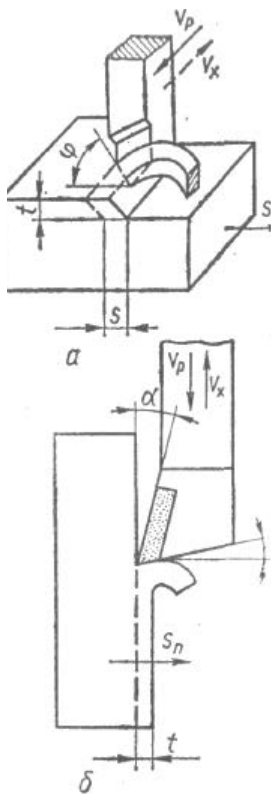


Рис. 2.8. Схемы обработки заготовок на горизонтально - и вертикально-фрезерных станках

2.5.6. Обработка на строгальных, долбежных и протяжных станках

Строгальные станки применяют для обработки резцом плоских поверхностей, пазов, канавок и др. Эти станки делят на поперечно- и продольно-строгальные. У поперечно-строгальных станков главное (возвратно-поступательное) движение совершает резец, а движение периодической поперечной подачи — обрабатываемая заготовка. У продольно-строгальных станков главное (возвратно-поступательное) движение совершает стол с обрабатываемой деталью, а периодическую подачу в поперечном направлении — резец.



У долбежных станков резцу сообщается возвратно-поступательное движение вниз и вверх, а обрабатываемой детали — периодическая подача в поперечном, продольном или круговом направлениях.

Строгальные резцы более массивны, чем токарные, и имеют изогнутую рабочую часть. Долбежные резцы — прямые.

При строгании и долблении прямой ход является рабочим (происходит резание), а обратный — холостым (рис. 2.9).

На холостом ходу резец для уменьшения износа откидывается в резцедержателе и свободно скользит по обработанной поверхности. Чтобы увеличилась производительность обработки, скорость холостого хода u_x берут больше скорости рабочего хода V_p . На строгальных и долбежных станках достигается точность до 7-го качества и шероховатость поверхности — до 7-го класса чистоты.

Подачу выбирают максимально допустимую, исходя из прочности станка и требований к шероховатости обработанной поверхности. Скорость резания ограничивается стойкостью резца T .

Рис. 2.9. Схемы процесса резания при строгании (а) и долблении (б)

Протягивание — высокопроизводительный процесс обработки многолезвийными инструментами (протяжками) — применяется в серийном и массовом производстве для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, зубчатых колес с внутренним зацеплением, шлицев и наружных поверхностей. Процесс протягивания

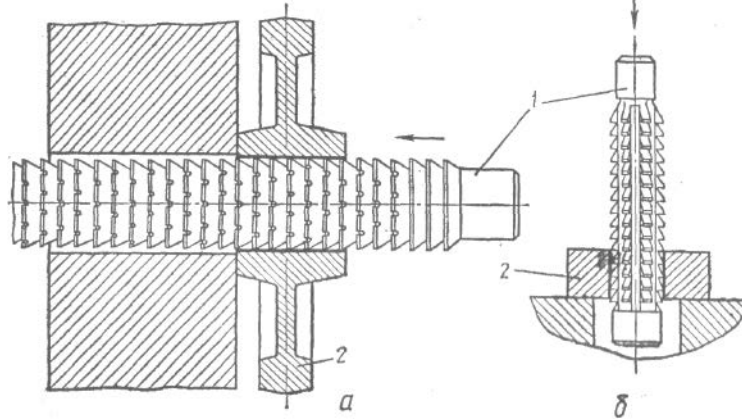


Рис. 2.10 Схемы протягивания

состоит в том, что инструмент / (протяжка) получает перемещение в горизонтальном (рис. 2.10, а) или вертикальном (рис. 2.10, б) направлении относительно неподвижно закрепленной на станке заготовки 2. Зубья протяжки выполнены так, что каждый последующий выше предыдущего на величину толщины срезаемого слоя; делятся они на режущие и калибрующие. За один ход инструмента срезается весь припуск. При протягивании достигается точность обработки до 5-го квалитета, а шероховатость обработанной поверхности — 7...9-го классов.

Соответственно схемам протягивания протяжные станки бывают горизонтальные и вертикальные. Внутри станины станка помещается гидравлический привод. При подаче масла в цилиндр шток приводит в движение протяжку.

Скорость резания при протягивании — это путь, проходимый зубьями протяжки относительно обрабатываемой заготовки в минуту. Обычно скорость протягивания $v = 8 \div 12$ м/мин. Подача на зуб, или толщина срезаемого слоя, лежит в пределах 0,02—0,2 мм.

Средняя стойкость протяжек из сталей Р9 и Р18 колеблется в пределах 100—600 мин.

Поступательное движение протяжке сообщают до тех пор, пока она не выйдет из отверстия заготовки. После окончания протягивания заготовка падает в корыто, протяжка извлекается из каретки, последняя возвращается в исходное положение (холостой ход a_x) и цикл обработки повторяется.

Протяжные станки для внутреннего протягивания оснащаются механизмами автоматического подвода и отвода протяжек, что позволяет исключить тяжелые ручные вспомогательные движения, связанные с переустановкой протяжек после окончания каждого цикла (рабочего хода).

Вертикально-протяжной станок для наружного протягивания состоит из основания, станины, насосной станции, каретки, стола. Заготовку устанавливают в приспособлении на столе станка. Протяжку закрепляют в каретке и от гидропривода сообщают ей вертикальное поступательное перемещение — главное движение. Протяжка, опускаясь (рабочий ход), обрабатывает заготовку. Обработанную заготовку снимают, и подвижная каретка быстро возвращается в исходное положение (холостой ход).

Протяжные станки непрерывной обработки являются станками высокой производительности. Заготовки устанавливают в приспособлениях непрерывно вращающейся тяговой цепи и сообщают им главное поступательное движение со скоростью v относительно неподвижной протяжки. На протяжных станках непрерывной обработки карусельного типа заготовки устанавливают на вращающемся

круглом столе. При оснащении протяжных станков загрузочно-разгрузочными устройствами цикл обработки полностью автоматизируется.

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5—250 мм.

Цилиндрические отверстия протягивают круглыми протяжками после сверления, растачивания или зенкерования. Применяют также протягивание отверстий, полученных при литье и штамповке, без предварительной их обработки. Обычно длина отверстий не превышает трех диаметров.

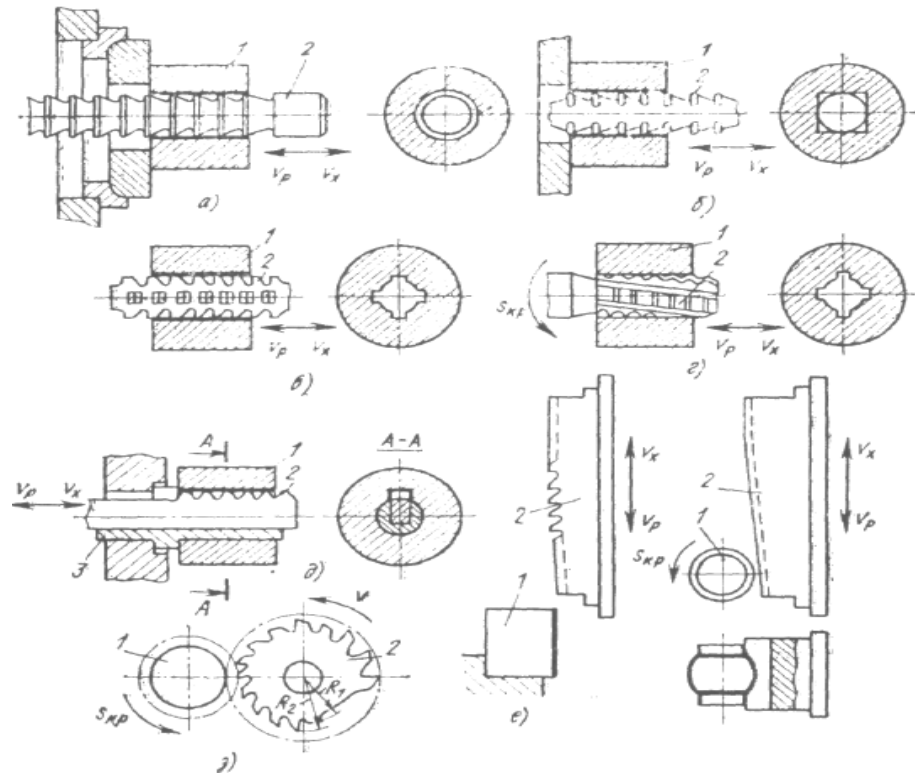


Рис. 2.11 Схемы обработки заготовок протяжных станках:
1 — заготовка; 2 — протяжка; 3 — направляющая втулка

Если торец отверстия в заготовке не обработан, то для ее установки применяют приспособления со сферической опорной поверхностью (рис. 2.11, а). Заготовка в этом случае может самоустанавливаться (центрироваться) по оси протяжки. В тех случаях, когда после предыдущей обработки получен торец детали, перпендикулярный к оси протягиваемого отверстия, заготовка опирается на жесткую (неподвижную) поверхность.

Многогранные отверстия (треугольные, квадратные и т. п.) протягивают многогранными протяжками. Исходной поверхностью для протягивания служит круглое отверстие.

На рис. 2.11, б приведена схема протягивания квадратного отверстия.

Шлицевые отверстия с различным профилем шлицев протягивают многошлицевыми протяжками, формирующими одновременно весь профиль отверстия. На рис. 2.11, в приведена схема протягивания прямых шлицев. Винтовые шлицы протягивают протяжкой, режущие вудья которой расположены по винтовой линии, с приспособлением, обеспечивающим дополнительное вращение протяжки (рис. 2.11, г) или заготовки.

Шпоночные и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствуют профилю протягиваемого паза. Шпоночные пазы протягивают плоской шпоночной протяжкой.

2.5.7. Изготовление зубчатых колес и обработка резьб

Обработка зубчатых колес

История применения зубчатых колес начинается еще со времен Аристотеля. В современной технике трудно найти машину, механизм или прибор, где бы не применялись зубчатые колеса. Диаметры их изменяются от 3 мм до 7 м, а модули равны 0,07—70 мм.

Основное назначение зубчатого колеса — передать крутящий момент от одного вала к другому или преобразовать вращательное движение в поступательное (зубчатое колесо — рейка). Зубчатые колеса обеспечивают наиболее надежную работу передач энергий от машины-двигателя к рабочей машине. У них постоянное передаточное отношение, небольшие габариты, они просты в обслуживании и имеют высокий к. п. д. Зубчатое колесо — самая массовая сложная деталь в современном машино- и приборостроении. Ежегодно изготавливаются миллионы зубчатых колес различных размеров из разных материалов.

Изготавливают зубчатые колеса литьем, методами копирования, огибания, накатывания и гидроэкструзией.

Литые необработанные зубчатые колеса могут применяться только в тихоходных машинах. Обработанные зубчатые колеса первым применил в металлорежущих станках В. К. Нартов в 1709 г. В то время зубья обрабатывали по разметке вручную. Каждый зуб выпиливали напильниками.

Затем стали применять напильники, имеющие форму впадин зуба; профиль инструмента копировали с зубчатого колеса. Так возник метод копирования.

Для работы *методом копирования* можно применять фасонный резец и нарезать зубчатое колесо на строгальном станке, установив заготовку в делительной головке. В этом случае нужно иметь самый простой и дешевый инструмент (резец) и универсальное оборудование. Но этот способ малопроизводителен, а сами колеса получаются низкого качества.

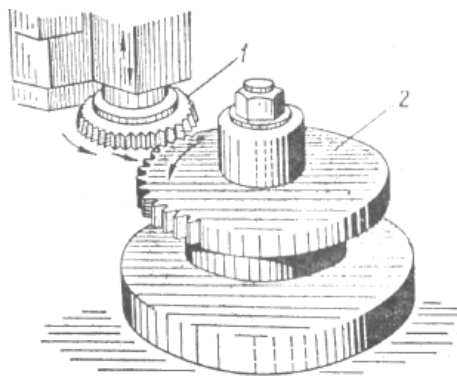


Рис.2.12 Изготовление зубчатого колеса долбяком (метод обкатки)

Большая производительность достигается при изготовлении зубчатых колес с помощью многолезвийного инструмента — фрезы. Применяют дисковые и пальцевые фрезы, имеющие

профиль по форме впадин с нужным модулем. После прорезания впадины фреза отводится, а заготовка поворачивается на один шаг. Но и в этом случае производительность недостаточна, а качество зубчатых колес низкое. Поэтому в массовом производстве метод копирования сейчас не применяют. На смену копированию пришел новый метод обработки зубьев — метод обкатки (огибания), (рис 2.12).

Метод обкатки не только повысил точность зубчатых колес, но и оказался более производительным и окончательно утвердил эвольвентный профиль зуба. Этот метод основан на использовании принципа работы самого зацепления. Во время нарезания инструмент — зубчатое колесо (долбяк), зубчатая рейка (гребенка) или эвольвентная фреза (червяк) — совершает движения, которые соответствуют зацеплению с обрабатываемым зубчатым колесом.

Чаще других инструментов в методе обкатки применяют долбяк — закаленное стальное зубчатое колесо, имеющее для резания передний и задний углы. При нарезании колеса долбяк 1 (рис. 2.12) вращается, перемещается вниз (рабочий ход) и вверх (холостой ход) и совершает движение радиальной подачи; заготовка 2 осуществляет движение круговой подачи навстречу вращению долбяка. При этом заготовка вращается во столько

раз медленнее или быстрее долбяка, во сколько раз ее будущее число зубьев больше или меньше числа зубьев долбяка. Цикл нарезания колеса на полную глубину занимает 2—4 оборота заготовки.

При нарезании зубчатых колес червячными фрезами (рис. 2.13) станок настраивают так, чтобы за один оборот фрезы / заготовка 2 поворачивалась на один зуб (при однозаходной фрезе). Червячная фреза нарезает сразу все зубья по окружности заготовки, постепенно врезаясь в заготовку. Чтобы нарезать зуб на полную высоту, фреза осуществляет движение подачи. Производительность червячной фрезы выше, чем долбяка или рейки, достигается наибольшая точность зубчатых колес, но шероховатость поверхности зубьев несколько выше.

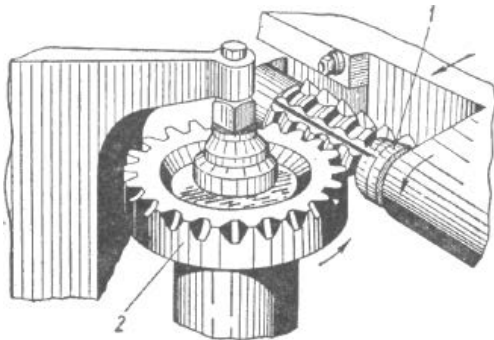


Рис. 2.13. Обработка червячной фрезой (метод обкатки)

Наша промышленность выпускает зуборезные станки, работающие автоматически и полуавтоматически. Выпускаемые станки делятся на зубодолбежные марок 512, 5Б12, 514, 516 и т. д. и зубофрезерные марок 532, 5В32, 5В31 и др.

Зубчатые колеса с эвольвентным зацеплением имеют ряд существенных недостатков:

- 1) не1)неудовлетворительная контактная прочность зубьев;
- 2) вы2)высокая чувствительность передач к неточностям изготовления колес и монтажу передачи;
- 3) с3)сравнительно большие потери энергии в зацеплении вследствие трения зубьев при работе передачи;
- 4) трудность создания мощных передач с малыми габаритами и весом.

Недостатки эвольвентных зубчатых колес привели к поискам принципиально новых систем зацепления. Советский ученый, лауреат Ленинской премии, доктор технических наук М. Л.Новиков в 1955 г.создал зубчатые колеса с круговинтовой, или точечной, системой зацепления.

Зубчатые колеса с зацеплением М. Л. Новикова изготавливают на обычных зуборезных станках специальными червячными фрезами.

Изготавливают зубчатые колеса из углеродистых сталей Ст5, Об, 35, 45, 50, 50Г и т. д., легированных сталей 12ХНЗ, 15Х, 20Х, 35Х и т. д., стального литья, серого чугуна 24 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40, неметаллических материалов— текстолита, капрона и др.

Обработка резьб

Резьбовые соединения относятся к группе разъемных соединений, т. е. таких, которые допускают разборку машин и механизмов без повреждения деталей. Применяют такие соединения для удержания деталей в определенном положении, устранения возможности перемещения и обеспечения плотности стыка соединяемых деталей. Резьбовые изделия — это винт, болт, шпилька и гайка. В машинах и приборах часто встречаются такие узлы, в которых резьба выполняется непосредственно на одной из соединяемых деталей, что исключает гайку.

В основу образования профиля витка метрической резьбы положен исходный треугольник высотой H и основанием P . Расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы, называется шагом резьбы, т. е. основание P исходного треугольника и есть шаг резьбы. Угол между боковыми сторонами профиля — угол профиля α .

Чтобы получился действительный профиль витка, исходный треугольник уменьшают по высоте и по основанию в определенном соотношении с шагом резьбы. Таким образом,

шаг резьбы — основной параметр резьбы; все остальные размеры (высота действительного профиля, основание профиля витка, радиусы закругления выступов и впадин, зазоры между вершинами резьбы винта и впадинами гайки и др.) определяются в зависимости от него.

По форме профиля витка резьба бывает: 1) метрическая; 2) трапецеидальная (с равнобокой трапецией); 3) упорная (с неравнобокой трапецией); 4) ленточная (для грузовых винтов); 5) круглая.

Резьбы бывают однозаходные и многозаходные. Для однозаходной резьбы шаг P и ход I совпадают. Для многозаходных резьб $I = nP$, где n — число заходов.

Резьбы обрабатывают: резьбовыми резцами — точные и специальных профилей, метчиками — резьбы обыкновенной точности на внутренних поверхностях отверстий, плашками — резьбы обыкновенной точности на наружных цилиндрических поверхностях.

2.6. ОТДЕЛОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Оая обработка служит для придания детали заданного уровня качества поверхностного слоя, а именно:

1. Обеспечение заданного класса шероховатости поверхности.
2. Создание в поверхностном слое комплекса физико-механических свойств, обеспечивающих работоспособность детали в условиях эксплуатации.
3. Придание требуемых декоративных свойств поверхности детали.

Для отделочных методов обработки характерны слабые силы резания (или деформирования), малые усилия закрепления заготовок, незначительная толщина срезаемого слоя материала и незначительные тепловыделения в процессе обработки.

Виды отделочной обработки

Тонкое резание — применяют вместо шлифования. При тонком обтачивании используют большую скорость резания, малую подачу и глубину резания. Обработку производят резцами с широкой режущей кромкой, параллельной направлению подачи. Эта кромка образуется путем заточки вспомогательного угла в плане $\varphi_1=0$. Длина режущего лезвия b принимается по условию, $b = (1,5 \div 2)S$. Для тонкого обтачивания цветных металлов и пластмасс применяют алмазные резцы, что позволяет снизить взаимодействие материалов резца и заготовки, снизить тепловыделение и существенно повысить качество поверхности детали. Особое значение для достижения высокого качества поверхности детали при этих методах обработки играет высокая жесткость станка, отсутствие вибраций.

Разновидности тонкого резания: тонкое точение, тонкое шлифование, тонкое фрезерование, тонкое строгание, тонкое растачивание.

Хонингование — предназначается для устранения погрешностей формы и размеров отверстий, а также для создания специального микропрофиля поверхности в виде сетки для повышения специальных эксплуатационных характеристик детали. Такая сетка создается на внутренней поверхности цилиндров двигателя внутреннего сгорания для удержания смазки на этой поверхности при движении поршня. Инструментом для хонингования является — хон — устройство с закрепленными в нем абразивными брусками из мелкозернистого абразива. Скорости движения хона составляют:

вращение вокруг оси / перемещение вдоль оси (м/мин):

$45 \div 60/4 \div 6$ — для стали и $60 \div 75/6 \div 7,5$ — чугуна, бронзы. Размеры сетки и угол наклона к оси цилиндра определяет соотношение скоростей вращения/перемещения хона. Хонингованием исправляют погрешности формы (отклонения от цилиндричности) при толщине срезаемого слоя $0,01 \div 0,02$ мм.

Суперфиниширование — предназначается для уменьшения шероховатости от предыдущей обработки. Обработанная поверхность имеет сетчатый рельеф со скругленными вершинами микровыступов. Движения, применяемые при

суперфинишировании – вращение и перемещение заготовки вдоль оси и колебание абразивных брусков в радиальном направлении к оси заготовки. Амплитуда колебаний брусков – $1,5 \div 6$ мм, частота колебаний – $400 \div 1200$ мин⁻¹, скорость резания – $5 \div 7$ м/мин.

Полирование – предназначается для получения зеркальной поверхности. Выполняется с помощью полировальных паст, нанесенных на мягкие, эластичные инструменты. В качестве инструментов используют полировальные круги, ленты из войлока, фетра, кожи, ткани, капрона и т.п. Полировальные круги вращаются с большой скоростью или совершают колебания с большой частотой и малой амплитудой. В зоне полирования одновременно происходит тонкое резание, пластическая деформация и химические реакции. Для полирования стали используют абразивные порошки из электрокорунда или Fe_2O_3 . При полировании чугуна используют Fe_2O_3 или SiC . Изделия из алюминия и меди полируют пастами ГОИ (Государственный оптический институт) на основе окиси хрома Cr_2O_3 .

При полировании стали для создания суспензии с абразивными порошками в качестве смазки используют керосин, а при полировании чугуна и цветных сплавов – керосин, парафин, воск, сало.

Притирка – предназначена для устранения отклонений от геометрически точной формы (неплоскостность, нецилиндричность и т.п.) или от формы поверхности сопрягаемой детали (например, седло клапана – клапан в двигателе внутреннего сгорания). Притирка производится притиром, на который наносят абразивную пасту. Притир имеет форму, которую необходимо получить на обрабатываемой детали. Материал притира должен иметь меньшую твердость, чем материал обрабатываемой детали во избежание явления «шаржирования», т.е. внедрения абразивных зерен в обрабатываемую деталь. Для изготовления притиров чаще всего используют чугун.

Абразивно-жидкостная отделка – предназначается для отделки объемно-криволинейных, фасонных внутренних поверхностей (труб, патрубков и т.п.). Производится струей абразивной суспензии. При этом методе характерны процесс – тонкое резание, пластическая деформация, химические реакции. Образующаяся на поверхности заготовки жидкостная пленка ускоряет сьем выступов неровностей и затрудняет сьем впадин вследствие демпфирования слоем жидкости удара частиц абразива. Абразивно-жидкостная обработка значительно ускоряет процесс обработки труднодоступных поверхностей, таких как, внутренние поверхности патрубков насосов, корпусов, двигателей и т.п. Такая обработка внутренней поверхности системы выхлопных патрубков двигателя внутреннего сгорания приводит к существенному повышению мощности двигателя за счет уменьшения сопротивления движения выхлопных газов.

Методы отделки зубчатых колес

Чтобы обеспечить плавность зацепления и бесшумность работы, зубья колес после нарезания подвергают дополнительной обработке – шевингованию, шлифованию и притирке.

Шлифование зубьев применяется для высокоточных колес в серийном и массовом производстве. Припуск на шлифование дается до 0,3 мм.

Притирка – самый дешевый способ обработки зубьев закаленных колес. Производят ее при помощи чугунных зубчатых колес, находящихся в зацеплении с обрабатываемым колесом, которое получает вращение и возвратно-поступательное движение. Припуск на притирку равен 20—60 мкм.

Шевингование – отделка незакаленных зубчатых колес с помощью шевера. Шевингованием обрабатывают незакаленные колеса. Производят его специальным инструментом – шевеком, представляющим собой стальное закаленное колесо с мелкими канавками на поверхности зубьев. Шевек, приводя во вращение обрабатываемое колесо, снимает с поверхности зубьев стружку толщиной 1—5 мкм. Припуск на шевингование не превышает 0,25 мм.

Шевер устанавливают под углом к оси зубчатого колеса. Угол скрещивания оси шевера с осью заготовки в зацеплении составляет $-10 \div 15^\circ$. При обработке воспроизводится зацепление зубчатой пары и происходит срезание тонких стружек. Резание производится боковыми поверхностями зубьев шевера, которые имеют специальные режущие канавки.

Зубохонингование – отделка закаленных зубчатых колес с помощью абразивного хона в виде зубчатого колеса. При обработке оси хона и заготовки скрещены под углом $15 \div 18^\circ$.

Примечание. Число зубьев шевера и хона некратно числу зубьев обрабатываемого колеса, что обеспечивает резание за счет скольжения зубьев инструмента относительно заготовки.

Точность и качество обработки резанием

Требования различных отраслей промышленности в отношении точности выполнения размеров и формы деталей должны соответствовать допускам, установленным системой квалитетов точности. Для всех диапазонов размеров установлено 19 квалитетов, которые имеют номера 01,1,2 ...17 (порядке убывания гарантируемой точности). Они образуют единую шкалу точности, применяемую в машиностроении. Применяемость квалитетов ориентирована в следующих направлениях:

Квалитеты 01 – 4 – точное приборостроение, прецизионное машиностроение, средства измерения.

Квалитеты 4 -12 – допуски размеров в посадках, обеспечивающих сопряжения деталей в сборочных конструкциях.

Квалитеты 12 -17 – допуски неотчетливых размеров свободных поверхностей деталей.

Отклонения формы и расположения поверхностей регламентируются в соответствии со степенями точности формы. установлено 16 степеней точности, которые имеют номера 1,2,3 16 (в порядке убывания гарантируемой точности). Требования в отношении качества изготовления детали определяется совокупностью параметров, регламентирующих структуру, физико – механические и химические свойства, геометрические параметры поверхности. Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности и оказывает существенное влияние на эксплуатационные показатели детали.

Экономически достижимые показатели точности и качества различных способов обработки резанием показаны в таблице 2.1.

Табл. 2.1. Характеристики точности и качества, характерные для различных способов обработки резанием

N п/п	Вид обработки	Точность		Качество П поверхности R _a мкм
		Размеров	формы	
		квалитет	Степень точности	
1	Доводка	5	3-4	0,08-0,01
2	Суперфиниширование	5	3-4	0,16-0,01
3	Хонингование	5	3-4	0,63-0,01
4	Полирование	Предшествующ.	Пр.обработка	0,63-0,02
5	Тонкое точение			1,25-0,32
6	- строгание	8	6-7	6,3-1,2
7	- шлифование	5	3-4	0,63-0,16
8	- фрезерование	6	6-7	1,6
9	- растачивание	5-6	5-6	1,25-0,32
10	Чистовое шлифование	6	6-7	1,25-0,63

11	- фрезерование	6-7	8	
12	- точение	5-6	8-9	6,3-3,2
13	-расточивание	5-7	8-9	10-1,25
14	- строгание	8	8	5-2,5
15	-развертывание	6-7	6-7	6,3-3,2
16	- зенкерование	9-10	9-10	1,25-0,32
17	Черновое точение	7-9	8	6,3-3,2
18	-:-шлифование	7	6-7	40-20
19	- растачивание	7-9	9-10	2,5-1,25
20	- сверление	11-13	13-15	80-50
21	- зенкерование	10-11	8-10	25-5
22	- развертывание	7-9	7-9	25-12,5
23	- фрезерование	8	9-10	2,5-1,25
24	- строгание	10	9-10	50-25
25	- долбление	11-12	9-10	25-12,5
26	Сверление по кондуктору	10	8-9	25-12,5
27	Координатное расточивание	5	4-5	25-6,3 1,25-0,32
28	Нарезание резьбы:			
29	Метчиком (Плашкой)			10-5
30	Резцом фрезой			5-1,25 5-1,6

2.7. Размерные связи автоматического процесса изготовления деталей

При автоматическом процессе изготовления деталей существует три группы размерных связей:

Установочные размерные связи (УРС): действуют в процессе автоматической установки заготовок в приспособления, кассеты, станки и т.д. УРС не влияют на достижение качественных показателей изделия но определяет возможность автоматического транспортирования заготовок, загрузки и выгрузки станков.

Замыкающими звеньями являются допустимые отклонения расположения технологических баз заготовки и исполнительных поверхностей приспособления, при которых возможно осуществить автоматическую установку заготовки.

Составляющими звеньями являются размеры заготовки и приспособления, которые выявляются при построении размерных цепей по общей методике размерного анализа конструкции. УРС аналогичны сборочным размерным связям и рассчитываются точно так же. Разница состоит лишь в том, что допуски размеров при установке заготовок или изделий в различные приспособления м/б, как правило, значительно больше, чем при сборке изделий, и поэтому их легче обеспечить.

Операционные размерные связи (ОРС): возникают в процессе получения каждого размера детали при ее изготовлении.

Замыкающим звеном является получаемый размер детали - операционный размер. В зависимости от вида размерной связи **составляющими звеньями** могут быть различные размеры технологической системы: размеры инструмента, станка, приспособления, установочные размеры заготовки, инструмента, приспособления.

От ОРС зависят: операционные размеры, получаемые размеры детали, настроечные размеры станка, режущего инструмента и приспособления, которые необходимо обеспечить при технологической подготовке производства.

ОРС описывают и обеспечивают получение требуемых операционных размеров детали на каждой рабочей позиции автоматической обрабатывающей системы.

Межоперационные размерные связи (МРС): объединяют в единое целое весь технологический процесс изготовления детали, связывая различные операционные

размеры детали с размерами заготовки и припусками на обработку. Межоперационные размерные связи описывают все этапы преобразования размеров от заготовки до детали.

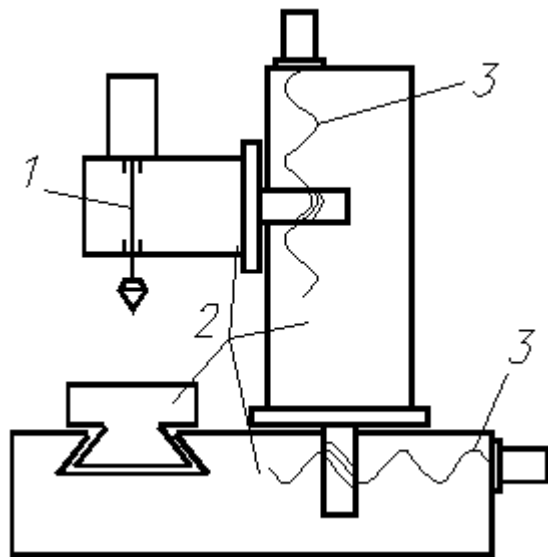
Закрывающими звеньями являются припуски на обработку и те размеры детали, которые непосредственно не получаются, как операционные размеры ни на одной из операций тех. процесса.

Составляющими звеньями являются операционные размеры детали, получаемые на операциях тех. процесса, а также размеры заготовки.

Металлообрабатывающий станок – машина для размерной обработки заготовок в основном путём снятия стружки. Кроме металлических заготовок на станках обрабатывают так же детали из других материалов. К станкам относят и технологическое оборудование, использующее для обработки электрофизические и электрохимические методы, сфокусированный электронный или лазерный луч, поверхностное пластическое деформирование и некоторые другие виды обработки.

Помимо основной рабочей операции, связанной с изменением формы и размеров заготовки, на станке необходимо осуществлять и вспомогательные операции для смены заготовок, их зажима, измерения, операции по смене режущего инструмента, контроля его состояния и состояния всего станка.

Собственно станок подразделяется на несколько важнейших частей, обычно называемых узлами.



Главный привод (1) станка сообщает движение инструменту или заготовке для осуществления процесса резания с соответствующей скоростью. У подавляющего большинства станков главный привод сообщает вращательное движение шпинделю, в котором закреплён режущий инструмент или заготовка.

Привод подачи (3) необходим для перемещения инструмента относительно заготовки (или наоборот) для формирования обрабатываемой поверхности. У подавляющего большинства станков привод подачи сообщает узлу станка прямолинейное движение. Сочетанием нескольких прямолинейных, а иногда и вращательных

движений можно реализовать любую пространственную траекторию.

Привод позиционирования необходим во многих станках для перемещения того или иного узла станка из некоторой исходной позиции в другую заданную позицию, например, при последовательной обработке нескольких отверстий или нескольких параллельных плоскостей на одной и той же заготовке. Во многих современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) функции приводов подачи и позиционирования выполняет один общий привод.

Несущая система (2) станка состоит из последовательного набора соединённых между собой базовых деталей. Соединения могут быть неподвижными (стыки) или подвижными (направляющие). Несущая система обеспечивает правильность взаимного расположения режущего инструмента и заготовок под воздействием силовых и температурных факторов.

Манипулирующие устройства необходимы для автоматизации различных вспомогательных движений в станке, для смены заготовок, их зажима, перемещения или поворота, смены режущих инструментов, удаления стружки и т.п. Современный многооперационный станок имеет набор манипуляторов транспортёров, поворотных

устройств, а в некоторых случаях обслуживается универсальным манипулятором с программным управлением (промышленным роботом).

Контрольные и измерительные устройства необходимы в станке для автоматизации и наблюдения за правильностью его работы. С помощью них контролируют состояние

		Тип

наиболее ответственных частей станка, работоспособность режущего инструмента, измеряют заготовки и изделие. При достаточно высоком уровне автоматизации результаты контроля измерения поступают в управляющее устройство, а оттуда в виде управляющих сигналов корректируют положение узлов станка.

Устройство управления может быть с ручным обслуживанием оператором, с механической системой управления или с ЧПУ. В настоящее время происходит широкое внедрение микропроцессорных устройств ЧПУ для управления всеми видами станочного оборудования.

Классификация станков

В зависимости от целевого назначения станка для обработки тех или иных деталей или их поверхностей, выполнения соответствующих технологических операций и режущего инструмента, станки разделяют на следующие основные группы: токарные, сверлильные, расточные, фрезерные, шлифовальные и т. д. (табл. 1). В обозначении конкретных моделей станков первая цифра указывает на группу станка, вторая – на тип, а последние цифры характеризуют размер рабочего пространства, т.е. предельно допустимые размеры обработки.

Таким образом, обозначение токарно-винторезного станка модели 16К20П следует расшифровать так: токарно-винторезный станок (первые две цифры) с высотой центров (половина наибольшего диаметра обработки) 200 мм, повышенной точности (П) и очередной модификации (К).

Универсальные станки, иначе называемые станками общего назначения, предназначены для изготовления широкой номенклатуры деталей, обрабатываемых небольшими партиями в условиях мелкосерийного и серийного производства. Универсальные станки с ручным управлением требуют от оператора подготовки и частичной или полной реализации программы, а также выполнения функции манипулирования (смена заготовки и инструмента), контроль и измерение.

Специализированные станки предназначены для обработки заготовок сравнительно узкой номенклатуры. Примером могут служить токарные станки для обработки коленчатых валов или шлифовальные станки для обработки колец шарикоподшипников. Специализированные станки имеют высокую степень автоматизации, и их используют в крупносерийном производстве при больших партиях, требующих редкой переналадки.

Специальные станки используют для производительной обработки одной или нескольких почти одинаковых деталей в условиях крупносерийного и особенно массового производства. Специальные станки имеют, как правило, высокую степень автоматизации.

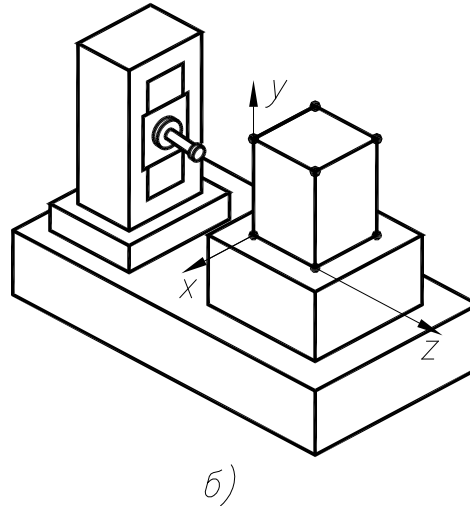
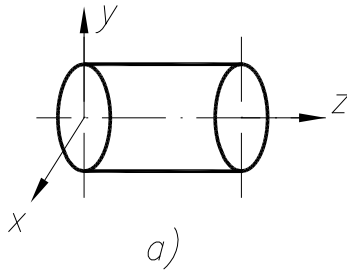
Наименование	Группа	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы			Сверлиль-но-отрезные	Карусель-ные	Токар-но-винто-резные и лобото-карные	Много-резцо-вые	Специа-лизиро-ванные	Разные токарны-е
		одно-шпиндель-ные	много-шпиндель-ные	револьвер-ные						
Сверлильные и расточные	2	Вертикаль-но-свер-лильные	Полуавтоматы:		Коорди-натно-рас-точные	Радиаль-но-свер-лильные	Горизон-тально-расточ-ные	Алмаз-но-рас-Точные	Горизон-тально-свер-лильные и центро-вальные	Разные сверлил-ные и рас-точные
			одно-шпиндель-ные	много-шпиндель-ные						
Шлифовальны-е и доводочные	3	Кругло-шлифо-вальные	Внутри-шлифоваль-ные	Обдирочно-шлифо-вальные	Специал-и-зирова-ные шли-фоваль-ные	Продоль-но-шли-фоваль-ные	Заточ-ные	Плоско-шлифо-вальные	Притиро-ч-ные и полиров-оч-ные	Разные станки работаю-щие абрази-вами
Станки для электро-физико-химической обработки; комбинирован-ные	4	Универ-сальные	Полуав-томаты	Автоматы	Электро-химиче-ские	Электро-искро-вые	—	Элек-тро-эрозион-ные, ультра-звуко-вые	Анодно-механич-ес-кие	—
Зубо- и резьбооб-работывающи-е	5	Зубодол-бежные для цилин-дричес-кой	Зуборез-ные для конически-х колёс	Зубофре-Зерные для цилиндри-ческих колёс	Зубофре-зерные для нарезани-я червяч-ных колёс	Для обработ-ки торцов зубьев колёс	Резьбо-фрезер-ные	Зубоот-делоч-ные и обкат-ные	Зубо- и резьбо-шлифо-вальные	Разные зубо- и резьбо-обраба-тываю-щие
Фрезерные	6	Вертикаль-ные	Непрерыв-ного дей-ствия	Продоль-но-фрезер-ные одно-стоечные	Копиро-вальные и граворо-вальные	Верти-кальные бескон-сольные	Продоль-но-фрезер-ные двух-стоеч-ные	Широко-универ-сальные	Горизон-тальные консоль-ные	Разные фрезер-ные
Строгальные, долбежные и Протяжные	7	Продольно-строгальные:		Попереч-но-строгаль-ные	Долбеж-ные	Протяж-ные гори-зонталь-ные	Протяжные верти-кальные		—	Разные строгаль-ные
		односто-ечные	двухсто-ечные				для внутрен-него протяги-вания	для наруж-ного протяги-вания		
Разрезные	8	Обрезные, работающие			Правиль-но-отрез-ные	Ленточ-ные пилы	Диско-вые пилы	Ножо-вочные пилы	—	—
		токарным резцом	абразив-ным кругом	фрикцион-ным диском						
Разные	9	Муф-то-трубо-обрабаты-вающие	Пилона-секатель-ные	Правильно-и бесцен-тровообди-рочные	—	Для ис-пытания инстру-мента	Дели-тельные машины	Балан-сиро-вочные	—	—

Классификация металлорежущих станков

— Автоматическая линия образуется из набора станков-автоматов, расположенных последовательно в соответствии с ходом технологического процесса и связанных общим транспортом и общим управлением. Переналаживаемая автоматическая линия может в режиме автоматической переналадки переходить от обработки одной детали к обработке другой похожей на неё детали.

Гибкие производственные модули (ГПМ) представляют собой автоматизированную универсальную технологическую ячейку, основой которой является станок с полным набором манипуляторов, контрольных и измерительных устройств обеспечивающих работу по безлюдной технологии в течение не менее двух смен.

Станки наиболее распространённых технологических групп образуют размерные ряды, в которых за каждым станком закреплён вполне определённый диапазон размеров обрабатываемых деталей. Например, в группе токарных станков возможности станка характеризуются цилиндрическим рабочим пространством (рис.а), а для фрезерных, расточных (многооперационных станков) – прямоугольным рабочим пространством.



В

зависимости от массы станка, которая связана с размерами обрабатываемых деталей и его типом, принято разделять станки (токарные, расточные, шлифовальные) на лёгкие (до 1 т), средние (1-10 т), тяжёлые (более 10 т).

Станки также условно разделяют на классы точности – нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А) и особо точные станки или мастер-станки (С). Класс точности обозначают соответственно буквами Н, П, В, А, С.

Лекция 2.4

2.7. Классификации средств автоматизации металлорежущего станка

Средства автоматизации, как встроенные в станки, так и пристраиваемые к ним, можно разделить на пять групп.

В первую группу включаются устройства, автоматизирующие кинематическую и технологическую настройку станка.

Во вторую группу входят технические устройства, автоматизирующие установку, закрепление заготовок и съём обработанных деталей.

К третьей группе относятся устройства, автоматизирующие управление и обслуживание станка (отвод и подвод режущего инструмента, работа по упорам, остановка суппорта в заданном положении, получение размеров, осуществление холостых ходов, выключение станка при завершении обработки детали или в случае возникновения аварийной обстановки и др.).

К четвертой группе относятся приборы и механизмы активного контроля в процессе обработки.

В пятую группу входят устройства, автоматизирующие циклы обработки (механического, электромеханического, гидравлического и комбинированного действия).

Прогресс в машиностроении (и станкостроении в частности) рождает новые идеи, которые затем могут привести к дополнению данной классификации.

2.8. Средства автоматизации различных функций металлорежущих станков

Исходя из приведенной выше классификации средств автоматизации рассмотрим сначала автоматизацию кинематической настройки станка.

В токарно-винторезных, зубофрезерных, зубодолбежных, зубошлифовальных, резьбошлифовальных станках с ручным управлением точность кинематической настройки делительных цепей непосредственно связана с точностью обработки. Для получения, например, точного шага зубьев у обрабатываемого изделия, технологу придется выполнить 804 вычислений. Поэтому в настоящее время настройка делительных и дифференциальных цепей выполняется ПЭВМ.

На рис. 2.14 представлен алгоритм автоматизированного подбора сменных зубчатых колес однопарной гитары станка на ПЭВМ. Автоматизация расчетов настройки кинематических цепей металлорежущих станков не только сокращает время расчета, но и повышает точность кинематической настройки (воспроизведение заданного передаточного отношения через сменные зубчатые колеса, взятые из набора конкретных гитар станка). Алгоритм подходит для любой модели станка, где имеются однопарные гитары.

В соответствии с приведенным алгоритмом составляется программа на любом языке (Фортран, Паскаль и др.) и вводится с клавиатуры (или с дискеты) в память компьютера. Технологу остается подставить исходные данные (о заготовке или режущем инструменте) и через две-три секунды получить ответ, какими сменными зубчатыми колесами, взятыми из набора к данной гитаре, можно наиболее точно настроить конкретную кинематическую цепь. Методика составления программ по данной схеме следующая.

После описания переменных (блок 1) вводится одномерный массив $Z(K)$, который представляет собой набор, состоящий из K сменных зубчатых колес, и условие сцепляемости этих колес $SUM = const$ (блок 2). Далее записывается формула настройки данной кинематической цепи (блок 3), т.е. теоретически необходимое передаточное отношение UT , которое требуется рассчитать и затем воспроизвести сменными зубчатыми колесами.

Присвоив $K_1 = 0$ (блок 4), запишем в программе цикл от $K = 1$ до K_{max} (блок 5).

Присвоив $A = Z(K)$ (блок 6), определим второе сменное зубчатое колесо $B = SUM - A$ (блок 7). В блоке 8 вычисляется фактическое передаточное отношение Φ .

В блоке сравнения необходимо записать условие, по которому будет сравниваться это передаточное отношение с заданным, т. е. с U_T . Предположим, что выбранное передаточное отношение (т.е. фактическое U_Φ) не должно быть больше заданного, т.е. $U_T - U_\Phi > 0$. Это неравенство записываем в блоке 9.

В блоке 10 передаточным отношениям, которые удовлетворили неравенству, присваиваются новые порядковые номера K_1 . Из этих передаточных отношений строится новый массив (блок 11), из которого сервисная подпрограмма (блок 12) выбирает порядковый номер $NMAX$, соответствующий передаточному отношению с наибольшим значением. После этого выбирается первое сменное зубчатое колесо $A = Z(NMAX)$ (блок 13), а затем и второе $B = SUM - A$ (блок 14). Результаты выводятся на печать (блок 15).

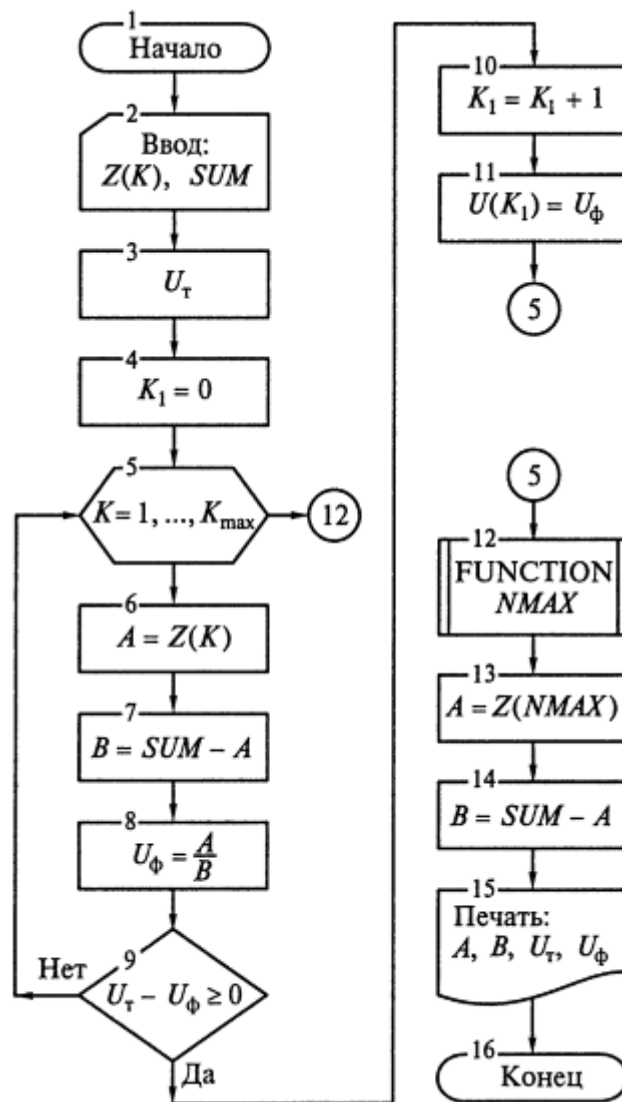


Рис. 2.14. Алгоритм автоматизированной настройки однопарной гитары станка

При обработке деталей на токарных станках автоматизация отвода и подвода резца имеет большое значение. Конструкция механизмов, применяемая для рассматриваемой цели, должна быть увязана с конструкцией механизма для автоматического возвращения суппорта в исходное положение (в том случае, когда оба механизма применяются одновременно). В настоящее время разработаны соответствующие механизмы: автоматического отвода резца, плавного отвода резца, падающего червяка,

предохранительной кулачковой муфты, автоматизации ускоренных перемещений стола фрезерного станка, комбинированного электромеханического устройства, автоматизирующего цикл обработки на фрезерном станке, автоматического прекращения шлифования и т.п. Для автоматической остановки суппорта используются и нестандартные электрические устройства, например контактные конечные выключатели.

К устройствам, автоматизирующим контроль обрабатываемых деталей в процессе шлифования, относятся измерительные устройства индуктивного, контактно-индуктивного и рычажного типов.

Закрепление заготовок в рабочей позиции станка и автоматической линии должно выполняться таким образом, чтобы в течение последующего цикла обработки они совершали заданные перемещения, не изменяя положения относительно базы крепления (зажима). Зажимной механизм является одним из важнейших целевых механизмов, и вся его работа происходит без вмешательства человека.

В автоматах различного технологического назначения зажимные механизмы имеют свою специфику. Например, в токарных прутковых автоматах они передают вращающемуся прутку необходимые для процесса резания скорость и крутящий момент, в агрегатных станках и АЛ удерживают заготовки во время их обработки.

Все зажимные механизмы можно разделить на две группы.

1. Механизмы, предназначенные для зажима симметричных заготовок (прутков, труб, штучных деталей, зажимаемых по круглым, квадратным, шестигранным поверхностям).

2. Механизмы, предназначенные для зажима заготовок произвольной формы (корпусных деталей, кронштейнов, плит).

Привод зажимного механизма осуществляется от общего привода станка через механические передачи либо от индивидуального пневмо-, гидро- и электродвигателя.

Зажимные механизмы классифицируют по типу зажимного элемента и источнику силы зажима. Так, по типу зажимного элемента механизмы могут быть цанговыми, кулачковыми, рычажными, шариковыми, мембранными, электромагнитными, вакуумными и гидропластовыми. В зависимости от источника, создающего силу зажима, различают механизмы с силовым замыканием (грузом, пружиной, пневматически, электродвигателем, электромагнитом) и с жестким замыканием за счет деформации передаточного и зажимного звеньев.

Механизмы загрузки-выгрузки, предназначенные для автоматической установки заготовки в зажимное приспособление или рабочую зону станка (автоматической линии) и снятия обработанной детали, позволяют сократить вспомогательное время (при сохранении или повышении точности обработки).

В зависимости от вида заготовок эти механизмы делятся на три группы: механизмы питания для бунтового материала, для пруткового материала и для штучных заготовок.

Основные требования, предъявляемые к указанным механизмам: минимальное время, затрачиваемое на загрузку-выгрузку; высокая надежность работы; обеспечение заданной точности установки в зажимное приспособление; недопустимость появления (в результате загрузки-выгрузки) внешних дефектов (забоин, вмятин) на поверхностях деталей; простота конструкции.

В АЛ, где одновременно работает большое число режущих инструментов (особенно в агрегатных станках), одной из важнейших проблем является контроль их целостности. Контрольно-блокировочное устройство автомата для проверки целостности осевого инструмента (сверл, метчиков, зенкеров, разверток).

Контрольные устройства обычно размещают непосредственно за позицией, на которой работают проверяемые инструменты. При использовании контрольных устройств с щупами целостность осевого инструмента можно проверять способом косвенного автоматического контроля — проверкой наличия и глубины обработанных им отверстий.

2.9. Управление металлорежущим станком

Под управлением металлорежущим станком понимают совокупность воздействий на его механизмы и устройства в целях выполнения требуемого технологического цикла обработки заготовки с заданной точностью, производительностью и себестоимостью выполненной операции.

Циклом работы оборудования называют совокупность основных и вспомогательных перемещений рабочих органов, осуществляемых в определенной последовательности, необходимой для выполнения оборудованием рабочих функций.

Этап цикла — простейшая нерасчленяемая его часть. В течение отработки этапа цикла не происходит никаких изменений (включений или отключений) в состоянии рабочих и вспомогательных органов оборудования. Этап цикла также называют тактом работы схемы (этот термин полностью эквивалентен термину «этап цикла», применяемому в релейных схемах).

Циклы работы станочного оборудования можно разделить на две группы. К первой группе относятся циклы, которые остаются неизменными и повторяются многократно в процессе эксплуатации оборудования. Пример — циклы работы автоматических линий и агрегатных станков. Ко второй группе относятся циклы, совершаемые однократно в определенные моменты. Включение того или иного цикла осуществляется с помощью специальной вспомогательной команды. Характерный пример — циклы движений вспомогательных механизмов в станках с ЧПУ (поиск и смена инструментов, зажим и освобождение подвижных узлов, загрузка-выгрузка и зажим заготовок и т.д.).

Управление станком заключается в получении сведений о результатах воздействия на его устройства (перемещении рабочих органов, срабатывании различных механизмов), анализе этой информации, выработке решения и в исполнении данного решения.

Управление станком может выполняться вручную рабочим или без его непосредственного участия — системой автоматического управления.

При автоматическом управлении металлорежущим станком все функции выполняет система программного управления (СПУ), работающая по заранее составленной управляющей программе, вводимой в систему с помощью соответствующего программносителя.

Одним из основных элементов СПУ является привод станка. Привод состоит из электродвигателя, силового преобразователя, механической системы и блока управления. Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую. Силовой преобразователь является источником питания электродвигателя с регулируемым выходом. Механическая система обеспечивает передачу механической энергии от электродвигателя к рабочему органу станка.

Блок управления, формирующий управляющее воздействие на силовой преобразователь, включает в себя датчики обратной связи, преобразующие информацию элементов привода и регуляторов, на входах которых эта информация сопоставляется с заданными значениями.

Все элементы привода взаимосвязаны. Внутренние обратные связи соединяют электродвигатель с силовым преобразователем и механические передачи с электродвигателем. Внешние обратные связи объединяют эти элементы. Поэтому электромеханическую систему привода следует рассматривать только целиком, не расчленяя на части.

В станкостроении в большинстве случаев применяют автоматизированный электропривод, т.е. электропривод с автоматическим регулированием параметров.

Функционирование станка зависит от его структуры и алгоритма управления. При этом структура станка определяет состав СПУ и связь между рабочими органами,

вспомогательными механизмами и устройствами. Алгоритм управления, по которому работает СПУ, предписывает последовательность выполнения различных функций управления станком.

Управляющая программа (УП) представляет собой совокупность команд на языке программирования, соответствующую заданному алгоритму функционирования станка при обработке конкретной заготовки. Управляющая программа включает команды трех категорий:

- технологические, обеспечивающие управление перемещениями рабочих органов станка с заданными подачами в процессе обработки;
- цикловые, осуществляющие переключение скоростей, подач, выбор и смену инструментов, смену спутников с заготовками, включение и отключение подачи СОЖ, контроль точности обработки и др.;
- служебные, или логические, обеспечивающие правильность отработки станком всех указанных выше команд.

По функциональному назначению различают следующие виды автоматического управления.

1. Управление повторяющимися автоматическими циклами обработки; примером этого служит управление агрегатным станком, выполняющим фрезерные, сверлильные, расточные и резьбонарезные работы. Управление этими циклами работы оборудования традиционно осуществлялось с помощью релейно-контактной автоматики, работающей по жесткой схеме. В последние годы в качестве управляющего устройства в таком случае используют программируемые контроллеры (ПК).

2. Управление изменяемыми автоматическими циклами (цикловое программное управление), которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т.д.); примерами являются системы управления копировальными токарными и фрезерными станками, многошпиндельными токарными автоматами и др.

3. Числовое программное управление (ЧПУ), при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации; управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной, и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами. Числовым программным управлением (ЧПУ) металлорежущим станком называют управление обработкой заготовки на станке по УП, в которой данные заданы в цифровой форме.

На рис. 2.15 в качестве примера представлена схема управления современным металлорежущим станком, оснащенным системой ЧПУ.

Системы программного управления могут быть классифицированы по информационным признакам, под которыми понимают число и структуру потоков информации при управлении различными металлорежущими станками. Чем полнее информация, используемая в СПУ, тем выше качество ее работы и шире ее функциональные возможности.

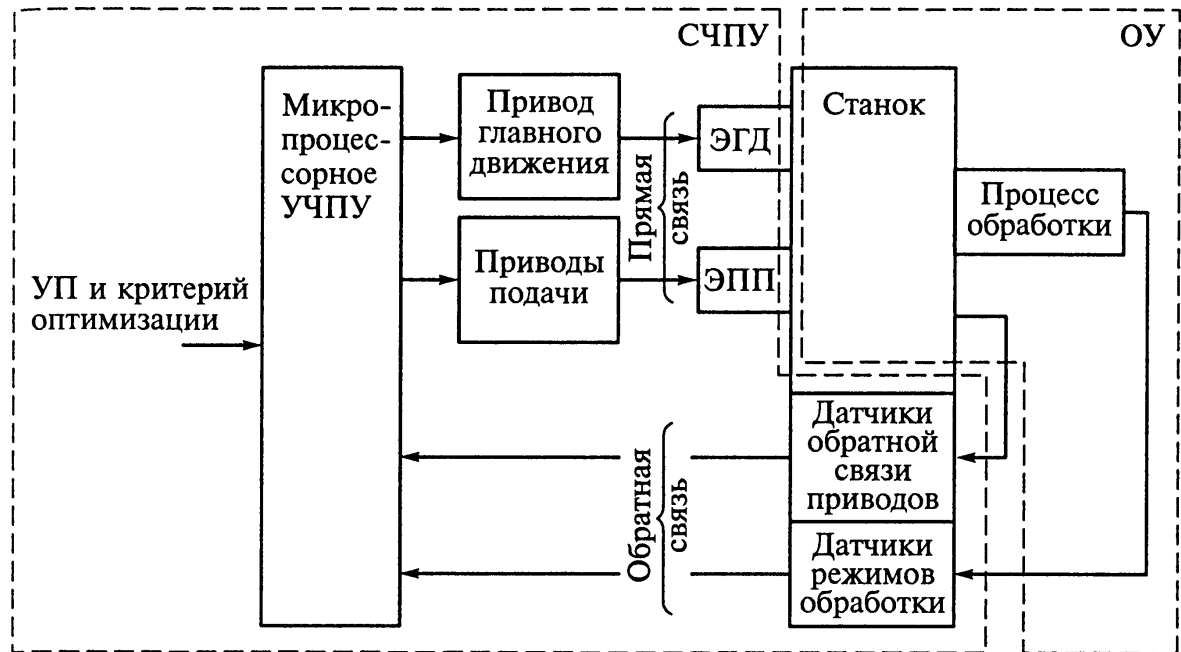


Рис. 2.15. Структура системы ЧПУ металлорежущего станка: ЭГД — электродвигатель главного движения; ЭПП — электродвигатель приводов подачи; УЧПУ — устройство численного программного управления; ОУ — объект управления

Источником информации, поступающей на вход СПУ, является УП, а в качестве обратной связи могут использоваться потоки информации, характеризующие состояние процесса обработки (положение рабочих органов станка, размеры заготовки, уровень вибраций, тепловые деформации); информация о возмущениях, действующих в процессе обработки и не зависящих от процесса управления (например, припуски, твердость материала заготовки, температура окружающей среды и др.).

По способу задания информации СПУ подразделяются на четыре группы (рис. 2.16):

I — СПУ с распределительным валом, где УП задается в аналоговом виде — рабочие и командные кулачки устанавливают на распределительном валу в соответствии с разработанной циклограммой;

II — копировальные СПУ, где УП задается также в аналоговом виде — с помощью копира;

III — системы циклового программного управления (СЦПУ), в которых размерная информация задается в аналоговом виде с помощью путевых упоров, устанавливаемых на сменных линейках, а цикловая — в цифровом виде набором необходимых данных на пульте управления;

IV — системы ЧПУ (СЧПУ), в которых УП задается в цифровом виде либо вводится с пульта оператором, либо поступает от ЭВМ высокого уровня управления.

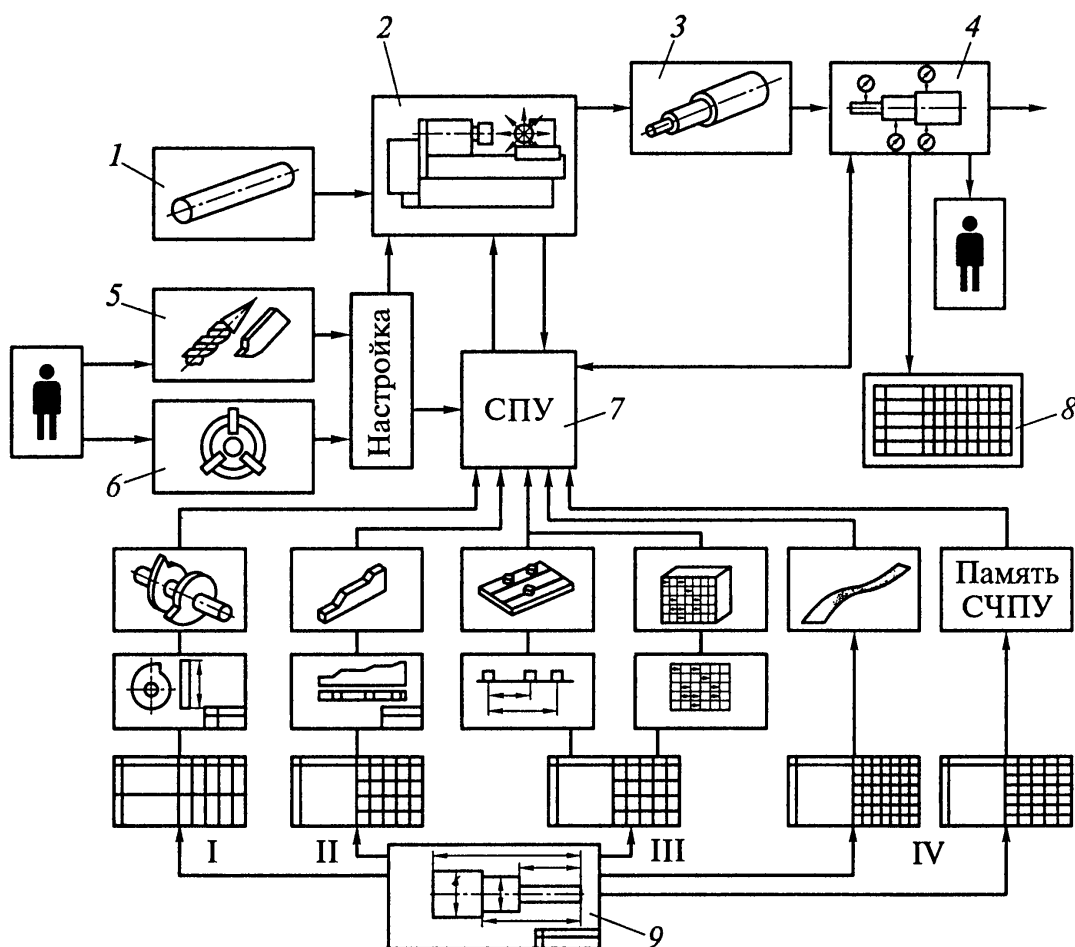


Рис. 2.16. Типы СПУ станков по способу задания информации: 1 — заготовка; 2 — станок; 3 — обработанная деталь; 4 — позиция измерения обработанной детали; 5 — режущий инструмент; 6 — маховик ручной настройки станка; 7 — варианты систем автоматического управления; 8 — данные выборочного ручного контроля отдельных размеров обработанной детали; 9 — операционный чертеж детали

Системы автоматического управления могут строиться на механической, гидравлической, пневматической, электрической, электрогидравлической и электронной основах.

По алгоритму управления СПУ могут быть разомкнутыми и замкнутыми. Для разомкнутых СПУ (рис. 2.17, а) характерен только прямой поток информации, устройство управления не контролирует действительное положение рабочего органа, поэтому точность его перемещения будет зависеть от точности передаточных механизмов привода подачи. Разомкнутыми являются СПУ с распределительным валом, копировальные системы, СЧПУ, приводы подач которых укомплектованы шаговыми электродвигателями.

Замкнутые СПУ подразделяют на три подгруппы:

- с обратной связью по положению рабочих органов станка (стола, салазок, шпиндельной бабки), где имеется поток информации от измерительного преобразователя (ИП) (рис. 2.17, б).

К этой подгруппе относятся следующие копировальные СПУ, большинство современных СЧПУ;

- с обратной связью по положению рабочих органов и с компенсацией погрешностей станка, вызванных тепловыми деформациями, изнашиванием направляющих, вибрациями и др. В этих СПУ предусмотрены дополнительные ИП, оценивающие погрешности станка

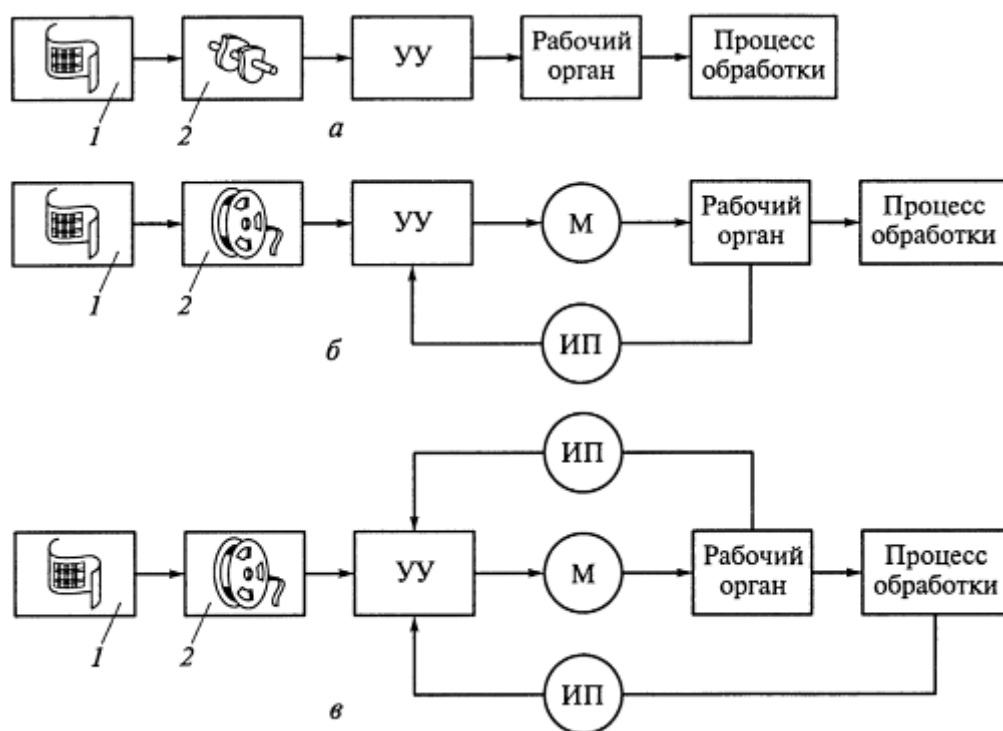


Рис. 2.17. Структурные схемы систем программного управления: а — разомкнутая; б — замкнутая с обратной связью по положению рабочих органов станка; в — адаптивная; 1 — технологический документ на разработку УП; 2 — программоноситель; УУ — устройство управления; ИП — измерительный преобразователь; М — электродвигатель

и передающие сигналы в устройство управления для коррекции начальной информации;

- адаптивные (рис. 2.17, в), в которых кроме обратной связи по положению рабочих органов станка имеется обратная связь от соответствующих ИП по параметрам процесса обработки (силе резания, крутящему моменту, температуре в зоне резания, амплитуде вибраций и др.), что позволяет учитывать и компенсировать влияние на точность обработки колебаний припуска на заготовке, твердости обрабатываемого материала, износа режущего инструмента и других факторов, которые носят случайный характер и которые нельзя предусмотреть заранее.

По характеру управляющих сигналов различают непрерывные (аналоговые) и дискретные системы программного управления.

В СПУ с распределительным валом применяются дисковые и цилиндрические кулачки, установленные на валу они обеспечивают управление большим числом различных рабочих органов с надежной и максимальной синхронизацией их движений. В этих СПУ заранее рассчитан рабочий цикл обработки заготовки за определенный промежуток времени $T_{\text{ц}} = t_p + t_{\text{вх}}$, соответствующий одному обороту распределительного вала. Здесь $T_{\text{ц}}$ — время рабочего цикла; t_p и $t_{\text{вх}}$ — соответственно суммарное время рабочих и несовмещенных вспомогательных ходов. Время цикла измеряется, как правило, в секундах, реже — в минутах.

Для каждой модели автомата строится циклограмма, или графическое изображение положения каждого механизма станка в любой точке цикла. Цикл определяется в углах поворота распределительного вала.

За начало цикла условно принимают положение распределительного вала, при котором все суппорты закончили перемещение вперед, т. е. начало второго цикла совпадает с началом отвода суппортов. Это положение распределительного вала называют исходным. Например, цикл работы пруткового автомата четко делится на два периода —

быстрый ход и рабочий ход. Этим периодам соответствуют быстрое и рабочее вращения распределительного вала. Во время быстрого хода осуществляются все вспомогательные движения механизмов, не связанные с процессом резания.

Как только заканчивается быстрый подвод суппортов, распределительный вал начинает вращаться медленно, со скоростью рабочего вращения.

Быстрый ход занимает в цикле по углу поворота распределительного вала $200...220^\circ$. Следовательно, на рабочий ход остается $160...140^\circ$ цикла

В копировальных СПУ (механических и следящих) программносителем является копир (плоский или объемный), представляющий собой прототип обрабатываемой детали или ее частей. Копировальные СПУ могут быть двух- и трехкоординатные, их применяют в токарных, фрезерных, шлифовальных и отделочных станках для массового производства деталей установившейся формы.

Благодаря жесткой связи элементов копировальные системы не нуждаются в устройствах усиления управляющего сигнала. Связь элементов обеспечивается усилием, которое обычно больше силы резания, вследствие чего необходимы износостойкие копиры. Это усилие может быть создано механическими (противовесы, пружины, обжимающие ролики или копиры), электрическими, гидравлическими и пневматическими средствами.

В механических копировальных системах станков копир выполняет функции задатчика перемещений и подачи режущего инструмента, воспринимая силы резания. Передача движения и усилия осуществляется посредством кинематической цепи станка.

Механические копировальные системы современных станков обеспечивают максимальную скорость копирования $500...1000$ мм/мин. В станках для обработки легких сплавов скорость копирования не превышает 4 м/мин. Максимальная ошибка при обходе прямого внутреннего угла на скорости 1000 мм/мин составляет не более $0,3...0,5$ мм, отклонение скорости копирования — не более 20% заданного значения, амплитуда автоколебаний — не более $0,01$ мм. Кроме того, двухкоординатная механическая копировальная система должна сохранять работоспособность при изменении угла копирования в диапазоне $\pm 360^\circ$, а трехкоординатная — в диапазоне $\pm 180^\circ$. Поэтому к точности работы копировальной системы предъявляются высокие требования.

Схема копировальной системы, применяемой, например, на копировально-фрезерных станках при двухкоординатной обработке (по осям X , Y), показана на рис. 2.18. Копировальная система измеряет отклонение δ копировального пальца по нормали к копиру в плоскостях XY , XZ , YZ , а угол копирования α_k — только в плоскости XY . Другой вариант режима применяется для измерения в плоскостях XZ и YZ . Переход из одного режима в другой осуществляется переключением контактов K («контур») и C («строчки») на пульте управления станка.

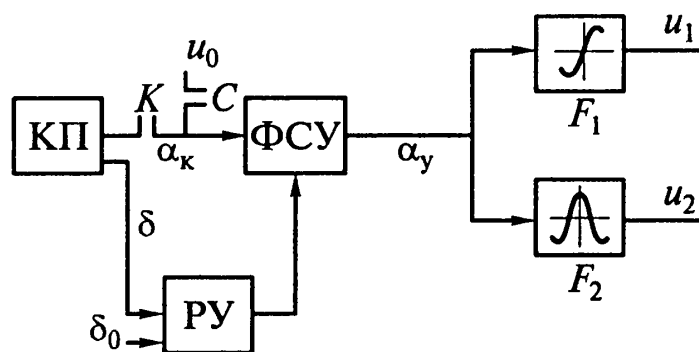


Рис. 2.18. Функциональная схема копировальной системы: КП — копировальный прибор; РУ — решающий усилитель; ФСУ — фазосдвигающее устройство; α_k — угол копирования; α_y — фаза переменного напряжения; δ — отклонение копировального пальца; δ_0 — начальное рассогласование;

K, C - соответственно контакты «контур» и «строчки»; F_1 и F_2 — фазовые усилители; u_0 — входной сигнал; u_1 и u_2 — сигналы, пропорциональные скорости копирования

Для коррекции угла вектора скорости копирования применяется фазосдвигающее устройство (ФСУ). Особенностью схемы является использование регулятора, реализованного на решающем усилителе (РУ). Усилитель имеет ограничение по выходу, причем уровень ограничения настраивается в определенных пределах. Здесь же осуществляется установка начального рассогласования δ_0 .

При работе в режиме «контур» (при копировании в плоскости ХУ) замкнут контакт K , и на вход ФСУ с датчиков копировальной СПУ поступает напряжение переменного тока, фаза которого равна углу копирования. С выхода ФСУ сигнал au поступает на входы двух фазовых усилителей. Фазовые усилители F_1 и F_2 вырабатывают сигналы u_1 и u_2 , пропорциональные скорости копирования. Эти сигналы через корректирующие цепи подаются на входы приводов подач, которые перемещают рабочий орган и копировальный палец с заданной скоростью в нужном направлении.

Если по каким-либо причинам текущее отклонение δ отличается от заданного δ_0 , то на выходе РУ появляется напряжение, которое воздействует на ФСУ и корректирует фазу его выходного напряжения.

При работе в режиме «строчки» замкнут контакт C , и на вход ФСУ поступает напряжение u_0 с фиксированной фазой. Изменение фазы выходного сигнала au производится сигналом РУ в определенных пределах.

Системы циклового программного управления (ЦПУ) обеспечивают автоматический цикл работы станка, транспортного оборудования и т.д. В автоматическом оборудовании с ЦПУ цикл работы является замкнутым, т. е. состояния и положения механизмов в начальной и конечной фазах совпадают. СЦПУ кроме управления в функции пути с помощью кулачковых упоров реализуют управление по другим параметрам (времени, температуре, давлению и др.).

Системы ЦПУ выполняют с устройствами задания программы или на базе ПК.

Рассмотрим работу СЦПУ с устройством задания программы. Система ЦПУ (рис. 2.19) содержит устройства задания программы циклов (память циклов) и ввода программ, а также узел путевых датчиков (Д). Кроме того, в СЦПУ входит силовая электроавтоматика (ЭА) и исполнительный привод (П), перемещающий механизмы (М) оборудования.

Блоки СЦПУ могут выполняться на основе электрических, пневматических или гидравлических элементов. Блоки задания и ввода программы во многих случаях изготавливаются в виде штекерной наборной панели. В этом случае программу на наборной панели блока поэтапного ввода задают в виде электронной или релейной счетно-распределительной схемы.

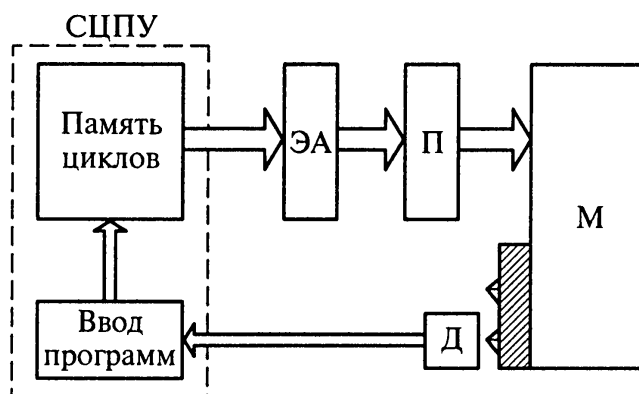


Рис. 2.19. Структурная схема системы ЦПУ: ЭА — электроавтоматика; П — привод; М — механизмы станка; Д — датчики (путевые)

Блок задания перемещения, расположенный на рабочем органе, выдает сигнал окончания этапа программы и переключения на следующий этап. Наиболее часто применяют путевые переключатели. Задание перемещения с помощью реле времени осуществляется в тех случаях, когда другие датчики применить трудно и когда время обработки данного этапа программы не изменяется.

При работе станка с ЦПУ командная информация поступает в устройство ЭА, которое обеспечивает управление рабочими органами оборудования.

В наиболее простом случае штекерная панель выполняется по схеме диодной матрицы; диоды встраивают в штекеры или в шины панели. Каждому входу (строке) соответствует определенный набор команд, которые задаются установкой штекеров

Еще один довольно простой способ состоит в установке кулачков в линейку наборной панели на станине токарного станка. Кулачки воздействуют на многоконтактный переключатель, который перемещается вместе с суппортом станка. Режим обработки и команда на ускоренный ход задаются в концевых позициях наборной панели. Переключения с одного режима на другой производятся кулачками.

Если требуется высокая точность перемещений (в пределах $\pm 0,01$ мм) при большой частоте срабатывания, используют бесконтактный (индуктивный) путевой переключатель, принцип работы которого основан на использовании эффекта изменения напряжения высокочастотного генератора при введении в контур индуктивности (ферромагнитной пластины).

Блоки задания перемещений бывают трех типов. Блоки первого типа имеют число переключателей, равное числу пазов, в которых установлены кулачки. Закрепление переключателей за конкретными этапами цикла обработки осуществляется расстановкой штекеров на панели. Блоки второго типа имеют один переключатель и блок путевых упоров, выполненный в виде поворотного барабана. Эти блоки применяют в основном в станках токарно-револьверной группы (число фиксированных положений барабана равно числу положений револьверной головки). В блоках третьего типа ряд упоров последовательно действует на один переключатель; имеется счетчик пройденных упоров; номер упора задается по программе.

Система ЦПУ на базе ПК представляет собой универсальное устройство, которое настраивают на управление конкретным циклом путем занесения в его память соответствующей рабочей программы, согласующей между собой содержимое адресов памяти, связанных с входными и выходными сигналами объекта управления.

ПК, построенный по тем же структурным принципам, что и универсальная цифровая ЭВМ, содержит все ее характерные функциональные блоки — процессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), блок управления, устройство ввода-вывода информации, устройство индикации (рис. 2.20). Вместе с тем он имеет и существенные отличия.

ПК представляет собой совокупность аппаратных и программных средств, позволяющих имитировать работу любой схемы управления, состоящей из конечного числа взаимодействующих между собой реле, временных датчиков, счетных схем и др. ПК обеспечивает управление технологическим и другим оборудованием, оснащенным датчиками и электрическими приводами, по принципу логической временной обработки; слежение за ходом выполнения рабочей программы и за состоянием контактов реальных и имитируемых реле; удобное программирование. ПК отличаются удобством эксплуатации и повышенной надежностью.

ПК осуществляет сбор и логическую обработку сигналов, поступающих от датчиков, конечных переключателей, кнопок и т.п., формирование команд позиционного управления объектом — включение и выключение различных исполнительных механизмов станка и

т.п. В отличие от релейно-контакторных устройств электроавтоматики ПК является устройством универсальным, его можно быстро и легко перестроить для работы с различными циклами станка.

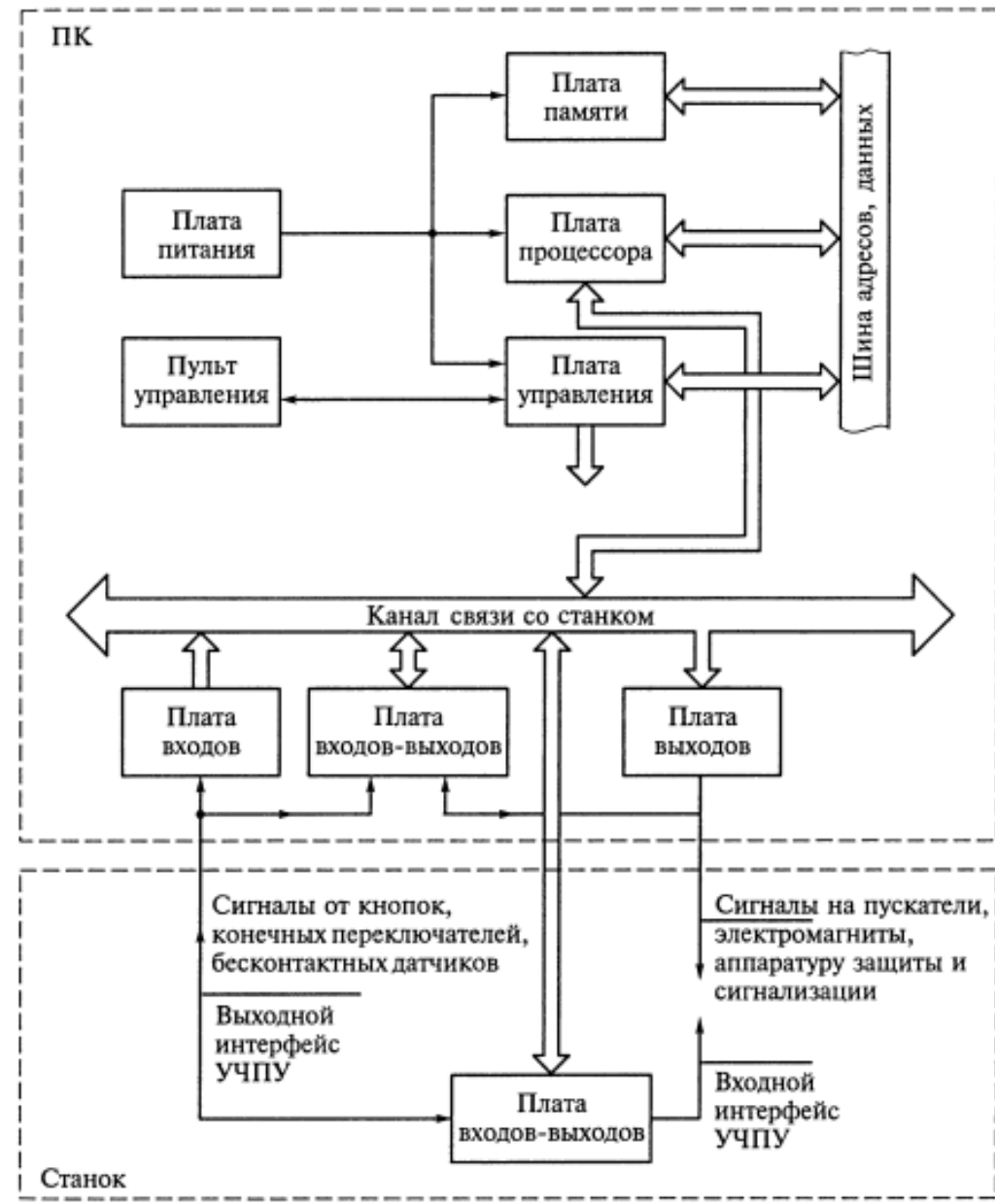


Рис. 2.20. Структурная схема программируемого контроллера (ПК)

Под **системой числового программного управления ЧПУ (СЧПУ)** понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих аппаратных (технологических) и программных средств, обеспечивающих управление станком.

По технологическому назначению СЧПУ подразделяют на позиционные, контурные и комбинированные.

Позиционная СЧПУ обеспечивает установку рабочего органа станка в позицию, заданную УП. Эти системы применяются, например, на станках сверлильно-расточной группы.

Контурная СЧПУ обеспечивает автоматическое перемещение рабочего органа станка по траектории и со скоростью, заданными УП. Особенность контурных систем — наличие в каждый отдельный момент времени функциональной зависимости между скоростями перемещения рабочих органов станка по координатным осям. По сравнению с позиционными контурные СЧПУ отличаются большей сложностью и стоимостью. В

настоящее время они являются наиболее распространенными СЧПУ и используются для управления токарными, фрезерными и другими станками для обработки деталей сложного профиля.

Комбинированная СЧПУ объединяет в себе свойства контурной и позиционной систем, используется в основном для управления многоцелевыми станками.

Основой СЧПУ является устройство ЧПУ (УЧПУ), выдающее управляющие воздействия на рабочие органы станка в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого станка.

Структуры УЧПУ многообразны. В табл. 2.2 приведены наиболее распространенные типы УЧПУ.

УП содержит укрупненное кодированное описание всех стадий геометрического и технологического формообразования изделия. Главное (с информационной точки зрения) в этом описании то, что оно не допускает двусмысленных трактовок.

Табл.2.2 Типы УЧПУ, применяемых на металлорежущих станках

Обозначение		Назначение	Область применения
русское	международное		
УЧПУ	NC (Numerical Control)	Управление обработкой на станке по программе, заданной в кодированном виде (алфавитно-цифровом унитарном коде)	Токарные и фрезерные станки с автоматической сменой режущего инструмента
ОСУ	HNC (Hand NC)	Ручное задание программы на пульте управления (с клавиатуры или других устройств)	Переналаживаемые токарные станки, работающие в условиях мелкосерийного и единичного производства
Компьютерное УЧПУ	CNC (Computer NC)	Система содержит одну или несколько микроЭВМ (микропроцессоров) с программной реализацией алгоритмов	Многоцелевые станки
Система управления группой станков от общей ЭВМ	DNC (Direct Numerical Control)	Осуществляет хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станками (у станков могут быть установлены устройства различных типов, в том числе CNC)	Группа многоцелевых станков, объединенных в ГАУ
УЧПУ на базе ПК	PLC (Programmable Controller)	Выполняет логические функции, в том числе функции релейной автоматики; может входить в состав СЧПУ	Агрегатные станки, АЛ из агрегатных станков
АДУ	AC (Adaptive Control)	Обеспечивает самонастройку режимов резания или автоматическую компенсацию погрешностей. Может входить в состав СЧПУ	Токарные, фрезерные и другие станки

В УЧПУ управляющая информация транслируется, а затем используется в вычислительном цикле, результатом которого является формирование оперативных команд в реальном масштабе времени работы станка.

Станок — основной потребитель управляющей информации, исполнительная часть, объект управления, а в конструктивном отношении — несущая конструкция, на которой смонтированы механизмы с автоматическим управлением, приспособленные к приему оперативных команд от УЧПУ. К числу подобных механизмов относятся прежде всего те,

которые непосредственно участвуют в геометрическом формообразовании изделия: механизмы координатной подачи для различных станков. В зависимости от числа движений, задаваемых механизмами подачи, складывается та или иная система координат обработки — плоская, пространственная трехмерная, пространственная многомерная.

Механизмы подачи требуют в процессе управления наибольшего объема информации и вычислений, поэтому от числа управляемых координат, от сложности геометрической координатной задачи формообразования во многом зависит и сложность УЧПУ в целом. Другими автоматическими механизмами станка являются регулируемый привод главного движения, устройство смены инструмента, зажимные устройства и др.

К УЧПУ сходятся все команды управления автоматическими механизмами станка. Конструктивно УЧПУ представляет собой автономный электронный агрегат, имеющий устройство ввода УП, вычислительную часть, электрический канал связи с автоматическими механизмами станка. Внешний вид УЧПУ во многом определен панелью управления, с которой осуществляется выбор режима управления станком (ручной, наладка, полуавтоматический, автоматический), вносятся необходимые изменения в УП, ведется контроль за выполнением команд и наблюдение за правильной работой самого УЧПУ.

Как правило, УЧПУ, построенное по структуре цифровой модели, состоит из четырех агрегатов (рис. 2.21, а). Устройство ввода осуществляет первичную переработку (дешифровку, контроль, коррекцию, преобразование кодов и др.) вводимой по программе информации. Вычислитель рассчитывает координаты всех промежуточных (между опорными) точек, обеспечивает разгоны и торможения, поддерживает на определенном уровне скорость подачи и др. Блок связи с приводом передает оперативные управляющие команды к исполнительным приводам подачи. Устройство управления организует общий цикл взаимодействия агрегатов.

Устройства, построенные по структуре ЭВМ (рис. 2.21, б), имеют характерные признаки вычислительной машины: универсальный характер блоков и программируемые связи, последовательное выполнение всех операций через центральное арифметическое устройство, наличие оперативного (ОЗУ) и постоянного (ПЗУ) запоминающих устройств.

Для того чтобы универсальное по назначению вычислительное устройство выполняло вполне определенные функции УЧПУ, оно должно быть соответствующим образом запрограммировано. Для этого предусматривается специальное программное математическое обеспечение, представляющее собой комплекс алгоритмов переработки информации, поступающей в виде дополнительной УП. Это математическое обеспечение может вводиться в УЧПУ

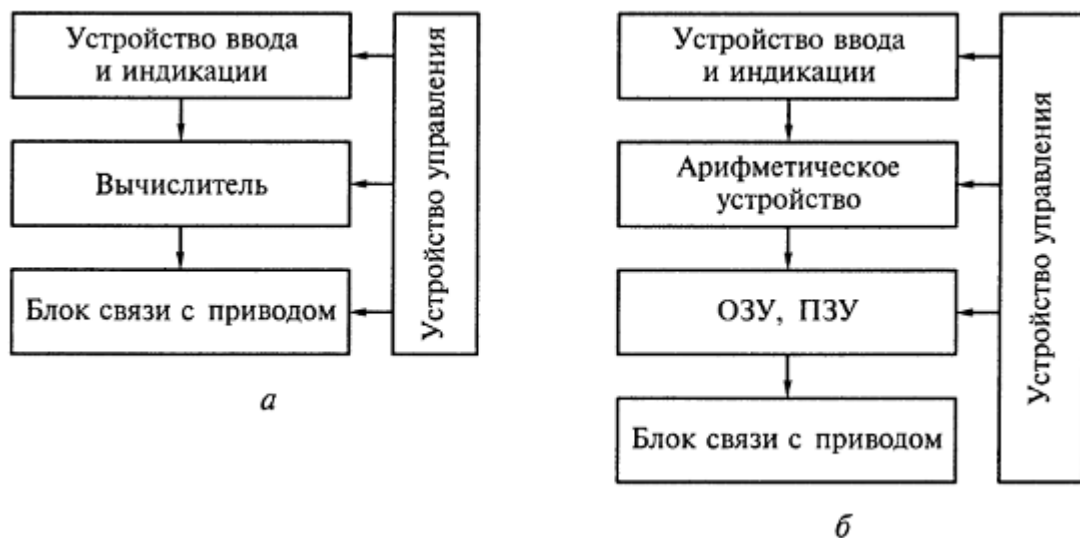


Рис. 2.21. Схемы построения устройств ЧПУ по структуре цифровой модели (а) и по структуре ЭВМ (б): ОЗУ — оперативное запоминающее устройство; ПЗУ — постоянное запоминающее устройство

через устройство ввода, как и основная УП. Тогда УЧПУ относится к классу свободно программируемых.

В иных случаях математическое обеспечение жестко зашито в постоянной памяти УЧПУ на стадии его изготовления. Однако всегда существуют возможности для изменения, дополнения и обогащения математического обеспечения, в силу чего УЧПУ данного типа обладают большой гибкостью и способностью к функциональному наращиванию. В этом несомненное преимущество таких УЧПУ перед устройствами, построенными по структуре цифровой модели.

УЧПУ, построенные по структуре ЭВМ, имеют расширенную оперативную память. В определенных зонах этой памяти можно хранить всю УП целиком (или даже несколько УП). Это дает два важных преимущества: возникают широкие возможности для редактирования УП; из процесса отработки УП исключается покадровое считывание информации, которое несет в себе вероятность сбоев.

Недостатком УЧПУ, построенных по структуре ЭВМ, является последовательный характер выполнения всех операций. По этой причине получают распространение гибридные УЧПУ, в которых часть операций выполняется аппаратным, а часть программным путем.

Трудоемкость подготовки УП особенно возрастает при многопроходном резании, например при обработке прутка. В этой связи перспективна автоматическая подготовка УП. Система автоматической подготовки УП использует ЭВМ для формализованного описания заготовки, детали, станка, приспособлений, инструмента и передачи этой информации на станок в том коде, который предусмотрен его СЧПУ. Разработано более ста автоматизированных систем подготовки УП с помощью ЭВМ, отличающихся назначением и уровнем автоматизации. Подобные системы позволяют повысить производительность труда при подготовке УП в 3 — 10 раз в сравнении с ручной подготовкой.

За последние годы СЧПУ претерпели существенные изменения благодаря использованию ЭВМ в качестве базы. В первую очередь это связано с тем, что появилось огромное число новых технологических функций и, как следствие этого, усложнился и без того сложный язык программирования. Изготовители программного обеспечения пошли по пути создания такого продукта, который не только отвечал бы требуемым качественным параметрам, но и был бы легок в освоении.

Разработаны специальные программы, так называемые оболочки пользователя, которые по сути выполняют роль своеобразных посредников. Опыт внедрения этих программ существенно улучшил сложившуюся ситуацию. Теперь технологу совершенно не обязательно знать все возможности программного языка, ему вполне достаточно владеть довольно простым языком программной оболочки.

Современное УЧПУ должно иметь открытую программно-аппаратную архитектуру с использованием многокоординатных контроллеров промышленного исполнения. Внедрение таких УЧПУ решает ряд существенных проблем. Открытая архитектура позволяет адаптировать систему к станку практически любого типа из существующего станочного парка: и к серийно выпускаемым станкам и их модификациям, и к уникальным станкам и многостаночным агрегатам. При этом в самой конструкции УЧПУ заложены возможности наращивания вычислительной мощности и памяти, а также обучающих, производственных и прочих программных пакетов. Кроме того, данные системы обеспечивают возможность доступа в Интернет, что крайне важно в современных условиях.

Основная тенденция развития автоматизации машиностроения на базе систем ЧПУ заключается в сближении разработчиков УЧПУ и конструкторов станков. Развитие УЧПУ идет по пути слияния различных технологий и выработки комплексных решений, позволяющих максимально удовлетворить постоянно возрастающие требования заказчика. Потенциальному потребителю предлагаются не только отдельные УЧПУ, но и целая сеть автоматизированных устройств.

Очень важна для УЧПУ возможность объединения отдельных станков в группы по организационно-технологическому принципу. На рис. 2.22 приведена принципиальная схема типовой системы управления группой станков с ЧПУ (каждая единица оборудования оснащена компьютером). Типовые системы обеспечивают взаимодействие оператора и оборудования. Персонал, обслуживающий оборудование через сети Интранет и Интернет, имеет также оперативную взаимосвязь для выполнения различных консультативных функций.

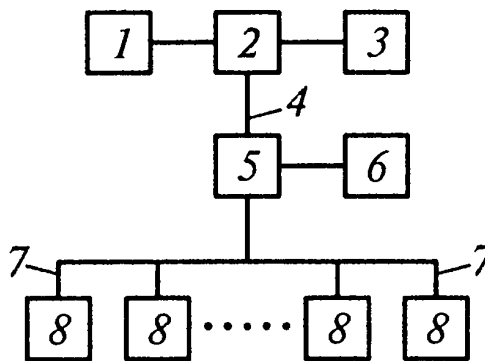


Рис. 2.22. Схема типовой системы управления группой станков:

1 — домашний офис; 2 — персональный компьютер; 3 — рабочий офис; 4 — канал передачи и получения информации через Интернет или Интранет; 5 — сервер системы; 6 — подразделения предприятия; 7 — каналы связи; 8 — технологическое оборудование

Следящие системы управления используются в станках, кроме случая копировальных работ, для синхронизации движения нескольких узлов. Преимущество следящей системы перед другими системами заключается в воспроизведении одним органом перемещений другого при отсутствии механической связи между ними.

Главным элементом следящей системы управления является следящий привод, который представляет собой комплексное устройство на механической, электрической, гидравлической, пневматической или комбинированной основе, обеспечивающее воспроизведение исполнительным механизмом соответствующих движений.

Мгновенную величину фактического значения регулируемого параметра можно представить в виде некоторой выходной функции $\theta_{\text{вых}}(t)$ а заданное значение его — в виде входной функции $\theta_{\text{вх}}(t)$.

Тогда разность $\theta_{\text{вых}}(t) - \theta_{\text{вх}}(t) = \delta(t)$ представляет собой величину рассогласования (ошибки) системы.

Простейшая схема следящего привода состоит из задающего, или командного, механизма — датчика Д и приемного исполнительного устройства П. Движение датчика и воспроизведение этого движения устройством П могут осуществляться по одной или нескольким координатам. В токарных станках контурдетали, обрабатываемой по шаблону, воспроизводится по двум координатам, во фрезерных — по двум или трем.

Следящие приводы можно подразделить на два основных типа: с внутренней обратной связью и с внешней обратной связью.

Следящий привод с внутренней обратной связью характеризуется тем, что при полном снятии нагрузки на приемном устройстве после окончания переходного процесса автоматически устраняется рассогласование между командой и ее исполнением, причем $\delta(t)$ становится равной нулю за счет потенциальной энергии, накопленной в системе при рассогласовании. В этих приводах самосинхронизация происходит без специальных устройств и осуществляется под действием внутренней упругой связи между датчиком и исполнительным устройством.

Следящий привод с внешней обратной связью характеризуется применением специальных чувствительных к рассогласованию устройств, управляющих силовой частью привода. Такие вспомогательные устройства могут быть основаны на электрическом, гидравлическом, пневматическом, механическом или комбинированном принципе связи между командной и исполнительной осями. Чувствительный прибор измеряет положение исполнительного органа, сопоставляет его с заданным значением положения и в случае рассогласования положений управляет исполнительным органом, стремясь свести $\delta(t)$ к нулю.

Адаптивные системы управления, осуществляющие сбор и переработку информации о возмущениях в процессе обработки, являются средством автоматизации высокого уровня, область их применения непрерывно расширяется.

Адаптивными системами могут оснащаться универсальные станки и станки с различной степенью автоматизации, в том числе входящие в автоматические и поточные линии. Одна из наиболее эффективных областей применения адаптивных систем — станки с ЧПУ. Регулируемый привод подач и логические блоки УЧПУ при некоторой модификации могут быть использованы при создании адаптивных систем.

Для станков с ЧПУ задача оптимизации процесса обработки не может быть решена на основе предварительной отработки режимов резания с учетом статистических данных. С помощью ЭВМ не всегда можно учесть непрерывно изменяющиеся входные параметры процесса резания и выбрать оптимальные режимы, например при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов. В связи с этим наиболее целесообразно использовать адаптивные системы управления, которые выполняют функцию регулирования режимов обработки.

Станки с ЧПУ имеют, как правило, весьма высокую точность перемещения рабочих органов. Однако деформации системы СПИЗ (станок — приспособление — инструмент — заготовка) в процессе резания могут значительно превышать погрешности перемещения рабочих органов станка на холостом ходу, что вызывает появление недопустимых погрешностей обработки. Роль защитных функций адаптивных систем особенно возрастает при обработке дорогостоящих деталей. Важно также, что процесс обработки при этом в меньшей степени зависит от оператора.

При управлении группой станков с ЧПУ от ЭВМ целесообразно использовать ЭВМ не только для управления перемещением рабочих органов станков и диспетчеризации, но и для адаптивного управления оборудованием.

На рис. 2.23 приведена классификация адаптивных систем управления станками с ЧПУ.

Наиболее широкое применение находят активные адаптивные системы, позволяющие автоматически управлять точностью в процессе обработки.



Рис. 2.23. Классификация адаптивных систем управления станками с ЧПУ

Адаптивные системы, управляющие параметром динамической настройки, разработаны для универсальных и копировальных станков. Управление параметром может осуществляться различными способами: изменением эквивалентной силы; регулированием величины продольной подачи; изменением геометрии резания, например углов резания; наложением на режущий инструмент управляемых высокочастотных колебаний; регулированием жесткости системы СПИЗ. В станках с ЧПУ применение указанных способов не вызывает существенных дополнительных затрат, так как для их реализации могут использоваться регулируемые приводы станков и логические возможности СЧПУ.

Адаптивные системы, управляющие параметром статической настройки для станков с ЧПУ, оснащены приводами различных типов (шаговыми, следящими и др.). Принцип работы систем — регулирование расстояния между режущей кромкой (кромками — для многолезвийной обработки) инструмента и базой станка.

Для управления технологическим процессом необходимо во время обработки непрерывно или с некоторой периодичностью измерять параметры процесса резания: силу, крутящий момент на шпинделе, мощность, износ инструмента, температуру, вибрации и т.д.

Для измерения составляющих R_x , R_y и R_z силы резания разработан ряд двух- и трехкомпонентных механических измерительных устройств, например индуктивные датчики с блоками усиления.

Адаптивные системы управления режимами резания применяются в основном на станках с ЧПУ. Наилучшие результаты обеспечивают многоконтурные адаптивные системы управления скоростью и подачей по определенной стратегии в соответствии с принятым критерием оптимизации.

На рис. 2.24 приведена структурная схема адаптивной системы фрезерного станка. Система реагирует на отклонение реальных условий обработки от идеализированных (средних), принимаемых в расчетах, и поддерживает заданный уровень оптимальной температуры резания автоматически путем изменения величины подачи.

Снимаемое датчиком 4 значение термоЭДС поступает в блок 5, где сравнивается с установленным задатчиком 6 оптимальным значением термоЭДС. Сигнал

рассогласования после усиления поступает в устройство 7 регулирования подачи. Блок 1 задания программы через привод 2 станка отрабатывает управляющий сигнал, изменяя подачу до тех пор, пока значение термоЭДС не станет равным заданному.

Станки с ЧПУ оснащают также **адаптивными системами, управляющими и точностью обработки, и режимами резания**. Опыт разработки и эксплуатации показывает, что во многих случаях регулирование только режимов резания не позволяет получить желаемого эффекта, так как из-за введения ограничений по деформации упругой системы СПИЗ обработка не может выполняться оптимально. Прежде всего это относится к адаптивным системам станков, жесткость системы СПИЗ которых мала. Например, деформации концевых фрез при обработке на фрезерных станках с ЧПУ достигают 0,5... 1,5 мм. Для их коррекции вводят второй контур, управляющий точностью обработки. При этом успешно решаются две задачи: оптимизации режимов резания, поскольку ограничения по деформации системы СПИЗ снимаются, и повышения точности и производительности обработки, так как уменьшается число проходов. Чаще всего системы такого вида бывают двухконтурными: один контур управляет режимами резания с целью повышения эффективности процесса, а другой — точностью обработки.

Выбор токарно-фрезерного оборудования

На рынке в настоящее время предлагаются 3 основных варианта оборудования:

1. Бюджетные станки.

Приобретаются с целью минимизировать затраты предприятия за счет снижения стоимости основных средств

- Маломощны и ограничены в возможностях, т.к. производитель оборудования также заинтересован в уменьшении своих расходов.
- Повышение требований к обрабатываемым изделиям (точность, качество, повторяемость и т.д.).
- Имеют сварные станины, что делает их конструкцию менее жёсткой.
- Подшипники в них не рассчитаны на большие обороты и нагрузки.
- Применяются более слабые и менее точные конусы (BT 30) и сечения токарных резцов 20х20.
- Хорошо подходят для мелкосерийного или опытного производства.



Рис.2.24

2. Стандартные станки.

Представлены уже в более дорогой ценовой группе.

- Литые станины, надёжная гидравлика, более мощные привода. Имеют сварные станины, что делает их конструкцию менее жёсткой.
- Возможность работать на более прогрессивных режимах резания. Применяются более слабые и менее точные конусы (BT 30) и сечения токарных резцов 20х20.
- На этих станках можно прогнозировать стабильный рост производства.



Рис.2.25

- Обработка изделия занимает в разы меньше времени, чем на бюджетном станке.
- Переналадка по времени одинакова с бюджетным станком.

3. Специализированные станки.

Дорогое оборудование, предназначенное для изготовления единственного вида изделия.

- Минимальные затраты машинного времени.
- Очень быстрая переналадка.
- Конструкция и расчётная мощность позволяют работать на высоких режимах.
- Возможность построения поточных линий.
- Высокая прибыльность применения.
- Сложная переналадка на выпуск других изделий.
- Требуется массовых заказов.



Рис.2.26

Универсальный фрезерный станок AVIA FOP FNE 40P (Польша / Германия)

Особенности

- Наличие Устройства Цифровой Индикации (УЦИ) для точных работ,
- Размещение панели управления на консоли, которая может быть перемещена в удобное для работы место,
- Прямое бесступенчатое регулирование подач и скорости вращения шпинделя,
- Точные шарико-винтовые пары во всех трех осях,
- Закрытая рабочая зона,
- Вертикальный и горизонтальные шпиндели.

Лекция 2.5

2.10. Термические процессы

2.10.1. Контактная сварка

Контактная сварка — это процесс, при котором неразъемное соединение образуется в результате нагрева металла вследствие прохода через него тока, а также пластической деформации под действием усилия на сжатие зоны соединения.

Оборудование

Впервые стыковую сварку в 1856 году применил английский физик У.Томсон. Элих Томсон в 1877 году самостоятельно разработал метод стыковой сварки и успешно внедрил ее в промышленность. В России Н. Бенардос изобрел метод контактной точечной и роликовой (шовной) сварки в 1977 году. В промышленности России контактная сварка начала использоваться в 1935 году, после начала серийного выпуска контактных сварочных агрегатов.

Преимущества контактной сварки:

- Высокая производительность процесса (время сварки точки или стыка составляет 0,02...1,0с)
- Малый расход вспомогательных материалов, таких как вода и воздух
- Высокое качество и надежность сварных соединений при малых управляемых параметрах режима, что снижает требования к квалификации персонала
- Процесс легко поддается механизации и автоматизации.

Основные способы контактной сварки — это точечная, шовная (роликовая) и стыковая сварка.

Оборудование для контактной сварки бывает стационарным, передвижным и подвесным (сварочные клещи). По виду тока в сварочном контуре различают машины переменного или постоянного тока от импульса, выпрямляемого в первичной цепи трансформатора или от разряда конденсатора сварочного аппарата. Также различают машины по способу сварки — для точечной, рельефной, стыковой и шовной сварки.

Любой аппарат для контактной сварки состоит из механической и электрической частей, гидро- или пневмосистемы, системы водяного охлаждения (рис. 2.27).

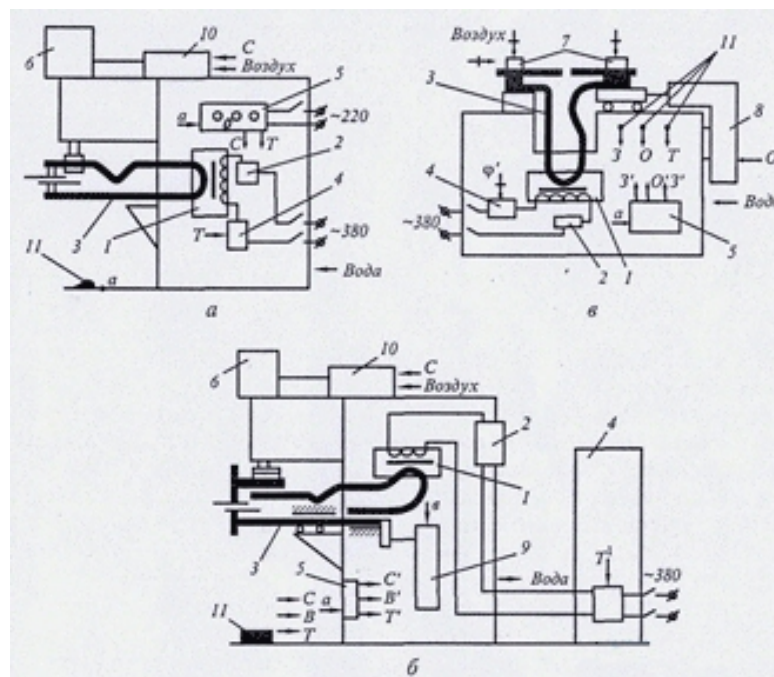


Рис.2.27

Электрическая часть состоит из силового сварочного трансформатора (1) с переключателем ступеней (2) его первичной обмотки, при помощи чего регулируется вторичное напряжение, вторичного сварочного контура (3) для подвода сварочного тока к свариваемым деталям, прерывателя (4) первичной цепи сварочного трансформатора (1) и регулятора (5) цикла сварки, обеспечивающего установленную последовательность операций в цикле, а также параметров сварочных режимов.

Механическая часть включает в себя привод сжатия (6) точечных и шовных машин, привод (7) сжатия деталей и привод (8) осадки деталей стыковых машин. Шовные машины оснащены приводом (9) вращения роликов.

Пневмогидравлическая система состоит из аппаратуры подготовки (10) – фильтры и лубрикаторы, аппаратуры регулирования – редукторы, манометры, дроссельные клапана, аппаратуры подвода воздуха к приводу (6) – электропневматические клапана, запорная арматура, штуцера.

Система водяного охлаждения включает в себя штуцера для разводящей и приемной гребенок, охлаждаемых водой в полости трансформатора (1) и вторичном контуре (3), подводные шланги, запорную арматуру, гидравлическое реле, на случай аварийного отключения при отсутствии воды или ее недостаточном количестве.

Все аппараты оснащены органом включения (11). У точечных и шовных машин орган включения – ножная педаль с контактами, у стыковых – комплект кнопок. От органов управления выходят команды на сжатие электродов или зажатие деталей, включение и отключение сварочного тока, вращение роликов, включения регулятора цикла сварки. Эти команды обрабатываются соответствующими машинными блоками, обеспечивая операцию сварки.

Кроме универсальных аппаратов, применяются специальные машины разработанные для сварки определенных конструкций и типов размеров деталей. Таким примером служат машины для контактной сварки кузовных частей автомобилей, встроенные в автоматические линии.

Электроды в контактной сварке используют для замыкания вторичного контура через свариваемые детали и удерживают детали в процессе нагрева и осадки.

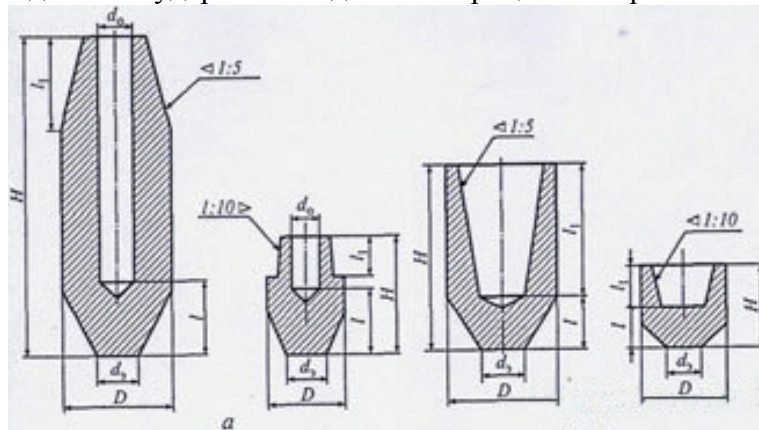


Рис.2.28

Важнейшие характеристики электродов – это стойкость и способность сохранять изначальную форму и размеры, а также свойства при нагреве рабочей поверхности электрода до температуры около 6000°C и ударными усилиями на сжатие до 5кг/мм^2 . Электроды для точечной сварки – сменный и быстроизнашивающийся инструмент. Для их изготовления используется медь и жаропрочные медные сплавы, так называемые бронзы. Это могут быть кадмиевая БрКд1 бронза, хромоциркониевая бронза БрХЦрА; ; хромистая БрХ; легированная никелем, титаном и бериллием БрНТБ или кремний-никелевая бронза БрКН-1-4. БрНТБ и БрКН-1-4 обладают повышенной износостойкостью. Из них производят электроды-губки для стыковых аппаратов. Материалы, из которых изготавливают электроды, должны обладать высокой электропроводностью и

теплопроводностью, чтобы нагрев их в процессе сварки был меньше. Температура разупрочнения бронз не превышает 0,5 от температуры плавления, а рабочая поверхность электродов нагревается до 0,6 температуры плавления. При таких условиях бронзы достаточно быстро разупрочняются. Используя технологические факторы, можно значительно повысить износостойкость электродов. Сварку магниевых и алюминиевых сплавов лучше осуществлять на конденсаторных машинах. Расстояние от рабочей поверхности до канала охлаждения (рис.2) не должно быть более 10-12мм. К примеру, увеличение расстояние до 15мм увеличивает износ электродов в 2 раза. За счет сферической заточки электродов и уменьшения скорости сварки до 40-60 точек в минуту, можно снизить расход электродов почти в 5 раз при сварке черных металлов.

Электрод должен обладать минимальной массой, надежно и удобно закрепляться в сварочной машине. Диаметр D должен обеспечить устойчивость электрода от изгиба при сжатии электрода во время сварки, а также обеспечить возможность захвата электрода для снятия. Внутренний диаметр обычно $d_0 = 8$ мм должен обеспечивать ввод трубки с водой для охлаждения и беспрепятственный вывод воды. Конусная часть для закрепления электрода в свече $l_1 \leq 1,2 D$. При $D < 25$ мм угол конусности должен составлять 1:10, а при $D > 32$ мм угол конусности должен быть 1:5. В зависимости от толщины кромок свариваемых деталей выбирается диаметр рабочей части электрода согласно формуле $d_3 = 3S$. Стойкость электрода с наружным посадочным конусом (рис.2,а) составляет около 20 тыс. сварок. Колпачковые электроды (рис. 2,б) рассчитаны на 100 тыс. сварок, поскольку у них лучше показатели охлаждения. Для сварки деталей со сложной конфигурацией используются фигурные электроды.

Для рельефной сварки, электроды конструктивно приближают к форме детали. В простом случае, это плиты с плоской рабочей поверхностью.

Токоведущие губки на стыковых машинах по размеру и форме должны соответствовать поперечному сечению свариваемых деталей. Глубину губок на стыковых аппаратах выбирают таким образом, чтобы обеспечивалась соосность деталей и отсутствовала возможность проскальзывания при осадке. При сварке стержней губка должна быть 3-4 диаметра стержней, а при сварке полос – не меньше чем 10 толщин полосы.

Электроды-ролики шовных аппаратов изготавливают в форме дисков. Ширина и толщина рабочей поверхности зависят от толщины свариваемого изделия.

Подготовка поверхности для контактной сварки должна соответствовать трем основным требованиям: к контакте деталь-электрод должно обеспечиваться наименьшее электрическое сопротивление $K_3-d \rightarrow \min$, в контакте деталь-деталь электрическое сопротивление должно быть равным по всей площади контакта. Свариваемые поверхности деталей должны быть ровными, а стыки должны совпадать.

Способ подготовки поверхности поверхностей определяется исходя из материала детали, первоначальным состоянием и характером производства. Для штучного или мелкосерийного производства нужно предусмотреть операции по правке, рихтовке, обезжиривания, травления, зачистки и механической обработке. При крупносерийном и массовом производстве, где качество исходных материалов обеспечивается в заготовительных и штампопрессовых цехах, подготовка перед сваркой может и не проводиться. Исключение составляют изделия из сплавов алюминия, требующие обработки поверхностей не ранее чем за 10 часов до сварки.

Оценкой качества подготовки рабочей поверхности служит величины контактных сопротивлений R_3-d и R_d-d . Для измерения этих величин между электродами сварочного аппарата зажимают детали, но сварочный ток при этом не включают. Сопротивление измеряется при помощи щупов микроомметром. Сопротивление более мкОм для сталей говорит о плохом качестве подготовки поверхности. Высокое сопротивление R_3-d приводит к излишнему нагреву электродов и подплавлению поверхности изделия, что

приводит к наружному и внутреннему выплеску металла и образованию чрезмерной вмятины под электродами.

Основными параметрами режима для всех методов контактной сварки являются сила сварочного тока, длительность импульса тока и усилие при сжатии деталей. Теплота металла при сварки выделяется вследствие прохождения через металл импульса тока $I_{св}$ длительностью t , согласно закону Джоуля - Ленца:

$$Q = I_{св}^2 R_{св} t,$$

где $R_{св}$ – сопротивление столбика металла между электродами.

При расчетах сварочного тока и времени импульса для сварочного трансформатора, $R_{св}$ является исходным параметром, ввиду того, что его можно рассчитать, зная материал изделия, толщину металла и необходимую температуру сварки. При расчете сопротивлением в контакте между деталями и сопротивлением между электродом и деталями можно пренебречь.

В соответствии с законом Джоуля – Ленца, увеличение $R_{св}$ должно увеличивать количество выделяющейся теплоты, однако исходя из закона Ома

$$I_{св} = U_2 / Z,$$

где, U_2 – это напряжение на вторичном контуре сварочного аппарата, Z – это полное сопротивление на вторичном контуре, в которое также входит $R_{св}$.

Вследствие этого, при увеличении значения $R_{св}$ значение $I_{св}$ уменьшится, а $I_{св}$ входит в формулу закона Джоуля – Ленца в квадрате. Следовательно, увеличение значения $R_{св}$ не всегда приводит к увеличению выделяющейся теплоты. Выделяющаяся при сварке теплота во многом зависит от соотношения величины $R_{св}$ и полного сопротивления на вторичном контуре.

Из этой теоретической части можно сделать несколько практических выводов. С увеличением общего сопротивления на вторичном контуре с 50 до 500 мкОм, тепловыделение в зоне сваривания, при уменьшении $R_{св}$, снижается ~ в 10 раз. Недостаток тепла при этом, компенсируется увеличением мощности U_2 или временем сварки деталей. Контактная сварка на аппаратах с небольшим сопротивлением вторичного контура (около 50 мкОм) сопровождается интенсивным увеличением нагрева при уменьшении $R_{св}$, в процессе увеличения сварного ядра.

Нагрев достигает максимума при $R_{св} = Z$ и по мере снижения $R_{св}$ уменьшается. Отсюда следует, что контактная сварка на аппаратах с малым сопротивлением на вторичном контуре, коих большинство, сопровождается нестационарным нагревом, что ведет к нестабильному качеству соединений. Снизить это можно качественным сжатием хорошо подготовленных деталей, что приведет к поддержке величины $R_{св}$ на минимальном уровне, потому как высокий уровень $R_{св}$ поддерживается за счет слабого сжатия изделий и разделении импульса сварочного тока на короткие импульсы. Поддержание $R_{св}$ на минимальном уровне позволяет экономить энергию, а также обеспечивает точное соединение с остаточной деформацией не более 2-5%.

При сварке на аппаратах большого сопротивления на вторичном контуре (более 500 мкОм), снижение величины $R_{св}$ практически не влияет на выделенную теплоту, нагрев при этом остается стационарным. Это характерно для сварки на подвесных сварочных аппаратах с длинным кабелем вторичного контура. Сварные соединения обладают стабильным качеством.

Качество соединений, полученных при контактной сварке, определяется изначальным качеством поверхности, корректным выбором параметров режима и стабильностью этих параметров. Размер ядра сварной точки является основным показателем качества для точечной и шовной сварки. Для всех металлов диаметр ядра должна быть равен 3 толщинам S менее толстого свариваемого листа. Разброс глубины проплавления допускается в пределах от 20 до 80%. Если глубина проплавления менее 20%, то следует непровар, если более 80% – выплеск. Глубина вмятины электрода должна быть не более

0,2 S. В точечных и шовных соединениях размер нахлестки должна находиться в пределах 2,5...5,0 диаметров ядра.

Основные дефекты при точечной и шовной сварке:

- Непровар
- Заниженный размер ядра
- Усадочные раковины в литом ядре
- Выплеск
- Трещины
- Рыхлости

Причинами таких дефектов являются неправильный нагрев зон сварки, плохая подготовка поверхности, плохая сборка деталей, неправильные режимы сварки.

По вышеперечисленным причинам при стыковой сварке могут также возникать непровары. Перегрев в зоне сварки может вызвать структурное изменение сталей и их обезуглероживание. Это снижает механические свойства полученных соединений.

Контроль качества при контактной сварке происходит при помощи внешнего осмотра, а также любым способом неразрушающего контроля. Трудность такого контроля – непровар не проявляется, поскольку поверхности свариваемых деталей прижаты друг к другу, а в зоне контакта появляется «склейка», в которой ультразвук, проникающие излучения и магнитное поле не отражаются и не слабеют. Самый оперативный метод контроля – разрушение контрольного образца механическим способом. При отсутствии непровара, разрушение проходит по металлу одной из свариваемых деталей. При этом способе проверки можно также измерить диаметр сварного ядра для точечной и шовной сварки.

2.10.2. Точечная сварка

Основной тип сварного соединения, получаемого при точечной сварке – нахлесточное (рис. 2.29).

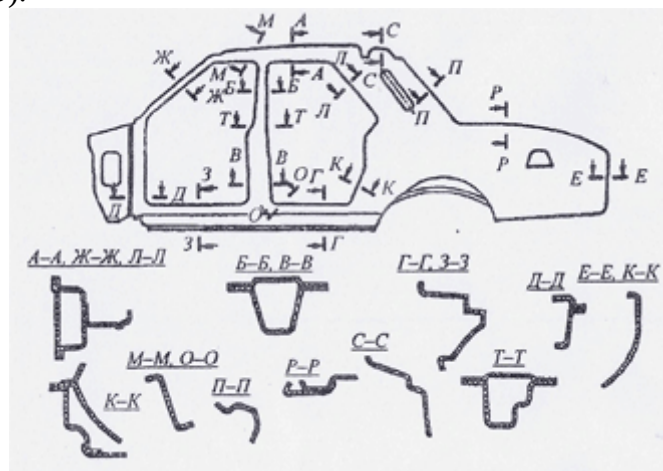


Рис. 2.29. Схема нахлесточных соединений боковины кузова легкового автомобиля

Свариваемые детали 1 (рис. 2.30) собираются внахлест и зажимаются с усилием $F_{св}$ между электродами 2 проводящими ток силой несколько десятков кА к месту сварки от источника электроэнергии 3 невысокого напряжения (около 3-8 В). Детали нагреваются импульсом тока продолжительностью 0,01–0,5 с до появления расплавленного металла в зоне контакта 4. Нагрев происходит с пластической деформацией металла и образованием уплотняющего пояска 5, который предохраняет жидкий металл от всплеска и взаимодействия с воздухом.

Теплота, используемая при сварке, выделяется при прохождении тока непосредственно в деталях, контактах между ними и контактах деталей с электродами и зависит от сопротивления между электродами. Сопротивление самих электродов должны быть небольшими, поскольку выделяющаяся в них теплота не участвует в процессе сварки. Сечение электродов должно быть относительно большим, а материал

электродов — обладать хорошей электропроводностью и теплопроводностью. Электроды для точечной сварки изготавливаются главным образом из меди и её сплавов.

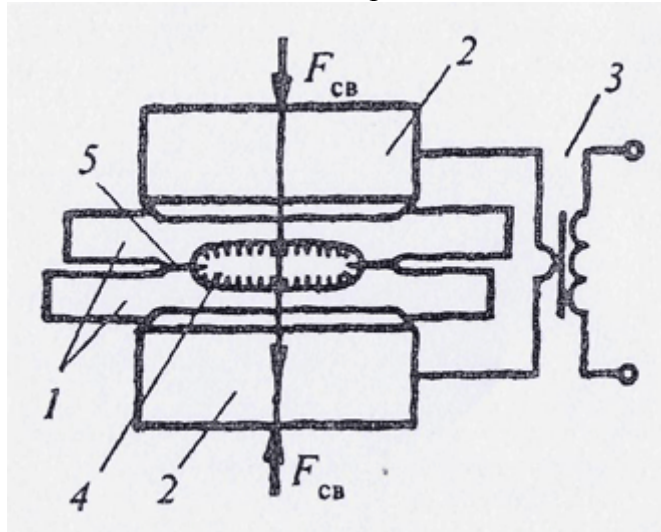


Рис. 2.30. Схема точечной сварки

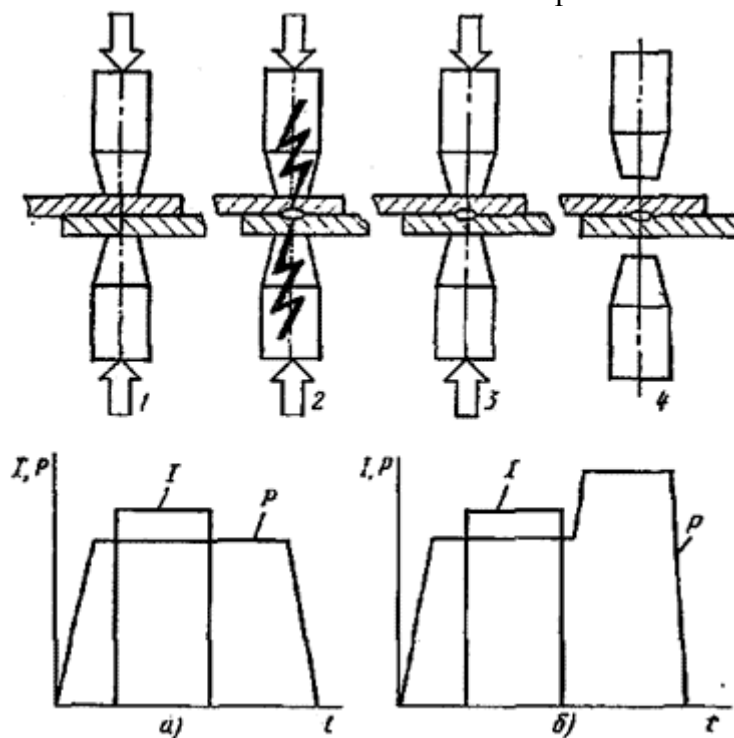


Рис. 2.31. Стадии цикла и циклограммы точечной сварки

а — без увеличения давления; б — с увеличением давления при проковке; 1 — сжатие деталей; 2 — включение тока; 3 — проковка; 4 — снятие давления с электродов

Перед процессом сварки контактные поверхности деталей зачищаются металлической щеткой, пескоструйной обработкой или травлением и обезжиривают растворителями. Это необходимо для обеспечения стабильного процесса сварки, который зависит от постоянства контактного сопротивления.

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть двусторонней (рисунок 2.31) и односторонней (рисунок 2.32). При односторонней сварке ток течет через верхний 3 и нижний 4 листы, но нагрев места контакта происходит только за счет тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения этого тока снизу располагают токопроводящую медную подкладку 5. Одновременно происходит образование двух точек.

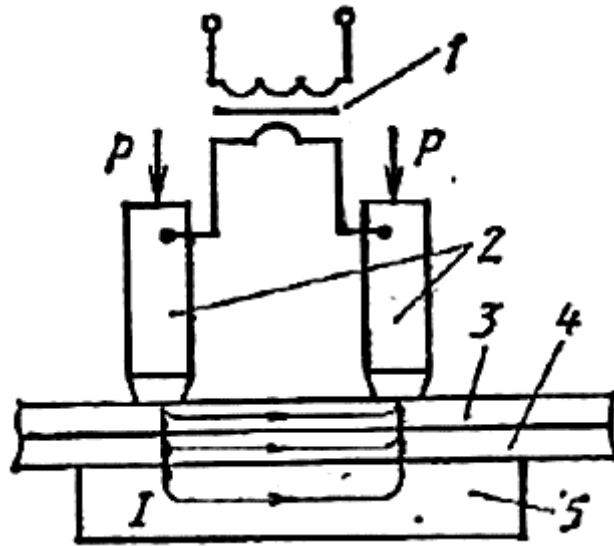


Рис. 2.32. Схема односторонней точечной сварки: 1 — сварочный трансформатор; 2 — электроды; 3 — верхняя заготовка; 4 — нижняя заготовка; 5 — медная подкладка

Режим точечной сварки может быть мягким или жестким.

Мягкий режим характеризуется плавным нагревом заготовок сравнительно небольшим током. Время протекания тока обычно 0,5 — 3 с. Мягкие режимы применяют для сварки сталей, склонных к закалке.

Жесткие режимы осуществляют при малой продолжительности (0,1 — 1,5 с) тока относительно большой силы. Давление электродов также большое. Эти режимы применяют при сварке алюминиевых и медных сплавов, обладающих высокой теплопроводностью, а также высоколегированных сталей с целью сохранения коррозионной стойкости: на мягких режимах возможно обеднение металла хромом за счет образования карбидов хрома.

Точечную сварку широко используют для изготовления штамповарных конструкций. Толщина свариваемых металлов в среднем составляет 0,5–8 мм.

Для осуществления процесса точечной сварки применяют специальные машины контактной сварки (рис. 2.33), которые в процессе работы выполняют две основные функции — сжатие и нагрев соединяемых деталей. В конструкции любой машины условно можно выделить механическое и электрическое устройства.

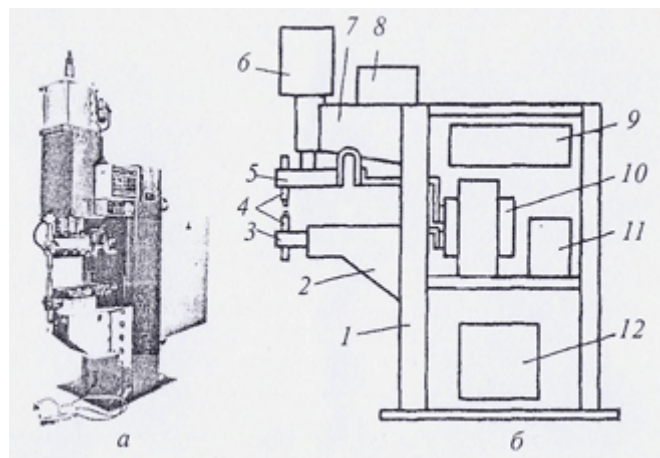


Рис. 2.33. Общий вид машины точечной сварки (а) и её основные узлы (б)

Основной частью механического устройства машины для точечной сварки (рис. 3, б) служит корпус 1, на котором закреплены нижний кронштейн 2 с нижней консолью 3 и электрододержателем 4 с электродом и верхний кронштейн 7. Нижний кронштейн 2 обычно выполняют переставным или передвижным (плавно) по высоте, что дает возможность регулировать расстояние между консолями в зависимости от формы и размера свариваемых деталей.

На верхнем кронштейне установлен пневмопривод усилия сжатия электродов 6, с которым соединена верхняя консоль 5 с электрододержателем 4. Для управления работой пневмопривода на машине установлена соответствующая пневмоаппаратура 8. Привод усилия может быть также пневмогидравлическим, гидравлическим и др. Корпус, верхний и нижний кронштейны и консоли воспринимают усилие, развиваемое пневмоприводом, и поэтому должны иметь высокую жесткость.

Электрическая часть машины состоит из сварочного трансформатора 10 с переключателем ступеней 11, контактора 12 и блока управления 9. Часто аппаратура управления смонтирована в отдельном шкафу управления. Контактёр 12 подключает сварочный трансформатор к электрической питающей сети и отключает его.

Электрическое устройство машины предназначено для обеспечения необходимого цикла нагрева металла в зоне сварки. К электрическому устройству относится также вторичный контур машины, который образуют токоподводы, идущие от трансформатора к свариваемым деталям. Ток от трансформатора через жесткие и гибкие шины подводится к верхней 5 и нижней 3 консолям с электрододержателями 4. Консоли и электрододержатели с электродами участвуют в передаче сварочного тока и усилия и поэтому одновременно являются частями электрического и механического устройств машины.

Все части вторичного контура изготавливают из меди или медных сплавов, имеющих высокую электропроводность. Большинство элементов вторичного контура, сварочный трансформатор и контактор имеют внутреннее водяное охлаждение.

2.10.3. Автоматическая сварка под флюсом

Сущность процесса сварки под флюсом

При этом способе сварки электрическая дуга горит под зернистым сыпучим материалом, называемым сварочным флюсом (рис. 2.34).

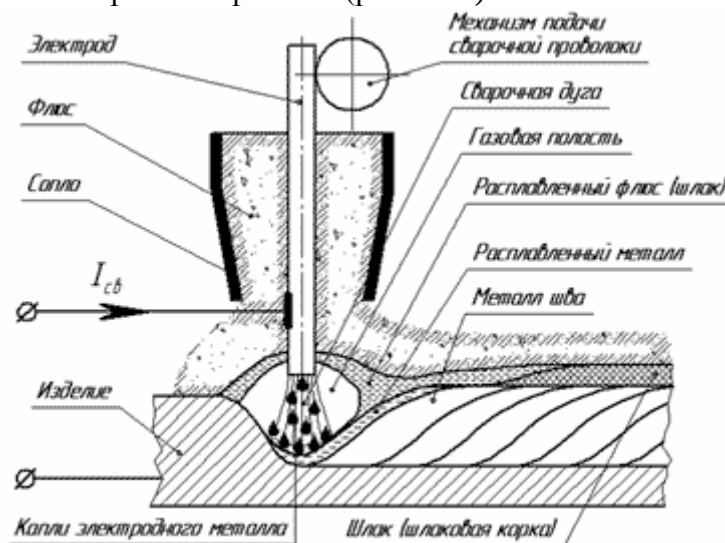


Рис. 2.34. Схема сварки под флюсом

Под действием тепла дуги расплавляются электродная проволока и основной металл, а также часть флюса. В зоне сварки образуется полость, заполненная парами металла,

флюса и газами. Газовая полость ограничена в верхней части оболочкой расплавленного флюса. Расплавленный флюс, окружая газовую полость, защищает дугу и расплавленный металл в зоне сварки от вредного воздействия окружающей среды, осуществляет металлургическую обработку металла в сварочной ванне. По мере удаления сварочной дуги расплавленный флюс, прореагировавший с расплавленным металлом, затвердевает, образуя на шве шлаковую корку. После прекращения процесса сварки и охлаждения металла шлаковая корка легко отделяется от металла шва. Не израсходованная часть флюса специальным пневматическим устройством собирается во флюсоаппарат и используется в дальнейшем при сварке.

Достоинства способа:

- Повышенная производительность;
- Минимальные потери электродного металла (не более 2%);
- Отсутствие брызг;
- Максимально надёжная защита зоны сварки;
- Минимальная чувствительность к образованию оксидов;
- Мелкочешуйчатая поверхность металла шва в связи с высокой стабильностью процесса горения дуги;
- Не требуется защитных приспособлений от светового излучения, поскольку дуга горит под слоем флюса;
- Низкая скорость охлаждения металла обеспечивает высокие показатели механических свойств металла шва;
- Малые затраты на подготовку кадров;
- Отсутствует влияния субъективного фактора.

Недостатки способа:

- Трудозатраты с производством, хранением и подготовкой сварочных флюсов;
- Трудности корректировки положения дуги относительно кромок свариваемого изделия;
- Неблагоприятное воздействие на оператора;
- Нет возможности выполнять сварку во всех пространственных положениях без специального оборудования.

Области применения:

- Сварка в цеховых и монтажных условиях
- Сварка металлов от 1,5 до 150 мм и более;
- Сварка всех металлов и сплавов, разнородных металлов.

Пути повышения производительности:

- Сварка (наплавка) независимой дугой, горящей между двумя электродами (к изделию ток не подводят); при большом расстоянии от дуги до поверхности изделия основной металл вообще не проплавляется.
- Сварка трёхфазной дугой, при которой глубина проплавления зависит от соотношения токов в дугах, горящих между электродами и изделием.
- Сварка разнородными дугами. Питание дуги между электродами и изделием осуществляется при этом постоянным током, а дуги между электродами — переменным током.
- Однофазная двухэлектродная наплавка, основанная на питании электродов и изделия от концов и середины вторичной обмотки сварочного трансформатора.
- Наплавка с подачей присадочной проволоки в дугу (к проволоке ток не подводят).
- Сварка (наплавка) по подкладке из металла требуемого химического состава и выполняющую функции теплопоглощения сварочной дуги и повышения коэффициента наплавки.
- Сварка комбинированной дугой (зависимой и независимой, горящей между основным и дополнительным электродами).
- Сварка расщеплённым электродом.
- Сварка (наплавка) ленточным электродом.
- Сварка многодуговая:

- о в общую ванну;
- о в разделённые ванны.

2.10.4. Плазменная сварка

Плазменная дуга характеризуется весьма высокой температурой (до 30000 °С) и широким диапазоном регулирования её технологических свойств.

По-сравнению с аргонодуговой сваркой в связи с более высокой проплавляющей способностью плазменная сварка имеет следующие преимущества:

- повышенную производительность;
- меньшую зону термического влияния;
- более низкие деформации при сварке;
- пониженный расход защитных газов;
- более высокую стабильность горения дуги;
- меньшую чувствительность качества шва от изменения длины дуги (ввиду её неизменной геометрии по длине (рисунок 2.35).



Рис.2.35. Плазменная (сжатая) дуга, горящая на графит

Для получения плазменной дуги служит устройство, называемое плазмотроном. Существует два способа подключения плазмотрона для генерации дуги прямого действия (рисунок 2.36,а) и для генерации дуги косвенного действия, называемой плазменной струей (рисунок 2.36,б).

Плазмотроны, подключаемые для генерации дуги называют плазмотронами прямого действия, а для генерации плазменной струи косвенного действия. Чаще плазмотроны косвенного действия конструктивно отличаются от плазмотронов прямого действия системой охлаждения соплового узла плазмотрона, у первых она более эффективна.

В плазмотронах прямого действия плазменная дуга возбуждается между стержневым (как правило, вольфрамовым) электродом, вмонтированным в газовую камеру, и свариваемым изделием. Сопло электрически нейтрально от электродного (катодного) узла и служит для сжатия и стабилизации дуги.

В плазмотронах косвенного действия плазменная дуга создается между электродом и соплом, а поток плазмы выдувает плазменную струю.

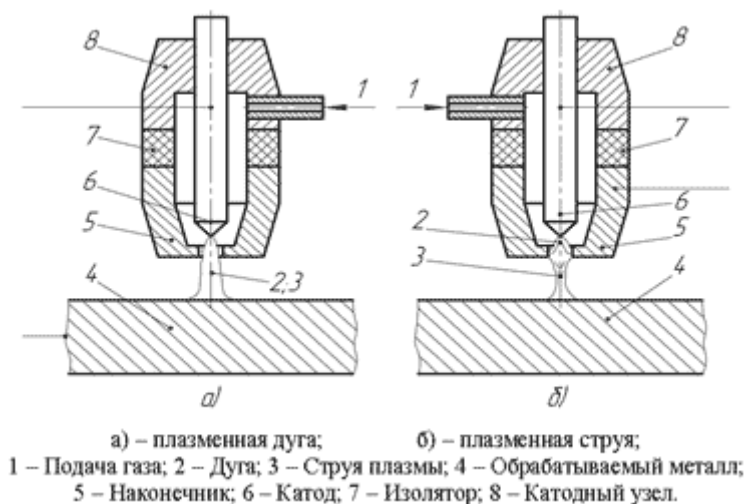


Рис. 2.36. Схемы плазмообразования

Для плазменной сварки металлов обычно применяют плазмотроны с дугой прямого действия.

Сжатие столба дуги происходит следующим образом: рабочий газ, проходящий через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде плазменной струи.

Плазменная дуга прямого действия имеет почти цилиндрическую форму, немного расширяющуюся у поверхности изделия.

Плазменная дуга косвенного действия (струя) имеет форму ярко выраженного конуса с вершиной, обращенной к изделию и окруженной факелом. Слой газа, омывающий столб дуги снаружи, остается относительно холодным, образуя тепловую и электрическую изоляцию между плазменной дугой и каналом сопла. Плотность тока дуги в плазмотронах достигает 100 А/мм^2 , а температура $15000 - 30000^\circ\text{C}$.

Плазменная струя, истекающая из плазмотрона с дугой прямого действия, совмещена со столбом дуги в отличие от плазмотронов с дугой косвенного действия и поэтому характеризуется более высокой температурой и тепловой мощностью.

Процесс возбуждения дуги непосредственно между электродом и изделием осуществить очень трудно. В связи с этим сначала возбуждается дуга между электродом и соплом (дежурная), а затем при касании её факела изделия происходит автоматическое зажигание основной дуги между электродом и изделием. Дежурная дуга при устойчивом процессе горения основной дуги отключается. Дежурная дуга обычно питается от того же источника, что и основная, через токоограничивающие сопротивления.

В плазмотронах с дугой прямого действия в изделие вводится дополнительное тепло за счет электронного тока и КПД их значительно выше, чем у плазмотронов с дугой косвенного действия. В связи с этим плазмотроны с дугой прямого действия целесообразно применять для сварки, резки, наплавки, а плазмотроны с дугой косвенного действия для напыления, нагрева и т.п.

Плазменная дуга может быть использована:

- при сварке тонколистового материала толщиной менее 1 мм, включая тугоплавкие металлы;
- при сварке металлов с неметаллами;
- для наплавки и нанесения покрытий путем расплавления электронной или дополнительно подаваемой в дугу присадочной проволоки;
- для пайки;
- разделительной резки и поверхностной обработки различных металлов.

2.10.5. Газовая сварка

Газопламенная обработка металлов — это ряд технологических процессов, связанных с обработкой металлов высокотемпературным газовым пламенем.

Газовая сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей деталей производится пламенем газов, сжигаемых на выходе из горелки для газовой сварки.

Газовое пламя чаще всего образуется в результате сгорания (окисления) горючих газов технически чистым кислородом (чистота не ниже 98,5%). В качестве горючих газов используют ацетилен, водород, метан, пропан, пропанобутановую смесь, бензин, осветительный керосин.

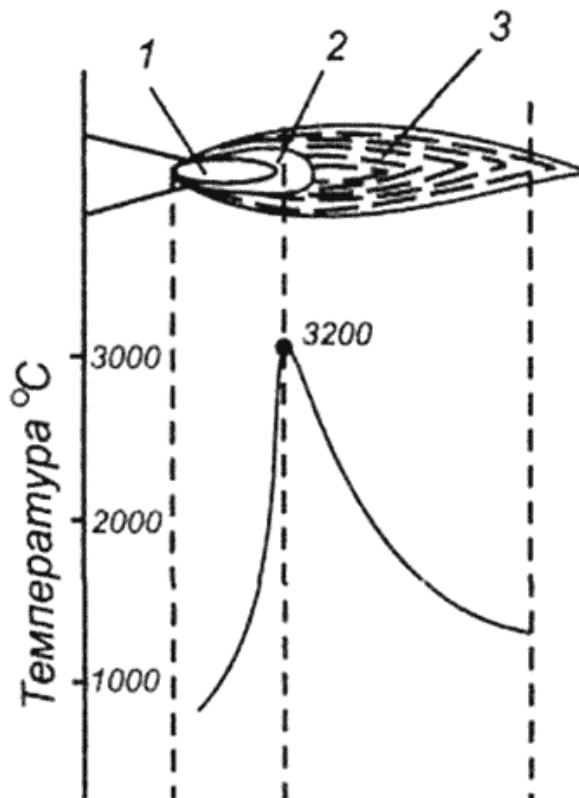


Рис.2.37. Распределение температуры по оси нормального газового пламени

Газовое сварочное ацетиленокислородное «нормальное» пламя имеет форму, схематически показанную на рисунке 2.37.

Во внутренней части ядра пламени 1 происходит подогрев газовой смеси, поступающей из сопла до температуры воспламенения. В наружной оболочке ядра происходит частичный распад ацетилена. Выделяющиеся частицы углерода раскалены, ярко светятся, четко выделяя очертания оболочки ядра (температура газов в ядре невелика и не превышает 1500 °C).

Зона 2 является наиболее важной частью сварочного пламени (сварочной зоной). В ней происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего в сопло из баллона, в результате чего здесь развивается максимальная температура. Содержащиеся в сварочной зоне газы обладают восстановительными свойствами по отношению к оксидам многих металлов, в том числе и к оксидам железа. Поэтому её можно назвать восстановительной. Содержание углерода в металле шва изменяется незначительно.

В зоне 3 или факеле пламени протекает догорание газов за счет кислорода воздуха что отражает состав газов в факеле. Содержащиеся в факеле газы и продукты их диссоциации окисляют металлы, т.е. эта зона является окислительной. Вид ацетиленокислородного

пламени зависит от соотношения в газовой смеси подаваемой в горелку кислорода и ацетилена называется коэффициентом β .

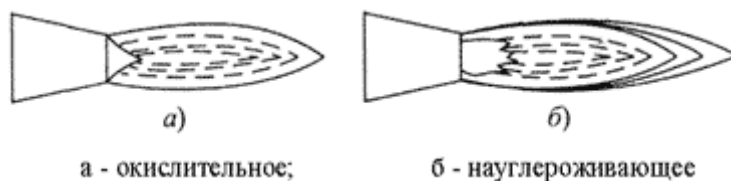


Рис. 2.38. Строение ацетиленокислородного пламени

При $\beta = 1,1 \dots 1,2$ пламя нормальное (см. рис.2.37). При увеличении этого соотношения, т.е. относительном увеличении содержания кислорода (окислительное пламя), форма и строение пламени изменяются (рис. 2.38). При этом реакции окисления ускоряются, а ядро пламени бледнеет, укорачивается и приобретает коническую заостренную форму. В этом случае сварочная зона утрачивает восстановительные свойства и приобретает окислительный характер (содержание углерода в металле шва уменьшается, выжигается). С уменьшением β , т.е. при увеличении содержания ацетилена в газовой смеси реакции окисления замедляются. Ядро удлиняется, и его очертания становятся размытыми. Количество свободного углерода увеличивается, частицы его появляются в сварочной зоне. При большом избытке ацетилена частицы углерода появляются и в факеле пламени. В этом случае сварочная зона становится науглероживающей, т.е. содержание углерода в металле шва повышается.

Пламя заменителей ацетилена принципиально подобно ацетиленокислородному и имеет три зоны. В отличие от углеводородных газов во-дородно-кислородное пламя светящегося ядра не имеет (нет светящихся частиц углерода).

Одним из важнейших параметров, определяющих тепловые, а значит и технологические свойства пламени, является его температура. Она различна в различных его участках как по длине вдоль его оси (рис.2.37), так и в поперечном сечении. Она зависит от состава газовой смеси и степени чистоты применяемых газов. Наивысшая температура наблюдается по оси пламени, достигая максимума в сварочной зоне на расстоянии 2... 3 мм от конца ядра. Эта сварочная зона является основной для расплавления металла. С увеличением β максимальная температура возрастает и смещается к мундштуку горелки. Это объясняется увеличением скорости горения смеси при избытке кислорода. При избытке ацетилена (β менее 1) наоборот, максимум температуры удаляется от мундштука и уменьшается по величине.

Горючие газы-заменители ацетилена, дешевле и недефицитны. Однако их теплотворная способность ниже, чем у ацетилена. Максимальные температуры пламени также значительно ниже. Поэтому их используют в ограниченных объемах в технологических процессах, не требующих высокотемпературного пламени (сварка алюминия, магния и их сплавов, свинца, пайка, сварка тонколистовой стали, газовая резка и т.д.). Например, при использовании пропана и пропанобутановых смесей максимальная температура в пламени 2400... 2500 °С. Их используют при сварке стали, толщиной до 6 мм, сварке чугуна, некоторых цветных металлов и сплавов, наплавке, газовой резке и т.д.

При использовании водорода максимальная температура в пламени 2100 °С. Нагрев металла пламенем обусловлен лучистым, и в основном конвективным теплообменом между потоком горячих газов и соприкасающейся с ним поверхностью металла. При вертикальном положении от пламени её растекающийся поток образует на поверхности металла симметричное относительно центра пятно нагрева. При наклоне пламени пятно нагрева вытягивается по направлению оси и сужается с боков. Интенсивность нагрева впереди ядра выше, чем позади его.

Ввод тепла в изделие при газовой сварке происходит по большей площади пятна нагрева. Источник тепла менее сконцентрирован, чем при других способах сварки плавлением. В результате обширной площади разогрева основного металла околошовная зона (зона термического влияния) имеет большие размеры, что приводит к образованию повышенных деформаций сварных соединений (коробление).

При газовой сварке на металл сварочной ванны активно воздействует газовая фаза всего пламени и особенно сварочной зоны, содержащей, в основном, $\text{CO} + \text{H}_2$ и частично пары воды, а также CO_2 , H_2 , O_2 и N_2 и некоторое количество свободного углерода. Состав газовой фазы определяется соотношением кислорода и горючего газа в газовой смеси, температурой пламени и различен в её различных зонах. От этого зависят металлургические взаимодействия газовой фазы с металлом сварочной ванны. Основные реакции при сварке — это окисление и восстановление. Направление реакции зависит от концентрации кислорода в газовой фазе (окислительное и науглероживающее пламя), температуры взаимодействия и свойств оксида. При сварке сталей основное взаимодействие газовой фазы происходит с железом, т.е. образование его оксидов или восстановление. Элементы, имеющие большее сродство к кислороду, чем железо (Al, Si, Mn, Cr и т.д.) могут интенсивно окисляться тогда, когда реакций окисления железа не проходит. Они легко окисляются не только в чистом виде, но и находясь в виде легирующих добавок, причем чем их содержание выше, тем окисление интенсивнее. Окисление таких элементов, как Al, Ti, Mg, Si и некоторых других вообще исключить не удастся и для уменьшения их угара следует помимо регулирования состава газовой смеси использовать флюсы.

Ввиду относительно невысокого защитного и восстановительного действия пламени раскисление металла в сварочной ванне при сварке сталей достигается введением в нее марганца, кремния и других раскислителей через присадочную проволоку. Их действие основано на образовании жидкотекучих шлаков, способствующих самофлюсованию сварочной ванны. Образующиеся на поверхности сварочной ванны шлаки защищают расплавленный металл от кислорода, водорода и азота, газовой среды пламени и подсасываемого воздуха. Содержащийся в пламени водород может растворяться в расплавленном металле сварочной ванны. При кристаллизации металла часть не успевшего выделиться водорода может образовать поры. Азот, попадающий в расплавленный металл из воздуха образует в нем нитриды. Структурные превращения в металле шва и околошовной зоне при газовой сварке имеют такой же характер, как и при других способах сварки плавлением. Однако вследствие медленного нагрева и охлаждения металл шва имеет более крупнокристаллическую структуру с равновесными неправильной формы зернами. В нем при сварке сталей с содержанием 0,15... 0,3 углерода при быстром охлаждении может образовываться видманштеттовая структура. Чем выше скорость охлаждения металла, тем мельче в нем зерно и тем выше механические свойства металла шва. Поэтому сварку следует производить с максимально возможной скоростью.

Зона термического влияния состоит из тех же характерных участков, как и при дуговой сварке. Однако её ширина значительно больше (до 30 мм при сварке стали больших толщин) и зависит от режима газовой сварки.

В процессе сварки происходит расплавление основного и присадочного металлов. Регулирование степени их расплавления определяется мощностью горелки, толщиной металла и его теплофизическими свойствами. Газовой сваркой выполняют сварные соединения различного типа.

Металл толщиной до 2 мм соединяют встык без разделки кромок и без зазора или, что лучше, с отбортовкой кромок без присадочного металла.

Металл толщиной 2... 5 мм с присадочным металлом сваривают встык без разделки кромок с зазором между кромками.

При сварке металла свыше 5 мм используется V- или X-образная разделка кромок.

Тавровые и нахлесточные соединения допустимы только для металла толщиной до 3 мм. При большой толщине неравномерный разогрев приводит к существенным деформациям, остаточным напряжениям и возможности образования трещин.

Свариваемые кромки зачищают от загрязнений на 30... 50 мм механическими способами или газовым пламенем. Перед сваркой детали сварного соединения закрепляются в сборочно-сварочном приспособлении или собираются с помощью коротких швов прихваток.

Направление движения горелки и наклон её к поверхности металла оказывает большое влияние на эффективность нагрева металла, производительность сварки и качество шва. Различают два способа сварки: правый и левый (рис. 2.39). Внешний вид шва лучше при левом способе сварки, так как сварщик видит процесс образования шва. При толщине металла до 3 мм более производительным является левый способ сварки ввиду предварительного подогрева кромок. Однако при большой толщине металла при сварке с разделкой кромок угол скоса кромок при правом способе сварки на $10... 15^{\circ}$ меньше, чем при левом. Угол наклона мундштука также может быть на $10... 15^{\circ}$ меньше. В результате повышается производительность сварки. Тепловое воздействие пламени на металл зависит от угла наклона оси пламени к поверхности металла (рис. 2.40).

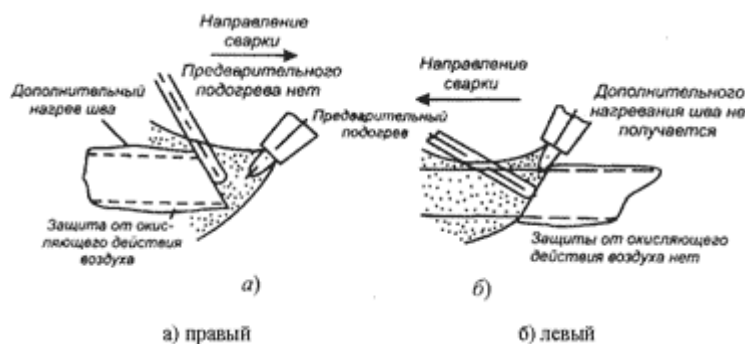


Рис. 2. 39. Способы перемещения горелки (способы газовой сварки)

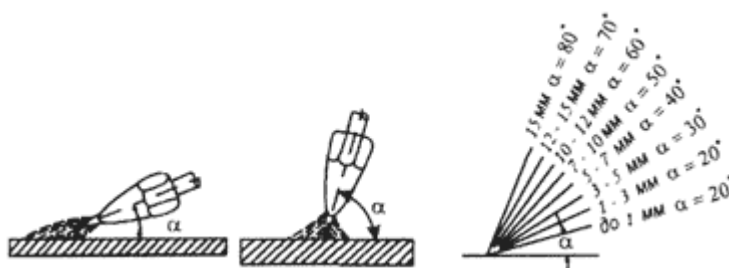


Рис. 2.40. Применяемые углы наклона горелки в зависимости от толщины металла

В процессе сварки горелке сообщаются колебательные движения и конец мундштука описывает зигзагообразный путь. Горелку сварщик держит в правой руке. При использовании присадочного металла присадочный пруток держится в левой руке. Присадочный пруток располагается под углом 45° к поверхности металла. Оплавленному концу присадочного прутка сообщают зигзагообразные колебания в направлении, противоположном движению мундштука (рис. 2.41). Газовая сварка может производиться в нижнем, вертикальном и потолочном положениях. При сварке вертикальных швов «на подъем» процесс удобнее вести левым способом, горизонтальных и потолочных - правым способом.

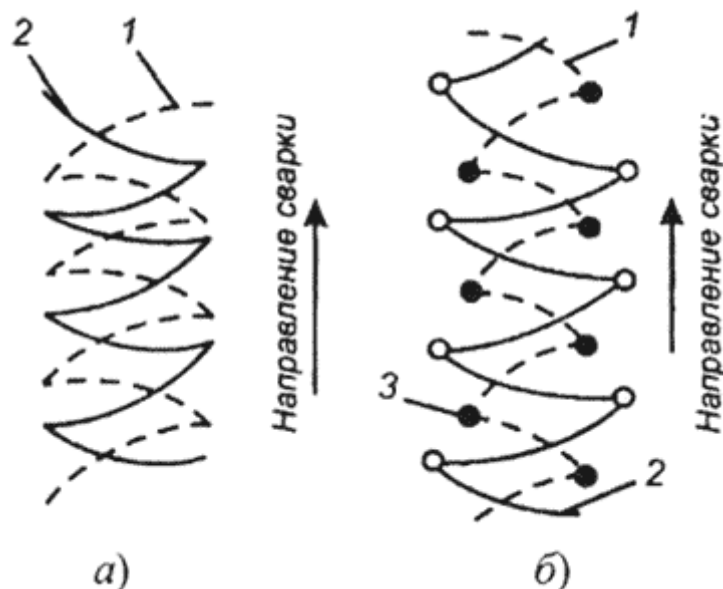


Рис. 2.41. Движения горелки и проволоки

а) при сварке стали толщиной более 3 мм в нижнем положении;

б) при сварке угловых валиковых швов;

1 — движение проволоки; 2 — движение горелки; 3 — места задержек движения

При необходимости использования флюса он наносится на свариваемые кромки или вносится в сварочную ванну оплавляемым концом присадочного прутка (налипающим на него при погружении во флюс). Флюсы могут использоваться и в газообразном виде при подаче их в зону сварки с горючим газом.

2.10.6. Диффузионная сварка

Отличительная особенность диффузионной сварки от других способов сварки давлением — относительно высокие температуры нагрева ($0,5\text{--}0,7 T_{\text{пл}}$) и сравнительно низкие удельные сжимающие давления ($0,5\text{--}0\text{ МПа}$) при изотермической выдержке от нескольких минут до нескольких часов.

Формирование диффузионного соединения определяется такими физико-химическими процессами, протекающими при сварке, как взаимодействие нагретого металла с газами окружающей среды, очистка свариваемых поверхностей от оксидов, развитие высокотемпературной ползучести и рекристаллизации. В большинстве случаев это диффузионные, термически активируемые процессы.

Для уменьшения скорости окисления свариваемых заготовок и создания условий очистки контактных поверхностей от оксидов при сварке могут быть применены газы-восстановители, расплавы солей, флюсы, обмазки, но в большинстве случаев используют вакуум или инертные газы.

Очистка поверхностей металлов от оксидов может происходить в результате развития процессов сублимации и диссоциации оксидов, растворения оксидов за счет диффузии кислорода в металл (ионов металла в оксид), восстановления оксидов элементами-раскислителями, содержащимися в сплаве и диффундирующими при нагреве к границе раздела металл — оксид. Расчет и эксперимент показывают, что, например, на стали оксиды удаляются наиболее интенсивно путем их восстановления углеродом, а на титане — за счет растворения кислорода в металле.

Сближение свариваемых поверхностей происходит в первую очередь в результате пластической деформации микровыступов и приповерхностных слоев, обусловленной приложением внешних сжимающих напряжений и нагревом металла. В процессе деформации свариваемых поверхностей, свободных от оксидов, происходит их активация,

и при развитии физического контакта между такими поверхностями реализуется их схватывание.

При диффузионной сварке одноименных металлов сварное соединение достигает равнопрочное основному материалу в том случае, когда структура зоны соединения не отличается от структуры основного материала. Для этого в зоне контакта должны образовываться общие для соединяемых материалов зерна. Это возможно за счет миграции границ зерен, осуществляемой либо путем первичной рекристаллизации, либо путем собирательной рекристаллизации.

С помощью диффузионной сварки в вакууме получают высококачественные соединения керамики с коваром, медью, титаном, жаропрочных и тугоплавких металлов и сплавов, электровакуумных стёкол, оптической керамики, сапфира, графита с металлами, композиционных и порошковых материалов.

Соединяемые заготовки могут быть весьма различны по своей форме и иметь компактные (рис. 2.42, а) или развитые (рис. 2.42, б, в) поверхности контактирования. Геометрические размеры свариваемых деталей находятся в пределах от нескольких микрон (при изготовлении полупроводниковых приборов) до нескольких метров (при изготовлении слоистых конструкций).

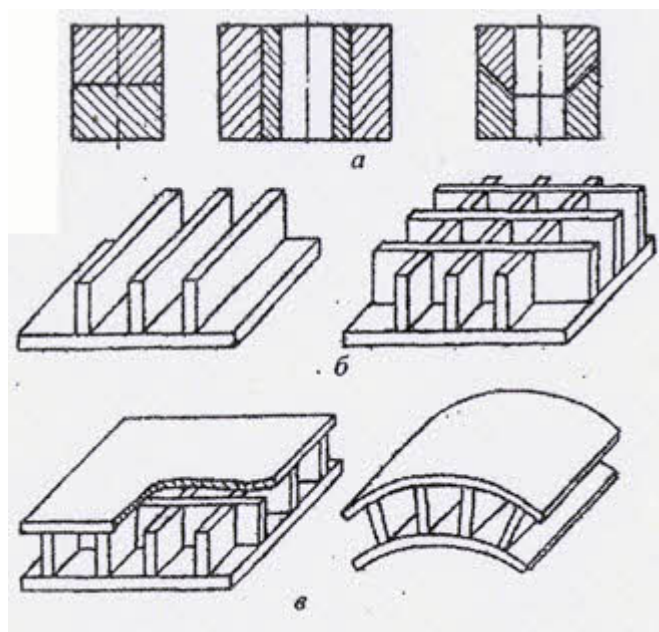


Рис. 2.42. Некоторые типы конструкций, получаемых диффузионной сваркой

Схематически процесс диффузионной сварки можно представить следующим образом. Свариваемые заготовки собирают в приспособлении, позволяющем передавать давление в зону стыка, вакуумируют и нагревают до температуры сварки. После этого прикладывают сжимающее давление на заданный период времени. В некоторых случаях после снятия давления изделие дополнительно выдерживают при температуре сварки для более полного протекания рекристаллизационных процессов, способствующих формированию доброкачественного соединения. По окончании сварочного цикла сборку охлаждают в вакууме, инертной среде или на воздухе в зависимости от типа оборудования.

В зависимости от напряжений, вызывающих деформацию металла в зоне контакта и определяющих процесс формирования диффузионного соединения, целесообразно условно различать сварку с высокоинтенсивным ($P \geq 20$ МПа) и низкоинтенсивным ($P \leq 2$ МПа) силовым воздействием. При сварке с высокоинтенсивным воздействием сварочное давление создают, как правило, прессом, снабжённым вакуумной камерой

и нагревательным устройством (рис. 2.43). Но на таких установках можно сваривать детали ограниченных размеров (как правило, диаметром до 80 мм (см. рис. 3.43, а). При изготовлении крупногабаритных двухслойных конструкций (см. рис. 3.43, б) применяют открытые прессы. При этом свариваемые детали перед помещением в пресс собирают в герметичные контейнеры, которые вакуумируют и нагревают до сварочной температуры (рис. 2.43).

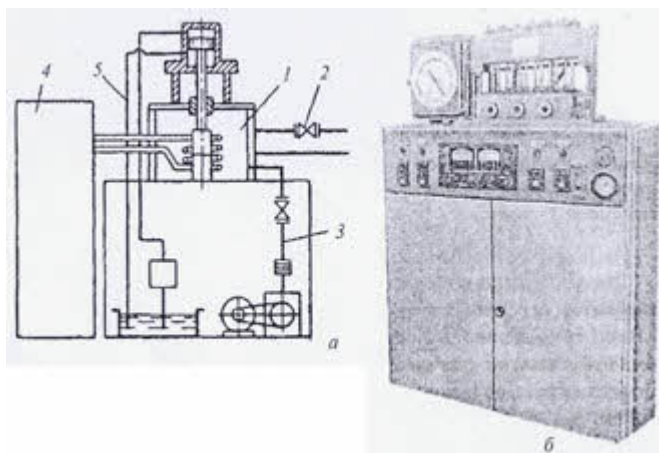


Рис. 2.43. Принципиальная схема установки для диффузионной сварки (а) и общий вид многопозиционной установки СДВУ-4 М (б): 1 — вакуумная камера; 2 — система охлаждения камеры; 3 — вакуумная система; 4 — высокочастотный генератор; 5 — гидросистема прессы

Для исключения возможности потери устойчивости свариваемых элементов, передачи давления в зону сварки и создания условий локально направленной деформации свариваемого металла в зоне стыка диффузионную сварку осуществляют в приспособлениях с применением для заполнения «пустот» (межреберных пространств) технологических вкладышей и блоков (см. рис. 2.44), которые после сварки демонтируют или удаляют химическим травлением.

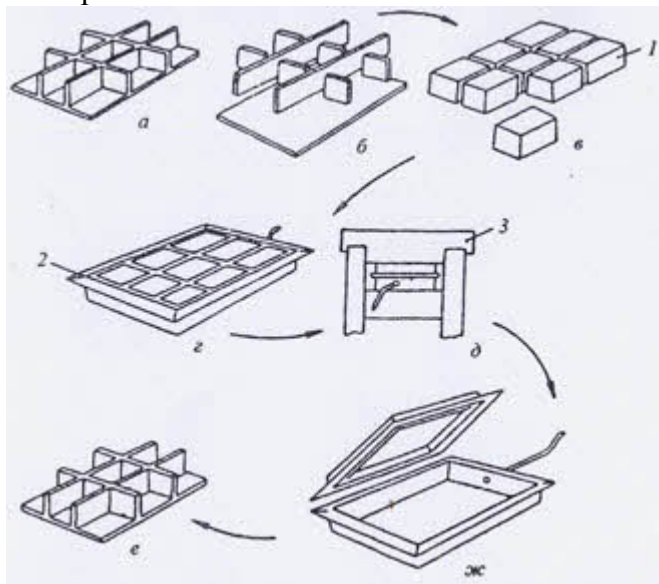


Рис. 2.44. Технологическая схема диффузионной сварки с высокоинтенсивным силовым воздействием: а — требуемая конструкция; б — заготовки для сварки; в — технологические элементы-вкладыши; г — сборка; д — сварка в прессе; е — демонтаж; ж — готовая конструкция; 1 — технологические вкладыши; 2 — технологический контейнер; 3 — пресс

При сварке с высокоинтенсивным силовым воздействием локальная деформация металла в зоне соединения, как правило, достигает нескольких десятков процентов, что обеспечивает стабильное получение доброкачественного соединения.

Для изготовления слоистых конструкций (см. рис. 2.45, в) перспективна диффузионная сварка с низкоинтенсивным силовым воздействием, при которой допустимые сжимающие усилия ограничены устойчивостью тонкостенных элементов. При этом способе диффузионной сварки не требуется сложного специального оборудования.

При изготовлении плоских (или с большим радиусом кривизны) конструкций сжимающее усилие наиболее просто может быть обеспечено за счет атмосферного давления воздуха Q на внешнюю поверхность технологической оснастки при понижении давления газа в зоне соединения (рис. 2.46).

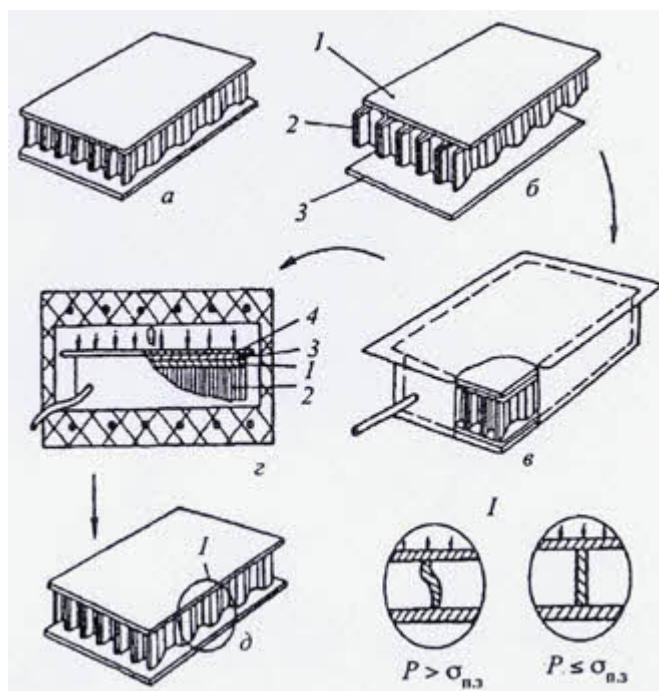


Рис. 2.45. Технологическая схема диффузионной сварки с низкоинтенсивным силовым воздействием плоских конструкций: а — требуемая конструкция; б — заготовки для сварки; в — сборка; г — сварка; д — готовая конструкция; 1 — несущая обшивка; 2 — готовый наполнитель; 3 — технологические листы; 4 — мембрана

Наличие технологических элементов (прокладок, мембрани др.), обладающих локальной жесткостью и помещенных с внешней стороны свариваемых элементов, исключает возможность потери устойчивости обшивок в виде прогибов неподкрепленных участков. Величина сварочного давления P ограничивается предельным напряжением потери устойчивости наполнителя $\sigma_{п.з.}$ ($P \leq \sigma_{п.з.}$).

При изготовлении конструкций сложного криволинейного профиля может быть использована технологическая схема (рис. 2.46), при которой давление нейтрального газа воспринимается непосредственно внешними элементами самой конструкции, например, несущими обшивками, оболочками. В процессе сварки обшивки на неподкрепленных участках под давлением газа деформируются (прогибаются). Это ухудшает условия для формирования соединения, уменьшает сечение сообщающихся каналов, ухудшает аэродинамическое состояние поверхности. В этом случае P ограничивается напряжением, при котором имеет место чрезмерная остаточная деформация обшивок на неподкрепленных участках ($P \leq \sigma_{п.о.}$).

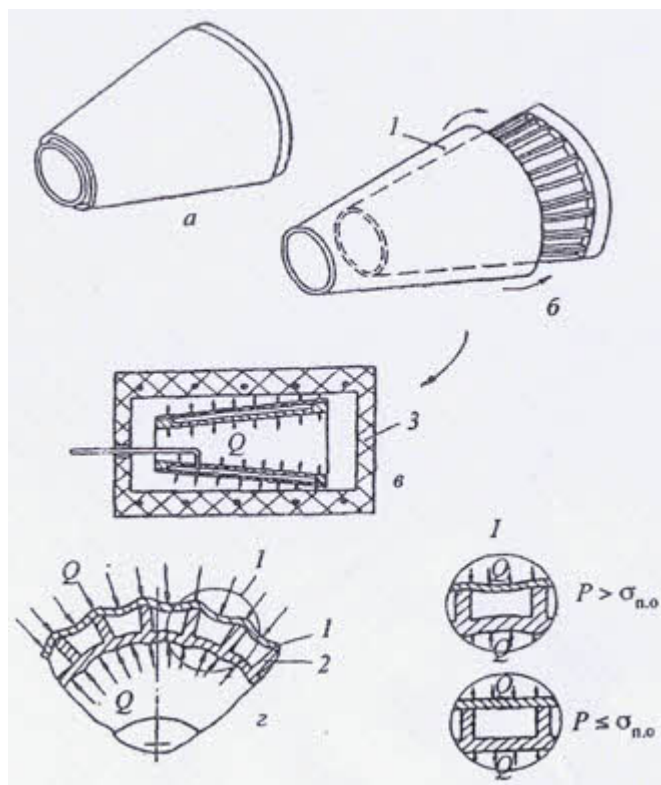


Рис. 2.46. Технологическая схема диффузионной сварки с низкоинтенсивным силовым воздействием конструкций сложной формы: а — требуемая конструкция; б — заготовки для сварки; в — сварка; г — характер деформации элементов конструкции при сварке; 1 — внешняя оболочка; 2 — внутренняя оболочка

В ряде случаев можно исключить применение внешнего давления для сжатия свариваемых заготовок, используя явления термического напряжения, возникающего при нагреве материалов с различными коэффициентами линейного расширения. При сварке коаксиально собранных заготовок коэффициент линейного расширения охватывающей детали должен быть меньше коэффициента линейного расширения охватываемой детали (см. рис. 2.46, а).

Качество соединения при диффузионной сварке в вакууме определяется комплексом технологических параметров, основные из которых — температура, давление, время выдержки. Диффузионные процессы, лежащие в основе формирования сварного соединения, являются термически активируемыми, поэтому повышение температуры сварки стимулирует их развитие. Для снижения сжимающего давления и уменьшения длительности сварки температуру нагрева свариваемых деталей целесообразно устанавливать по возможности более высокой; металлы при этом обладают меньшим сопротивлением пластической деформации. Вместе с тем необходимо учитывать возможность развития процессов структурного превращения, гетеродиффузии, образования эвтектик и других процессов, приводящих к изменению физико-механических свойств свариваемых металлов.

Удельное давление влияет на скорость образования диффузионного соединения и величину накопленной деформации свариваемых заготовок. В большинстве случаев чем выше удельное давление, тем меньше время сварки и больше деформация. Так, при сварке в прессе с использованием высоких удельных давлений (до нескольких десятков мегапаскалей) время образования соединения может измеряться секундами, а деформация металла в зоне соединения десятками процентов. При сварке с использованием низких удельных давлений (десятыи доли мегапаскаля) время сварки может исчисляться часами, но деформация соединяемых заготовок при этом составляет доли процента. Таким

образом, задачу выбора удельного давления следует решать с учетом типа конструкций, технологической схемы и геометрических размеров соединяемых заготовок, а время сварки выбирать с учетом температуры и удельного давления. При сварке разнородных материалов увеличение длительности сварки может сопровождаться снижением механических характеристик соединения из-за развития процессов гетеродиффузии, приводящих к формированию в зоне соединения хрупких интерметаллидных фаз.

Для осуществления диффузионной сварки в настоящее время создано свыше 70 типов сварочных диффузионно-вакуумных установок. Разработка и создание установок для диффузионной сварки в настоящее время ведется в направлении унифицирования систем (вакуумной, нагрева, давления, управления) и сварочных камер. Меняя камеру в этих установках, можно значительно расширить номенклатуру свариваемых узлов. Некоторые виды конструкций, изготовленных диффузионной сваркой, приведены на рис. 2.47.

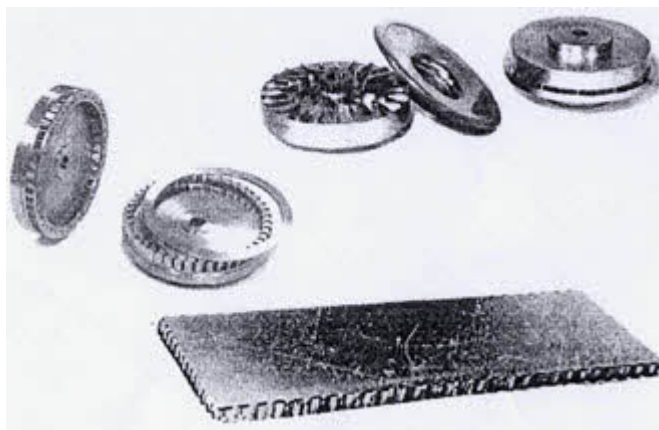


Рис. 2.47. Примеры титановых конструкций, изготовленных диффузионной сваркой

2.10.7. Холодная сварка

Холодная сварка — способ соединения деталей при комнатной (и даже отрицательной) температуре, без нагрева внешними источниками. Сварка осуществляется с помощью специальных устройств, вызывающих одновременную направленную деформацию предварительно очищенных поверхностей и нарастающее напряженное состояние, при котором образуется монолитное высокопрочное соединение. Холодной сваркой можно соединять, например, алюминий, медь, свинец, цинк, никель, серебро, кадмий, железо. Особенно велико преимущество холодной сварки перед другими способами сварки при соединении разнородных металлов, чувствительных к нагреву или образующих интерметаллиды.

Холодная сварка — сложный физико-химический процесс, протекающий только в условиях пластической деформации. Без пластической деформации в обычных атмосферных условиях, даже прилагая любые удельные сжимающие давления к соединяемым заготовкам, практически невозможно получить полноценное монолитное соединение. Роль деформации при холодной сварке заключается в предельном утонении или удалении слоя оксидов, в сближении свариваемых поверхностей до расстояния, соизмеримого с параметром кристаллической решетки, а также в повышении энергетического уровня поверхностных атомов, обеспечивающем возможность образования химических связей.

Качество сварного соединения определяется исходным физико-химическим состоянием контактных поверхностей, давлением (усилием сжатия) и степенью деформации при сварке. Оно также зависит от схемы деформации и способа приложения давления (статического, вибрационного). В зависимости от схемы пластической деформации заготовок сварка может быть точечной, шовной и стыковой.

Точечная сварка — наиболее простой и распространенный способ холодной сварки. Её применение рационально для соединения алюминия, алюминия с медью, армирования алюминия медью. Ею можно заменить трудоемкую клепку и .

При холодной точечной сварке (рис. 2.48, а) зачищенные детали 1 устанавливают внахлестку между пуансонами 3, имеющими рабочую часть 2 и опорную поверхность 4. При вдавливании пуансонов сжимающим усилием P происходит деформация заготовок и формирование сварного соединения. Опорная поверхность пуансонов создает дополнительное напряженное состояние в конечный момент сварки, ограничивает глубину погружения пуансонов в металл и уменьшает коробление изделия.

Прочность точек может быть повышена на 10–20% при сварке по схеме (рис. 2.49, а).

Свариваемые детали 1 предварительно сжимаются прижимами 2 или одновременно с вдавливанием пуансона 3. Наличие зоны обжатия вокруг вдавливаемого пуансона уменьшает коробление детали, повышает напряженное состояние в зоне сварки, что приводит к периферийному провару за площадью отпечатка пуансона. Но при этом возникают технические затруднения, связанные с созданием двух высоких давлений на малой поверхности и устранением затекания металла между пуансоном и прижимом. Этот способ позволяет сваривать малопластичные материалы.

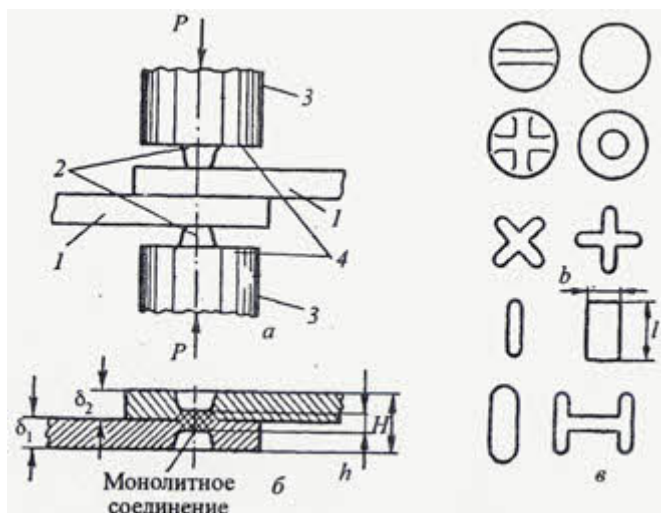


Рис. 2.48. Схема холодной точечной сварки (а), геометрия сварного соединения (б) и формы пуансонов (в)

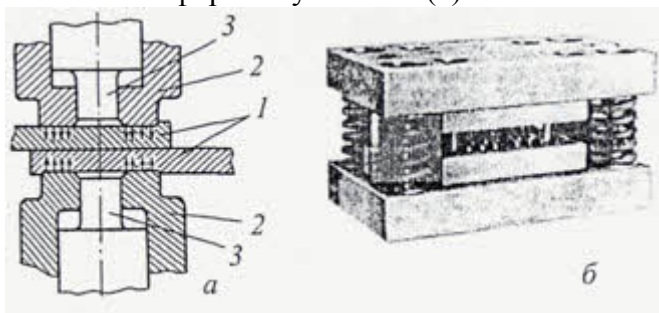


Рис. 2.49. Схема (а) и приспособление (б) для холодной точечной сварки с предварительным обжатием

Ввиду простоты способа точечной холодной сварки специальные машины для её выполнения большого развития не получили. Сварку успешно выполняют на самых различных серийных прессах с применением кондукторов, надежно фиксирующих свариваемые заготовки, чтобы исключить их коробление (рис. 2.49, б).

На рис. 2.50 (а) показана установка холодной сварки давлением, разработанная в Институте сварки (Россия). С помощью данной установки успешно соединяют

алюминий с медью в электротехнике, энергетике, цветной металлургии; соединяют также медные контакты проводов, изготавливают кольца из меди и алюминия (рис. 2.50, б).

Шовная (роликовая) сварка характеризуется непрерывностью монолитного соединения. По механической схеме эта сварка аналогична холодной сварке прямоугольными пуансонами (рис. 2.51).

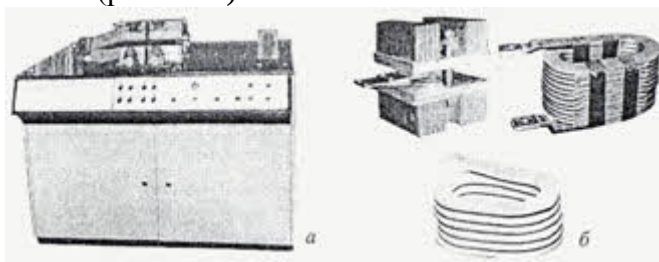


Рис. 2.50. Установка для холодной сварки (а) и примеры сваренных деталей (б)

Собранные заготовки 1 устанавливаются между роликами 2 и сжимаются ими до полного погружения рабочих выступов 3 в металл. Затем ролики приводятся во вращение. Перемещая изделие и последовательно внедряясь рабочими выступами в металл, они вызывают его интенсивную деформацию, в результате которой образуется непрерывное монолитное соединение — шов. Шовная сварка бывает двусторонняя, односторонняя и несимметричная. Двусторонняя сварка выполняется одинаковыми роликами. При односторонней сварке один ролик имеет выступ, высота которого равна сумме выступов при двусторонней сварке, а второй является опорным, без рабочего выступа. При несимметричной сварке ролики имеют различные по размерам, а иногда и по форме рабочие выступы.

Односторонняя роликовая сварка чаще применяется для сварки разнородных металлов, сильно отличающихся твердостью. Рабочая часть ролика вдавливаются в более твердый металл. Такая сварка при прочих равных условиях обеспечивает более прочные швы и при сварке однородных металлов.

При роликовой сварке металл свободно течет вдоль оси шва, что затрудняет создание достаточного напряженного состояния металла в зоне соединения. Поэтому для достижения провара требуется большая пластическая деформация (на 2–6%), чем при точечной сварке. Напряженное состояние в зоне роликовой сварки можно повысить, увеличивая диаметр роликов. Обычно диаметр ролика близок к 50δ , ширина рабочего выступа $(1-1,5)\delta$, высота $(0,8-0,9)\delta$, а ширина опорной части ролика, ограничивающая деформации, в 2–3 раза больше ширины рабочего выступа. Роликовая сварка алюминия толщиной 1,0 мм при свариваемости 27% выполняется со скоростью до 8–12 м/мин.

Для роликовой сварки применяются металлорежущие станки, например фрезерные; при сварке тонких пластичных металлов — ручные настольные станки.

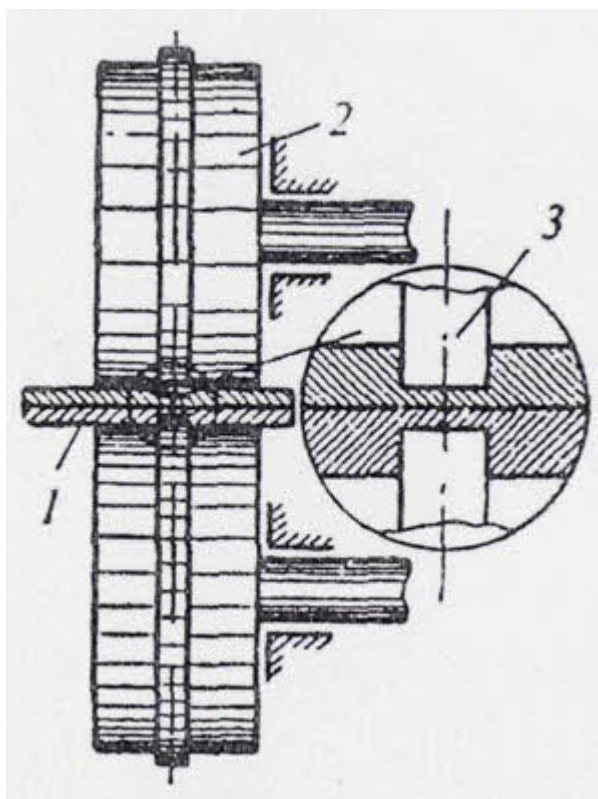


Рис. 2.51. Схема холодной шовной сварки: 1 — детали; 2 — ролики; 3 — выступы

Одна из первых схем холодной стыковой сварки металлов, которая не потеряла практического значения до сих пор, приведена на рис. 2.52. Эта схема разработана К. К. Хреновым и Г. П. Сахацким. В корпусе 1 имеются гнездо для неподвижного конусного зажима 2 и направляющие для подвижного корпуса 3, в котором также расположен конусный зажим. После предварительной зачистки торцов детали 4 устанавливают в зажимы 2, которые имеют формирующие части с режущими кромками 5 и упором 6. Осадочное усилие прикладывается к ползуну 3, при его перемещении сжимаются торцы деталей и зажимаются с помощью конусов. В процессе осадки углубления 7 заполняются металлом раньше, чем встречаются опорные части 6. Поэтому, когда встречаются опорные части, в зоне сварки создается достаточное напряженное состояние. В стыке происходит провар, а остаток вытекающего металла отрезается кромками 5. В зависимости от расположения режущих кромок соединение может быть с усилением или без усиления.

Схема стыковой сварки, предложенная С. Б. Айбиндером, приведена на рис. 2.52, б.

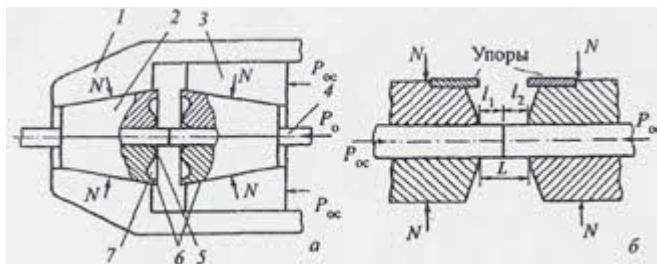


Рис. 2.52. Схемы холодной стыковой сварки

2.10.8. Сварка токами высокой частоты

При сварке токами высокой частоты (ТВЧ) изделие перед сварочным узлом формируется в виде заготовки с V-образной щелью между свариваемыми кромками. К кромкам индуктором (рис. 2.53, а) или с помощью вращающегося контактного ролика (рис. 2.53, б) подводится ток высокой частоты таким образом, чтобы он проходил от одной кромки к другой через место их схождения.

Вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости, который по мере сближения кромок усиливается, достигается высокая концентрация тока в месте схождения кромок, и они разогреваются. Нагретые кромки обжимаются валками и свариваются.

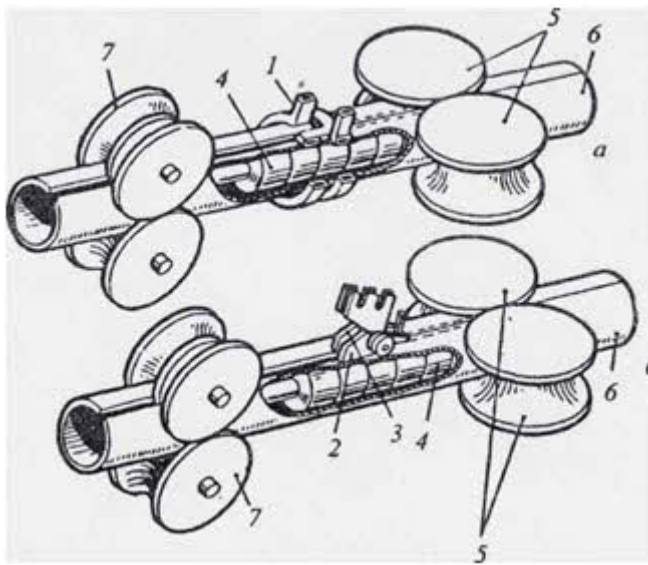


Рис. 2.53. Схема высокочастотной сварки труб с индукционным (а) и контактным (б) способами подвода тока: 1 — индуктор; 2 и 3 — контакты; 4 — ферритовый стержень; 5 — сжимающие ролики; 6 — труба; 7 — направляющий ролик

Качество сварного соединения и расход электроэнергии обусловлены особенностями протекания тока высокой частоты по проводникам.

При протекании тока по проводнику проявляется поверхностный эффект, заключающийся в неравномерном распределении переменного тока по сечению проводника: у наружной поверхности проводника наблюдается наибольшая плотность тока. При высокой частоте ток проходит лишь по тонкому поверхностному слою проводника. Вследствие поверхностного эффекта существенно увеличивается активное сопротивление проводников и выделяющаяся энергия концентрируется в поверхностных слоях нагреваемого изделия.

При протекании переменного тока в системе проводников, расположенных таким образом, что каждый из них находится не только в собственном переменном магнитном поле, но и в поле других проводников, проявляется эффект близости: ток по периметру проводников располагается так, что его плотность в близлежащих точках проводников максимальная, а в наиболее удаленных — минимальная. Чем меньше расстояние между осями проводников и чем больше радиус сечения проводника, тем сильнее проявляется эффект близости.

2.10.9. Лазерная сварка

Сущность и основные преимущества сварки лазерным лучом

При облучении поверхности тела светом энергия квантов (порций) света поглощается этой поверхностью. Образуется теплота, температура поверхности повышается. Если световую энергию сконцентрировать на малом участке поверхности, можно получить высокую температуру. На этом основана сварка световым лучом оптического квантового генератора — лазера.

Термин «лазер» происходит от первых букв английской фразы: «Light amplification by the stimulated emission of radiation», что означает в переводе: «Усиление света посредством индуцирования эмиссии излучения». Академик Н. Г. Басов, удостоенный в 1964 г. совместно с академиком А. М. Прохоровым и американским ученым Ч. Таунсом Нобелевской премии за теоретическое обоснование и разработку лазеров, так характеризует лазер: «Это устройство, в котором энергия, например тепловая, химическая, электрическая, преобразуется в энергию электромагнитного поля — лазерный луч. При таком преобразовании часть энергии неизбежно теряется, но важно то, что полученная в результате лазерная энергия обладает несравненно более высоким качеством. Качество лазерной энергии определяется её высокой концентрацией и возможностью передачи на значительное расстояние».

Основные элементы лазера — это генератор накачки и активная среда. По активным средам различают твердотельные, газовые и полупроводниковые лазеры. В твердотельных лазерах (рис. 2.54) в качестве активной среды чаще всего применяют стержни из розового рубина — окиси алюминия Al_2O_3 с примесью ионов хрома Cr^{3+} (до 0,05%). При облучении ионы хрома переходят в другое энергетическое состояние -возбуждаются и затем отдают запасенную энергию в виде света. На торцах рубинового стержня нанесен слой отражающего вещества (например, серебра) так, что с одного конца образовано непрозрачное, а с другого — полупрозрачное зеркало. Излучение ионов хрома, отражаясь от этих зеркал, циркулирует параллельно оптической оси стержня, возбуждая новые ионы, — идет лавинообразный процесс. Происходит бурное выделение лучистой энергии, которая излучается параллельным пучком через полупрозрачное зеркало и фокусируется линзой в месте сварки. Выходная мощность твердотельных лазеров достигает 10^7 Вт при сечении луча менее 1 см^2 . В фокусе достигается громадная концентрация энергии, позволяющая получать температуру до миллиона градусов.

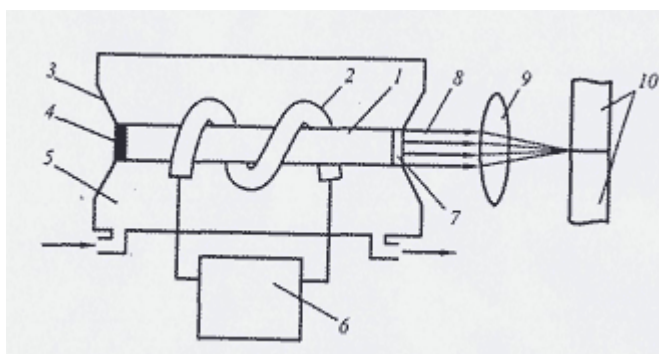


Рис. 2.54. Схема твердотельного лазера: 1 — рубиновый стержень; 2 — генератор накачки; 3 — отражатель; 4 — непрозрачное зеркало; 5 — охлаждающая среда; 6 — источник питания; 7 — полупрозрачное зеркало; 8 — световой луч; 9 — фокусирующая линза; 10 — обрабатываемые детали

При работе в импульсном режиме существенный недостаток твердотельного лазера — низкий КПД (0,01...2,0%). Более высокую мощность и больший КПД обеспечивают лазеры, работающие в непрерывном режиме, например твердотельный лазер на алюмоиттриевом гранате, активированном атомами неодима (приблизительно 1%). Ещё более высокий КПД и мощность у газовых лазеров. В качестве активной среды в них применяют

чаще всего CO_2 или смесь газов, генераторами накачки могут служить искровые разрядники или электронный луч.

Типичная конструкция газового лазера — это заполненная газом трубка, ограниченная с двух сторон строго параллельными зеркалами: непрозрачным и полупрозрачным (рис. 2.55). В результате электрического разряда между введенными в трубку электродами возникают быстрые электроны, которые возбуждают газовые молекулы. Возвращаясь в стабильное состояние, эти молекулы образуют кванты света так же, как и в твердотельном лазере. Газовые лазеры могут работать в непрерывном режиме. Для сварки используют твердотельные и газовые лазеры импульсного и непрерывного действия.

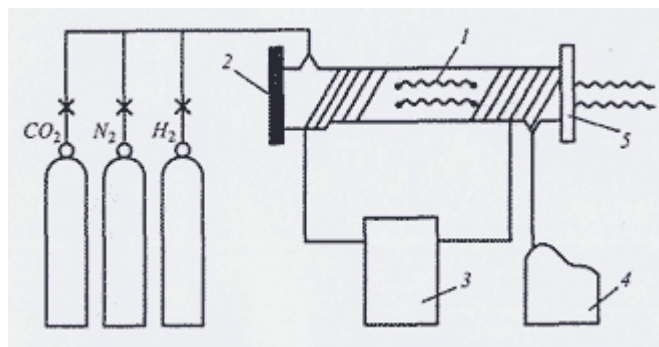


Рис. 2.55. Схема газового лазера: 1 — разрядная трубка; 2 — непрозрачное зеркало; 3 — источник питания; 4 — вакуумный насос; 5 — полупрозрачное зеркало

Лазерную сварку производят на воздухе или в среде защитных газов: аргона, CO_2 . Вакуум, как при электронно-лучевой сварке, здесь не нужен, поэтому лазерным лучом можно сваривать крупногабаритные конструкции. Лазерный луч легко управляется и регулируется, с помощью зеркальных оптических систем легко транспортируется и направляется в труднодоступные для других способов места. В отличие от электронного луча и электрической дуги на него не влияют магнитные поля, что обеспечивает стабильное формирование шва. Из-за высокой концентрации энергии (в пятне диаметром 0,1 мм и менее) в процессе лазерной сварки объем сварочной ванны небольшой, малая ширина зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения. Это обеспечивает высокую технологическую прочность сварных соединений, небольшие деформации сварных конструкций. Например, лазерная сварка вилки с карданным валом автомобиля по сравнению с дуговой сваркой увеличивает срок службы карданной передачи в три раза, потому что более чем вдвое уменьшается площадь сечения сварного шва, в несколько раз — время сварки. Деформации вилки, вызывающие преждевременный износ, практически отсутствуют.

Основные энергетические характеристики процесса лазерной сварки — это плотность E мощности лазерного излучения и длительность t его действия. При непрерывном излучении t определяется продолжительностью времени экспонирования, а при импульсном — длительностью импульса. Превышение верхнего предела E вызывает интенсивное объемное кипение и испарение металла, приводящее к выбросам металла и дефектам шва. На практике лазерную сварку ведут при $E = 10^6 \dots 10^7$ Вт/см². При $E < 10^5$ Вт/см² лазерное излучение теряет свое основное достоинство — высокую концентрацию энергии. Изменение E и t позволяет сваривать лазерным лучом различные конструкционные материалы с толщиной от нескольких микрон до десятков миллиметров.

Скорость лазерной сварки непрерывным излучением в несколько раз превышает скорости традиционных способов сварки плавлением. Например, стальной лист толщиной 20 мм электрической дугой сваривают со скоростью 15 м/ч за 5...8 проходов, ширина шва

получается 20 мм. Непрерывным лазерным лучом этот лист сваривается со скоростью 100 м/ч за 1 проход, получают ширину шва 5 мм. Однако лазерная сварка импульсным излучением по скорости сопоставима с традиционными способами сварки.

Технологические особенности процесса лазерной сварки

Лазерную сварку можно производить со сквозным и с частичным проплавлением. Сварные швы одинаково хорошо формируются в любом пространственном положении. При толщине свариваемых кромок менее 0,1 мм и при сварке больших толщин с глубоким проплавлением по-разному происходит формирование шва и различны подходы к выбору параметров режима сварки. При сварке как непрерывным, так и импульсным излучением малых толщин используют более мягкие режимы, обеспечивающие лишь расплавление металла в стыке деталей без перегрева его до температуры интенсивного испарения. Сварку сталей и других относительно малоактивных металлов можно в этом случае выполнять без дополнительной защиты зоны нагрева, что существенно упрощает технологию, тогда как сварку с глубоким проплавлением ведут с защитой шва газом, состав которого подбирают в зависимости от свариваемого материала.

Основные параметры режима импульсной лазерной сварки — это энергия и длительность импульсов, диаметр сфокусированного излучения, частота следования импульсов, положение фокального пятна относительно поверхности свариваемых деталей. Длительность лазерного импульса должна соответствовать тепловой постоянной времени для данного материала, приближенно определяемой по формуле:

$$\tau = \delta^2 / (4\alpha),$$

где δ и α — соответственно толщина и коэффициент температуропроводности свариваемого материала.

Значения τ для тонких деталей ($\delta = 0,1 \dots 0,2$ мм) составляют несколько миллисекунд. Соответственно длительность импульса нужно выбирать, например, для меди 0,0001...0,0005 с, для алюминия 0,0005...0,002 с, для сталей 0,005...0,008 с. При увеличении δ более 1,0 мм τ возрастает и может значительно превосходить достижимую длительность лазерных импульсов. Поэтому лазерная сварка металлов толщиной более 1,0 мм импульсным излучением затруднена.

Диаметр сфокусированного излучения d определяет площадь нагрева и плотность мощности E . При сварке d изменяют от 0,05 до 1,0 мм путем расфокусировки луча. При этом фокальную плоскость, на которой сфокусированный световой пучок имеет наименьший диаметр, располагают выше или ниже поверхности свариваемых деталей. Сварной шов при импульсном излучении образуется наложением сварных точек с их взаимным перекрытием на 30...90% в зависимости от типа сварного соединения и требований к нему. Промышленные сварочные установки с твердотельными лазерами позволяют вести шовную сварку со скоростью до 5 мм/с при частоте импульсов до 20 Гц. Сварку можно вести с присадочным материалом в виде проволоки диаметром менее 1,5 мм, ленты или порошка. Использование присадки позволяет увеличивать сечение шва, устраняя один из наиболее распространенных дефектов — ослабление шва, а также легировать металл шва. Легирующие элементы при лазерной сварке можно также наносить предварительно на поверхности свариваемых кромок напылением, обмазкой, электроискровым способом и т.п.

Наиболее распространена лазерная сварка импульсным излучением в электронной и электротехнической промышленности, где сваривают угловые, нахлесточные и стыковые соединения тонкостенных деталей. Хорошее качество соединений обеспечивается сваркой лазерным лучом тонких деталей (0,05...0,5 мм) с массивными. В этом случае, если свариваемые детали значительно отличаются по толщине, в процессе сварки луч смещают на массивную деталь, чем выравнивают температурное поле и достигают равномерного проплавления обеих деталей. Чтобы снизить разницу в условиях нагрева и плавления таких деталей, толщину массивной детали в месте стыка уменьшают, делая на ней бурт, технологическую отбортовку или выточку (рис. 2.56). При

лазерной сварке нагрев и плавление металла происходят так быстро, что деформация тонкой кромки может не успеть произойти до того, как металл затвердеет. Это позволяет сваривать тонкую деталь с массивной внахлестку. Для этого надо, чтобы при плавлении тонкой кромки и участка массивной детали под ней образовалась общая сварочная ванна. Это можно сделать, производя сварку по кромке отверстия в тонкой детали или по её периметру.

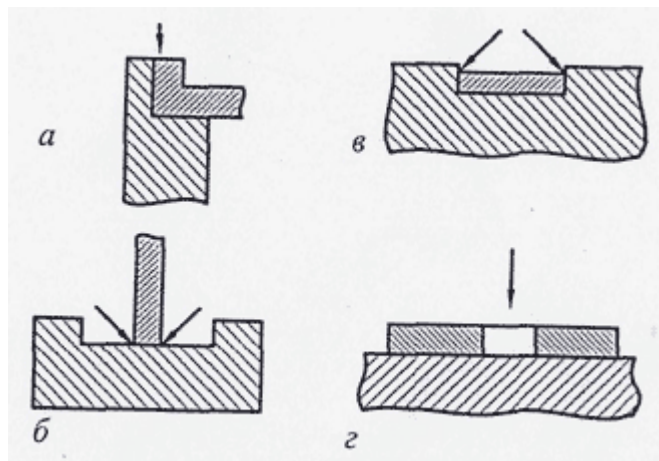


Рис. 2.56. Сварные соединения деталей разной толщины: а — по бурту на массивной и отбортовке на тонкой детали; б — тавровое соединение; в — по кромке выточки в массивной детали; г — по отверстию в тонкой детали. Стрелками показано направление лазерного луча

Детали малой толщины можно сваривать также газовыми и твердотельными лазерами непрерывного действия мощностью до 1 кВт. Лучше всего формируется шов при стыковом соединении тонких деталей. Однако при сборке таких соединений под лазерную сварку предъявляются более жесткие требования: должен быть обеспечен минимальный и равномерный зазор в стыке и практически полное отсутствие смещения кромок.

Сложнее формируется шов при сварке деталей толщиной более 1,0 мм с глубоким проплавлением. Как только плотность мощности лазерного излучения станет больше критической, нагрев металла будет идти со скоростью, значительно превышающей скорость отвода теплоты в основной металл за счет теплопроводности. На поверхности жидкого металла под действием реакции образуется углубление. Увеличиваясь, оно образует канал, заполненный паром и окруженный жидким металлом. Давления пара оказывается достаточно для противодействия силам гидростатического давления и поверхностного натяжения, и полость канала не заполняется жидким металлом. При некоторой скорости сварки форма канала приобретает динамическую устойчивость. На передней его стенке происходит плавление металла, на задней — затвердевание. Наличие канала способствует поглощению лазерного излучения в глубине свариваемого материала, а не только на его поверхности. Формируется так называемое «кинжальное проплавление». При этом образуется узкий шов с большим соотношением глубины проплавления к ширине шва.

Сварочная ванна (рис. 2.57) имеет характерную форму, вытянутую в направлении сварки. В головной части ванны расположен канал (кратер) 3. Это область наиболее яркого свечения. На передней стенке канала существует слой расплавленного металла, испытывающий постоянные возмущения. Здесь наблюдается характерное искривление передней стенки в виде ступеньки, которая периодически перемещается по высоте канала. Удаление расплавленного металла с передней стенки осуществляется при перемещении ступеньки сверху вниз. Перенос расплавленного металла из головной части ванны в хвостовую происходит по боковым стенкам в горизонтальном направлении. В хвостовой

части ванны 4 расплавленный металл завихряющимися потоками поднимается вверх и частично выносится на поверхность сварочной ванны. При образовании канала 3 над поверхностью металла появляется светящийся факел 2, состоящий из продуктов испарения, мелких выбрасываемых из ванны капель металла и из частиц конденсированного пара.

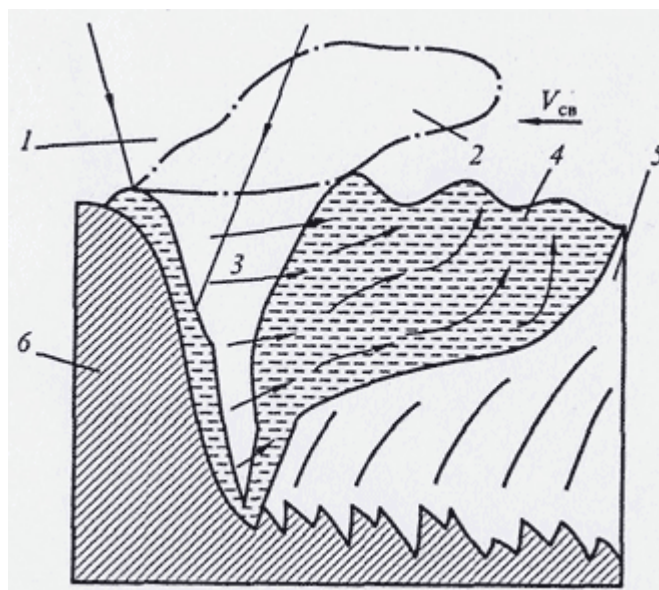


Рис. 2.57. Схема сварочной ванны при лазерной сварке: 1 — лазерный луч; 2 — плазменный факел; 3 — парогазовый канал; 4 — хвостовая часть ванны; 5 — металл шва; 6 — свариваемый металл; $V_{св}$ — направление сварки

При значительной скорости сварки факел отклоняется на $20...60^\circ$ в сторону, противоположную направлению сварки. Этот факел поглощает часть энергии луча и снижает его проплавляющую способность.

При сварке деталей толщиной более 1,0 мм на проплавляющую способность луча в первую очередь влияет мощность излучения. Поскольку сварка таких деталей ведется при непрерывном излучении, то к основным параметрам режима здесь относятся и скорость сварки. При выбранном значении мощности излучения скорость сварки определяют исходя из особенностей формирования шва: минимальное значение скорости ограничено отсутствием кинжального проплавления, а максимальное — ухудшением формирования шва, появлением пор, непроваров. Скорость сварки может достигать 90...110 м/ч.

На качество сварных швов влияет фокусировка луча. Для сварки луч фокусируют в пятно диаметром 0,5...1,0 мм. При меньшем диаметре повышенная плотность мощности приводит к перегреву расплавленного металла, усиливает его испарение — появляются дефекты шва. При диаметре более 1,0 мм снижается эффективность процесса сварки. Формирование шва зависит также от положения фокальной плоскости относительно поверхности свариваемых деталей. Максимальная глубина проплавления достигается, если фокус луча будет находиться над поверхностью детали.

Форма сварочной ванны в продольном сечении также отличается от её формы при дуговой сварке (рис. 2.58). На поверхности фронта кристаллизации имеется выступ, который делит ванну на две характерные части. Нижняя часть значительно заглублена и имеет малую протяженность в поперечном сечении, тогда как верхняя часть более широкая и вытянута вдоль шва. Отсюда очевидно, что при лазерной сварке имеют место два процесса проплавления металла. Первый процесс связан с образованием канала, как это было показано выше. Именно он обеспечивает эффект глубокого проплавления.

Второй процесс — поверхностное плавление за счет теплопроводности свариваемого материала. Преимущественное развитие того или иного процесса зависит от режима сварки и определяет очертания сварочной ванны.

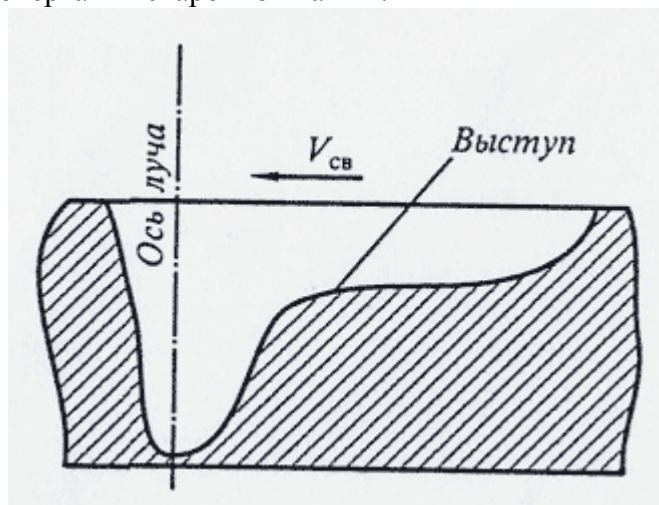


Рис. 2.58. Продольное сечение сварочной ванны

Высокая концентрация энергии, большая скорость лазерной сварки по сравнению с дуговыми способами, незначительное тепловое воздействие на околошовную зону вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения металла существенно повышают сопротивляемость большинства конструкционных материалов образованию горячих и холодных трещин. Это обеспечивает высокое качество сварных соединений из материалов, плохо свариваемых другими способами сварки. Существенно (до десяти раз) снижаются деформации сваренных деталей, что снижает затраты на правку.

При лазерной сварке с глубоким проплавлением металл шва защищают от окисления, подавая через сопло в зону сварки защитный газ. Применяют специальные сопла (рис. 2.59). Для сварки алюминия, титана и других высокоактивных металлов требуется дополнительная защита корня шва. Для защиты используют те же газы, что и при дуговой сварке, чаще это аргон, гелий или их смеси. Защитные газы влияют на эффективность проплавления: чем выше потенциал ионизации и теплопроводность газа, тем она больше. Качественную защиту можно обеспечить при расходе гелия $0,0005 \dots 0,0006 \text{ м}^3/\text{с}$, аргона $0,00015 \dots 0,0002 \text{ м}^3/\text{с}$, смеси, состоящей из 50% аргона и 50% гелия, — $0,00045 \dots 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$. Для защиты зоны лазерной сварки можно использовать флюсы такого же состава, что и при дуговой сварке. Применяют их в виде обмазок, наносимых на свариваемые кромки.

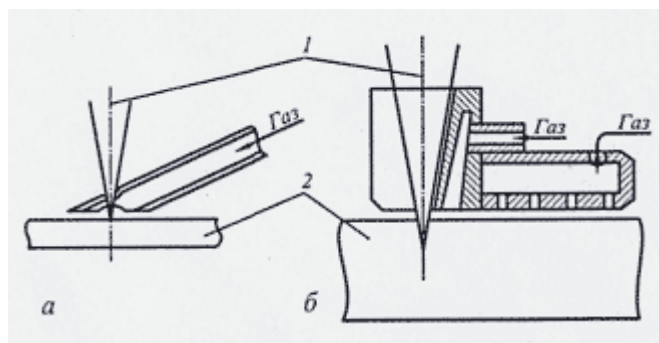


Рис. 2.59. Схемы защитных сопел: а — при сварке деталей малой толщины; б — при сварке с глубоким проплавлением; 1 — лазерный луч; 2 — свариваемые детали

Наиболее часто встречающиеся дефекты при лазерной сварке больших толщин — это неравномерность проплавления корня шва и наличие полостей в шве. Для снижения вероятности образования пиков проплавления при сварке с несквозным проплавлением рекомендуют повышать скорость сварки и отклонять лазерный луч от вертикали на $15\ldots 17^\circ$ по направлению движения луча.

2.10.10. Сварка трением

Сварка трением это разновидность сварки давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызванным перемещением (вращением) одной из соединяемых частей свариваемого изделия (рисунок 2.60).

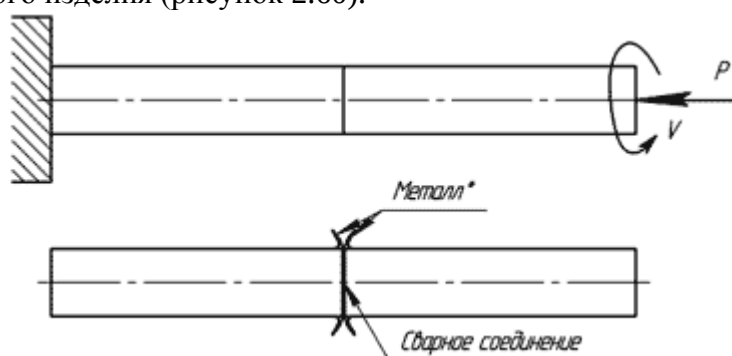


Рис. 2.60. Схема сварки трением

Процесс образования сварного соединения:

- Вследствие действия сил трения сдираются оксидные плёнки;
- Наступает разогрев кромок свариваемого металла до пластичного состояния, возникает временный контакт, происходит его разрушение и высокопластичный металл (металл шва)* (см. рисунок 1) выдавливается из стыка;
- Прекращение вращения с образованием сварного соединения.

Сварка трением является разновидностью сварки давлением, при которой механическая энергия, подводимая к одной из свариваемых деталей, преобразуется в тепловую; при этом генерирование теплоты происходит непосредственно в месте будущего соединения.

Теплота может выделяться при вращении одной детали относительно другой (рис. 2.61, а) или вставки между деталями (рис. 2.61, б, в), при возвратно-поступательном движении деталей в плоскости стыка с относительно малыми амплитудами Δ и при звуковой частоте (рис. 2.61, г). Детали при этом прижимаются постоянным или возрастающим во времени давлением P . Сварка завершается осадкой и быстрым прекращением вращения.

В зоне стыка при сварке протекают следующие процессы. По мере увеличения частоты вращения свариваемых заготовок при наличии сжимающего давления происходит притирка контактных поверхностей и разрушение жировых пленок, присутствующих на них в исходном состоянии. Граничное трение уступает место сухому. В контакт вступают отдельные микровыступы, происходит их деформация и образование ювенильных участков с ненасыщенными связями поверхностных атомов, между которыми мгновенно формируются металлические связи и немедленно разрушаются вследствие относительного движения поверхностей.

Этот процесс происходит непрерывно и сопровождается увеличением фактической площади контакта и быстрым повышением температуры в стыке. При этом снижается сопротивление металла деформации, и трение распространяется на всю поверхность контакта. В зоне стыка появляется тонкий слой пластифицированного металла, выполняющего роль смазочного материала, и трение из сухого становится граничным.

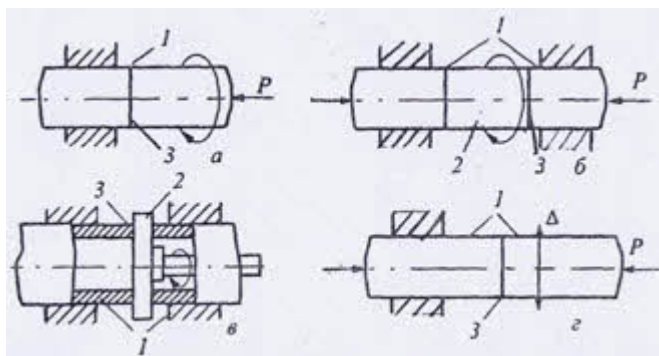


Рис. 2.61. Схемы процесса сварки трением: 1 — свариваемые детали; 2 — вставка; 3 — зона сварки

Под действием сжимающего усилия происходит вытеснение металла из стыка и сближение свариваемых поверхностей (осадка). Контактные поверхности оказываются подготовленными к образованию сварного соединения: металл в зоне стыка обладает низким сопротивлением высокотемпературной деформации, оксидные пленки утонены, частично разрушены и удалены в грат, соединяемые поверхности активированы. После торможения, когда частота вращения приближается к нулю, наблюдается некоторое понижение температуры металла в стыке за счет теплоотвода. Осадка сопровождается образованием металлических связей по всей поверхности.

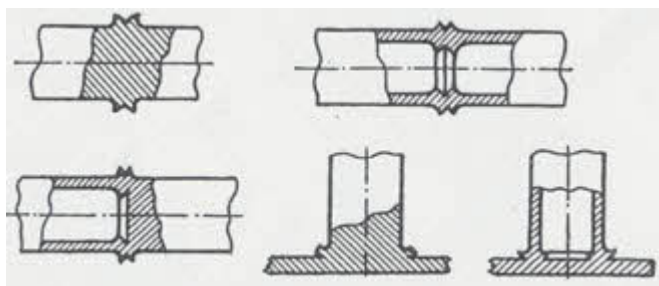


Рис. 2.62. Типы сварных соединений, выполненных сваркой трением

Сваривать стержни диаметром более 200 мм нецелесообразно, потому что для реализации этого процесса потребовались бы машины с двигателями мощностью ~ 500 кВт при скорости вращения $\sim 2 \text{ с}^{-1}$ и с осевым усилием более $3 \cdot 10^6 \text{ Н}$. Сооружение такой машины и её эксплуатация были бы настолько дорогими, что не окупили бы выгоды, которую может дать сварка трением.

Не удастся сварить даже в лабораторных условиях и стержни диаметром менее 3,5 мм, для которых нужна установка со скоростью вращения шпинделя $\sim 200 \text{ с}^{-1}$ и сложным устройством для осуществления мгновенного его торможения.

Расчеты и опыт практического применения сварки трением показывают, что её пока целесообразно применять для сварки деталей диаметром от 6 до 100 мм. Наиболее эффективно применение сварки трением для изготовления режущего инструмента при производстве составных сварно-кованых, сварно-литых или сварно-штампованных деталей. Она оказывается незаменимой при соединении трудносвариваемых или вовсе не свариваемых другими способами разнородных материалов, например стали

с алюминием, аустенитных сталей с перлитными. Эффективно применение сварки трением и для соединения пластмассовых заготовок.

Машины для сварки трением обычно содержат следующие основные узлы (рис. 2.63): привод вращения 1 шпинделя с ременной передачей 2; фрикционную муфту 3 для сцепления шпинделя с приводным устройством; тормоз 4 для торможения шпинделя; два зажима для крепления свариваемых заготовок 7; переднюю бабку 5 со шпинделем, несущим на себе вращающийся зажим 6; заднюю бабку 8 с неподвижным зажимом; пневматические или гидравлические цилиндры 9, обеспечивающие создание необходимого рабочего (осевого) давления машины; пневматическую, пневмогидравлическую или гидравлическую схему управления силовым приводом машины; шкаф управления.

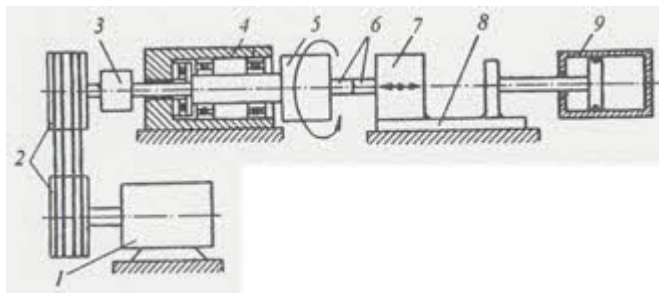


Рис. 2.63. Принципиальная конструктивно-кинематическая схема машины для сварки трением

В большинстве машин в состав привода вращения входят трехфазный асинхронный электродвигатель, клиноременная передача с зубчатым ремнем. В машинах для микро- и прецизионной сварки, шпиндель которых должен развивать очень высокую частоту вращения ($80\text{--}650\text{ с}^{-1}$), в качестве привода применяются пневматические турбины, которые характеризуются быстрым разгоном и торможением, позволяют обходиться без передачи при помощи непосредственного сочленения вала со шпинделем машины.

Мировой опыт применения сварки трением позволяет сделать вывод, что этот вид сварки — один из наиболее интенсивно развивающихся технологических процессов, особенно в странах с высоким уровнем развития промышленности.

Некоторые примеры применения сварки трением приведены на рис. 2.64.

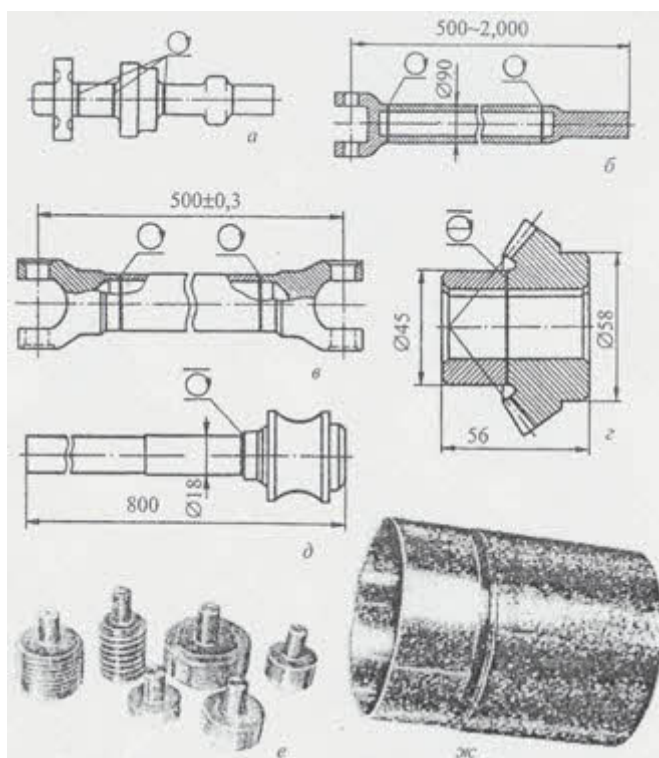


Рис. 2.64. Примеры применения сварки трением: а — промежуточный вал коробки передач автомобиля; б — карданный вал тяжёлого грузового автомобиля; в — карданный вал автомобиля «Форд»; г — коническое зубчатое колесо с удлинённой ступицей; д — вал рулевого управления легкового автомобиля; е — гладкие и резьбовые калибры; ж — сталеалюминиевый трубчатый переходник диаметром 90 мм с толщиной стенки 4 мм

Разновидностью сварки трением является **инерционная сварка**.

В этом способе вращаемую деталь располагают в маховике, который раскручивают до заданной скорости, детали соединяют и сварка завершается остановкой вращения маховика.

Достоинства инерционной сварки трением:

- Не требуется большой мощности;
- Быстрота сварки, меньшая зона разогрева, вследствие точного дозирования энергии.

2.10.11. Магнитно-импульсная сварка

Магнитно-импульсная обработка металлов основывается на использовании сил электромеханического взаимодействия между вихревыми токами, наведенными в стенках обрабатываемой детали при пересечении их силовыми магнитными линиями импульсного магнитного поля, и самим магнитным потоком. При этом электрическая энергия непосредственно преобразуется в механическую, и импульс давления магнитного поля действует непосредственно на заготовку без участия какой-либо передающей среды.

В установку для магнитно-импульсной сварки (рис. 2.65) входят: зарядное устройство 1, состоящее из высоковольтного трансформатора и выпрямителя; коммутирующее устройство 3, включающееся при подаче поджигающего импульса на вспомогательный электрод и вызывающее разряд батареи высоковольтных конденсаторов 2 на индуктор 4. Свариваемые детали 5 и 6 устанавливают внахлестку под углом, а одна к другой с зазором δ между ними. Индуктор 4 устанавливают на поверхности, противоположной свариваемой. Для предотвращения перемещения при сварке деталь 6 жестко закрепляют в опоре 7. Закрепление детали 5 должно обеспечить перемещение её свариваемого конца в направлении детали 6.

При разрядке батареи конденсаторов в зазоре между индуктором и заготовкой возникает сильное магнитное поле, индуктирующее в этой заготовке ток. Взаимодействие тока индуктора с индуктированным током в заготовке приводит к возникновению сил отталкивания между индуктором 4 и деталью 5, вследствие чего деталь 5 с большой скоростью перемещается от индуктора в направлении неподвижной детали 6. При соударении в зоне контакта развиваются высокие давления и образуется сварное соединение.

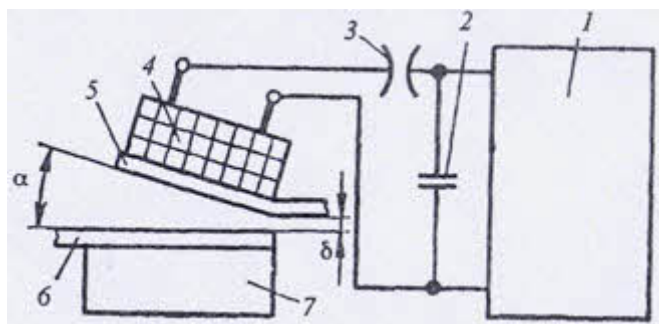


Рис. 2.65. Принципиальная схема магнитно-импульсной сварки

При магнитно-импульсной сварке давление на μεταаемый элемент передается мгновенно (со скоростью распространения магнитного поля), и движение сообщается не отдельным участкам, как при сварке взрывом, а всей μεταаемой детали. Для обеспечения последовательного перемещения зоны контакта при сварке детали устанавливают свариваемыми поверхностями под углом одна к другой, μεταаемую деталь перед сваркой обрабатывают «на ус». Соединение, как и при сварке взрывом, образуется в результате косо́го соударения свариваемых поверхностей. При этом создаются условия для очистки свариваемых поверхностей от оксидов и загрязнений кумулятивной струей и для интенсивной пластической деформации поверхностей металла с образованием между ними металлических связей.

Формирование сварного соединения возможно и между параллельно расположенными поверхностями. При этом вследствие рассеяния магнитного поля на концах индуктора распределение давления вдоль образующей μεταаемого элемента неравномерное — меньше по концам и больше в средней части. При таком нагружении первоначально прямолинейный μεταаемый элемент, перемещаясь к моменту встречи с неподвижной деталью, становится выпуклым, и плоское соударение переходит в косо́е, распространяющееся в общем случае в двух противоположных направлениях от зоны начального контакта.

Существуют три основные схемы магнитно-импульсной сварки: обжатием трубчатых заготовок с применением индуктора, охватывающего заготовку (рис. 2.65, а, б, в); раздачей трубчатых заготовок с применением индуктора, помещенного внутрь заготовки (рис. 2.66, г, д, е); деформированием листовых заготовок плоским индуктором (см. рис. 2.65). Для предотвращения деформации тонкостенных элементов в процессе сварки внутри трубы 1 (рис. 2.66, а, б, в) вставляют металлическую оправку, удаляемую после сварки.

Действие импульсного магнитного поля на μεταаемый элемент зависит главным образом от длины и числа витков индуктора, напряжения разряда, емкости батареи конденсаторов, энергии разряда, индуктивности и активного сопротивления разрядного контура, площади внутренней поверхности индуктора в поперечном сечении.

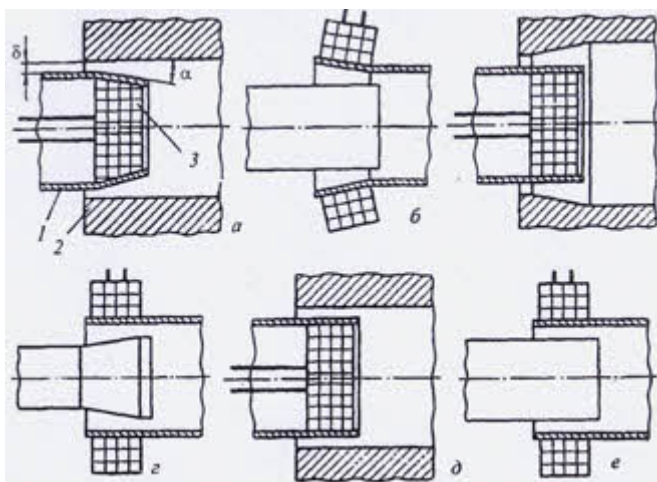


Рис. 2.66. Схемы осуществления магнитно-импульсной сварки: 1,2 — свариваемые заготовки; 3 — индуктор

Целесообразно применение этого способа для получения всевозможных соединений трубчатых деталей между собой и с другими деталями, а также плоских деталей по наружному и внутреннему контуру. Магнитно-импульсным способом можно сваривать практически любые материалы в однородном и разнородном сочетаниях. Диапазон толщин свариваемых деталей составляет 0,5–2,5 мм (рис. 2.67).



Рис. 2.67. Изделия, полученные магнитно-импульсной сваркой

Одна из основных проблем расширения области применения магнитно-импульсной сварки — получение сильных импульсных магнитных полей при высокой стойкости индуктора. Для разрешения этой проблемы необходимо создание новых и совершенствование существующих конструкций индукторов, применение высокопрочных материалов как для токопроводов, так и для элементов механического усиления, разработка новых схем магнитно-импульсных установок.

2.10.12. Сварка прокаткой

Сварка прокаткой — высокопроизводительный технологический процесс получения биметаллов как из разнородных металлов, так и из металлов, близких по химическому составу, но отличающихся по свойствам. Этот процесс применяется для производства листов, полос, лент, фасонных профилей, прутков, проволоки. Соединение компонентов биметалла происходит при их совместной горячей или холодной пластической деформации, осуществляемой в прокатных станах в вакууме или на воздухе.

Исходной заготовкой для получения биметалла служит пакет, состоящий из двух различных слоев металла в виде слябов и пластин. Обычно применяют одинарные пакеты — для получения одного листа биметалла (рис. 2.68), двойные симметричные пакеты — для получения двух листов биметалла и тройные пакеты — для получения трех листов биметалла, два из которых двухслойные, а один трехслойный.

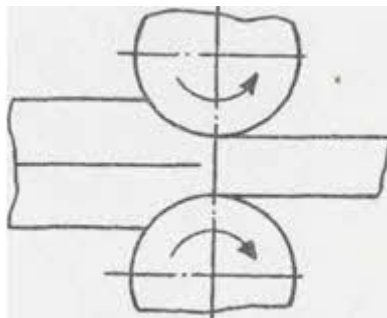


Рис. 2.68. Конструкции пакетов для сварки прокаткой: 1 — основной слой; 2 — плакирующий слой; 3 — разделительный слой; 4 — технологическая планка; 5 — сварной шов

Так как надежное соединение слоев обеспечивается при 5-7-кратном обжатии, для получения биметаллического листа толщиной 25 мм исходная толщина пакета должна составлять не менее 250–350 мм. Ширина слябов, применяемых для основного слоя при производстве двухслойных коррозионно-стойких листов из стали, обычно составляет 700–1200 мм, а длина 1700–2500 мм. Слябы основного слоя из углеродистой и низколегированной стали подвергают правке на прессе и механической обработке по свариваемой поверхности с последующими обезжириванием, промывкой и сушкой. Одновременно подготавливают пластины плакирующего слоя.

Для уменьшения степени окисления поверхностей заготовок при их нагреве перед сваркой прокаткой пакеты герметизируют сварным швом по периметру, а в ряде случаев сварку производят в защитной атмосфере (вакууме или инертном газе).

Перед прокаткой пакеты нагревают в нагревательных шахтных или камерных печах. Температура нагрева, например, пакетов из углеродистой и коррозионно-стойких сталей составляет 1200–1250 °С.

При получении биметаллических листов с покрытием из активных металлов (например, титана) используют герметичную конструкцию пакета с размещенным внутри него пирофорным материалом церием, который при нагреве пакета сгорает и связывает кислород окружающей среды. Надежное соединение в процессе горячей прокатки легко окисляющихся металлов достигается на вакуумных прокатных станах. Пакеты прокатывают (рис. 2.69) на обычных прокатных станах для получения однослойных листов аналогичных размеров.

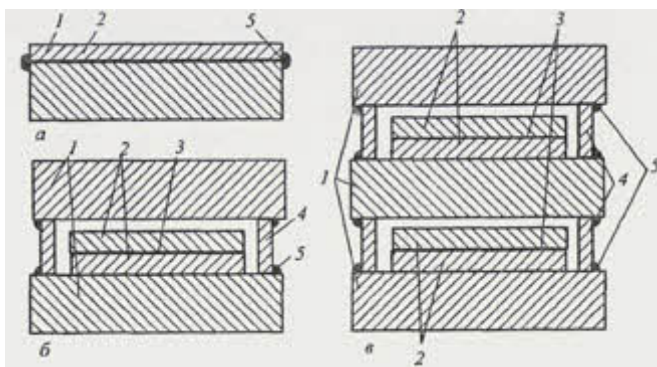


Рис. 2.69. Схема сварки прокаткой

Холодную сварку прокаткой применяют для получения двух- или трехслойных биметаллов, состоящих из стальной основы и плакирующих слоев из цветных металлов, например сталь + медь, сталь + латунь, медь + алюминий, алюминий + титан, алюминий + сталь + алюминий. Для получения доброкачественного соединения слоев в биметалле требуется значительная деформация при сварке прокаткой и чистота соединяемых поверхностей, причем особенно важно отсутствие органических веществ.

При сварке прокаткой соединение образуется в условиях принудительного деформирования и малой длительности взаимодействия. Вначале происходит смятие микронеровностей и увеличение контактных поверхностей из-за значительной вытяжки, приводящей к утонению и частичному разрушению оксидных пленок. В отдельных местах контактирования между свариваемыми поверхностями образуются участки схватывания, между которыми остаются полости, содержащие газы. Возможность дальнейшего увеличения числа и площади участков схватывания определяется развитием процесса адсорбции остаточных газов металлом. При дополнительной пластической деформации по мере поглощения газа металлом участки схватывания расширяются, формируются зоны взаимодействия, граница соединения превращается в непрерывную межфазную границу.

Образование соединения заканчивается схватыванием контактных поверхностей и релаксацией напряжений в той мере, в какой это необходимо для сохранения образовавшихся межатомных связей.

2.10.13. Электронно-лучевая сварка

Сущность процесса состоит в использовании кинетической энергии потока электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счет соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создают вакуум порядка $10^{-4} \dots 10^{-6}$ мм рт. ст.

Техника сварки

При сварке электронным лучом проплавление имеет форму конуса (рис. 2.70). Плавление металла происходит на передней стенке кратера, а расплавленный металл перемещается по боковым стенкам к задней стенке, где он и кристаллизуется.

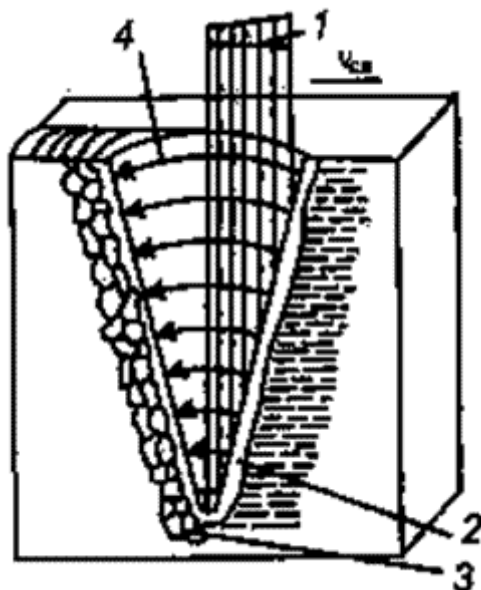


Рисунок 2.70. Схема переноса жидкого металла при электронно-лучевой сварке
1 — электронный луч; 2 — передняя стенка кратера; 3 — зона кристаллизации;
4 — путь движения жидкого металла

Проплавление при электронно-лучевой сварке обусловлено в основном давлением потока электронов, характером выделения теплоты в объеме твердого металла и реактивным давлением испаряющегося металла, вторичных и тепловых электронов и излучением. Возможна сварка непрерывным электронным лучом. Однако при сварке легкоиспаряющихся металлов (алюминия, магния и др.) эффективность электронного потока и количество выделяющейся в изделии теплоты уменьшаются вследствие потери энергии на ионизацию паров металлов. В этом случае целесообразно сварку вести импульсным электронным лучом с большой плотностью энергии и частотой импульсов 100... 500 Гц. В результате повышается глубина проплавления. При правильной установке соотношения времени паузы и импульса можно сваривать очень тонкие листы. Благодаря теплоотводу во время пауз уменьшается протяженность зоны термического влияния. Однако при этом возможно образование подрезов, которые могут быть устранены сваркой колеблющимся или расфокусированным лучом.

Основные параметры режима электронно-лучевой сварки (таблица 2.1):

- сила тока в луче;
- ускоряющее напряжение;
- скорость перемещения луча по поверхности изделия;
- продолжительность импульсов и пауз;
- точность фокусировки луча;
- степень вакуумизации.

Таблица 2.3. Режимы электронно-лучевой сварки

Металл	Толщина, мм	Режим сварки			Ширина шва, мм
		ускоряющее напряжение, кВ	сила тока, мА	скорость сварки, м/ч	
Вольфрам	0,5	18...20	40...50	60	1,0
	1,0	20...22	75...80	50	1,5
Тантал	1,0	20...22	50	50	1,5
	1,5	18...20	50...60	60...70	2,0
Сталь типа 18–8	20,0	20...22	270	50	7,0
	35,0	20...22	500	20	-
Молибден + вольфрам	0,5 + 0,5	18...20	45...50	35...50	1,0

Для перемещения луча по поверхности изделия используют перемещение изделия или самого луча с помощью отклоняющей системы. Отклоняющая система позволяет осуществлять колебания луча вдоль и поперек шва или по более сложной траектории. Низковольтные установки используют при сварке металла толщиной свыше 0,5 мм для получения швов с отношением глубины к ширине до 8:1. Высоковольтные установки применяют при сварке более толстого металла с отношением глубины к ширине шва до 25:1.

Основные типы сварных соединений, рекомендуемые для электронно-лучевой сварки, приведены на рисунке 2.71. Перед сваркой требуется точная сборка деталей (при толщине металла до 5 мм зазор не более 0,07 мм, при толщине до 20 мм зазор до 0,1 мм) и точное направление луча по оси стыка (отклонение не больше 0,2... 0,3 мм).

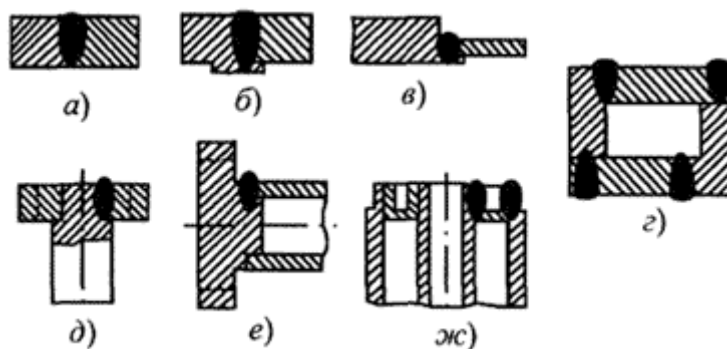


Рис. 2.71. Типы сварных соединений при сварке электронным лучом
 а — стыковое (может быть с бортиком для получения выпуклости шва); б —
 замковое; в — стыковое деталей разной толщины; г — угловые; д и е — стыковые при
 сварке шестерен; ж — стыковые с отбортовкой кромок

При увеличенных зазорах (для предупреждения подрезов) требуется дополнительный металл в виде технологических буртиков или присадочной проволоки. В последнем случае появляется возможность металлургического воздействия на металл шва. Изменяя зазор и количество дополнительного металла, можно довести долю присадочного металла в шве до 50%.

Сварка электронным лучом имеет значительные преимущества:

- Высокая концентрация ввода теплоты в изделие, которая выделяется не только на поверхности изделия, но и на некоторой глубине в объеме основного металла. Фокусировкой электронного луча можно получить пятно нагрева диаметром 0,0002... 5 мм, что позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 200 мм. В результате можно получить швы, в которых соотношение глубины провара к ширине до 20:1 и более. Появляется возможность сварки тугоплавких металлов (вольфрама, тантала и др.), керамики и т.д. Уменьшение протяженности зоны термического влияния снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне.

- Малое количество вводимой теплоты. Как правило, для получения равной глубины проплавления при электронно-лучевой сварке требуется вводить теплоты в 4... 5 раз меньше, чем при дуговой.

- Отсутствие насыщения расплавленного и нагретого металла газами. Наоборот, в целом ряде случаев наблюдается дегазация металла шва и повышение его пластических свойств. В результате достигается высокое качество сварных соединений на химически активных металлах и сплавах, таких как ниобий, цирконий, титан, молибден и др. Хорошее качество электронно-лучевой сварки достигается также на низкоуглеродистых, коррозионно-стойких сталях, меди и медных, никелевых, алюминиевых сплавах.

Недостатки электронно-лучевой сварки:

- Возможность образования несплавлений и полостей в корне шва на металлах с большой теплопроводностью и швах с большим отношением глубины к ширине;

- Для создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий требуется длительное время.

2.10.14. Термическая обработка металлов

Необходимость термической обработки

Термическую обработку стальных деталей проводят в тех случаях, когда необходимо либо повысить прочность, твердость, износоустойчивость или упругость детали или инструмента, либо, наоборот, сделать металл более мягким, легче поддающимся механической обработке.

В зависимости от температур нагрева и способа последующего охлаждения различают следующие виды термической обработки: закалка, отпуск и отжиг. В на практике для

определения температуры раскаленной детали визуально по цвету можно использовать приведенную таблицу 2.4.

Таблица 2.4.

Цвет калиения стали	Температура нагрева (°C)
Темно-коричневый (заметен в темноте)	530—580
Коричнево-красный	580—650
Темно-красный	650—730
Темно-вишнево-красный	730—770
Вишнево-красный	770—800
Светло-вишнево-красный	800—830
Светло-красный	830—900
Оранжевый	900—1050
Темно-желтый	1050—1150
Светло-желтый	1150—1250
Ярко-белый	1250—1350

Закалка стальных деталей

Закалка придает стальной детали большую твердость и износоустойчивость. Для этого деталь нагревают до определенной температуры, выдерживают некоторое время, чтобы весь объем материала прогрелся, а затем быстро охлаждают в масле (конструкционные и инструментальные стали) или воде (углеродистые стали). Обычно детали из конструкционных сталей нагревают до 880—900°C (цвет калиения светло-красный), из инструментальных—до 750—760°C (цвет темно-вишнево-красный), а из нержавеющей стали—до 1050—1100°C (цвет темно-желтый). Нагревают детали вначале медленно (примерно до 500°C), а затем быстро. Это необходимо для того, чтобы в детали не возникли внутренние напряжения, что может привести к появлению трещин и деформации материала.

В ремонтной практике применяют в основном охлаждение в одной среде (масле или воде), оставляя в ней деталь до полного остывания. Однако этот способ охлаждения непригоден для деталей сложной формы, в которых при таком охлаждении возникают большие внутренние напряжения. Детали сложной формы сначала охлаждают в воде до 300—400°C, а затем быстро переносят в масло, где и оставляют до полного охлаждения. Время пребывания детали в воде определяют из расчета: 1с на каждые 5—6мм сечения детали. В каждом отдельном случае это время подбирают опытным путем в зависимости от формы и массы детали.

Качество закалки в значительной степени зависит от количества должна быть в 30—50 раз больше массы закаливаемой детали. Кроме того, перед погружением раскаленной детали жидкость необходимо тщательно перемешать, чтобы выровнять ее температуру по всему объему.

В процессе охлаждения вокруг детали образуется слой газов, который затрудняет теплообмен между деталью и охлаждающей жидкостью. Для более интенсивного охлаждения деталь необходимо постоянно перемещать в жидкости во всех направлениях.

Небольшие детали из малоуглеродистых сталей (марки «30», «35», «40») слегка разогревают, посыпают железосинеродистым калием (желтая кровяная соль) и вновь помещают в огонь. Как только обсыпка расплавится, деталь опускают в охлаждающую среду. Железосинеродистый калий расплавляется при температуре около 850°C, что соответствует температуре закалки этих марок стали.

Отпуск закаленных деталей

Отпуск закаленных деталей уменьшает их хрупкость, повышает вязкость и снимает внутренние напряжения. В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск применяют главным образом при обработке измерительного и режущего инструмента. Закаленную деталь нагревают до температуры 150—250°C (цвет побежалости — светло-желтый), выдерживают при этой температуре, а затем охлаждают на воздухе. В результате такой обработки материал, теряя хрупкость, сохраняет высокую твердость и, кроме того, в нем значительно снижаются внутренние напряжения, возникающие при закалке.

Средний отпуск применяют в тех случаях, когда хотят придать детали пружинящие свойства и достаточно высокую прочность при средней твердости. Для этого деталь нагревают до 300—500°C и затем медленно охлаждают.

И наконец, высокому отпуску подвергают детали, у которых необходимо полностью снять все внутренние напряжения. В этом случае температура нагрева еще выше—500—600°C.

Термообработку (закалку и отпуск) деталей простой формы (валики, оси, зубила, кернеры) часто делают за один раз. Нагретую до высокой температуры деталь опускают на некоторое время в охлаждающую жидкость, затем вынимают. Отпуск происходит за счет тепла, сохранившегося внутри детали.

Небольшой участок детали быстро зачищают абразивным брусочком и следят за сменой цветов побежалости на нем. Когда появится цвет, соответствующий необходимой температуре отпуска (220°C — светло-желтый, 240°C — темно-желтый, 314°C — светло-синий, 330°C — серый), деталь вновь погружают в жидкость, теперь уже до полного охлаждения. При отпуске небольших деталей (как и при закалке) нагревают какую-нибудь болванку и на нее кладут отпускаемую деталь. При этом цвет побежалости наблюдают на самой детали.

Отжиг стальных деталей

Чтобы облегчить механическую или пластическую обработку стальной детали, уменьшают ее твердость путем отжига. Так называемый полный отжиг заключается в том, что деталь или заготовку нагревают до температуры 900°C, выдерживают при этой температуре некоторое время, необходимое для прогрева ее по всему объему, а затем медленно (обычно вместе с печью) охлаждают до комнатной температуры.

Внутренние напряжения, возникшие в детали при механической обработке, снимают низкотемпературным отжигом, при котором деталь нагревают до температуры 500—600°C, а затем охлаждают вместе с печью. Для снятия внутренних напряжений и некоторого уменьшения твердости стали применяют неполный отжиг — нагрев до 750—760°C и последующее медленное (также вместе с печью) охлаждение.

Отжиг используется также при неудачной закалке или при необходимости перекаливания инструмента для обработки другого металла (например, если сверло для меди нужно перекаливать для сверления чугуна). При отжиге деталь нагревают до температуры несколько ниже температуры, необходимой для закалки, и затем постепенно охлаждают на воздухе. В результате закаленная деталь вновь становится мягкой, поддающейся механической обработке.

Отжиг и закаливание дюралюминия

Отжиг дюралюминия производят для снижения его твердости. Деталь или заготовку нагревают примерно до 360°C, как и при закалке, выдерживают некоторое время, после чего охлаждают на воздухе.

Твердость отожженного дюралюминия почти вдвое ниже, чем закаленного.

Приблизительно температуру нагрева дюралюминиевой детали можно определить так. При температуре 350—360°C деревянная лучина, которой проводят по раскаленной поверхности детали, обугливается и оставляет темный след. Достаточно точно температуру детали можно определить с помощью небольшого (со спичечную головку) кусочка медной фольги, который кладут на ее поверхность. При температуре 400°C над фольгой появляется небольшое зеленоватое пламя.

Отожженный дюралюминий обладает небольшой твердостью, его можно штамповать и изгибать вдвое, не опасаясь появления трещин.

Закаливание. Дюралюминий можно подвергать закаливанию. При закаливании детали из этого металла нагревают до 360—400°C, выдерживают некоторое время, затем погружают в воду комнатной температуры и оставляют там до полного охлаждения. Сразу после этого дюралюминий становится мягким и пластичным, легко гнется и куется. Повышенную же твердость он приобретает спустя три-четыре дня. Его твердость (и одновременно хрупкость) увеличивается настолько, что он не выдерживает изгиба на небольшой угол.

Наивысшую прочность дюралюминий приобретает после старения. Старение при комнатных температурах называют естественным, а при повышенных температурах—искусственным. Прочность и твердость свежезакаленного дюралюминия, оставленного при комнатной температуре, с течением времени повышается, достигая наивысшего уровня через пять—семь суток. Этот процесс называется старением дюралюминия.

Отжиг меди и латуни

Отжиг меди. Термической обработке подвергают и медь. При этом медь можно сделать либо более мягкой, либо более твердой. Однако в отличие от стали закалка меди происходит при медленном остывании на воздухе, а мягкость медь приобретает при быстром охлаждении в воде. Если медную проволоку или трубку нагреть докрасна (600°C) на огне и затем быстро погрузить в воду, то медь станет очень мягкой. После придания нужной формы изделие вновь можно нагреть на огне до 400°C и дать ему остыть на воздухе. Проволока или трубка после этого станет твердой.

Если необходимо выгнуть трубку, ее плотно заполняют песком, чтобы избежать сплющивания и образования трещин.

Отжиг латуни позволяет повысить ее пластичность. После отжига латунь становится мягкой, легко гнется, выколачивается и хорошо вытягивается. Для отжига ее нагревают до 500°C и дают остыть на воздухе при комнатной температуре.

Воронение и «синение» стали

Воронение стали. После воронения стальные детали приобретают черную или темно-синюю окраску различных оттенков, они сохраняют металлический блеск, а на их поверхности образуется стойкая оксидная пленка; предохраняющая детали от коррозии. Перед воронением изделие тщательно шлифуют и полируют. Поверхность его обезжиривают промывкой в щелочах, после чего изделие прогревают до 60—70°C. Затем помещают его в печь и нагревают до 320—325°C. Ровная окраска поверхности изделия, получается только при равномерном его прогреве. Обработанное таким образом изделие быстро протирают тряпкой, смоченной в конопляном масле. После смазки изделие снова слегка прогревают и вытирают насухо.

«Синение» стали. Стальным деталям можно придать красивый синий цвет. Для этого составляют два раствора: 140г гипосульфита на 1л воды и 35г уксуснокислого свинца («свинцовый сахар») также на 1л воды. Перед употреблением растворы смешивают и нагревают до кипения. Изделия предварительно очищают, полируют до блеска, после чего погружают в кипящую жидкость и держат до тех пор, пока не получают желаемого цвета. Затем деталь промывают в горячей воде и сушат, после чего слегка протирают тряпкой, смоченной касторовым или чистым машинным маслом. Детали, обработанные таким способом, меньше подвержены коррозии.

2.10.15.Оборудование для термообработки

Камерные печи

Электрические и газовые камерные печи периодического действия предназначены для термической обработки мелких и средних деталей в единичном или малосерийном производстве.

Печи этого типа предназначены для закалки, отжига, нагрева перед ковкой, отпуска, нормализации металлических деталей, а также для обжига керамики и термообработки изделий из стекла.

Конструкция печей, предназначенных для термической обработки металла, тяжелее и крепче по сравнению с печами для керамики и стекла. Более крепкая конструкция рамы и дна, а также стойкая к механическим и термическим ударам арка рабочей камеры гарантируют устойчивость при многократных тяжеловесных загрузках, а повышенная мощность - быстрое восстановление температур, поскольку загрузка-выгрузка садки производится при горячей рабочей камере. Для удаления выделяющихся во время термического процесса газов предусмотрены специальные люки.

Печи для обжига керамики и термической обработки стекла имеют более лёгкую конструкцию, для их производства используются легковесные материалы, поскольку садка загружается- выгружается при низких температурах, а сам процесс происходит в мягком режиме.

Для управления печей используются контроллеры, позволяющие программировать изменение температуры по отношению ко времени.

Объем рабочей камеры от 0,2м³ до 5м³. К печам с объемом рабочей камеры более чем 2м³ предлагаем загрузочно-разгрузочное оборудование.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Электромеханический или пневматический механизм открывания дверей
- Автоматическое управление люками
- Функция принудительного охлаждения
- Программная индикация состояния процесса
- Полная комплектация полками, рабочими столами, закалочными ваннами, оборудованием для загрузки и т.д.

Камерные сушилки

Электрические и газовые камерные сушилки периодического действия предназначены для термической обработки различных материалов и деталей в единичном или малосерийном производстве.

Сушилки такого типа используются для низкотемпературных термических процессов, таких как удаление влаги, тесты на термическую прочность, подогрев перед другими термопроцессами, а также для порошковой покраски, вулканизации резины, низкотемпературного отпуска и т.д.

Низкотемпературные процессы имеют особенность выделять газы и пары, поэтому конструкция сушилок должна обеспечивать плотность камеры и их удаление в атмосферу. Мы монтируем в рабочих камерах циркуляционные системы, которые обеспечивают отличное распределение температуры в рабочей камере, подачу свежего воздуха и удаление газов. В зависимости от агрессивности выделяющихся газов рабочая камера может быть сделана из нержавеющей стали или алюминия. Загрузка может быть положена на полки, вагонетки или повешена. Для процессов, которые нуждаются в ограничении скорости циркуляции воздуха, предвиден контроль скорости воздуха.

Для термопроцессов во взрывоопасной среде, используются нагревательные элементы двойной защиты и компоненты, не выделяющие искр. Конструкция камеры гарантирует проходимость потока воздуха даже при полностью загруженных полках.

Размеры рабочей камеры от 0,5м³ до 5м³.

Для сушилок с размерами рабочей камеры более чем 2м³ предлагаем загрузочно-разгрузочное оборудование.

Для управления сушилок используются контроллеры, позволяющие программировать изменение температуры по отношению ко времени.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС, управление процессами с помощью CPU и программирование процесса экраном “Touch Screen”
- Электромеханический или пневматический механизм открытия дверей
- Автоматическое управление люками.
- Стерильные камеры, системы фильтрации воздуха
- Функция принудительного охлаждения.
- Программная индикация состояния процесса
- Полная комплектация полками, рабочими столами, передвижными контейнерами, оборудованием для загрузки и т.д.

Печи с выдвижным полом

Электрические и газовые печи с выдвижным подом периодического действия предназначены для термической обработки средних и больших деталей в единичном или серийном производстве. По сравнению с другими печами более удобна загрузка-выгрузка, которую можно механизировать.

Печи этого типа предназначены для закалки, отжига, нагрева перед ковкой, отпуска, искусственного старения, нормализации металлических деталей, а также для обжига керамики и термообработки изделий из стекла.

Печи с выдвижным подом, предназначенные для термической обработки металла, тяжелее и крепче по сравнению печами аналогичной конструкции для керамики и стекла. Более крепкая конструкция рамы и выдвижного пода, а также стойкая к механическим и термическим ударам арка рабочей камеры гарантируют устойчивость при многократных тяжеловесных загрузках, а повышенная мощность - быстрое восстановление температур, поскольку загрузка-выгрузка садки производится при горячей рабочей камере. Для удаления выделяющихся во время термического процесса газов предусмотрены специальные люки.

Печи с выдвижным подом для обжига керамики и термической обработки стекла имеют более лёгкую конструкцию, для их производства используются легковесные материалы, поскольку садка загружается-выгружается при низких температурах, а сам процесс происходит в мягком режиме.

Для управления печей используются контроллеры, позволяющие программировать изменение температуры по отношению ко времени.

Объем рабочей камеры от 1м³ до 10м³

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Электромеханический или пневматический механизм открытия дверей
- Электромеханический привод выдвижного пода.
- Контроль температуры, процесс открытия дверей и движение пода производятся с помощью CPU и программируются экраном “Touch Screen”
- Автоматическое управление люками
- Функция принудительного охлаждения
- Программная индикация состояния процесса
- Полная комплектация полками, рабочими столами, закалочными ваннами, оборудованием для загрузки и т.д.

Сушилки с выдвижным полом

Электрические и газовые сушилки с выдвижным подом периодического действия предназначены для термической обработки различных материалов и деталей в серийном производстве. По сравнению с другими сушилками более удобна загрузка-выгрузка, которую можно механизировать.

Сушилки такого типа используются для низкотемпературных термических процессов, таких как удаление влаги, тесты на термическую прочность, подогрев перед другими термопроцессами, а также для порошковой покраски, вулканизации резины, низкотемпературного отпуска и т.д.

Низкотемпературные процессы имеют особенность выделять газы и пары, поэтому конструкция сушилок должна обеспечить плотность камеры и их удаление в атмосферу. Мы монтируем в рабочих камерах циркуляционные системы, которые обеспечивают отличное распределение температуры в рабочей камере, подачу свежего воздуха и удаление газов. В зависимости от агрессивности выделяющихся газов рабочая камера может быть сделана из нержавеющей стали или алюминия. Загрузка может быть положена на полки, вагонетки или повешена. Для процессов, которые нуждаются в ограничении скорости циркуляции воздуха, предвиден контроль скорости воздуха.

Для управления сушилок используются контроллеры, позволяющие запрограммировать изменение температуры по отношению к времени.

Объем рабочей камеры от 1м³ до 10м³.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Электромеханический или пневматический механизм открытия дверей
- Электромеханический привод выдвижного пода
- Контроль температуры, процесс открытия дверей и движение пода производятся с помощью CPU и программируются экраном "Touch Screen"
- Система подачи защитных газов
- Стерильные камеры, системы фильтрации воздуха
- Автоматическое управление люками
- Функция принудительного охлаждения
- Программная индикация состояния процесса
- Полная комплектация полками, рабочими столами, оборудованием для загрузки и другим дополнительным оборудованием.

Туннельные печи

Электрические и газовые туннельные печи постоянного действия предназначены для термической обработки различных материалов и деталей в серийном производстве.

Оборудование такого типа легко интегрируется в непрерывные технологические производственные линии, оно является более производительным, чем обычные печи и сушилки в зависимости от степени механизации и автоматизации.

При введении многозонного управления в одной печи можно произвести несколько термических процессов. Движение загрузки в рабочей камере обеспечивается вагончиками, цепью, роликами и т.д.

Для управления печами используются программируемые контроллеры.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Регулируемая скорость движения загрузки
- Контроль температуры и влаги, процесс движения загрузки внутри камеры производятся с помощью CPU и программируются экраном "Touch Screen"
- Система подачи защитных газов.
- Стерильные камеры, системы фильтрации воздуха
- Автоматическое управление люками
- Функция принудительного охлаждения
- Программная индикация состояния процесса
- Полная укомплектованность полками, загрузочно-разгрузочными столами и другим дополнительным оборудованием.

Туннельные сушилки

Электрические и газовые туннельные сушилки постоянного действия предназначены для термической обработки различных материалов и деталей в серийном производстве.

Оборудование такого типа легко интегрируется в непрерывные технологические производственные линии, оно является более производительным, чем обычные печи и сушилки в зависимости от степени механизации и автоматизации.

При введении многозонного управления в одной сушилке можно произвести несколько термических процессов. Движение загрузки в рабочей камере обеспечивается вагончиками, цепью, роликами и т.д.

Для управления сушилками используются программируемые контроллеры.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Регулируемая скорость движения загрузки
- Контроль температуры и влаги, процесс движения загрузки внутри камеры производятся с помощью CPU и программируются экраном “Touch Screen”
- Система подачи защитных газов.
- Стерильные камеры, системы фильтрации воздуха
- Автоматическое управление люками
- Функция принудительного охлаждения
- Программная индикация состояния процесса
- Полная укомплектованность полками, загрузочно-разгрузочными столами и другим дополнительным оборудованием.

Колпаковые печи

Электрические и газовые колпаковые печи предназначены для термической обработки в серийном производстве. Они предназначены для отжига проволоки и ленты и других металлических конструкций. Колпаковая печь состоит из футерованного колпака с нагревателями и одной или несколько неподвижных платформ.

Печи такого типа используются для термической обработки изделий больших габаритов и веса. Конструкция печи позволяет экономить производственные помещения, а при наличии более одной платформы достигается более высокая производительность по сравнению с печами других типов. Они удобны при использовании защитных газов.

Для управления печей используются контроллеры, позволяющие программировать изменение температуры по отношению ко времени

Объем рабочей камеры от $0,5\text{м}^3$ до 10м^3 .

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Программная индикация состояния процесса
- Система подачи защитных газов
- Механизм для подъема колпака и продвижения платформ

Шахтные печи

Шахтные электрические печи предназначены для термической обработки длинных деталей в вертикальном положении, а также для тяжелых деталей, для загрузки которых в рабочую камеру нужен кран. Рабочая камера может иметь форму цилиндра или прямоугольника, в зависимости от процесса - с мешалкой воздуха или без неё.

Такие печи могут быть укомплектованы ретортами, с помощью которых можно производить термохимические процессы, такие как газовая цементация, нитроцементация и азотирование.

Объем рабочей камеры от $0,5\text{м}^3$ до 5м^3 .

Для управления печей используются контроллеры, позволяющие программировать изменение температуры по отношению ко времени.

Дополнительное оборудование:

- Программное обеспечение для скапливания данных в РС
- Реторты для термохимических процессов
- Система принудительного охлаждения
- Механизм подъема крышки печи

Индукционный нагрев и плавка

Оборудование для индукционного нагрева широко применяется для локальной закалки поверхности деталей.

Индукционным путем можно нагревать как наружные так и внутренние поверхности

Оборудование может быть легко монтируемые в технологические линии, с помощью такого оборудования возможно достичь высокой производительности и повторимости параметров процесса

Вместе с оборудованием индукционного нагрева могут быть поставлены закалочные машины с разным уровнем автоматизации.

Плавка металла с помощью индукционного нагрева используется там, где необходимо достичь высокой производительности. Этот способ особенно эффективен при плавке различных сплавов.

Печи для термохимических процессов

Печи для термохимических процессов, обеспечивают необходимую твердость поверхности при помощи насыщения поверхностных слоев металла азотом или углеродом. Печи для термохимических процессом можно использовать практически для любых марок сталей. Печи для термохимических процессов используются для следующих операций: цементизация, нитроцементизация и азотирование.

Вакуумные печи

Вакуумные печи - это герметизированные аппараты, в которых проходят электротермические процессы, к которым предъявляются особые требования. Вакуумные печи применяются для безокислительного нагрева металлов и плавки металлов с высокой степенью очистки. Вакуумные печи используют при плавке, рафинировании, разливки в формы сталей, жаропрочных сплавов, высоколегированных сталей, а также цветных и редких металлов.

Вакуумные печи употребляются там, где к термической обработке предъявлены особые требования.

Во время процесса детали полностью защищены от оксидации.

В вакуумных печах также можно произвести термохимические процессы

2.10.16. Лазерная резка

Лазерная резка - это процесс обработки металла, при помощи светящихся частиц (фотонов). Во время процесса резки, луч лазера проецируется на разрезаемый материал и фокусируется на расстоянии в несколько сантиметров от поверхности материала. Фокусировка и резка при этом управляется компьютером.

Основные достоинства этого способа резки металла – экономичность, высокая производительность резания, возможность получения сложных форм и узоров на обрабатываемом материале. Материал в процессе обработки не деформируется, линия среза – ровная и без зазубрин.

Тем не менее, даже этот способ имеет некоторые недостатки. Существуют материалы, которые невозможно разрезать при помощи лазера. К примеру, стекло ввиду прозрачности нельзя разрезать таким способом – луч лазера просто проходит сквозь него. При резке изделий из меди или латуни также возможны проблемы из-за отражения от поверхности. Максимальная толщина материала при лазерной резке около 20-25 мм. Также невозможно использовать лазер при температурах ниже нуля или близких к нулю.

2.10.17. Электрическая эрозия (Электроэрозия)

Электроэрозионная обработка, также называемая электроэрозия, основывается на вырывании частиц с поверхности металла импульсом электрического разряда. Если задано расстояние (напряжение) между электродами, погруженными в жидкий диэлектрик, то при сближении электродов (увеличении напряжения) происходит пробой диэлектрика и возникает электрический разряд, с образованием плазмы высокой температуры в канале разряда – это свойство используют электроэрозионные станки.

При обработке твердых материалов и сложных изделий, особенно эффективны электроискровые методы, т.к. при механическом способе обработки, огромное значение имеет износ инструмента. Электроискровая обработка дешевле в эксплуатации, в сравнении с механической, поскольку в качестве инструмента применяется проволока. Изготовление штампов механическим способом во многом зависит от качества инструмента, стоимость которого в некоторых случаях достигает 50% от всей стоимости обработки. Электроэрозионный станок при обработке этих же штампов расходует инструмента не более чем на 3,5 % от всей стоимости обработки.

Электроэрозия позволяет обрабатывать материал электрическими импульсами не более 0,01 с, ввиду чего выделяющееся тепло не распространяется вглубь материала. Кроме того, давление частиц плазмы при ударе об электрод, способствует эрозии (выбросу) не только расплавленного, ни и разогретого вещества. Электрический пробой всегда возникает по кратчайшему пути, поэтому в первую очередь разрушаются наиболее близкие участки электродов. При приближении одного электрода заданной формы (инструмента) к другому (обрабатываемому материалу), поверхность заготовки принимает форму инструмента. Производительность такого метода и качество поверхности после обработки зависит от параметров электроимпульсов (длительности, частоты, энергии).

Этот метод позволяет резать металл толщиной до 400 мм. Электроэрозионный станок отличается высокой точностью обработки. К недостаткам можно отнести низкую скорость резания.

2.10.18. Плазменная резка

Плазменная резка – это достаточно эффективный технологический процесс, который используется во многих отраслях промышленности для резания черных и цветных металлов, а также сплавов. Плазменная резка отличается высокой производительностью процесса, качеством полученного реза и точностью обработки.

Основа плазменной резки в интенсивном расплавлении металла высококонцентрированной электрической дугой по линии реза. Жидкий металл в процессе обработки удаляется высокоскоростным потоком плазмы.

Плазменную резку применяют для получения заготовок высокого качества из листового металла, труб, проката, удаления дефектов, создания отверстий, снятия фасок под сварку, уменьшения габаритных размеров при утилизации, а также для отрезки литниковых прибылей.

Поскольку этот метод является одним из самых приемлемых по соотношению качества и цены, то его с успехом применяют для серийного производства, резки цветного металла и нержавеющей сталей. Плазменная резка позволяет качественно и эффективно

разрезать металл толщиной до 50мм. Данный метод достаточно универсален и позволяет обрабатывать металлы разного класса на одном станке для плазменной резки.

Оборудование для плазменной резки состоит из источника тока, аппаратного блока, ручного или механизированного плазмотрона, при отсутствии централизованной воздушной магистрали необходимо компрессорное оборудование, при отсутствии системы водоснабжения необходим автономный блок охлаждения плазмотронов, устройства для механизации перемещения изделия (или плазмотрона). Источник тока для плазменной резки обладает крутопадающей внешней характеристикой с повышенным напряжением на холостом ходу (более 100В), естественным охлаждением и возможностью плавного или ступенчатого регулирования тока. В зависимости от мощности, плазматроны имеют воздушное или водяное охлаждение. Большинство плазмотронов укомплектованы шлангом-кабелем длиной около 6 метров. Ручной плазматрон состоит из пластикового корпуса с подведенными проводами и воздухотокоподводом, а также режущей головки. На рукоятке плазмотрона устанавливается кнопка для включения и выключения. Механизированные плазматроны оснащаются проточным водяным охлаждением. Плазматроны для механизированной резки размещаются на стационарной установке портального, портально – консольного или шарнирно – пантографического типа, с использованием разного рода систем перемещения – ЧПУ, фотоэлектронная, линейная с ручной регулировкой скорости, магнитным копированием. Основные расходные элементы плазмотрона – специальные электроды и сопла. Процесс зажигания режущей плазменной дуги осуществляется при помощи вспомогательной дуги с малой мощностью, которая возбуждается искровым разрядом от осциллятора установки.

Процесс плазменной резки может проходить не только в условиях цеха, но и монтажно – полевых условиях, в автоматическом или ручном режиме, при размещении изделия в любом пространственном положении. Резка плазмой ведется в основном на токе с прямой полярностью, но на некоторых специализированных плазмотронах полярность тока обратная. Плазмообразующий и охлаждающий газ – воздух под давлением от 3,5 до 6 атм. Воздух перед подачей на установку проходит через влагомаслоотделитель. Между соплом плазмотрона и обрабатываемой поверхностью расстояние должно составлять 10-15мм. При ручной плазменной резке, плазматрон может скользить по поверхности детали благодаря специальной диэлектрической насадке для сопла. Скорость резания задается в зависимости от обрабатываемого материала и технологического режима и варьируется от 0,07 до 6,0м/мин.

В отличие от других процессов резки (газовой, лазерной, вибрационной и т.д.) – плазменная резка обладает рядом преимуществ:

- Плазменная резка достаточно универсальный процесс, который позволяет на одном и том же оборудовании обрабатывать различные электропроводящие материалы.
- Скорость резания в 2-3 раза больше при обработке металла толщиной до 50мм, в сравнении с другими термическими способами резки (за исключением лазерной резки).
- Применяемый для резки газ – сжатый воздух, что весьма экономично.
- Значительное снижение термической деформации обрабатываемых деталей.
- При использовании малогабаритных установок с воздушным охлаждением для плазменной резки, оборудование достаточно мобильно.
- Установки плазменной резки просты в эксплуатации и экономичны.

При ряде достоинств, плазменная резка обладает всего одним, но значительным недостатком – в процессе резания происходит оплавление и термическое упрочнение края, что ведет к образованию трещин, в процессе гибки. Для того чтобы избежать этого, в некоторых случаях достаточно зачистить оплавленные края среза.

2.10.19. Кислородная резка (Газовая резка)

Кислородная или газовая резка металла основана на способности горения металла в струе кислорода. Предварительно металл разогревается в месте предполагаемого реза (температура нагрева зависит от марки стали), после чего струя кислорода разрезает металл, при этом удаляются все образующие оксиды. Способ применяют для резки металла толщиной 1-300 мм.

Для кислородной резки используется специальная сварочная горелка со специальным устройством для подачи кислорода. В зависимости от того, какой газ используется для предварительного нагрева металла можно выделить несколько видов газовой резки: ацетилен - кислородная, водородно – кислородная, бензин – кислородная резка и другие.

К достоинствам данного метода резания можно отнести возможность реза любого вида сложности, невысокую стоимость оборудования, небольшие эксплуатационные затраты, а также толщину обрабатываемого металла (до 300 мм).

Данный способ подходит только для резки углеродистых сталей, что является существенным недостатком. При толщине металла более 30 мм образуется широкая линия реза – до 3 мм. Качество реза невысокое – образуются неровные обгорелые края реза, что требует дополнительной механической обработки.

Лекция 2.6

2.10. Технологии механосборочных работ

Сущность содержания процесса сборки и структура сборочных единиц: установка в требуемое положение и соединение готовых деталей, узлов, агрегатов в определенной последовательности, в результате чего получают готовое изделие, машину или механизм, полностью отвечающие заданным требованиям в соответствии с их служебным назначением.

Исходные предметы сборки: элементы конструкции сборочной единицы (детали, узлы, агрегаты, болты, шайбы, гайки, винты, заклепки и т. п.). Конечный предмет сборки: сборочная единица, включающая все входящие элементы конструкции, соединенные в соответствии со сборочным чертежом.

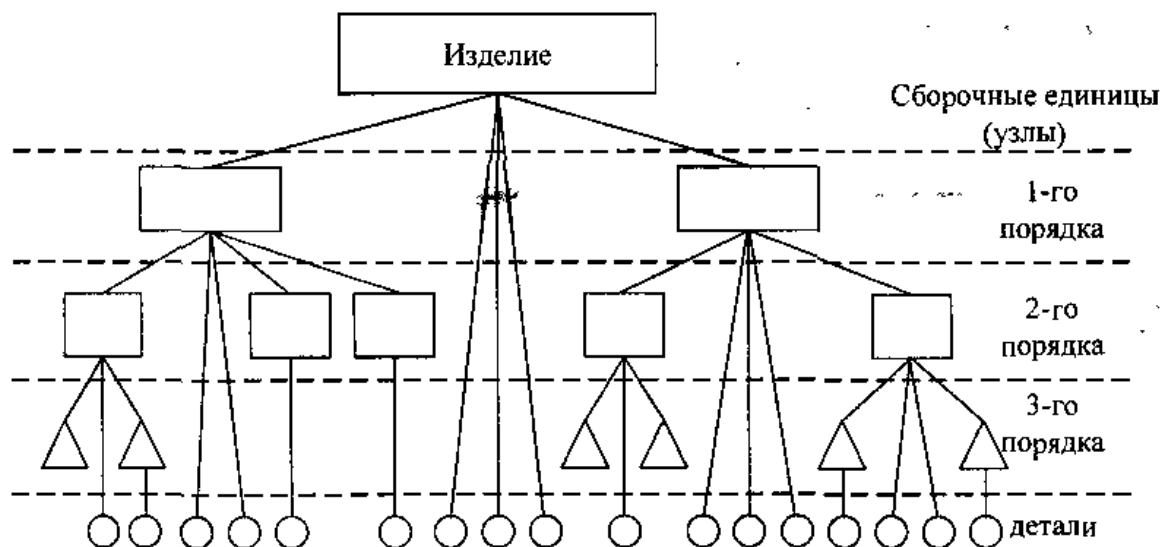


Рис.2.72 Технологическая схема изделия

Особенности технологического процесса сборки. Сборные изделия отличаются большим разнообразием служебного назначения, обеспечиваемого использованием различных физических эффектов и явлений – механических, гидравлических, аэродинамических, электромагнитных, электрических, оптических, электронных и т. п., это и определяет разнообразие конструктивно-технологических свойств сборочных единиц и входящих в них элементов конструкции, влияющих на содержание технологического процесса сборки.

Сложность структуры – состава и взаимосвязи элементов конструкции сборного изделия – определяет иерархический характер технологического процесса сборки, отображаемый в виде схемы сборки изделия. Основными структурными компонентами технологического процесса сборки изделия являются этапы и сборочные операции. Этап есть законченная часть технологического процесса сборки изделия или его составной части, выделяемая в соответствии со схемой сборки. Сборочная операция, как и в других технологических процессах машиностроительного производства, является основным структурным элементом технологического процесса, соответствующим определенному изменению свойств предмета труда с использованием конкретного физического, химического или иного эффекта и определенных средств технологического оснащения.

Применительно к отдельному входящему элементу конструкции сборочной единицы основные операции сборки разделяются на этапы установки и соединения. Этап установки включает в себя перемещение элемента конструкции и базирование, обеспечивающее с

заданной точностью требуемое положение устанавливаемого элемента относительно других элементов конструкции сборочной единицы.

Этап соединения включает в себя операции, связанные с образованием контуров соединений, заданных в конструкторской документации. Конкретное содержание операций соединения зависит от вида соединений, применяемых средств технологического оснащения, уровня механизации и автоматизации, организации производства и т. п.; классификация видов соединений определяется по целостности и подвижности составных частей, форме соединяемых поверхностей и методам образования соединений.

Методы образования соединений разделяются в зависимости от наличия или отсутствия специальных соединительных элементов конструкции. При отсутствии таких элементов соединение осуществляется по сопрягаемым поверхностям. К таким соединениям относятся шлицевые, прессовые, термоусаживаемые и т. п. соединения.

Наибольшим разнообразием отличаются методы образования соединений с использованием специальных соединительных элементов – болтов, винтов, заклепок, шпилек и т. п. К этой же группе относятся клиновые, шпоночные, штифтовые и другие соединения. Для выполнения таких соединений предварительно необходимы операции образования контуров для постановки соединительных элементов. Например, в болтовых, винтовых и заклепочных соединениях необходимо образовать отверстия для постановки болтов, винтов и заклепок, нарезать резьбу (для винтов), обработать гнезда для потайных головок болтов, винтов или заклепок и т. д.

В сварных, паяных и клееных соединениях соединительным элементом является сварной, паяный или клеевой шов.

Для выполнения таких соединений предварительно необходимы операции обработки кромок, механической и химической очистки соединяемых поверхностей в зоне соединительного шва.

Классификация видов сборки определяется объектом сборки, стадией и организацией производства сборочных работ, последовательностью сборки, точностью сборки, механизацией и автоматизацией работ, подвижностью объекта сборки в процессе выполнения сборочных работ.

Объектом сборки является сборочная единица – составная часть изделия или изделие в целом. Сборочные единицы относятся к различным иерархическим уровням членения изделия – к агрегатам (секциям, отсекам) или узлам. Сборочная единица n -го порядка (уровня) собирается на n -м этапе процесса сборки.

Стадия сборки характеризует процесс сборки по степени его законченности, а организация производства характеризует сборку изделия или его составных частей в различных условиях организации выполнения технологического процесса сборки.

Последовательность сборки характеризует очередность (порядок) выполнения этапов и операций сборки, а также возможность их выполнения строго поочередно или одновременно (параллельно).

Точность сборки характеризует процесс сборки по методу достижения точности замыкающего звена сборочной размерной цепи, определяющей качественные показатели, обусловленные служебным назначением изделия.

Механизация и автоматизация сборочных работ характеризует процесс сборки в зависимости от степени замены ручного труда машинным.

Подвижность объекта сборки отражает возможность перемещения сборочной единицы с одного рабочего места на другое в процессе сборки.

Основные контуры сборочной единицы. Все конструктивно-технологические свойства сборочной единицы описываются как контуры. Понятие контура используется как для описания собственно свойств, так и для описания составных частей конструкции изделия, если эти части не рассматриваются как самостоятельные объекты (например, контуры стыков и разъемов, контуры сварных или заклепочных швов и т.

п.). По природе описываемых свойств контуры разделяются на геометрические, физические, химические и биологические. По их роли в производстве и эксплуатации изделия контуры разделяются на функциональные, технологические и технико-экономические.

Геометрические контуры характеризуют форму и взаимное расположение в пространстве объектов и их поверхностей. Физические контуры характеризуют массу, прочность, механические, электрические и другие физические свойства объекта. Химические характеризуют химический состав и свойства материалов конструкции, а биологические контуры характеризуют взаимосвязь материала и биологических объектов.

Функциональными называются контуры, связанные со служебным назначением элементов конструкции в процессе эксплуатации изделия. Функциональные контуры разделяются на основные, непосредственно определяющие служебные функции изделия, и вспомогательные, обеспечивающие существование основных контуров. Все другие контуры изделия, не влияющие на выполнение служебного назначения, называются свободными.

Технологические контуры связаны со специфическими способами производства; технико-экономические контуры характеризуют трудовые, стоимостные и материальные затраты в проектировании, производстве и эксплуатации изделия – трудоемкость, себестоимость, материалоемкость, цикл производства и т. д.

Все контуры сборочной единицы и входящих в нее элементов конструкции разделяются на контуры самих элементов конструкции, рассматриваемых как единое целое, и контуры соединений этих элементов.

Контуры самих элементов сборочной единицы включает в себя геометрические, физические, химические и биологические контуры, рассматриваемые отдельно от других элементов сборочной единицы. Эти контуры реализуются в процессе изготовления элементов сборочной единицы. Контуры любого элемента α_i имеют иерархическую структуру. Особенно сложную структуру имеют геометрические контуры, описывающие форму и взаимное расположение поверхностей, образующих геометрическое тело элемента конструкции. Помимо иерархической подчиненности между этими поверхностями существуют структурные связи, определяемые их смежностью и размерными связями.

Контуры соединений характеризуют свойства сопряженных элементов конструкции в зоне их соединения и свойства соединительных элементов конструкции. По своей природе контуры соединений включают в себя, наряду с геометрическими, физические, химические и биологические свойства.

Контур соединения имеет сложную структуру, компонентами которой являются:

- контуры пакета соединяемых деталей ;
- контуры соединительных элементов конструкции (если они входят в данное соединение).

Контуры пакета соединяемых деталей включают в себя перечень соединяемых деталей и состав сопрягаемых поверхностей этих деталей. Если соединительные элементы конструкции отсутствуют, то контуры пакета соединяемых деталей определяют весь контур соединения. Если соединение включает в себя соединительные элементы, то в дополнение к контуру пакета соединяемых деталей включаются контуры соединительных элементов.

При решении конкретных конструкторских, производственных или эксплуатационных задач рассматриваются, как правило, не все контуры, а только те, которые влияют на решение данной задачи. Состав таких контуров определяется на основе анализа служебного назначения и конструкции изделия.

Почти каждый контур сборного изделия представляет собой иерархическую структуру с большим количеством входящих контуров низших уровней. Эта структура последовательно раскрывается в конструкторской документации, и прежде всего – в

схемах и чертежах изделия, которые служат для представления геометрической информации в графическом виде. Сопутствующие количественные данные и информация о физических, химических и других контурах представляются в текстовом (символьном) виде в спецификациях и других конструкторских документах

Важнейшими данными чертежа, наряду с изображением геометрических контуров, являются размеры. На сборочном чертеже это габаритные размеры, установочные (определяют положение входящих элементов конструкции) и присоединительные размеры (характеризуют контуры сопряжений входящих элементов конструкции). На детализовочном чертеже это габаритные размеры детали и размеры, определяющие форму и взаимное расположение ее поверхностей.

Схемы сборки изделия. Любое изделие проектируется так, чтобы наилучшим образом обеспечивать выполнение требований функционального назначения, производства и эксплуатации. Результатом такого комплексного подхода является широкое расчленение конструкции изделия, позволяющее:

- сокращать сроки проектирования изделия за счет разделения труда и параллельного выполнения проектно-конструкторских работ;
- сокращать производственный цикл за счет параллельного изготовления, независимого контроля и испытаний отдельных элементов конструкции, снижать трудоемкость сборочных работ за счет применения высокопроизводительного оборудования, оснастки, средств механизации и автоматизации;
- применять широкую кооперацию производства;
- сокращать циклы, затраты труда и материалов на техническое обслуживание и ремонт за счет улучшения эксплуатационных свойств изделия.

Расчлененность конструкции представляется в виде схем членения изделия. Различают схемы функционального (конструкторского), технологического и эксплуатационного членения. Схема функционального членения отражает разделение элементов конструкции на звенья основных функциональных контуров.

Последовательность выполнения сборочных операций. Основными факторами, влияющими на последовательность операций технологического процесса сборки сборочной единицы, являются:

- последовательность установки деталей сборочной единицы;
- условия базирования элементов конструкции сборочной единицы и средств технологического оснащения (инструмента, элементов оборудования и сборочных приспособлений);
- условия доступа деталей сборочной единицы и элементов соединений к месту их установки, а также условия доступа элементов технологического оснащения в рабочую зону сборки;
- размерные связи элементов конструкции сборочной единицы.

Условия базирования деталей. Для получения требуемого качества геометрических контуров сборочной единицы необходимо обеспечить определенность базирования устанавливаемых деталей.

Под определенностью базирования детали понимается «неизменность» ее положения относительно поверхностей другой детали или деталей, с которыми она соединена и которая или которые определяют ее положение при работе в машине или в процессе изготовления. Следовательно, при определенности базирования, деталь занимает требуемое положение в сборочной единице и сохраняет это положение неизменным под действием возмущающих сил, неизбежных при выполнении сборочных операций.

Определенность базирования обеспечивается за счет механических связей устанавливаемой детали со сборочной базой, реализуемой установленными ранее деталями и (или) базовыми элементами сборочного приспособления. Наличие механических связей описывается графом сопряжений элементов конструкции сборочной единицы и сборочной оснастки. Состав механических связей описывают

относительно базовой системы координат сборочной единицы с помощью единичных баз. Единичная база – векторная величина, обусловленная существованием механической связи. Элемент конструкции, лишенный всех возможных перемещений, будет иметь двенадцать единичных баз: шесть поступательных $V+x$, $V-x$, $V+y$, $V-y$, $V+z$, $V-z$ и шесть вращательных $V+x$, $V-x$, $V+y$, $V-y$, $V+z$, $V-z$. Определенность базирования обеспечивается только при наличии всех двенадцати единичных баз. Возможные составы сборочных баз – составы элементов, при наличии которых обеспечивается определенность базирования элемента a_i , описываются логическим уравнением $V(a_i)$.

Влияние условий базирования и доступа на последовательность установки деталей наглядно иллюстрируется при сборке изделия. Установка очередной детали возможна, если может быть обеспечена определенность базирования данной детали (с учетом фиксации) относительно установленных ранее, и если возможно перемещение детали к месту ее установки.

При сборке необходимо обеспечить относительное положение деталей в собранном соединении с точностью в пределах величины зазора в соединении.

Технология сборки. Последовательность выполнения работы такова:

к месту сборки поступает базовая деталь по транспортеру, а присоединяемые детали по грузочно-транспортному лотку с отсекающими; начинается движение набора оправок с центром, которые охватывают присоединяемую деталь по внутреннему и наружному ее контуру и упираются в торец присоединяемой детали; часть оправок и центр движутся дальше, осуществляется закрепление базовой детали и выверка присоединяемой детали относительно базовой; оправки, ранее опиравшиеся в торец присоединяемой, производят установку ее на базовую деталь.

В качестве транспортных устройств возможно использование поворотных столов периодического движения, замкнутых цепных, ленточных транспортеров, а также штанговых транспортеров. Возможно использование в роторных машинах.

Режимы сборочного процесса. Режимы сборочного процесса должны обеспечить качество соединения и сохранить качество соединяемых деталей.

Средства технологического оснащения. Технологическая оснастка – набор подпружиненных телескопических коническо-цилиндрических оправок с центром для базирования, выверки относительного положения соединяемых деталей и установки присоединяемой, а также грузочно-транспортные лотки.

Технология сборки. Базирование заворачиваемой детали целесообразно осуществлять по резьбовой поверхности по двойной направляющей базе. В этом случае головку резьбовой детали используют в качестве двойной опорной базы. Короткие винты вынуждены базировать по торцу головки – установочная база, резьбовой поверхности – двойная опорная база, а шлиц или грань служит опорной базой. Упругие компенсаторы относительных поворотов соединяемых резьбовых деталей можно создать только при базировании винта или болта по резьбовой поверхности по двойной направляющей базе, в ином случае – при базировании по двойной опорной базе возможна лишь компенсация относительных смещений, поэтому заворачивание деталей будет затруднено из-за повышенных требований к точности технологической системы. Вследствие этого лучше ввинчивать болт в гайку, чем навинчивать гайку на болт.

Для облегчения соединения отверстия под крепеж в базовой детали должны размещаться равномерно и точность их положения необходимо регламентировать. Число типов посадочных и сопрягаемых поверхностей, а также применяемых видов соединений деталей должно быть минимальным. Длина стержней винтов и болтов должна быть по возможности одинаковой и превышать на 20–30% диаметр резьбы детали. Короткие винты желательно подавать в сборочную машину в виде стержней и отделять их по одному в процессе сборки.

Если возможно, то целесообразно использовать самонарезающие винты, а также винты, осуществляющие сверление, нарезку или накатку резьбы в сопряженной детали и затем затяжку соединения.

Как известно трудоемкость сборочных работ в машиностроении составляет примерно 20 –50 % от общей трудоемкости изготовления машины. (Меньший предел – для массового производства, верхний предел – для серийного производства.)

От всего объема сборочных работ на машиностроительных заводах автоматическая сборка составляет примерно 6...7 % от всех видов сборки. Поэтому возникает необходимость сокращения трудоемкости сборочных работ путем ее автоматизации. Внедрению автоматической сборки препятствует также отсутствие единой научно обоснованной методики по проектированию техпроцессов автоматической сборки узлов и машин и незначительное количество практически внедренных автоматизированных сборочных процессов. Большим препятствием для проведения работ по автоматизации процессов сборки является необходимость проектирования специальной оснастки и ее изготовления для каждого завода. Это приводит к большой трудоемкости изготовления автоматизированных сборочных устройств и обходится дорого.

Проблемными вопросами в области автоматизации сборочных процессов являются:

1) разработка научных основ автоматизации сборочных процессов. При этом необходимо решить ряд вопросов, таких как выбор оптимального процесса автоматической сборки, обеспечение заданной точности, надежности и производительности устройств автоматической сборки, выбор типа конструкции и размеров сборочной оснастки и т.д.;

2) внедрение типовых и групповых процессов сборки;

3) проведение нормализации, унификации и улучшения технологичности собираемых узлов и деталей;

4) должны быть разработаны типовые сборочные устройства определенного назначения, из которых можно было бы компоновать различные сборочные автоматы и автоматические линии. В этом случае значительно сокращаются трудоемкость и стоимость автоматизированных сборочных устройств и сокращаются сроки их внедрения на заводах;

5) чтобы успешно внедрять автоматизацию в серийное производство, необходимо разрабатывать перенастраиваемые сборочные автоматы с различными системами программного управления;

6) изучение надежности и отказов в работе автоматического сборочного оборудования. Изучение способов настройки этих устройств.

Из вышеперечисленного следует, что существует еще много вопросов в автоматической сборке, которые требуют решения.

Технологический процесс автоматической сборки состоит из следующих взаимосвязанных, последовательно выполняемых технологических переходов:

1) загрузки собираемых деталей в разгрузочные и транспортные устройства и последующего перемещения деталей к месту сборки с предварительной их ориентацией;

2) базирования и относительной ориентации деталей на сборочной позиции с требуемой точностью;

3) сопряжения соединяемых деталей и закрепления установленной детали, т.е. осуществления собственно сборки (с закреплением или без него);

4) контрольных операций в процессе сборки деталей;

5) удаления собранного узла со сборочной позиции, если сборка на данной позиции заканчивается, или перемещения сборочной единицы на следующую сборочную позицию.

В качестве загрузочных устройств в станках автоматической сборки используют те же загрузочные устройства, что и при механической обработке. Так для мелких деталей применяют вибробункера обычные и многоярусные. Последние позволяют подавать на

позицию сборки различные по наименованию детали и существенно уменьшить площадь, занимаемую станком.

Для автоматической загрузки деталей, а в ряде случаев и транспортировке с одной сборочной позиции на другую (особенно для сложных по конфигурации деталей или крупных по размеру) используют автооператоры.

Для собираемых деталей, которые не позволяют применять бункерные механизмы, иногда применяют специальные способы подачи их в зону сборки, к таким приемам следует отнести:

а) подачу штампуемых деталей в ленте с отделением их от ленты на сборочной позиции;

б) удержание деталей клеем на бумажной ленте и т.д.;

Перед сопряжением детали должны занять вполне определенное устойчивое положение. Базирование деталей на сборочных позициях производится по правилу шести точек, но при этом возникают добавочные требования наибольшей стабильности положения сопрягаемых поверхностей при колебании размеров деталей в пределах допуска.

В зависимости от вида сопряжения схемы базирования деталей могут быть различными.

Наибольшую трудность при автоматизации сборочных процессов представляет ориентация деталей одна относительно другой. Детали должны располагаться так, чтобы при любых их размерах, лежащих в пределах поля допуска, сборка была осуществлена. Эта задача решается на базе теории размерных цепей. При автоматической сборке часто встречаются случаи, когда оборудование не может обеспечить точность взаимного расположения деталей, гарантирующего их беспрепятственное соединение.

Для этого одну из деталей во время соединения превращают в подвижный компенсатор, а базирование комплектуемой детали ведется по сопрягаемым поверхностям другой (самоцентрирование). Это позволяет значительно расширить допуски.

Основная функция сборочного автомата – соединение деталей в узле и их закрепление. Эти операции выполняют манипуляторы, сборочные приспособления, транспортирующие устройства с механизмом фиксации и механизмы для закрепления деталей. Соответственно способу закрепления в сборочном автомате на определенных местах по ходу техпроцесса ставятся силовые головки (винтоверты, прессы со специальными насадками для запрессовки, кернения, развальцовки и т.д.), каждая из которых выполняет определенную функцию.

Важную роль в процессе автоматической сборки играет контроль, основными функциями которого является:

- 1) контроль наличия деталей, поступающих на сборку;
- 2) контроль правильности взаимного расположения собираемых деталей;
- 3) проверка качества собранного изделия;
- 4) контроль работы отдельных механизмов автомата;
- 5) измерение отдельных деталей при селективной сборке с последующим вызовом деталей соответствующей группы из загрузочного устройства.

Последний из элементов процесса автоматической сборки – удаление собранного узла со сборочной позиции или его перемещение на следующую сборочную позицию. Межоперационное транспортирование выполняют транспортные устройства в виде многопозиционных делительных столов, различных типов транспортеров и другие устройства. Удаление собранного изделия со сборочной позиции может осуществляться путем простого механического выталкивания или выдувания воздухом в тару.

Сборка валиков с втулками

Рассмотрим пример автоматической сборки валика с втулкой. Для примера пусть будет характер сопряжения по одной из подвижных посадок, а базирование и валика и втулки осуществляется по наружной поверхности.

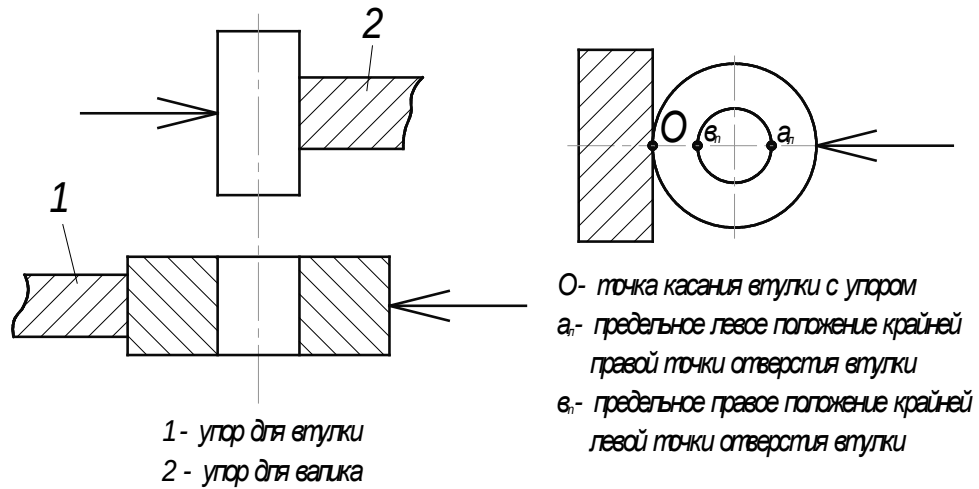


Рис. 2.73. Схема базирования собираемых деталей

Положение в пространстве сопрягаемых поверхностей зависит не только от действительных размеров сопрягаемых деталей, но и от эксцентриситета «е» наружной поверхности втулки относительно внутренней.

Выведем условие собираемости этих деталей.

Введем обозначение:

D – наружный диаметр втулки,

d_o – внутренний диаметр втулки (диаметр отверстия),

e – эксцентриситет втулки,

d_b – диаметр валика.

Сборка будет осуществима, если максимальный диаметр валика $d_{b\max}$ будет равен, либо меньше размера $a_n b_n$, т.е.

$$d_{b\max} \leq a_n b_n$$

1)

Размер $a_n b_n$ определяется следующим образом:

$$a_n b_n = O_{a_n} - O_{b_n}$$

$$O_{a_n} = \frac{1}{2} D_{\min} + \frac{1}{2} d_{o\min} - \ell$$

$$O_{b_n} = \frac{1}{2} D_{\max} - \frac{1}{2} d_{o\min} + \ell$$

$$\text{Тогда } a_n b_n = \frac{1}{2} D_{\min} - \frac{1}{2} D_{\max} + \frac{1}{2} d_{o\min} + \frac{1}{2} d_{o\min} - 2\ell = d_{o\min} - \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} - 2\ell$$

$$D_{\max} - D_{\min} = T, \text{ тогда}$$

$$a_n b_n = d_{o\min} - \frac{T}{2} - 2\ell$$

Если подставим значения $a_n b_n$ в (1), то получим:

$$d_{b\max} \leq d_{o\min} - \frac{T}{2} - 2\ell$$

$$d_{b\max} - d_{o\min} \leq -\frac{T}{2} - 2\ell$$

Изменим знаки:

$$d_{o \min} - d_{b \max} \geq \frac{T}{2} + 2\ell$$

$d_{o \min} - d_{b \max} = S_{\min}$ - наименьший зазор в сопряжении вала и втулки

Тогда условие собираемости в окончательном виде выглядит так:

$$S_{\min} \geq \frac{T}{2} + 2\ell$$

Минимальный зазор в сопряжении вала с втулкой должен быть больше или в крайнем случае равным сумме половины допуска наружного диаметра втулки и двойного эксцентриситета.

Это условие собираемости выведено только с учетом размеров сопрягаемых поверхностей. В общем случае смещение осей таких деталей зависит не только от действительных размеров вала и втулки, но и от точности сборочного станка, т.е. от точности сборочного приспособления и сборочной головки, от точности базирующих элементов.

В общем виде устройство для автоматической сборки этих деталей может быть представлена следующим образом (см. рис. 2.74).

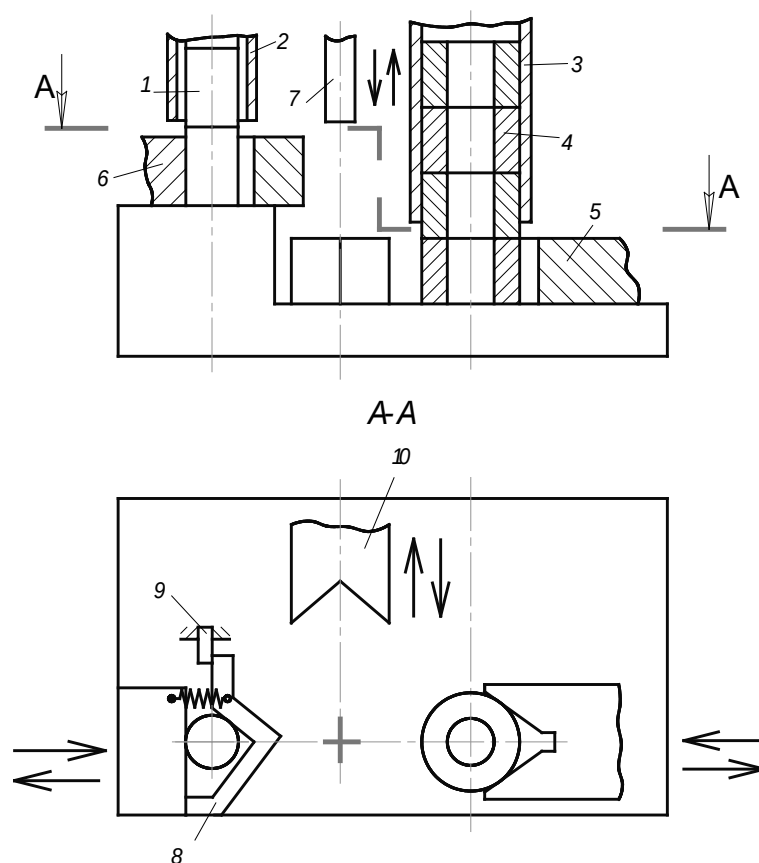


Рис. 2.74. Схема устройства для автоматической сборки валика и втулки: 1 – валики, 2 и 3 – питательные трубки, 4 – втулки, 5, 6 – питатели, 7 – стержень для сборки, 8 – прижим, 9 – упор, 10 – выталкиватель

Работа механизма ясна из схемы. Валики 1 и втулки 4 поступают от бункеров в питательные трубки. Далее по одной эти детали с помощью питателей 5 и 6 попадают на линию сборки (+). Валик удерживается в питателе с помощью прижима и пружины. В исходном положении прижим отжат с помощью упора 9 и валик легко попадает в толкатель. Когда детали поданы на линию сборки, в работу вступает стержень 7, который,

опускаясь вниз, перемещает валик во втулку. После завершения сборки стержень и питатели возвращаются в исходное положение, а выталкиватель 10 выталкивает собранные детали. Согласованность перемещений отдельных механизмов обеспечивается либо от командоаппарата либо от кулачкового вала. Циклограмма работы устройства показана на рис. 2.75.

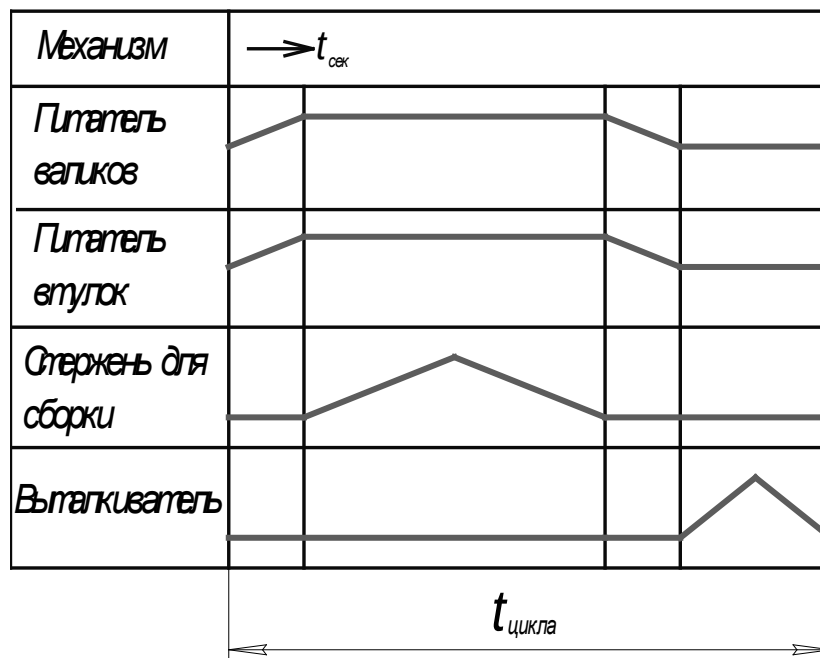


Рис. 2.75. Циклограмма работы устройства

Лекция 2.7

2.10. Технический контроль

Сущность контроля в машиностроении: проверка соответствия свойств, параметров и характеристик материалов, полуфабрикатов и готовых изделий стандартам и техническим условиям на всех этапах изготовления изделий (разработки, производства, испытания).

Контролируемые параметры. Физико-химико-механические свойства и химический состав сырья и исходных материалов; свойства, структура и внутренние дефекты материала изделий в ходе технологического процесса и готовых изделиях; геометрические параметры и дефекты поверхности деталей на стадии изготовления и в готовом изделии; динамические характеристики и техническое состояние деталей, узлов и конструкций в процессе изготовления и эксплуатации, технические параметры и свойства готовых изделий в процессе приемки, испытаний и эксплуатации.

Назначение контроля. Назначением производственного контроля является обеспечение качества выпускаемой продукции, под качеством продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Уровень свойств, которым должна удовлетворять продукция, оформлен в её технической характеристике. Для того чтобы обеспечить свойства изделий, заложенные в технической характеристике, при их проектировании формируются требования к геометрическим параметрам, структуре и свойствам отдельных деталей и сборочных единиц. Таким образом, на всех стадиях изготовления, приемки, испытания и эксплуатации изделий необходимо проверять свойства сырья, исходных материалов, полуфабрикатов; геометрические параметры, свойства и структуру деталей; параметры технической характеристики готовой продукции, т. е. осуществлять производственный контроль.

Сущность процесса контроля представляет собой определение того, находится ли значение контролируемого параметра между предельно допустимыми его значениями. Видом контроля является обнаружение нарушения целостности материала деталей (трещин, раковин), локальных нарушений структуры и других внутренних и поверхностных дефектов.

Результаты контроля используются для изъятия негодных материалов и изделий из технологического процесса или для прекращения эксплуатации дефектных изделий; для рассортировки деталей на различные группы качества; для управления технологическим процессом.

Виды контроля. Классификация видов контроля производится в зависимости от назначения, способов проведения, контролируемых параметров и других признаков. При входном контроле проверяются свойства сырья, исходных материалов, качество заготовок, полуфабрикатов и покупных изделий. В процессе пооперационного контроля проверяются параметры, свойства и дефекты деталей, сборочных единиц и изделий в ходе технологического процесса, а задачей приемочного контроля является контроль изделий на конечных этапах технологического процесса. При инспекционном контроле контролируется состояние и технические характеристики изделий в процессе эксплуатации.

Если контроль производится без воздействия на процесс производства, то имеет место так называемый пассивный контроль. При активном контроле проверку изделий или технологического процесса осуществляют в процессе изготовления и используют для управления процессом производства.

При визуальном контроле проверка ведется осмотром невооруженным взглядом. В зависимости от того, нарушается ли целостность изделий после контроля, различают разрушающие и неразрушающие методы контроля. Сплошной контроль предусматривает 100%-ную проверку изделий, если же проверке подвергается часть

изделий из партии, то имеет место статистический или нестатистический выборочный контроль.

В зависимости от контролируемых параметров различают контроль геометрических параметров, контроль поверхностных дефектов, контроль химического состава, контроль физико-механических свойств и т. п.

Пути совершенствования контроля. Основным направлением совершенствования контроля является его автоматизация, т. е. создание таких систем контроля, в которых установка деталей, контроль и рассортировка выполняются без участия оператора. Перспективными, особенно при неразрушающих методах контроля, являются роботизированные технологические системы, комплексы и линии контроля, управляемые от ЭВМ.

Важнейшим направлением является также автоматизация процесса обработки сигналов, вырабатываемых средствами измерения в процессе контроля. Так созданы системы, которые позволяют строить двух- и трехмерные изображения контролируемого объекта, выделять на них разной яркостью или различными цветами зоны дефектов или области с различным уровнем свойств и структур. Кроме этого, на изображение наносятся цифровые данные о размерах и локализации дефектов, эпюры сил, напряжений, температур.

С появлением гибких автоматизированных производств широкое применение находят координатные измерительные машины, осуществляющие автоматический процесс измерений, в том числе при пооперационном контроле на станках с ЧПУ.

Сущность контроля геометрических параметров: сопоставление действительных значений геометрических параметров со значениями, определяемыми техническими требованиями к изделию. Контроль осуществляется методом измерений, т. е. с выражением параметра в числовой форме, либо сравнением параметра с мерой или с измерительными поверхностями приборов, настроенных по мере.

Объекты контроля: исходные материалы, заготовки, детали, сборочные единицы и готовые машины на разных стадиях изготовления, приемки и испытания. Контролируемые параметры: линейные размеры (длина, высота, глубина, зазоры, расстояния, диаметры и т. п.); угловые размеры (углы между плоскостями, осями, между плоскостями и горизонтальной плоскостью, углы конусов и т. п.); геометрические параметры сложных поверхностей (расположение точек или участков относительно заданных баз и относительно друг друга; геометрические характеристики зубчатых и червячных зацеплений, резьбовых, шлицевых и шпоночных соединений; отклонения форм и расположения поверхностей (отклонения от цилиндричности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности и т.п.).

Область применения: все отрасли промышленности и научные исследования, где необходимо контролировать геометрические параметры изделий и объектов исследования.

Особенности процесса контроля геометрических параметров. Значение геометрических параметров изделий задаются при их проектировании, как правило, в числовой форме и проставляются на чертежах или хранятся в кодированном виде в памяти ЭВМ. В процессе изготовления изделий необходимо контролировать соответствие действительной величины и параметров значениям, установленным в технической документации. Большинство геометрических параметров представляют собой или оцениваются через числовые значения, линейных и угловых величин. Эти числовые значения называются размерами, а процесс их контроля - размерным контролем.

Таким образом, целью размерного контроля является сопоставление действительных геометрических параметров изделий, выраженных через размеры, со значениями этих параметров, которые определены при проектировании изделий. Размерный контроль завершается определением годности изделия или выдачей сигнала управления, который используют для отбраковки или для управления технологическим процессом.

Если в процессе контроля значение размера выражают в числовом виде, то такой процесс называют измерением. Определение числового значения размера производят с помощью мер и с помощью измерительных приборов. Для измерений применяют концевые и штриховые меры. На практике используют наборы мер, позволяющие составить любой линейный или угловой размер. Штриховые меры (линейки, рулетки, угломеры и др.) имеют шкалы с нанесенными на них делениями, соответствующими определенным единицам измерения.

Определение размера производят совмещением измерительных поверхностей концевой меры с поверхностями изделия, составляющими контролируемый размер, или наложением штриховой меры на изделие. Специальные меры (калибры, шаблоны, угольники и др.) воспроизводят одно или несколько значений размеров и предназначаются, в основном, для контроля годности изделия без определения численного значения размера.

Чаще всего измерения осуществляются с помощью измерительных приборов. Измерительные приборы – это средства измерения, предназначенные для выработки численного показания размера или сигнала измерительной информации, доступного для непосредственного восприятия наблюдателем. Поверхности, образующие размер, совмещают с измерительными поверхностями приборов или с визирными марками окуляров. Перемещение измерительных поверхностей или марок в процессе совмещения скоординировано с относительным перемещением указателя и отсчетной шкалы, либо с перемещением активного элемента преобразователя. При этом, если действительное значение размера считывается по шкале или на экране цифрового прибора, то измерение проводится по методу непосредственной оценки.

Измерительные поверхности приборов можно настраивать с помощью мер на определенный размер, с которым сравнивается контролируемый геометрический параметр. По этой схеме проводят контроль методом сравнения. Существуют бесконтактные методы контроля, использующие регистрацию параметров оптического, радиоволнового и акустического излучений, реагирующих на расстояние между измеряемыми поверхностями.

Особенности процесса. Для выявления внутренних дефектов используют разрушающие и неразрушающие методы контроля. В разрушающих методах дефекты наблюдают и измеряют непосредственно на изломах и разрезах контролируемого объекта. В неразрушающих методах используют проникающие поля и излучения, взаимодействующие с материалом контролируемого объекта. Внутренние дефекты, изменяя физические характеристики материала, будут тем самым изменять некоторые параметры прошедшего или отраженного излучения или поля. Преобразовывая прошедшую или отраженную часть излучения в видимые изображения или электрические сигналы, определяют вид дефекта, его размеры и месторасположение в объекте. Неразрушающие методы позволяют контролировать 100% изделий, проводить автоматическую отбраковку негодных изделий, осуществлять контроль непосредственно в ходе технологического процесса.

Область применения. Методы выявления внутренних дефектов используются в металлургическом производстве для контроля слитков, проката, труб; в заготовительном производстве для контроля отливок, поковок, сварных, паяных и клеевых соединений; для контроля качества изделий электронной промышленности, химического и энергетического машиностроения; для обнаружения дефектов в строительных конструкциях; для регистрации возникающих в процессе эксплуатации опасных нарушений в материале различных конструкций и деталей машин.

Пути совершенствования методов выявления внутренних дефектов. Основным направлением в развитии методов выявления внутренних дефектов является создание более простых, но более надежных и чувствительных средств неразрушающего контроля, максимально освобождающих оператора от обработки результатов контроля и

рассортировки изделий. Например, создаются автоматизированные системы контроля на базе ЭВМ, производящие автоматическую обработку изображений с определением вида и размеров дефектов. Весьма перспективной является промышленная рентгеновская вычислительная томография (ПРВТ). Машинная обработка сигналов по особому алгоритму позволяет воспроизвести на экране дисплея внутреннюю структуру изделий путем визуального анализа отдельных плоских сечений (томограмм). Метод имеет в десятки раз большую чувствительность, чем традиционные методы радиографии. Томографы оснащаются устройствами документирования и архивирования результатов контроля.

Автоматизация контроля

Автоматизация контроля является одним из наиболее сложных вопросов комплексной автоматизации технологических процессов. Она осуществляется по двум принципиально различным направлениям: путем автоматизации послеоперационного (пассивного) контроля и технологического (активного) контроля. Второе направление – направленное на активизацию контроля – является наиболее прогрессивным и перспективным направлением, поскольку качество продукции обеспечивается самим технологическим процессом.

При пассивном контроле контрольные устройства фиксируют размеры деталей или сортируют их по размерам, не оказывая воздействия на ход технологического процесса.

Примером могут служить контрольно-сортировочные автоматы, которые будут рассмотрены далее в этой теме.

При активном контроле контрольные устройства оказывают воздействие на ход технологического процесса, т.е. активно вмешиваются в технологический процесс. Эти системы относятся к замкнутым системам автоматизации, т.е. к системам с обратной связью.

Блок-схема замкнутой системы автоматизации может быть представлена следующим образом:

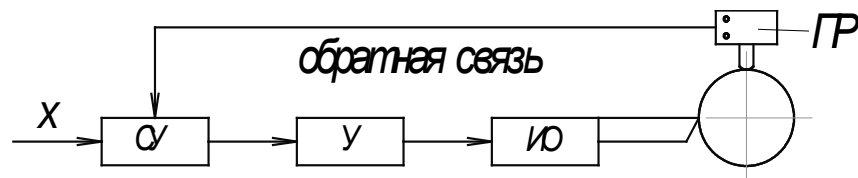


Рис.2.76

Размер обрабатываемой детали контролируется с помощью преобразователя ПР. В зависимости от действительного размера преобразователь подает сигналы на СУ, где сравнивается с заданным сигналом.

Величина рассогласования заданного сигнала и сигнала обратной связи усиливается усилителем и попадает в исполнительный орган, в результате чего-либо меняется режим резания, либо подается команда на остановку станка.

Поэтому активным контролем называется метод контроля, по результатам которого вручную или автоматически осуществляется воздействие на ход технологического процесса.

К активному контролю относится, например, контроль при обработке методом пробных проходов; контроль, по результатам которого вручную поднастраиваются станки – автоматы; управление процессом обработки по результатам измерения параметров заготовки (для получения заданных размеров, а также для стабилизации сил резания или времени обработки).

К средствам активного контроля относятся устройства для автоматического регулирования режимов резания обработки (например, для стабилизации мощности, затрачиваемой при резании, что соответствует условию наибольшей производительности).

Это также системы компенсации износа круга методом его правки перед чистовыми проходами, это контроль в процессе обработки, регулирование размеров с помощью подналадочных систем.

Таким образом, любое измерение, в результате которого осуществляется определенное воздействие на тот или иной процесс, можно отнести к активному контролю.

Особое внимание сейчас уделяется развитию средств автоматического активного контроля. Его внедрение позволяет повысить качество продукции, сократить время обработки деталей путем интенсификации режимов резания и исключения остановок станка для промежуточных измерений, уменьшить затраты на окончательный послеоперационный контроль.

В зависимости от метода измерения средства активного контроля разделяются на устройства, основанные на прямом методе измерения, и устройства, основанные на косвенном методе измерения.

При прямом методе измерения контролируется непосредственно размер изготавливаемой или изготовленной детали. База измерения при этом совпадает с поверхностью контролируемой детали.

При косвенном методе контролируется не размер детали, а положение поверхности измеряемой детали, или положение режущей кромки инструмента, или исполнительных органов станка по отношению к базе установки прибора.

Рассмотрим это на примере плоского шлифования (рис. 2.77).

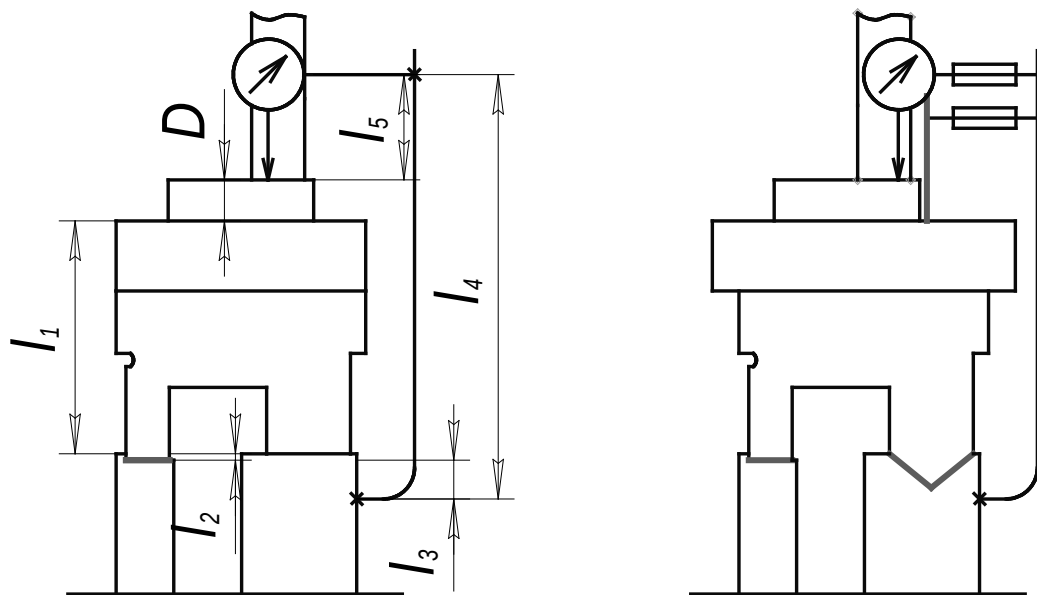


Рис. 2.77. Схема плоского шлифования с активным контролем: а) косвенный метод измерения, б) прямой метод измерения

При косвенном методе измерения в измерительную цепь помимо размера контролируемой детали включаются размерные параметры самого станка. В данном случае размер D является замыкающим, и его точность зависит от точности размерной цепи, т.е.

$$T_D = T_{\ell_1} + T_{\ell_2} + T_{\ell_3} + T_{\ell_4} + T_{\ell_5}.$$

При прямом методе измеряем непосредственно размер и нет той длинной измерительной цепи, что имели при косвенном методе. Точность обработки в этом случае

в основном зависит от тепловых деформаций обрабатываемой детали, погрешности самого прибора и толщины слоя металла, снимаемого с детали за один проход.

Таким образом, косвенный метод менее точен, чем прямой, поскольку получаются более длинные, чем при прямом, размерные цепи.

По выполняемым функциям средства активного контроля размеров могут быть разделены на 4 группы:

- 1) устройства, контролирующие детали непосредственно в процессе обработки (приборы управляющего контроля);
- 2) подналадчики;
- 3) блокирующие устройства (измерительные «заслоны»);
- 4) устройства контроля заготовок до обработки.

Система управляющего контроля

К устройствам управляющего контроля относятся приборы, контролирующие размеры деталей, положение режущей кромки инструмента или исполнительных органов станка непосредственно в процессе обработки детали и через цепь обратной связи подающие команду на изменение режимов резания или прекращение обработки при достижении заданных значений контролируемых параметров. Эти устройства управляют циклом работы металлорежущих станков. Рассмотрим пример. На рис 30.1. показана принципиальная схема круглошлифовального станка, работающего по методу врезания, с прибором управляющего контроля.

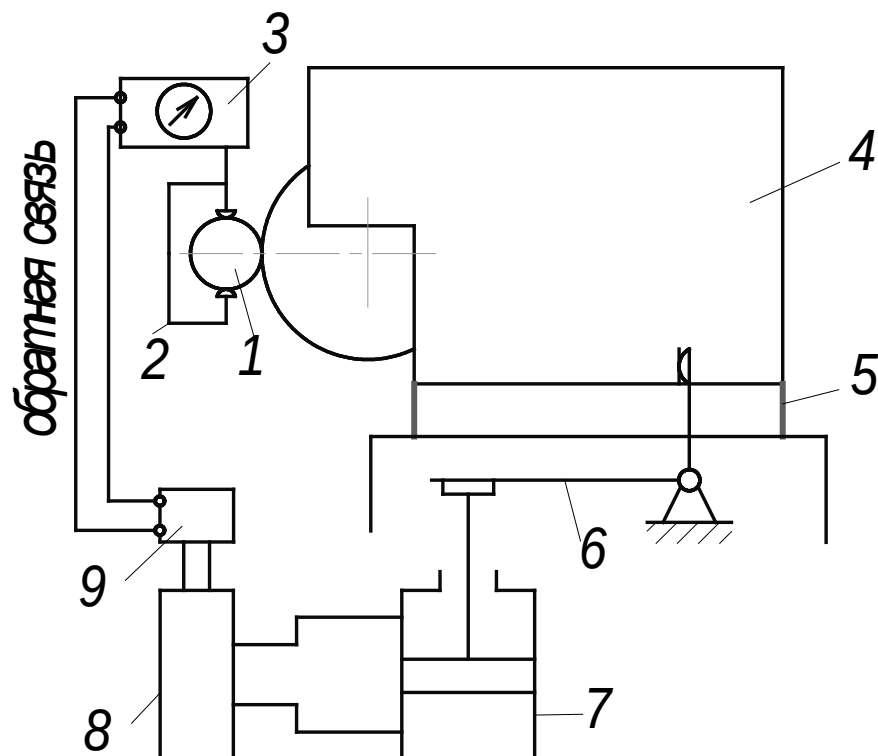


Рис. 2.78. Схема системы управляющего активного контроля: 1- обрабатываемая деталь, 2- скоба активного контроля, 3 – отсчетно – командное устройство, 4 – шлифовальная бабка, 5 – плоские пружины, 6 – рычажная скоба, 7 – гидроцилиндр, 8 – золотник, 9 – электромагнит

В этом случае контролируется непосредственно размер обрабатываемой детали.

При обработке шлифовальная бабка непрерывно подается влево с помощью гидроцилиндра через рычажную передачу, а прибор активного контроля следит за

текущим размером обрабатываемой детали. При достижении определенного настроенного размера прибор, например, подает через цепь обратной связи команды на переключение врезной подачи на выхаживание, а с выхаживания на быстрый отвод шлифовальной бабки. Эти команды реализуются через электромагнит 9 и золотник 8, управляющие работой гидроцилиндра.

Таким образом, процесс обработки независимо от влияния различных технологических факторов (припуска на обработку, износа шлифовального круга, температурных деформаций станка и инструмента и других) будет продолжаться до тех пор, пока в контролируемом сечении не будет достигнут заданный размер. В этих условиях на точность обработки перестает влиять размерный износ режущего инструмента, припуск на обработку, силовые деформации системы СПИД, тепловые деформации станка и инструмента. Поэтому с точки зрения компенсации технологических погрешностей контроль деталей в процессе обработки, когда выходным параметром является непосредственно размер, является наиболее прогрессивным, чем, например, подналадка, поскольку компенсируются как систематические, так и случайные составляющие погрешности процесса обработки.

Мы рассмотрели пример, когда выходным параметром является непосредственно размер. Но при управляющем контроле выходным параметром может служить и положение режущей кромки инструмента, и положение исполнительных органов станка. В этом случае технологические погрешности компенсируются лишь частично. И точность в этом случае зависит от протяженности размерных цепей, в которые входит регулируемый размер.

Активный контроль заготовок до обработки. Блокирующие устройства

Устройства, контролирующие заготовки до процесса обработки, можно разделить на две группы: устройства, контролирующие параметры заготовок, и устройства, фиксирующие момент соприкосновения режущего инструмента с заготовкой.

Принцип работы устройств первой группы заключается в том, что по результатам измерения параметров заготовки (действительные припуски, механические свойства и др.), либо стабилизируются силы резания, либо поддерживается постоянным длительность цикла обработки (например, с увеличением припуска увеличивается черновая подача, а с уменьшением припуска - уменьшается).

Устройства второй группы в основном применяются на шлифовальных станках. Например, при шлифовании методом врезания, происходят следующие перемещения шлифовальной бабки: быстрый подвод, рабочая черновая подача, рабочая чистовая подача, быстрый отвод.

Желательно, чтобы переключение с холостого ускоренного перемещения шлифовальной бабки на черновую подачу происходило в момент прикосновения круга к заготовке. Если это переключение произойдет раньше, то круг не сразу начнет шлифовать, что снизит производительность обработки. Запоздалое переключение может вызвать повреждение детали и шлифовального круга. Момент соприкосновения круга с заготовкой фиксируется при помощи реле мощности или тока. Это реле включается в цепь электродвигателя привода круга. При соприкосновении круга с заготовкой увеличивается сила тока, поступающего из сети, в результате чего срабатывает реле и бабка переключается с ускоренного перемещения на черновую рабочую подачу.

Блокировка является простейшей формой активного контроля. Блокирующие устройства в отличие от подналадчиков не выполняют автоматической подналадки, а только останавливают станок, если вследствие износа инструмента или других причин размер деталей выходит за контрольные границы или если нужная обработка вообще не произведена, что бывает при поломке инструмента.

Принцип применения блокирующего устройства удобно рассмотреть на примере многорезцового токарного станка, установить на который подналадчик практически невозможно. Резцы многорезцового токарного станка изнашиваются неодинаково, подналадку для каждого резца необходимо производить отдельно. Автоматическое устройство для этой цели слишком сложно, поэтому идут по другому пути. Обработанная деталь автоматически транспортируется на измерительную позицию, где контролируется по всем размерам одновременно. Если хотя бы один из размеров вышел из контрольных границ, защитно-блокировочное устройство останавливает станок, подавая при этом световой сигнал. К станку подходит наладчик и производит подналадку вручную.

Другой пример характерен для автоматической линии. Предположим, что на одном из станков линии производится сверление нескольких отверстий, а на следующих станках эти же отверстия обрабатываются другими инструментами, например, в них нарезается резьба. Если сломалось сверло, то выйдут из строя, следующие обрабатывающие инструменты. Чтобы этого не случилось, после сверления автоматически контролируется глубина отверстия и, если какое отверстие недосверлено или сверло сломалось, блокирующее устройство останавливает автоматическую линию для смены инструмента и удаления бракованной детали. Команда на остановку станка подается и в случае, если отверстие забито стружкой.

Защитно-блокирующие устройства широко применяются на шлифовальных, токарных, расточных и сверлильных станках.

Блокирующие устройства могут применяться также для регистрации правильного базирования деталей при их обработке или измерении: до тех пор, пока деталь правильно не установлена, процесс обработки или измерения не может начаться.

Контрольно-сортировочные автоматы

Контрольно-сортировочные автоматы относятся к разомкнутым автоматическим системам. Они контролируют обработанные детали. Контрольно-сортировочные автоматы получили наибольшее распространение в массовом производстве (в подшипниковой, частично в автомобильной и тракторной промышленности).

Автоматическая сортировка нужна:

- 1) при разбраковке на годные детали и брак;
- 2) при сортировке на размерные группы, т.е. при селективной сборке.

Контрольно-сортировочные автоматы осуществляют автоматический прием, ориентирование, транспортирование, контроль и сортировку деталей. Поэтому они содержат: загрузочное устройство, транспортирующее устройство, измерительный узел, фиксирующее устройство и сортирующее устройство.

Загрузочные устройства контрольно-сортировочных автоматов аналогичны загрузочным устройствам металлорежущих станков. *Основная функция транспортирующего устройства* - это осуществление перемещения детали внутри автомата с подачей на измерительную индикацию и далее к сортирующему устройству.

Следующий узел, который содержит контрольно-сортировочный автомат, – это измерительный. Этот узел является основным в автомате. Он измеряет деталь и в зависимости от действительного размера детали подает команды сортирующему устройству на то или иное переключение. Измерение деталей осуществляется с помощью различных преобразователей. Фиксирующие устройства должны запомнить импульс, поданный от измерительного устройства, на время, необходимое для транспортирования детали от измерительной позиции до соответствующей сортировочной позиции.

Функции сортировочного устройства заключается в направлении детали в соответствующий лоток.

Транспортирующие устройства контрольно-сортировочных автоматов подразделяются:

- 1) на устройства с прерывистым движением,
- 2) на устройства с непрерывным движением деталей.

В устройствах первой группы детали в процессе измерения неподвижны, а необходимые перемещения совершает измерительное устройство.

В устройствах второй группы деталь непрерывно перемещается относительно измерительного устройства.

Кроме того, *транспортирующие устройства в зависимости от траектории движения детали делятся на три группы:*

- 1) устройства с движением детали по прямой,
- 2) устройства с движением детали по окружности,
- 3) устройства с движением детали по сложной траектории.

Схема контрольно-сортировочного устройства с транспортирующим узлом, перемещающим детали по ломаной линии, показана на рис.2.79.

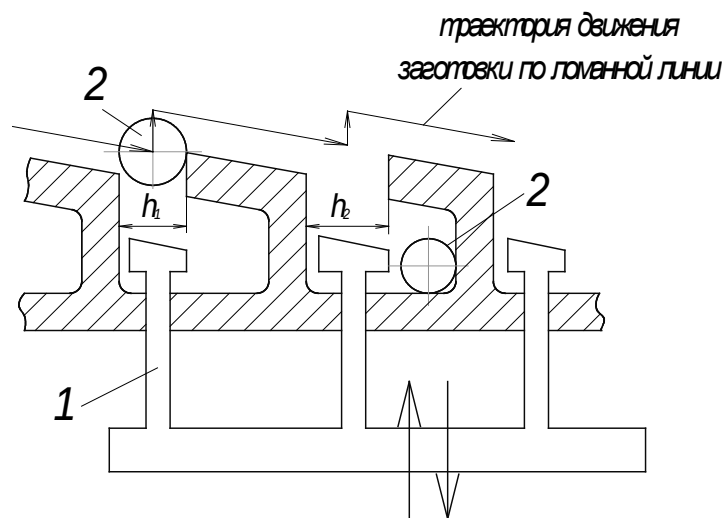


Рис. 2.79. Схема контрольно-сортировочного устройства с транспортирующим узлом

Толкатели 1 перемещают детали 2 вверх, которые под действием собственного веса перекатываются на следующую измерительную позицию до тех пор, пока они не провалятся в ячейку, соответствующую их размеру. Размеры окон различны.

$$h_1 < h_2 < h_3 .$$

Такому автомату не нужно фиксирующее устройство для запоминания сигнала.

Схема сортировочного автомата с транспортирующим устройством непрерывного действия при движении деталей по окружности показана на рис.2.80.

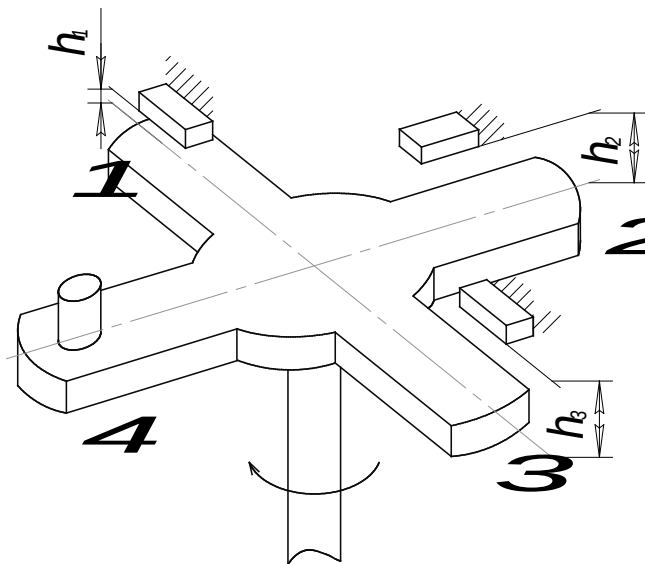


Рис. 2.80. Схема сортировочного автомата с транспортирующим устройством непрерывного действия

На транспортирующее устройство в виде звездочки, вращающейся вокруг вертикальной оси и имеющей 4 позиции, загружаются детали (от загрузочного устройства). Эти детали попадают на IV позицию. На трех других позициях, на разной высоте от плоскости стола, установлены упоры $h_1 > h_2 > h_3$. Эти упоры сталкивают детали в прорези звездочки, если размер детали окажется больше высоты установки упора.

Схема сортировочного устройства с заслонками показана на рис. 2.81.

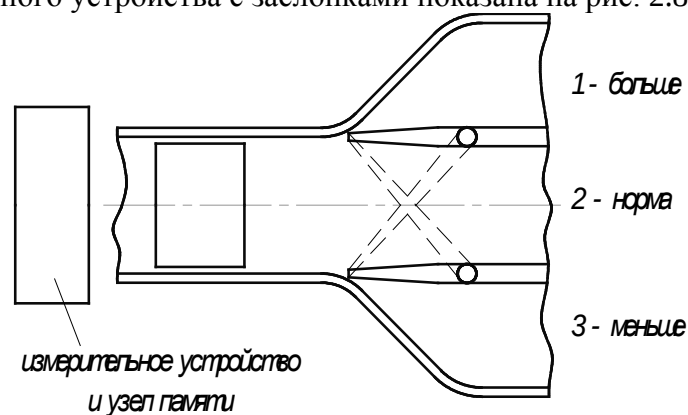


Рис. 2.81. Схема сортировочного устройства с заслонками

После измерения детали на измерительной позиции деталь по лотку перемещается к сортирующему устройству. В нем есть заслонки, работой которых управляют электромагниты. Измерительное устройство включает соответствующий электромагнит (на рис. 33.3 не показан), в результате чего заслонка принимает соответствующее положение. Для этого измерительного устройства нужен трехпозиционный преобразователь. С заслонками может быть и устройство, показанное на рис. 2.82.

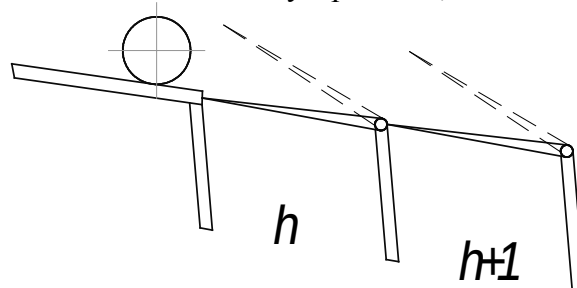


Рис. 2.82. Схема сортирующего устройства с поднимающимися заслонками

Это устройство также должно иметь фиксирующий блок для запоминания импульса на некоторое время.

Есть сортировочные устройства с поворотным лотком

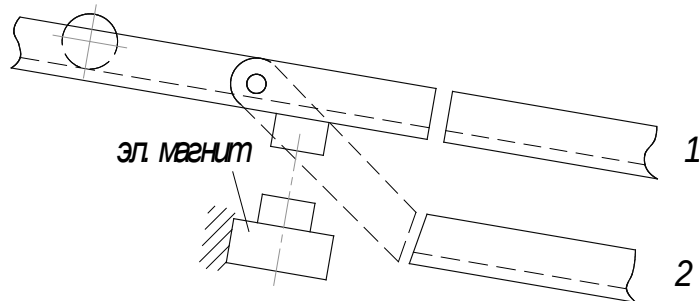


Рис. 2.83. Схема сортирующего устройства с поворотным лотком

Контрольно-сортировочные автоматы применяются для контроля и сортировки по различным параметрам: по размерам, форме, взаимному расположению поверхностей.

ТЕМА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИИ АВИАЦИОННЫХ СПЛАВОВ.

Лекция 3.8

3.1. Литейное производство

На современном этапе технологии литейного производства позволяют получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Отливки надежно работают в реактивных двигателях, атомных энергетических установках и других машинах ответственного назначения. Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Важнейшим направлением повышения эффективности является улучшение качества, надежности, точности и шероховатости отливок с максимальным приближением их к форме готовых изделий путем внедрения новых технологических процессов и улучшения качества литейных сплавов, устранение вредного воздействия на окружающую среду и улучшения условий труда.

Литье является наиболее распространенным методом формообразования.

Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

Классификация литых заготовок

По условиям эксплуатации, независимо от способа изготовления, различают отливки:

- общего назначения – отливки для деталей, не рассчитываемых на прочность;
- ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при статических нагрузках;
- особо ответственного назначения – отливки для деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, габаритного размера, толщины стенок, количества стержней, назначения и особых технических требований отливки делят на 6 групп сложности.

Первая группа характеризуется гладкими и прямолинейными наружными поверхностями с наличием невысоких усиливающих ребер, буртов, фланцев, отверстий. Внутренние поверхности простой формы. *Типовые детали* – крышки, рукоятки, диски, фланцы, муфты, колеса вагонеток, маховики для вентиляторов и т.д.

Шестая группа – отливки с особо сложными закрытыми коробчатыми и цилиндрическими формами. На наружных криволинейных поверхностях под различными углами пересекаются ребра, кронштейны и фланцы. Внутренние полости имеют особо сложные конфигурации с затрудненными выходами на поверхность отливки. *Типовые детали* – станины специальных МРС, сложные корпуса центробежных насосов, детали воздуходувок, рабочие колеса гидротурбин.

В зависимости от способа изготовления их габаритных размеров и типа сплавов ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности.

Литейные сплавы

Требования к материалам, используемым для получения отливок:

Состав материалов должен обеспечивать получение в отливке заданных физико-механических и физико-химических свойств; свойства и структура должны быть стабильными в течение всего срока эксплуатации отливки.

Материалы должны обладать хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, низкой склонностью к образованию трещин и поглощению газов, герметичностью), хорошо свариваться, легко обрабатываться режущим инструментом. Они не должны быть токсичными и вредными для производства. Необходимо, чтобы они обеспечивали технологичность в условиях производства и были экономичными.

Литейные свойства сплавов

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят: жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

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

При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы.

Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Чистые металлы и сплавы, затвердевающие при постоянной температуре, обладают лучшей жидкотекучестью, чем сплавы, затвердевающие в интервале температур (твердые растворы). Чем выше вязкость, тем меньше жидкотекучесть. С увеличением поверхностного натяжения жидкотекучесть понижается. С повышением температуры заливки расплавленного металла и формы жидкотекучесть улучшается. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее, и расплавленный металл заполняет ее лучше, чем металлическую форму. Наличие неметаллических включений снижает жидкотекучесть. Так же влияет химический состав сплава (с увеличением содержания серы, кислорода, хрома жидкотекучесть снижается; с увеличением содержания фосфора, кремния, алюминия, углерода жидкотекучесть увеличивается).

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки.

Различают *объемную* и *линейную* усадку.

В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки.

Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники.

Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки.

Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод.

Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, Когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

Типы литейных сплавов

1. Чугун является наиболее распространенным материалом для получения фасонных отливок. Чугунные отливки составляют около 80 % всех отливок.

Широкое распространение чугуна получил благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Из серого чугуна получают самые дешевые отливки (в 1,5 раза дешевле, чем стальные, в несколько раз – чем из цветных металлов). Область применения чугунов расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических характеристик. Используют серые, высокопрочные, ковкие и легированные чугуны.

2. *Сталь* как литейный материал применяют для получения отливок деталей, которые наряду с высокой прочностью должны обладать хорошими пластическими свойствами. Чем ответствнее машина, тем более значительна доля стальных отливок, идущих на ее изготовление. Стальное литье составляет: в тепловозах – 40...50 % от массы машины; в энергетическом и тяжелом машиностроении (колеса гидравлических турбин с массой 85 тонн, иногда несколько сотен тонн) – до 60 %.

Стальные отливки после соответствующей термической обработки не уступают по механическим свойствам поковкам.

Используются: углеродистые стали 15Л...55Л; легированные стали 25ГСЛ, 30ХГСЛ, 110Г13Л; нержавеющие стали 10Х13Л, 12Х18Н9ТЛ и др.

Среди литейных материалов из сплавов цветных металлов широкое применение нашли медные и алюминиевые сплавы.

1. *Медные сплавы* – бронзы и латуни.

Латуни – наиболее распространенные медные сплавы. Для изготовления различной аппаратуры для морских судостроения, работающей при температуре 300 °С, втулок и сепараторов подшипников, нажимных винтов и гаек прокатных станов, червячных винтов применяют сложнолегированные латуни. Обладают хорошей износостойкостью, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью.

Из *оловянных бронз* (BrO3Ц7C5H1) изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки.

Безоловянные бронзы по некоторым свойствам превосходят оловянные. Они обладают более высокими механическими свойствами, антифрикционными свойствами, коррозионной стойкостью. Однако литейные свойства их хуже.

2. *Алюминиевые сплавы*.

Отливки из алюминиевых сплавов составляют около 70 % цветного литья. Они обладают высокой удельной прочностью, высокими литейными свойствами, коррозионной стойкостью в атмосферных условиях.

Наиболее высокими литейными свойствами обладают сплавы системы алюминий – кремний (Al-Si) – силумины АЛ2, АЛ9. Они широко применяются в машиностроении, автомобильной и авиационной промышленности, электротехнической промышленности.

Также используются сплавы систем: алюминий – медь, алюминий – медь – кремний, алюминий – магний.

3. *Магниеые сплавы* обладают высокими механическими свойствами, но их литейные свойства невысоки. Сплавы системы магний – алюминий – цинк – марганец применяют в приборостроении, в авиационной промышленности, в текстильном машиностроении.

Способы изготовления отливок. Изготовление отливок в песчаных формах

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка.

Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одноразового использования,

так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

Изготовление отливок в песчаных формах

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3...5 до 1000 мм и длиной до 10000 мм.

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей, которые вставляют в отверстия ручек опок.

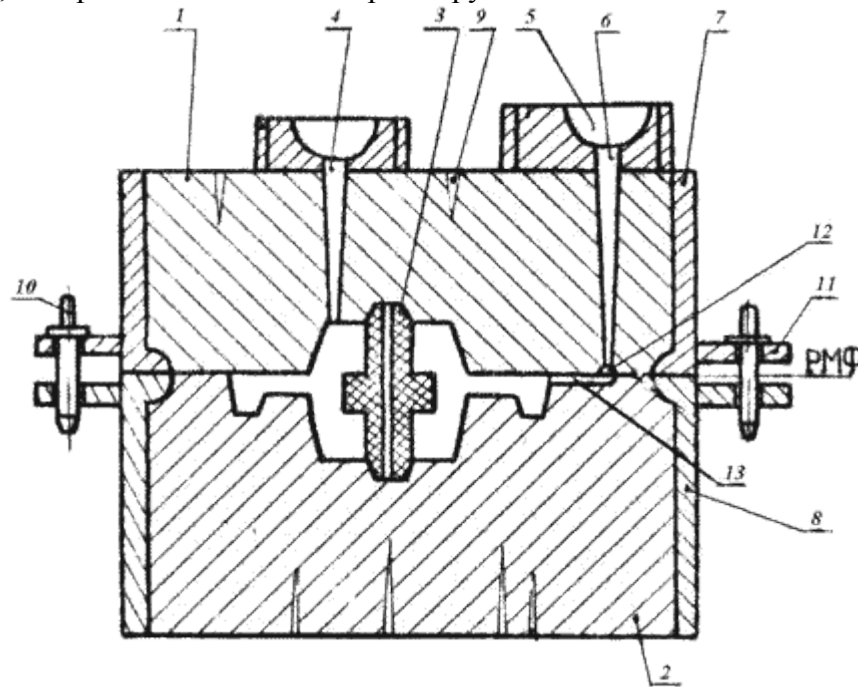


Рис. 3.1. Литейная форма

Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки).

Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы.

Сборка и заливка литейной формы

Сборка литейной формы включает: установку нижней полуформы; установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы; установку верхней полуформы по центрирующим штырям.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Важное значение имеет температура расплавленного металла. Целесообразно назначать ее на 100...150 °С выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки.

Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей.

Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением терморепактивных связующих материалов..

Металлическую модельную плиту с моделью нагревают в печи до 200...250 °С.

Затем плиту закрепляют на опрокидывающемся бункере с формовочной смесью и поворачивают на 180°. Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, терморепактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей. Аналогичным образом получают вторую полуформу.

Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб).

В оболочковых формах изготавливают отливки массой 0,2...100 кг с толщиной стенки 3...15 мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков.

Литье по выплавляемым моделям

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель выталкивается в холодную воду.

Затем модели собираются в модельные блоки с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют 2...100 моделей.

Формы изготавливают многократным погружением модельного блока в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3...5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6...8 часов при температуре 850...950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды.

Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокалики в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д.

Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин), коррозионно-стойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность)

Литье в металлические формы

Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали.

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях.

Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах.

Схема получения отливок в кокиле представлена на рис. 6.3.

Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до 150...180 °С покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 6.3.а) толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой.

Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом.

Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы.

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов.

Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

Изготовление отливок центробежным литьем

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом.

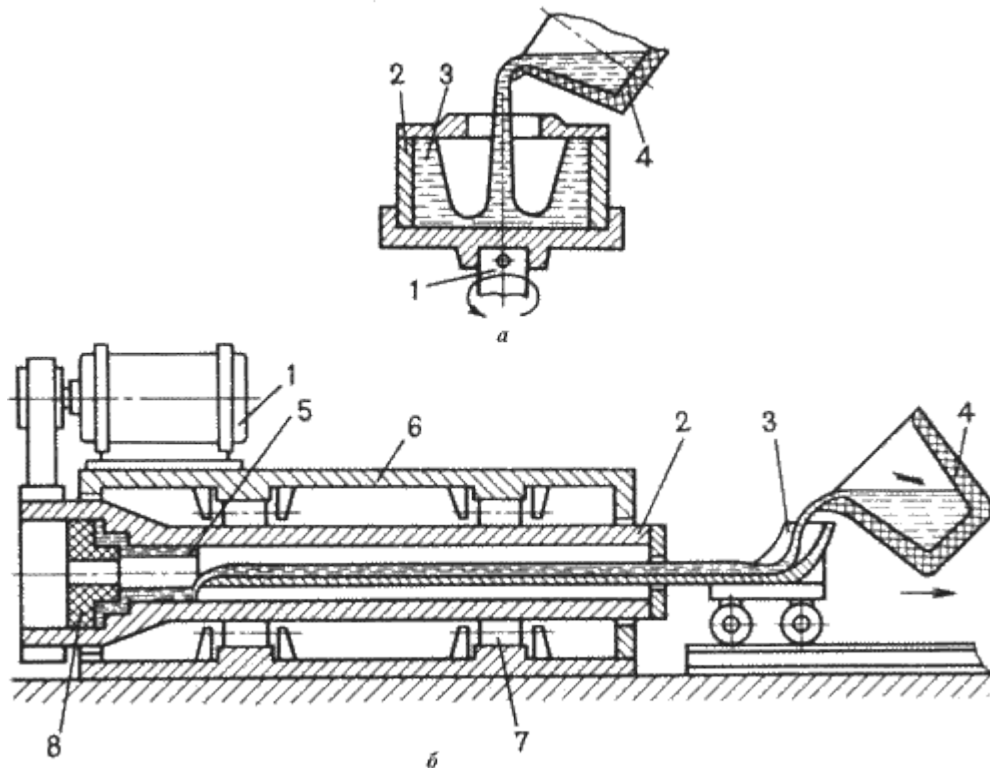


Рис.3.2. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200°C .

Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка извлекается.

Отливки имеют разностенность по высоте — более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты — коротких втулок, колец, фланцев.

При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью. Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава, определяется по формуле:

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железнодорожных и трамвайных вагонов).

Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества — получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь — чугун, чугун — бронза).

Технология обработки давлением. Общие сведения

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала.

Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии.

Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия.

Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов.

Классификация процессов обработки давлением

Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

- для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;

- для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются:

- сжатие между плоскостями инструмента – ковка;
- ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;
- затекание металла в полость инструмента – штамповка;
- выдавливание металла из полости инструмента – прессование;
- вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения..

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

Неполная горячая деформация характеризуется незавершенностью процесса рекристаллизации, которая не успевает закончиться, так как скорость ее недостаточна по сравнению со скоростью деформации. Часть зерен остается деформированными и металл упрочняется. Возникают значительные остаточные напряжения, которые могут привести к разрушению. Такая деформация наиболее вероятна при температуре, незначительно превышающей температуру начала рекристаллизации. Ее следует избегать при обработке давлением.

При *неполной холодной деформации* рекристаллизация не происходит, но протекают процессы возврата. Температура деформации несколько выше температуры возврата, а скорость деформации меньше скорости возврата. Остаточные напряжения в значительной мере снимаются, интенсивность упрочнения снижается.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата.

Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

Схемы напряженного и деформированного состояний

Схемы напряженного состояния графически отображают наличие и направление главных напряжений в рассматриваемой точке тела.

Напряжения в точке изображаются как напряжения на трех бесконечно малых гранях куба, соответственно перпендикулярных главным осям.

Возможны девять схем напряженного состояния. Напряженное состояние в точке может быть линейным, плоским или объемным.

Схемы с напряжениями одного знака называют одноименными, а с напряжениями разных знаков – разноименными. Условно растягивающие напряжения считают положительными, сжимающие – отрицательными.

Схема напряженного состояния оказывает влияние на пластичность металла. На значение главных напряжений оказывают существенное влияние силы трения, возникающие в месте контакта заготовки с инструментом, и форма инструмента. В условиях всестороннего неравномерного сжатия при прессовании, ковке, штамповке сжимающие напряжения препятствуют нарушению межкусталлических связей, способствуют развитию внутрикристаллических сдвигов, что благоприятно сказывается на процессах обработки металлов давлением. В реальных процессах обработки давлением в большинстве случаев встречаются схемы всестороннего сжатия и состояния с одним растягивающим и двумя сжимающими напряжениями.

Совокупность схем главных напряжений и главных деформаций характеризуют пластичность металла. Напряженное состояние при прессовании металла характеризуется такой же схемой напряженного состояния, как при ковке, а схема главных деформаций характеризуется двумя деформациями сжатия и одной – растяжения. При ковке и штамповке растягивающие напряжения играют большую роль, поэтому пластичность металла меньше.

Закономерности обработки давлением. Характеристики деформаций

Процессам обработки металлов давлением присущи определенные закономерности.

Обработкой давлением называется технологический процесс получения деталей из заготовок методом пластической деформации в холодном или горячем состоянии металла. Каждый металл имеет свой предел прочности и текучести.

Задачи:

1. Формообразующая – основная задача и литья и обработки давлением.
2. Повышение механических свойств.
3. Улучшение структуры металла, дробление зерна, мелкозернистая структура, появление волокнистой структуры.

Закон постоянства объема.

Объем металла до деформации = объему металла после деформации.

Аналитически:

$$\eta \cdot \beta \cdot \lambda \approx 1$$

Закон сдвигающих напряжений

$$\tau_X \geq \tau_S,$$

где

τ_X - максимальные касательные напряжения;

τ_S - максимальные напряжения сдвига для данного материала.

В металле возникают нормальные напряжения:

1. Для одноосного напряженного состояния

$$\sigma_1 \geq \sigma_T$$

2. На материал действуют силы по двум направлениям, двухосное

$$\sigma_1 - \sigma_2 \geq \sigma_T$$

3. Условия пластичности, трехосное

$$(\sigma_1 - \sigma_2) + (\sigma_2 - \sigma_3) + (\sigma_1 - \sigma_3) = 2\sigma_T^2$$

Закон наименьшего сопротивления. В случае возможности перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях, каждая точка перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Закон позволяет учесть предпочтительное направление течения металла, определить, какая часть полости штампа заполнится быстрее, какие размеры и форму будет иметь поперечное сечение заготовки в результате ее обработки давлением.

По этому закону, при наличии трения на контактной поверхности, заготовка прямоугольного сечения при осадке будет приобретать округлую форму, имеющую наименьший периметр при данной площади.

В этом случае направлением наименьшего сопротивления является кратчайшая нормаль к периметру сечения.

Технологические свойства

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь.

В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Прокат и его производство

Прокатка – это способ обработки пластическим деформированием – наиболее распространенный. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Способ зародился в XVIII веке и, претерпев значительное развитие, достиг высокого совершенства.

Сущность процесса: заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своём поперечном сечении и увеличивается в длину. Форма поперечного сечения называется профилем.

Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила и касательная сила трения.

Угол захвата – это дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом, а объём металла между дугами захвата – очаг деформации.

Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением. Таким образом, для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках.

При прокатке стали коэффициент трения равен $20...25^{\circ}$, при горячей прокатке листов и полос из цветных металлов $12...15^{\circ}$, при холодной прокатке листов $2...10^{\circ}$.

Вытяжка обычно составляет $1,1...1,6$ за проход, но может быть и больше.

Способы прокатки

Когда требуется высокая прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового или специального проката. В процессе прокатки литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего повышается плотность материала за счёт

залечивания литейных дефектов, пористости, микротрещин. Это придаёт заготовкам из проката высокую прочность и герметичность при небольшой их толщине.

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно – винтовая .

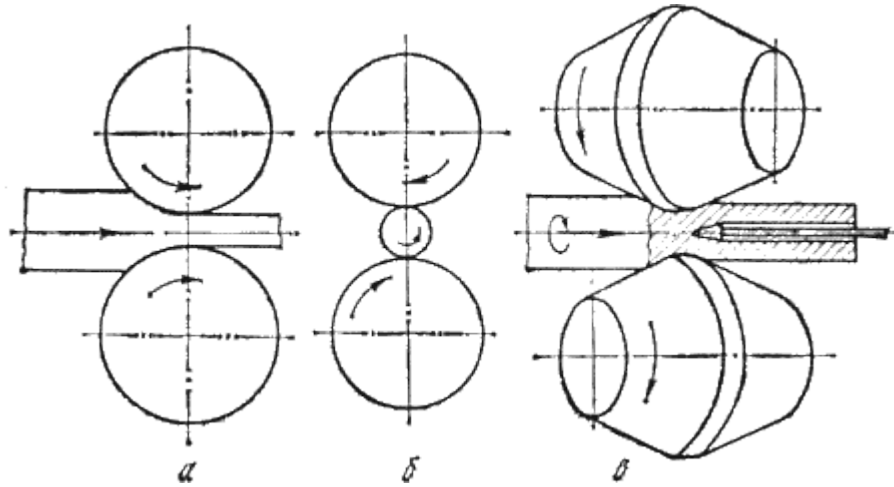


Рис. 3.3. Схемы основных видов прокатки:

При *продольной* прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками . Заготовка втягивается в зазор между валками за счёт сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

Поперечная прокатка. Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба вала вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном.

В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

Поперечно – винтовая прокатка .Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает ещё и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими ,применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) для получения сортового проката.

Ручей – профиль на боковой поверхности вала. Промежутки между ручьями называются *буртами*. Совокупность двух ручьёв образует полость, называемую *калибром*, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров называется *калибровкой*.

Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трефы 3.

Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей.

Трефа предназначена для соединения вала с муфтой или шпинделем.

Используются роликовые подшипники с низким коэффициентом трения 0,003...0,005, что обеспечивает большой срок службы.

Технологический процесс прокатки

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки.

Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена).

Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката.

Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева.

Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива.

Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при температуре 1200...1150 °С, а заканчивается при температуре 950...900 °С.

Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению.

При *прокатке* контролируется температура начала и конца процесса, режим обжатия, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Процесс прокатки осуществляют на специальных прокатных станах.

Прокатный стан – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.).

Оборудование для деформирования металла называется основным и располагается на *главной линии прокатного стана* (линии рабочих клетей).

Главная линия прокатного стана состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Схема главной линии прокатного стана представлена на рис. 10.4.

Прокатные валки 1 установлены в рабочей клетке 5, которая воспринимает давление прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового проката) бочки. В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (кварто-стан) и универсальные (рис.10.5).

В двухвалковых клетях осуществляется только по одному пропуску металла в одном направлении. Металл в трехвалковых движется в одну сторону между нижним и верхним, а в обратную – между средним и верхним валками.

В четырехвалковых клетях устанавливаются опорные валки, которые позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижаются деформирующие усилия.

Универсальные клетки имеют неприводные вертикальные валки, которые находятся между опорами подшипников горизонтальных валков и в одной плоскости с ними.

По назначению прокатные станы подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

Нагрев металла осуществляют в пламенных и электрических печах. По распределению температуры печи могут быть камерные и методические. В камерных печах периодического нагрева температура одинакова по всему рабочему пространству. В методических печах температура рабочего пространства постоянно повышается от места загрузки заготовок до места их выгрузки. Металл нагревается постепенно, методически. Печи характеризуются высокой

производительностью. Применяются в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах для нагрева слитков из цветных металлов. Крупные слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах – разновидности камерных, пламенных печей.

Правка проката

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки. Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы.

Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении.

Правку можно выполнять и растяжением полосы, если напряжения растяжения будут превышать предел текучести материала.

Роликоправильные машины с параллельно расположенными роликами предназначены для правки листа и сортового проката (рис. 10.6)

Процесс правки заключается в прохождении полосы между двумя рядами последовательно расположенных роликов, установленных в шахматном порядке таким образом, что при движении полосы, ее искривление устраняется. Диаметр роликов – 25...370 мм, шаг – 30...400 мм, количество роликов: для тонких листов – 19...29, для толстых – 7...9.

Правильные машины с косо расположенными гиперболическими роликами предназначены для правки труб и круглых прутков (рис.10.7).

Ролики выполняют в виде однополостного гиперболического и располагают под некоторым углом друг к другу. Выправляемый металл, кроме поступательного движения, совершает вращательное, что вызывает многократные перегибы полосы роликами и обеспечивает осесимметричную правку.

Растяжные правильные машины используют для правки тонких листов (менее 0,3 мм), трудно поддающихся правке на роликоправильных машинах.

Разрезка и заготовительная обработка проката

Производится на заготовительных участках механических цехов различными способами, отличающимися производительностью, точностью заготовки, стойкостью инструмента и др.

Разрезка пилами применяется для относительно крупных заготовок, в основном из цветных металлов. Заготовка характеризуется высокой точностью по длине, хорошим качеством среза, перпендикулярностью торца к оси. Основными недостатками являются низкая производительность и значительные потери металла на рез.

Применяются пилы зубчатые и гладкие (трения).

Разрезка на эксцентриковых пресс-ножницах применяется для стального проката круглого или квадратного сечения до 300 мм. Является наиболее производительным и дешевым процессом разделки проката на заготовки. Основными недостатками являются косой рез и смятие концов заготовки.

Заготовки из высокоуглеродистых и легированных сталей целесообразно подогреть до 450...650 °С.

Применяют ножи с плоской режущей кромкой и с ручьями.

Разрезка на токарных полуавтоматах отрезными резцами.

Электроискровая и анодно-механическая резка обеспечивает максимальную точность размеров. Применяется для особо прочных металлов.

Разрезка на прессах-хладоломах применяется для заготовок крупного сечения. На заготовке предварительно делается надрез пилой или газовым резаком.

Газопламенная разрезка смесью ацетилен и кислорода.

Плазменно-дуговая разрезка применяется для высоколегированных тугоплавких сталей и сплавов. Вдоль электрической дуги по каналу плазматрона пропускается газ (аргон), который сжимает дугу и выходит из сопла в виде плазмы с температурой 10000...30000 °С.

Производство чугуна. Производство стали

Структура и продукция металлургического производства. Металлы и сплавы на их основе являются основными конструкционными материалами, основой современного машино- и приборостроения. Объем производства черных и цветных металлов и сплавов всегда является важнейшим показателем уровня развития экономики, мощи и обороноспособности государства.

Металлургия – наука об извлечении металлов из природных соединений (руд) и дальнейшей их переработки с целью придания металлу определенных свойств.

Различают черную металлургию, занимающуюся производством железа и его сплавов, и цветную – производство всех остальных металлов и их сплавов. Металлургическое производство – сложная система производств, базирующихся на месторождении руд, коксующихся углей, энергетических комплексах.

Структура металлургического производства включает: шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей; горно-обогатительные комбинаты (ГОК), где обогащают руды, подготавливая их к плавке; коксохимические заводы, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов; энергетические цеха для получения сжатого воздуха и кислорода, очистки металлургических газов; доменные цеха для выплавки чугуна и ферросплавов; сталеплавильные цеха (мартеновские, конвертерные, электроплавильные) для производства стали; прокатные цеха для переработки выплавленного металла в сортовой, трубный, листовой и специальный прокат.

Основная продукция черной металлургии: предельный (белый) чугун для переработки на сталь; литейный (серый) чугун для получения фасонных отливок на машиностроительных заводах; ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций, феррованадий и другие) для выплавки легированных сталей; стальные слитки для производства проката; кузнечные слитки для изготовления крупных кованых валов, роторов турбин, дисков и т. п.

Продукция цветной металлургии: слитки (чушки) цветных металлов для прокатки различных профилей; лигатуры – сплавы из цветных металлов для получения легированных сплавов; слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения, электронной техники и других отраслей. Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

Промышленной рудой называют горную породу, из которой на данном уровне целесообразно извлекать металлы или их соединения. Например, в настоящее время целесообразно извлекать металлы, если их содержание в руде составляет: железа не менее 30 – 60%, меди 1– 6%, молибдена 0,005– 0,02%.

Бедные руды обогащают на ГОКах, то есть удаляют из руды часть пустой породы и получают концентрат с повышенным содержанием металла.

Флюсы – это материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения (сплавления) пустой породы, золы из топлива и других веществ, которые нужно удалить из конечного продукта. Такое соединение называется шлаком. Обычно шлак легче металла, располагается в печи сверху (всплывает) и может быть удален (слит) в процессе плавки. Шлак защищает расплавленный металл от контакта с воздухом и печными газами. Шлак бывает кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2 ; P_2O_5) и основным, если преобладают основные оксиды (CaO ; MgO ; FeO).

Топливом в металлургических печах служат кокс, природный газ, мазут, печные газы. Кокс получают на коксохимических заводах путем сухой перегонки при температуре 1000°C (без доступа воздуха) каменного угля специальных коксующихся сортов.

Огнеупорные материалы применяют для внутренней облицовки (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла. По химическим свойствам огнеупоры разделяют на кислые, основные и нейтральные. Кислые огнеупоры содержат большое количество кремнезема SiO_2 (динасовые, кварцеглинистые, кварцевый песок). Основные

огнеупоры содержат основные оксиды CaO , MgO (магнезитовый, магнезитохромитовый кирпич). Нейтральные огнеупоры состоят из оксидов Al_2O_3 ; Cr_2O_3 (шамотный кирпич, высокоглиноземный, углеродистые блоки из графита).

При высоких температурах футеровка печи взаимодействует с флюсами и шлаками, поэтому в основной печи нельзя применять кислые флюсы и наоборот, в печи с кислой футеровкой – основные флюсы, так как это приведет к разрушению футеровки печи. Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топлива и флюсы.

Железные руды содержат железо в различных соединениях (чаще всего оксидах и карбонатах): магнитный железняк Fe_3O_4 (50–70% Fe); красный железняк Fe_2O_3 (50–60% Fe); бурый железняк, содержащий гидраты оксидов железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (30–50% Fe); шпатовый железняк FeCO_3 (30–50% Fe).

Топливом для доменной плавки служит кокс, позволяющий получить необходимую температуру и создать условия для восстановления железа из руды. В целях экономии часть кокса заменяют природным газом, мазутом, пылевидным топливом.

Флюсом при доменной плавке служит известняк CaCO_3 . Это необходимо для удаления серы и фосфора из металла, в который они переходят из кокса и руды.

Сущность выплавки чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды, оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимися при сгорании топлива в печи.

Доменная печь имеет стальной кожух, выложенный внутри шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник, шахту, распар, заплечики, горн, лещадь. В верхней части колошника находится засыпной аппарат, через который в печь загружают шихту.

При работе печи шихта, проплавляясь, опускается вниз. В верхней части горна находятся фурмы, через которые в печь поступает горячий воздух (дутье), необходимый для горения топлива.

Воздух нагревается (для уменьшения потерь тепла и снижения расхода кокса) в воздухонагревателях за счет тепла отходящих из домны горячих газов. Воздухонагревателей три: один подает горячий воздух в домну, второй в это время сам нагревается, третий находится в резерве (или на ремонте). Периодически воздухонагреватели переключаются.

Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействуя с кислородом дутья, сгорает. В результате выделяется теплота и образуется газовый поток, содержащий CO , CO_2 , N_2 , H_2 , CH_4 и другие газы.

Горячие газы, поднимаясь навстречу опускающейся шихте, нагревают ее, охлаждаясь у колошника до температуры 300–400°C (в районе фурм температура достигает 2000°C). При нагреве шихты до температуры 570°C начинается восстановление оксидов железа. По признаку убывания кислорода оксиды железа можно расположить в следующий ряд: Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; FeO ; Fe.

Восстановление оксидов до чистого железа идет по следующим реакциям: $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}$; $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$; $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$; $3\text{FeO} + \text{CO}_2$; $\text{FeO} + \text{CO}$; $\text{Fe} + \text{CO}_2$.

Аналогично восстанавливаются марганец, кремний, фосфор, сера, содержащиеся в руде, топливе, флюсах, огнеупорах. Часть серы благодаря основному флюсу переводится в шлак. На уровне распара и заплечиков железо (точнее сплав железа с углеродом, марганцем, кремнием, фосфором, серой) расплавляется и каплями, протекая по кускам кокса и насыщаясь углеродом, стекает на лещадь печи. Шлак, имея меньшую плотность, располагается сверху металла (всплывает). Чугун выпускают через чугунную летку каждые 3–4 часа, а шлак через шлаковую летку (она расположена выше чугунной) каждые 1–1,5 часа.

Основной продукцией доменной плавки является чугун (предельный или литейный) разного химического состава (например, 4–4,5% C; 0,8–1,2% Si; 0,15–0,3% P; 0,03–0,07% S), а также ферросплавы (ферросилиций, ферромарганец, феррохром, феррованадий и др.).

Побочные продукты доменного процесса – шлак (дорожное строительство, шлаковата, цемент, шлакоблочные изделия и пр.) и доменный газ (топливо для воздухонагревателей, для отопления и т. п.).

Доменная печь – агрегат непрерывного действия. Она с момента ввода в эксплуатацию (задувки) работает непрерывно от 5–7 до 12–15 лет. В технической литературе описан случай, когда домна проработала непрерывно 38 лет. При остановке печи на ремонт прекращают засыпку материалов. Оставшаяся шихта опускается вниз, верхняя часть печи, освобождаясь,

сильно нагревается горячими газами. Для предохранения засыпных устройств от разрушения их необходимо интенсивно охлаждать.

Производство стали. Сущность передела чугуна в сталь заключается в снижении содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Основными исходными материалами для производства стали служат передельный (белый) чугун и стальной лом (скрап). Сталь отличается от чугуна значительно более низким содержанием углерода и примесей.

Нагрев в процессе выплавки стали осуществляется двумя способами:

а) внешним теплом, вводимым в плавильное пространство печи (мартеновская, электропечь). Так можно перерабатывать жидкий и твердый чугун, а также скрап в любом количестве;

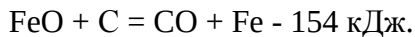
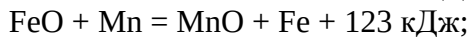
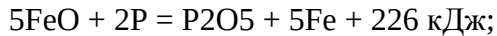
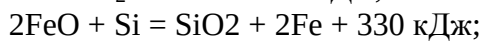
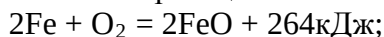
б) химическим теплом, получаемым от реакции окисления примесей в чугуне (конвертеры). В этом случае чугун должен быть жидким, а количество скрапа ограничено (не более 30% от массы загрузки агрегата).

Окислителем служат технически чистый кислород, продуваемый через жидкую массу чугуна, а также железная руда.

Процесс может быть основным (достаточно полно удаляются сера и фосфор, но трудно раскислить сталь непосредственно в печи) или кислым (сталь очень полно раскисляется, но сера и фосфор не удаляются). При использовании основного процесса раскисление возможно только в ковше.

При окислении примесей кислородом выделяются большое количество тепла, поэтому при продувке жидкого чугуна не только не нужно применять внешние источники нагрева, а наоборот, приходится охлаждать агрегаты по избежание перегрева.

Основные реакции окисления примесей:



Нерастворимые соединения в зависимости от плотности будут переходить либо в шлак, либо в металл. Изменяя состав шлака, можно добиться того, что нежелательные примеси (например, вредные сера и фосфор) будут удаляться из металла в шлак. Например, сера, входящая в сталь в виде сульфида FeS , растворяется в основном шлаке: $\text{FeS} + \text{CaO} = \text{CaS} + \text{FeO}$.

Таким образом, регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическим процессом. Завершающим этапом выплавки стали является ее раскисление (восстановление железа из оксида FeO). Раскисление осуществляют введением в жидкую сталь раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия) непосредственно в сталеплавильном агрегате (при использовании кислого процесса) и (или) в ковше при разливке (в любом процессе). Сталь выпускают спокойной или кипящей, иногда – полуспокойной. Готовую сталь разливают в изложницы.

В настоящее время сталь выплавляется в мартеновских печах, конвертерах и электропечах.

Мартеновская печь – пламенная отражательная регенеративная печь. Она имеет плавильное пространство, ограниченное сверху сводом, снизу подом, с боков – стенками, имеющими загрузочные окна. Футеровка печи может быть кислой или основной. В нашей стране работают мартеновские печи вместимостью 200–900 тонн жидкой стали.

Отапливается печь газом (реже мазутом). Смесь газа и воздуха подогревается в регенераторах (их два – один нагревает смесь газа и воздуха, а второй – нагревается сам отходящими газами) и поджигается, образуя факел. Факел имеет температуру 1700–1800°C и нагревает футеровку печи и шихту, а также способствует окислению примесей шихты при плавке.

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают:

1) скрап-процесс, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа)

и твердого чушкового чугуна. Такой процесс применяют на заводах, где нет доменного производства (нет жидкого чугуна), но много металлолома (то есть

на машиностроительных заводах);

2) скрап-рудный процесс, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (до 75%), скрапа и железной руды (для окисления примесей). Преимущественно он применяется на металлургических заводах.

Наибольшее количество стали производят в мартеновских печах с основной футеровкой скрап-рудным процессом.

Кислородный конвертер – это сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера 130–350 тонн жидкого чугуна. Конвертер в процессе работы может поворачиваться на цапфах вокруг горизонтальной оси для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака. Шихта состоит из жидкого предельного чугуна, стального лома (не более 30%), извести для наведения шлака, железной руды для окисления, боксита (Al_2O_3) и плавикового шпата (CaF_2) для разжижения шлака.

Сначала конвертер наклоняют для завалки шихты, затем поворачивают в вертикальное положение и через охлаждаемую водой фурму подают сверху кислородное дутье. Струя кислорода (под давлением 1–1,5 МПа) вызывает перемешивание шихты и ее интенсивное окисление.

Когда содержание углерода и примесей достигает заданного значения, подачу кислорода прекращают, конвертер наклоняют и выпускают сталь в разливочный ковш, где ее раскисляют. После этого сливают шлак.

Конвертирование стали самый производительный способ (плавка длится 25–50 мин), однако трудно получить сталь строго заданного состава.

Электросталь – самая лучшая по качеству, так как в электропечах можно получить высокую температуру металла, создать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу, вакуум, хорошо раскислить сталь. Поэтому электропечи используют для получения высококачественных легированных, инструментальных, специальных сталей и других сплавов. Из-за значительного расхода электроэнергии сталь получается более дорогой, чем при использовании других способов.

Плавильные печи бывают дуговыми и индукционными. Дуговая электропечь питается трехфазным током и имеет три электрода из графитизированной массы. Между электродами и металлической шихтой возникает электрическая дуга, теплота которой передается металлу и шлаку излучением. Рабочее напряжение 150–600 В, сила тока 1000–10 000 А. Футеровка печи – основная или кислая (реже).

В основной дуговой печи можно осуществить плавку двух видов:

а) без окисления примесей. По сути дела это переплав легированных отходов машиностроительных заводов. В ходе плавки удаляют вредные примеси, доводят металл до требуемого химического состава; раскисляют;

б) плавка на углеродистой шихте с окислением примесей. В печь загружают шихту: стальной лом, чушковый чугун, известь. Электроды опускают и включают ток; шихта плавится. Кислородом воздуха, оксидами шихты и окалины окисляются железо и примеси.

Оксид кальция из извести и оксиды железа образуют основной шлак, способствующий удалению фосфора и серы. После доведения металла до нужного состава сливают шлак и подают раскислители и ферросплавы (для получения легированной стали). сливают шлак и подают раскислители и ферросплавы (для получения легированной стали).

Особенности производства цветных металлов

Получение меди. Медные руды бедные, содержат не более 5–6% меди, поэтому рентабельной считается руда, содержащая 1–2% меди. Основные медные руды: сульфидные (медный колчедан – халькопирит $CuFeS_2$; халькозин – медный блеск CuS) и окисленные (куприт Cu_2O ; CuO) и некоторые другие.

Процесс получения меди складывается из следующих этапов:

- Обогащение руды путем флотации, основанной на смачиваемости водой породы и несмачиваемости частиц, содержащих медь. В результате получается медный концентрат, содержащий до 30% меди.

- Обжиг концентрата в пламенных или электрических печах при температуре 1200–1300°C (плавка на штейн). Штейн – сплав сульфидов меди Cu_2S и железа FeS с содержанием меди до 60%.

- Продувка штейна в конвертере воздухом для окисления сульфидов меди и железа, перевода образующихся оксидов в шлак, а серы в SO_2 (газ). В результате получают черновую медь, содержащую 98–99% меди и небольшое количество золота, серебра, цинка, свинца, теллура, селена и др. Одновременно из отходящих газов извлекают серу.

- Огневое и электролитическое рафинирование с попутным извлечением золота, серебра, теллура, селена и пр.

Электролитическим рафинированием получают медь чистотой 99,90–99,99% (марки М1, М0 и М00), огневым рафинированием чистотой 99,0–99,5 (марки М2, М3, М4).

Получение алюминия. Алюминий по распространению в природе занимает третье место после кислорода и кремния, а среди металлов – первое (в земной коре примерно 7,5 % алюминия). Для получения алюминия необходимо значительное количество электроэнергии, поэтому его массовое производство стало возможным, когда появились дешевые источники электроэнергии (ГЭС). В начале прошлого века алюминий ценился дороже золота. Первый алюминиевый завод в нашей стране был пущен в 1932 г. на базе Волховской ГЭС.

Рудами алюминия являются породы, богатые глиноземом Al_2O_3 и залегающие крупными массами. Важнейшая руда – бокситы – состоит из гидратов оксидов алюминия и железа, кремнезема, соединений кальция, магния и др.

Производство алюминия складывается из трех основных процессов:

- Получение глинозема щелочным способом: бокситы обрабатывают щелочью NaOH , фильтруют, обезвоживают обжигом при температуре 1100–1200°C. Одновременно получают криолит Na_3AlF_6 из плавикового шпата; его отфильтровывают и просушивают в сушильных барабанах.

- Электролиз глинозема в расплавленном криолите при температуре 930–970°C в ванне из углеродистого материала. Катодом служит расплавленный алюминий слоем 200–300 мм на дне ванны, анодом – углеродистые блоки, погруженные в электролит. Процесс идет на постоянном токе напряжением 4–4,5 вольт и силой тока 70–140 тысяч ампер. Алюминий собирается на дне ванны и периодически извлекается; на дне ванны оставляют немного алюминия (катод). В результате электролиза получается алюминий – сырец, содержащий примеси и газы.

- Рафинирование первичного алюминия производят:

- а) продувкой хлора через расплав алюминия в закрытом ковше. Образующийся парообразный хлористый алюминий обволакивает частички примесей, которые всплывают и их удаляют. Для выделения газов из металла его выдерживают 30–45 мин. при температуре 690–730°C. Чистота алюминия составляет 99,5–99,85 %;

- б) для получения алюминия высокой чистоты (электротехнического) применяют электролитическое рафинирование (электролит – раствор хлористых и фтористых солей; катод – пластины чистого алюминия). Можно получить алюминий чистотой 99,999 %. Расход электроэнергии составляет 17–19 кВт·ч на 1 кг алюминия.

Производство магния. Подобно алюминию магний получают электролизом из его расплавленных солей.

Основным сырьем для получения магния являются карналлит ($\text{MgCl}_2\text{--KCl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), магнезит (MgCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3\text{--MgCO}_3$), бишофит ($\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Наибольшее количество магния получают из карналлита. Сначала карналлит обогащают и обезвоживают. Безводный карналлит ($\text{MgCl}_2\text{--KCl}$) используют для приготовления электролита.

Электролиз осуществляют в электролизере, футерованном шамотным кирпичом. Анодами служат графитовые пластины. Электролизер заполняют расплавленным электролитом состава: 10% MgCl_2 , 45% CaCl_2 , 30% NaCl , 15% KCl с небольшими добавками NaF и CaF_2 . Такой состав электролита необходим для понижения температуры его плавления $[(720\pm 10)^\circ\text{C}]$. Для электролитического разложения хлористого магния через электролит пропускают ток. В результате образуются ионы хлора, которые движутся к аноду. Ионы магния движутся к катоду и после разряда выделяются на поверхности, образуя капельки жидкого чернового

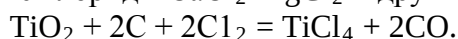
магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на поверхность, откуда его периодически удаляют вакуумным ковшом.

Черновой магний содержит 5 % примесей, поэтому его рафинируют переплавкой с флюсами. Для этого черновой магний и флюс, состоящий из MgCl_2 , KCl , BaCl_2 , CaF_2 , NaCl , CaCl_2 , нагревают в электропечи до температуры 700–750 °С и перемешивают. При этом неметаллические примеси переходят в шлак. После этого печь охлаждают до температуры 670 °С, и магний разливают в изложницы на чушки.

Производство титана. Сырьем для получения титана являются титаномагнетитовые руды, из которых выделяют ильменитовый концентрат, содержащий 40–45 % TiO_2 , ~30% FeO , 20% Fe_2O_3 и 5–7 % пустой породы. Название этот концентрат получил по наличию в нем минерала ильменита FeO-TiO_2 .

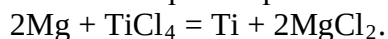
Ильменитовый концентрат плавят в смеси с древесным углем, антрацитом в рудотермических печах, где оксиды железа и титана восстанавливаются. Образующееся железо науглероживается, и получается чугуны, а низшие оксиды титана переходят в шлак. Чугун и шлак разливают отдельно в изложницы. Основным продуктом этого процесса – титановый шлак содержит 80–90 % TiO_2 , 2–5 % FeO и примеси - SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и др. Побочный продукт этого процесса – чугуны – используют в металлургическом производстве.

Полученный титановый шлак подвергают хлорированию в специальных печах. В нижней части печи располагают угольную насадку, нагреваемую при пропускании через нее электрического тока. В печь подают брикеты титанового шлака, а через фурмы внутрь печи – хлор. При температуре 800–1250 °С в присутствии углерода образуется четыреххлористый титан, а также хлориды CaCl_2 , MgCl_2 и другие:



Четыреххлористый титан отделяется и очищается от остальных хлоридов благодаря различию температуры кипения этих хлоридов методом ректификации в специальных установках.

Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах при температуре 950–1000 °С. В реактор загружают чушковый магний; после откачки воздуха и заполнения полости реактора аргоном внутрь его подают парообразным четыреххлористый титан. Между жидким магнием и четыреххлористым титаном происходит реакция:



Твердые частицы титана спекаются в пористую массу – губку, а жидкий MgCl_2 выпускают через летку реактора. Губка титана содержит 35–40% магния и хлористого магния. Для удаления из титановой губки этих примесей ее нагревают до температуры 900–950 °С в вакууме.

Титановую губку плавят методом вакуумно-дугового переплава. Вакуум в печи предохраняет титан от окисления и способствует очистке его от примесей. Полученные слитки титана имеют дефекты, поэтому их вторично переплавляют, используя как расходные электроды. После этого чистота титана составляет 99,6–99,7%. После вторичного переплава слитки используют для обработки давлением.

Производство меди. Железо и его сплавы – чугуны и сталь – называют черными металлами. Все остальные металлы относятся к категории цветных, в том числе и благородные металлы – золото, серебро, платина.

Разнообразие цветных металлов и обусловило разные методы их получения.

Как и черные металлы, цветные получают из рудного концентрата – предварительно обогащенной руды. Но здесь процесс обогащения сложнее, поскольку многие руды являются полиметаллическими и содержат массу сопутствующих как ценных элементов, так и вредных примесей. Например, среднее содержание меди в рудах составляет всего 1–2 %.

Сложность получения цветных металлов хорошо видна на примере меди.

Извлечение меди из руд производится двумя способами:

гидрометаллургическим и пирометаллургическим. Более широкое применение получил пирометаллургический способ, включающий следующие операции:

- обогащение руд с получением концентрата;
- обжиг концентрата;
- плавку на медный штейн-сплав;
- получение черновой меди;

– рафинирование.

После обогащения рудные концентраты подвергают обжигу для частичного удаления (до 50 %) серы. Руда, прошедшая обжиг, направляется на дальнейшую переработку, а образовавшийся сернистый газ SO_2 используется для производства серной кислоты.

Плавка на штейн проводится в отражательных пламенных печах и электропечах, в их рабочем пространстве развивается температура до 1600°C . На поддоне печи постепенно скапливаются жидкие продукты плавки: шлак и штейн-сплав, состоящий, в основном, из сульфидов меди и железа, а также небольшого количества примесей. Штейн по мере накопления выпускают в ковш. В расплавленном состоянии штейн подают в конвертер для переработки в черновую медь. На поверхность штейна загружают кварцевый песок для шлакования при продувке воздухом оксидов железа. Образовавшийся шлак сливают и направляют на повторную переработку в отражательные печи для извлечения меди. Оставшийся штейн приобретает белый цвет и состоит в основном из сульфидов меди. Содержание меди в белом штейне составляет около 80 %. После чего расплавленный белый штейн продувают воздухом и получают черновую медь, которая содержит до 2 % примесей железа, серы, цинка, никеля, свинца и др. Ее разливают в слитки и отправляют на рафинирование.

Рафинирование черновой меди проводят огневым и электролитическим способами.

При огневом рафинировании черновую медь загружают в пламенные печи и после расплавления продувают воздухом с целью окисления меди и растворенных в ней примесей. Образовавшиеся оксиды примесей нерастворимы в меди и удаляются в шлак. Затем металл раскисляют и перемешивают природным газом для удаления растворенных в нем газов.

После огненного рафинирования расплав содержит 99,5 – 99,7 % меди.

Полученную медь разливают в слитки или анодные пластины для электролитического рафинирования.

Электролиз меди проводят в ваннах, футерованными кислотостойкими материалами, например, листовым свинцом, асфальтом, керамическими плитами. Электролитом служит 15 %-ный раствор медного купороса в серной кислоте. В электролит погружают анодные пластины черновой меди и катоды, представляющие собой тонкие листы из чистой электролитической меди. При включении постоянного тока происходит растворение металла анодов, а на катоде происходит осаждение металлической меди. Электролитическая медь имеет более высокую чистоту от примесей и содержит до 99,98 % Cu.

Катодную медь переплавляют в плавильных печах, разливают в слитки и отправляют для проката на лист, трубы и проволоку, а также для выплавки сплавов меди – латуней и бронз.

Производство алюминия. Алюминий является самым распространенным металлом в земной коре. Он преимущественно встречается в виде соединений с кислородом и кремнием – алюмосиликатов. Для получения алюминия используют руды, богатые глиноземом Al_2O_3 (бокситы). Технологический процесс производства алюминия состоит из этапов:

- извлечение глинозема из алюминиевых руд;
- электролиз расплавленного глинозема с получением первичного алюминия;
- рафинирование.

Алюминий получают электролизом глинозема, растворенного в расплавленном криолите. Криолит образуется в результате взаимодействия плавиковой кислоты с гидроксидом алюминия с последующей нейтрализацией содой.

Электролиз осуществляют в алюминиевой ванне – электролизере. Ванна имеет стальной кожух, стены и подину которой изготовляют из угольных блоков, теплоизолированных шамотным кирпичом. Угольный корпус ванны является катодом электролизера. Анодами служат угольные электроды, вертикально погруженные в расплав. Электролит нагревается до рабочей температуры протекающим током. Глинозем, расходуемый в процессе электролиза, периодически загружается в ванну сверху. Жидкий алюминий скапливается на подине электролизера и периодически удаляется с помощью специальных ковшей.

Первичный алюминий, полученный в электролизной ванне, загрязнен примесями, неметаллическими включениями, а также газами (преимущественно водородом). Для очистки алюминия его подвергают рафинированию. Наиболее чистый алюминий получают электролитическим рафинированием с чистотой до 99,996 %, который потребляется

электрической, химической и пищевой промышленностью.

Лекция 3.9

Сравнительный анализ технологических процессов в металлургической промышленности

Сравним метод получения фасонных заготовок деталей машин путем отливки с другими методами получения фасонных заготовок – ковкой или штамповкой и сваркой. Метод отливки имеет следующие преимущества:

1. С помощью отливки можно получить заготовки практически любой сложности по конфигурации. Ни путемковки и штамповки, ни путем сварки нельзя изготавливать сложных фасонных заготовок, столько максимально приближающихся к форме готовой чистовой детали.

2. Припуски на механическую обработку в отливках могут быть весьма небольшими. Это преимущество литых заготовок имеет весьма большое технико-экономическое значение, так как механическая обработка деталей является наиболее дорогостоящим процессом во всем цикле машиностроительного производства.

3. Утилизация отходов металла в литейном производстве (литник и брак) не требует значительных затрат средств и времени. Указанные отходы нуждаются лишь в переплавке, и полученный из них жидкий металл снова используется непосредственно для заливки новых деталей. В ковочноштамповочном же и сварочном производствах для превращения отходов металла снова в листы, профили и болванки, годные к повторному непосредственному использованию, нужна целая цепь дорогостоящих переделов: плавка, нагрев для прокатки, сама прокатка, резка и новый нагрев дляковки или раскрой для сварки.

4. В литейном производстве не требуется столь дорогостоящего и тяжелого оборудования, как в ковочно-штамповочном (прессы, молоты). Поэтому постройка, монтаж и запуск литейного цеха не требуют столь больших капиталовложений и по срокам осуществляются значительно быстрее по сравнению с постройкой кузнечно-прессового цеха.

5. Сравнивая полученные различными методами заготовки в отношении качества металла (прочности и надежности), необходимо отметить, что прочность литой непрокованной стали несколько не меньше прочности прокованной, если обе имеют одинаковое сложение. Однако наличие в отливках скрытых раковин, неметаллических включений, более крупнозернистого строения и остаточных внутренних напряжений приводит к тому, что в отношении прочности и надежности литые заготовки в большинстве случаев (но не всегда) уступают кованым и штампованным. При правильно выполненной горячей обработке давлением металл приобретает мелкозернистое и плотное строение. Кроме того, кованая деталь получает в известной мере волокнистое строение, что при надлежащем расположении волокон значительно ее упрочняет. Однако благодаря углубленному научному изучению литых сплавов за последние десятилетия качество литых изделий также значительно возросло. Об этом свидетельствует непрерывный рост гарантированных норм прочности металла в отливке, расширение номенклатуры сплавов, обладающих специальными свойствами, и замена кованых и штампованных заготовок для ряда ответственных деталей литыми.

Эффективность литейного производства может характеризовать коэффициент использования металла (КИМ) – отношение масс детали и заготовки

(табл. 1).

Таблица 1 Ориентировочные значения КИМ различных заготовок

Вид заготовки	КИМ
Литье под давлением	0,95
Литье по выплавляемым моделям	0,90
Литье в оболочковые формы	0,80

Литье в кокиль	0,75
Литье в песчаные формы	0,70
Профильный прокат	0,60
Штамповка (горячая)	0,40
Прутки катаные	0,35
Ковка свободная	0,30

Суть литейного производства состоит в том, что фасонные детали (заготовки) получают заливкой жидкого металла в литейную форму, полость которой соответствует их размерам и форме. После кристаллизации металла литую деталь (заготовку), называемую отливкой, удаляют из литейной формы и в случае необходимости отправляют в механический цех для последующей обработки.

Общая схема технологического процесса изготовления отливки приведена на рис. 5. Технология изготовления отливки начинается с разработки ее чертежа и рабочих чертежей модельного комплекта (модели и стержневого ящика).

В состав литейного цеха входят отделения: модельное, смесеприготовительное, стержневое, формовочное, плавильное, выбивное, обрубное, очистное. В модельном отделении по рабочим чертежам изготавливают модельный комплект; в смесеприготовительном – формовочную и стержневую смеси; в формовочном – литейную форму; в стержневом – стержни; в плавильном получают жидкий металл. Готовую литейную форму заливают жидким металлом и после его затвердевания в отделении выбивки отливку удаляют из формы, обрубывают литниковую систему и очищают от пригара в очистном отделении. Заключительной операцией является контроль качества отливки.



Рис. 3.5. Схема технологического процесса изготовления отливки

Выбор технологического процесса формовки. Выбор технологического процесса для конкретного отделения тесно связан с общими и специальными требованиями, которые предъявляются к готовым отливкам по геометрической точности, эксплуатационной надежности и шероховатости поверхности, герметичности, коррозионной стойкости и др.

В настоящее время имеется большое разнообразие технологических процессов изготовления литейных форм, число которых превысило 50. В табл. 2 приведены характеристики способов получения отливок в разовой форме и специальными способами.

Каждый из способов имеет свои достоинства, недостатки и определенные области применения в зависимости от вида сплава, габаритов и массы отливки, серийности производства. Этому вопросу посвящены многие литературные источники, а выбор для проектируемого цеха одного или нескольких процессов будет определяться в зависимости от производственной программы. При этом важным обстоятельством при выборе процесса должна быть производительность оборудования отделения и качество литья.

Таблица 2 Классификация и область применения различных способов производства литья

Способ производства отливок		Область применения	Характеристика литья
Литье в песчаные формы	машинная формовка	Индивидуальное, серийное и массовое производство отливок любых сплавов	Механическая обработка без разметки с гарантийными припусками на механическую обработку
	прессовые машины	Для мелких и средних отливок небольшой высоты	
	встряхивающие машины	Для крупных отливок, различных по весу и габаритам	
	пескометы	Для крупных и средних по весу и габаритам отливок	
	пескодупно-прессовые машины	Для мелких и средних по весу и габаритам отливок	
Литье в кокиль		Массовое и серийное производство мелких и средних по весу и габаритам отливок простой и средней сложности из любых сплавов	Высокое качество поверхности, малые припуски на обработку
Центробежное литье на машинах		Индивидуальное, серийное и массовое производство отливок из любых сплавов, имеющих форму тел вращения со свободной поверхностью	Высокое качество поверхности, малые припуски на обработку
Литье под давлением		Крупносерийное и массовое производство отливок из цветных сплавов, мелких и средних по весу и габаритам	Высокий класс точности размеров и чистоты поверхности, не требующей механической обработки
Литье по выплавляемым моделям		Мелкосерийное, серийное и массовое производство отливок, требующих сложной механической обработки при обычных методах, а также для деталей из материалов, трудно поддающихся механической обработке	Высокий класс точности размеров и чистоты поверхности, не требующей механической обработки

Типы литейного производства. Различают следующие основные типы литейного производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характерно выпуском в небольших количествах самых разнообразных отливок. При этом выпуск отдельных отливок может периодически повторяться. Примером единичного производства может служить выпуск отливок для ремонтных целей в литейных мастерских небольшой мощности или производство очень крупных единичных так называемых уникальных отливок массой в несколько десятков и сотен тонн (для мощных экскаваторов, корпусов крупных турбин и т.п.).

Серийное производство отличается периодическим выпуском отливок ограниченной или широкой номенклатуры значительными или небольшими партиями. Примером серийного производства является выпуск отливок для деталей различных типов металлорежущих станков в литейных цехах станкостроительных заводов. Серийное производство в машиностроении занимает среднее положение между массовым производством, к которому приближается крупносерийное, и единичным, к которому приближается мелкосерийное.

Массовое производство характерно выпуском в течение более или менее длительного времени отливок определенной номенклатуры в больших количествах. Примером массового производства может служить выпуск однообразных отливок литейными цехами автомобильных и тракторных заводов.

Тип производства оказывает большое влияние на выбор методов литья и технологию изготовления отливок. На характер применяемого оборудования и организацию труда в литейном цехе. Если единичное производство характерно применением ручного труда, частичной механизацией производственных процессов, то в серийном и особенно в массовом производствах рационально использовать технически совершенное и высокопроизводительное оборудование, специальные приспособления и аппаратуру, обеспечивающие высокую производительность и качественное выполнение операций.

Наибольшее распространение в практике получили технологии изготовления литейных форм из песчано-глинистых смесей. Типовые разновидности технологических процессов представлены на рис. 3.6.

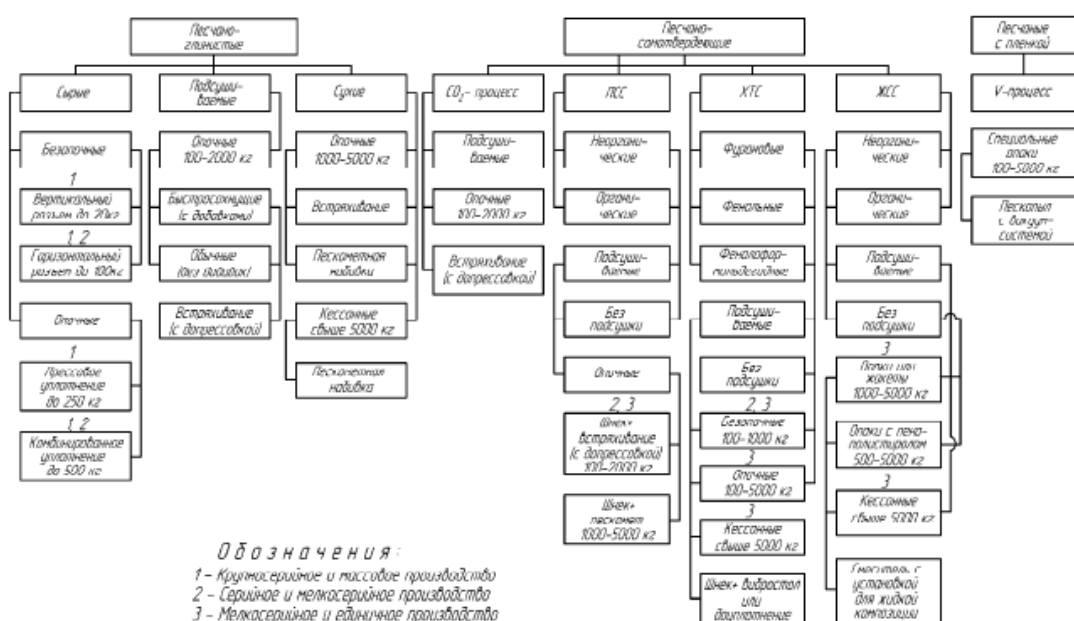


Рис. 3.6. Типовые технологические процессы изготовления разовых объемных песчаных форм

Специальные способы литья. Принято выделять специальные способы литья. В разное время различные специалисты относили к специальным способам: новые технологические процессы, перспективные, но не получившие еще распространения; литье из новых литейных сплавов; различные виды литья в металлические формы; технологические процессы специфических однотипных отливок, изготавливаемых в больших масштабах (изложницы, трубы, поршневые кольца, ювелирные изделия и др.); литье в песчаные формы, изготовленные «необычными» методами (по выплавляемым моделям, оболочковое, наливное и др.); виды литья, которые на данном этапе развития технологии обеспечивали повышение точности размеров, качества поверхности, возможности механизации по сравнению с распространенными способами.

Стандарт по терминологии содержит понятие «способ литья», но не дает его определения. Технологические процессы, отнесенные к этому понятию, различаются по способам заливки, материалам форм, типу оснастки, способам изготовления литейных форм. По-видимому, способ литья должен включать совокупность основных материалов и процессов, участвующих в изготовлении литейной формы и получении отливки. Параметры указанных материалов и процессов можно разбить на следующие категории: разновидности основ формовочных материалов и разновидности связующих добавок к дисперсным основам формовочных смесей; типы модельно-опочной оснастки, применяемой для изготовления элементов литейных форм из дисперсных материалов; способы уплотнения дисперсных формовочных смесей и сборка литейных форм; способы заполнения литейных форм жидким расплавом.

Каждый самостоятельный способ литья отличается от другого хотя бы по одной из пяти перечисленных позиций; отличие возможно не только по одной, но и по двум-трем позициям.

Автоматизация – характеризуется созданием автоматических линий формовки, применением роботов при выполнении тяжелых операций, автоматизацией технологической подготовки литейного производства на основе ЭВМ.

В литейных цехах большое распространение получили литейные конвейеры, объединяющие в единый производственный поток ряд операций, выполняемых на машинах и установках с различной степенью механизации (рис. 3.7).

Литейный конвейер представляет собой множество платформ 9, непрерывно движущихся по рельсам 10 при помощи тяговой замкнутой цепи, приводимой в движение от приводной станции 8. Литейные формы 4 со сборочных рольгангов 5, примыкающих к формовочному участку, передаются в заливочное отделение. Заливка производится рабочим, находящимся на движущейся платформе 1, при помощи наклона разливочного ковша 2, который поступает из плавильного отделения по монорельсу 3. Формы, залитые металлом, движутся под охлаждающий кожух 7 и после остывания – на выбивную решетку 6. Выбитые отливки проваливаются в люк выбивной решетки и пластинчатым транспортером передаются в обрубное отделение. Выбитая из опок формовочная смесь проваливается через решетку на ленточный транспортер и, пройдя сепарацию, подается в смесеприготовительное отделение. Освобожденные опоки возвращаются на участок формовки для повторного использования.

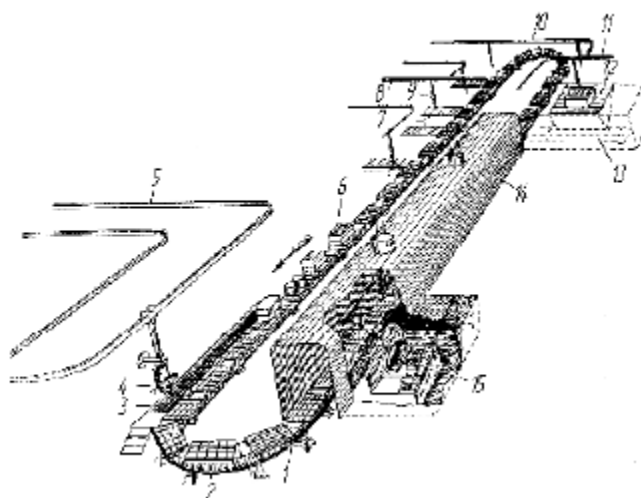


Рис. 3.7. Литейный конвейер: 1 – заливочная площадка; 2 – заливочный ковш;
3 – монорельс; 4 – форма; 5 – формовочные машины; 6 – рольганги; 7 – пневматический подъемник;
8 – выбивная решетка; 9 – транспортер; 10 – охлаждающая камера; 11 – привод; 12 – тележки; 13 – рельсы

В литейных цехах нашли применение автоматические формовочные линии, на которых изготовление форм происходит без участия человека, а только под его контролем и наблюдением. На рис. 3.8 показана принципиальная схема такой линии.

В линию вмонтированы формовочные автоматы 3 и 5, на которых формуются соответственно нижняя и верхняя полуформы. При помощи кантователя 4 нижние полуформы поворачиваются на 180° и передаются на транспортную линию 7 для установки стержней. Сборка нижней и верхней полуформ производится механизмом 8, после чего готовые к заливке формы подаются на заливочный конвейер 9 (на рис. 3.8 показана только его часть). Для скрепления полуформ на них накладываются грузы, а затем собранные формы подаются последовательно на заливочный участок, в зону охлаждения, на позицию 10 для удаления сплесков металла и на автоматическую выбивную установку 11.

В современных линиях перекладка грузов, скрепляющих полуформы, с охлаждающей зоны конвейера на зону сборки осуществляется автоматически при помощи специальных механизмов грузоукладчиков.

Освобождающиеся после выбивки опоки механизмом съема и распаровки 12 разделяются на два потока: нижние опоки передаются на линию 13, а верхние – на линию 6. В дальнейшем процессы повторяются по описанной выше схеме.

Формовочная смесь, необходимая для изготовления полуформ, из смесеприготовительного отделения при помощи транспортной ленты 1 подается к бункерам с дозаторами 2, установленным над формовочными автоматами.

Учитывая повышенные требования, предъявляемые к формовочным смесям, применяемым на автоматизированных установках, многие формовочные линии изготавливаются совместно со смесеприготовительными установками.

В современных литейных цехах осуществляются принципы комплексной автоматизации. С этой целью автоматические формовочные линии объединяются с блок-линиями для изготовления стержней, автоматическими линиями для заливки и выбивки форм, поточными линиями для очистки, зачистки и окраски форм.

Для обеспечения надежных связей между отдельными агрегатами, входящими в состав автоматических линий, предусматриваются соответствующие накопители для опок, готовых форм и др.

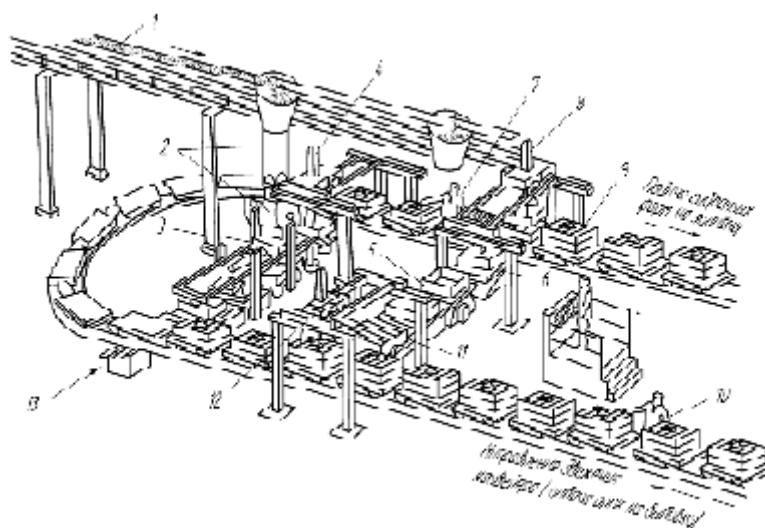


Рис. 3.8. Автоматическая формовочная линия: 1 – транспортерная лента; 2 – бункер с дозатором; 3 – формовочный автомат нижних опок; 4 – механизм кантователя и подаватель нижних опок; 5 – формовочный автомат верхних опок; 6 – линия верхних опок; 7 – установка стержней; 8 – механизм сборки форм; 9 – заливочный конвейер; 10 – удаление сплесков металла; 11 – автоматическая выбивная установка; 12 – механизм съема и распаровки опок; 13 – линия нижних опок

Способы формовки на автоматических линиях

Автоматическая линия – комплексы оборудования, расположенные в технологической последовательности, связанные транспортом и объединенные системой управления, обеспечивающей автоматическое выполнение переходов и операций технологического процесса под контролем операторов.

Автоматическая линия формовки, заливки и набивки (рис. 3.8) предназначена для производства отливок в разовых песчано-глинистых формах в сталелитейных и чугунолитейных цехах в условиях серийного и крупносерийного производства отливок. Линия создана на базе двух трехпозиционных формовочных машин, соединенных в единый комплекс рольгангами, и горизонтально-замкнутого тележечного литейного конвейера пульсирующего типа.

Уплотнение смеси происходит встряхиванием с последующим прессованием. Основные узлы: литейный пульсирующий конвейер, механизм съема форм с литейного конвейера, рольганга, механизм выдавливания «кома», механизм очистки опок, конвейер дополнительного охлаждения, выбивные решетки, распаровщик, трехпозиционные формовочные машины для формовки нижних и верхних полуформ, кантователь, установщик нижних полуформ на конвейер, сборщик форм, грузоукладчик, электрооборудование, гидрооборудование.

Работа линии происходит следующим образом. Залитые и охлажденные формы поступают на позицию механизма съема форм, поднимаются над литейным конвейером и по рольгангу перемещаются к механизму выдавливания «кома», где происходит выдавливание комьев смеси с отливками вверх, откуда они попадают на конвейер дополнительного охлаждения. Этот конвейер позволяет резко сократить парк опок и сэкономить производственные площади за счет уменьшения длины литейного конвейера.

Далее комья смеси с отливками, перемещаясь по конвейеру, попадают на выбивную решетку, где происходит отделение отливок от горелой смеси.

Пустые опоки по рольгангу поступают на позицию механизма очистки опок, где очищаются от остатков смеси и передаются на рольганг, а затем – в распаровщик. После

распаровщика опоки низа поступают в формовочную машину для изготовления нижних полуформ, а опоки верха по рольгангу двигаются к формовочной машине изготовления верхних полуформ. Изготовленные нижние полуформы передаются на кантователь, где они кантуются и поступают на позицию установщика нижних полуформ, откуда литейным конвейером передаются к сборщику форм.

На участке литейного конвейера между установщиком нижних полуформ и сборщиком происходит установка стержней в нижние полуформы.

Полуформы верха, изготовленные на формовочной машине, передаются на кантователь, кантуются для осмотра, затем снова переворачиваются и поступают на позицию сборщика, где собираются с нижними полуформами.

Собранные формы, перемещаясь по литейному конвейеру, нагружаются с помощью грузоукладчика и поступают на участок заливки, где происходит заливка их металлом. После заливки, постепенно охлаждаясь, формы перемещаются к позиции механизма съема форм, и цикл повторяется.

Охлаждение форм на литейном конвейере происходит в охлаждающем кожухе с вытяжной вентиляцией. Система управления линии выполнена на бесконтактной аппаратуре на логических элементах. Аппаратура расположена в многосекционных шкафах управления.

Учитывая повышенные требования, предъявляемые к формовочным смесям, применяемым на автоматизированных установках, многие формовочные линии изготавливаются совместно со смесеприготовительными установками.

В современных литейных цехах осуществляются принципы комплексной автоматизации. С этой целью автоматические формовочные линии объединяются с блок-линиями для изготовления стержней, автоматическими линиями для заливки и выбивки форм, поточными линиями для очистки, зачистки и окраски форм.

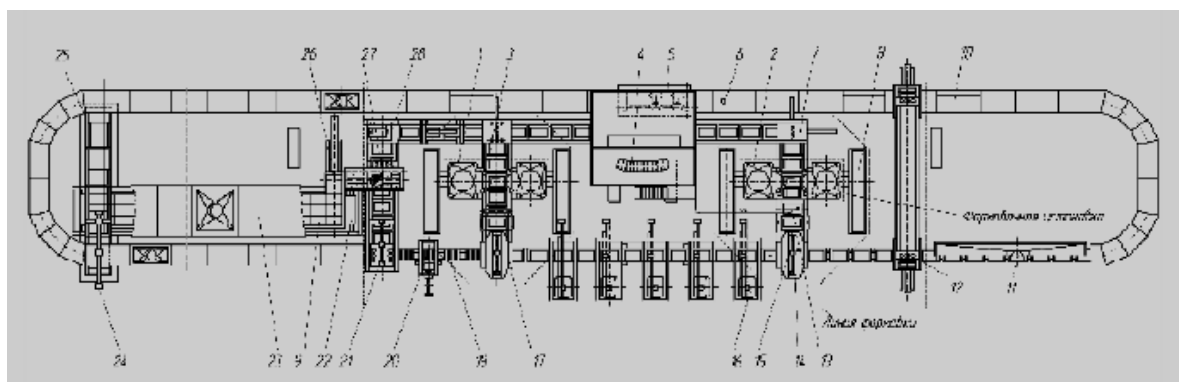


Рис. 3.9. Схема планировки комплексной автоматической линии модели Л450А:

- 1, 2 – формовочная установка мод. 3019; 3 – распаровщик; 4 – центральный пульт управления;
- 5 – каретка силовых гидроцилиндров литейного конвейера; 6 – рольганг; 7 – устройство передачи верхних опок к формовочному автомату; 8 – устройство для замены модельных комплектов; 9 – брикеты на конвейере охлаждения; 10 – охлаждающий тоннель; 11 – место заливки; 12 – укладчик грузов;
- 13 – механизм накалывания вентиляционных каналов; 14 – кантователь верхних полуформ;
- 15 – сборщик форм; 16 – стержнеукладчик; 17 – устройство передачи нижних полуформ на литейный конвейер; 18 – устройство для срезания излишка смеси; 19 – тележка конвейера; 20 – устройство для очистки тележек; 21 – устройство для передачи залитых форм с литейного конвейера на выбивку;
- 22 – охлаждающий конвейер; 23 – тоннель интенсивного охлаждения; 24 – толкатель брикетов на выбивку; 25 – выбивная решетка; 26 – толкатель брикетов на конвейер охлаждения; 27 – установка выдавливания брикетов с отливками из опок; 28 – устройство передачи комплекта пустых опок; 29 – литейный пульсирующий конвейер; 30 – кантователь нижних полуформ

Для обеспечения надежных связей между отдельными агрегатами, входящими в состав автоматических линий, предусматриваются соответствующие накопители для опок, готовых форм и др.

Внедрение автоматизации в литейном производстве ликвидирует тяжелый ручной труд, позволяет значительно улучшить условия труда и общее санитарногигиеническое состояние цеха.

Для изготовления мелких отливок применяют автоматические линии безопочной формовки.

Наиболее применяемыми являются линии безопочной формовки со сборкой форм в горизонтальную опоку. Основные преимущества изготовления отливок на таких линиях по сравнению с опочной формовкой на автоматических линиях следующие: отсутствие опочной оснастки; отсутствие транспортных средств и механизмов для перемещения и манипуляций с пустыми опоками; простота устройств для выбивки безопочных форм; отсутствие устройств для нагружения форм во время заливки.

На рис. 3.10 показана комплексная автоматическая линия безопочной горизонтально-стопочной формовки.

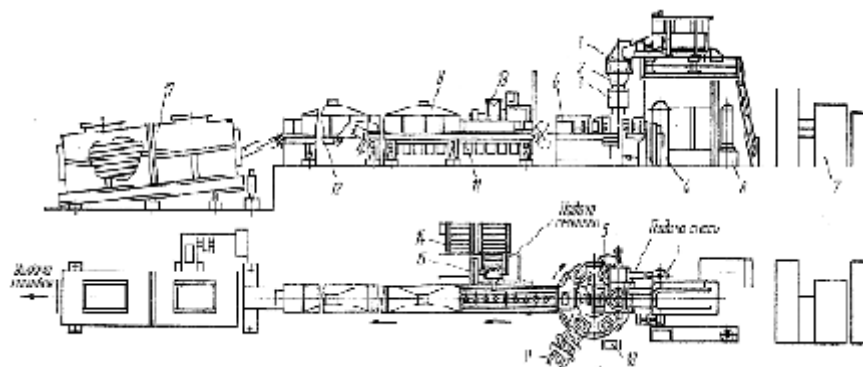


Рис. 3.10. Комплексная автоматическая линия АЛ23714 безопочной горизонтально-стопочной формовки, сборки, заливки и выбивки: 1 – дозатор ленточный 19613; 2 – бункер; 3 – пескодувная головка; 4 – ресивер; 5 – формовочный автомат; 6 – поворотный стол; 7 – гидроагрегат; 8 – гидроаккумулятор УГ.210.000; 9 – стержнеукладчик; 10 – шаговый конвейер; 11 – цепной конвейер; 12 – ленточный конвейер; 13 – заливочная машина 4126А; 14 – роликовый конвейер заливочной машины; 15 – заливочный ковш; 16 – выбивающая вибрационно-инерционная решетка 31222; 17 – выбивающий барабан 31312; 18 – пульт управления линией

Вакуумный способ изготовления литейных форм. Вакуумная формовка (V-процесс) имеет ряд преимуществ по сравнению с технологией литья в разовые песчано-глинистые формы: повышение качества отливок; резкое уменьшение расхода исходных материалов; снижение трудоемкости процесса формообразования; отсутствие связующего в формовочном материале. Вакуумирование формы в процессе заливки и охлаждения металла позволяет исключить выделение газов. Что улучшает условия труда, уменьшает загрязнение окружающей среды и способствует сокращению капитальных затрат и эксплуатационных расходов на вентиляцию производственных помещений.

Суть способа и последовательность операций иллюстрируются на рис. 3.11. Модельная плита 5 с закрепленной на ней моделью 2 смонтирована на вакуумной камере 1. Полость этой камеры соединена сквозными тонкими каналами 4 с поверхностью плиты и модели.

Синтетическую пленку 3 толщиной до 0,1 мм с площадью поверхности, равной площади модельной плиты на плане в течение нескольких секунд нагревают до перевода ее в пластическое состояние. Нагретую пленку накладывают сверху на модель и подключают полость камеры 1 через патрубок 6 к вакуумному насосу. Пленка плотно облегает поверхность модельной плиты и модели, точно воспроизводя ее контур. На модельную плиту с пленкой устанавливают коробчатую опоку 7, внутренняя стенка которой имеет отверстия 10. Опока через патрубок 11 соединена с вакуум-насосом. В нее засыпают огнеупорный наполнитель 9, и модельную плиту вибрируют.

Далее отформовывают литниковую чашу и линейкой укладывают избыток песка из полуформы, выполняя ровный контрлад. На последний накладывают синтетическую пленку 8 (без нагрева) и подключают опоку к вакуумному насосу. Полуформа в результате вакуумирования приобретает необходимую прочность. Для съема полуформ с модельной плиты вакуумную камеру 1 отключают от вакуумного насоса. Верхнюю полуформу соединяют с нижней, которую изготавливают аналогичным способом. В процессе сборки полуформ, заливки металлом и затвердевания отливки опоки подключены к вакуум-насосу. После затвердевания отливки 14 вакуум-насос отключают, и отливка вместе с песком вываливается из опок. Песок после охлаждения вновь используется для формовки. Уплотнение песка производится при вакууме порядка 50 кПа.

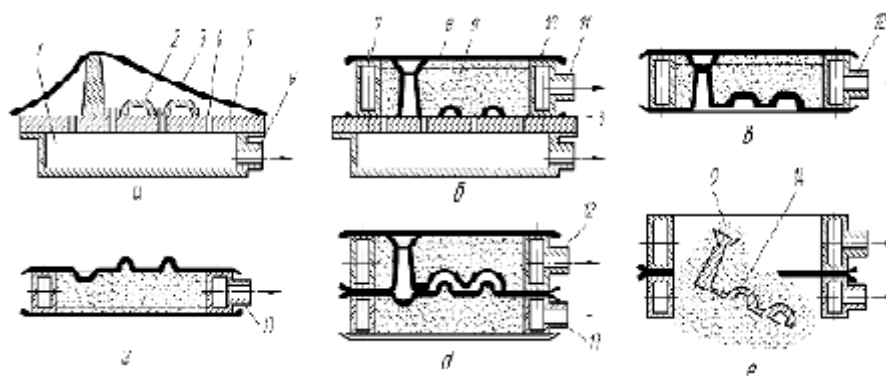


Рис. 3.11. Последовательность операций при вакуумно-пленочной формовке:
а – наклеивание пленки на модельную плиту; б – изготовление верхней полуформы;
в – верхняя полуформа; г – нижняя полуформа; д – форма в сборе; е – выбивка отливки;
1 – вакуумная камера; 2 – модель; 3 – пленка; 4 – отверстие в модельной плите; 5 – модельная плита; 6 – патрубок; 7 – коробчатая опока; 8 – пленка; 9 – наполнитель; 10 – отверстие в опоке; 11, 12, 13 – патрубки; 14 – отливка

На рис. 3.11 приведена схема линии вакуумной формовки Дисаматик. Технология получения отливок на линии рассчитана на использование как низких, так и высоких моделей, поскольку толщина формы регулируется в зависимости от размера модели. Модель может быть заменена в течение рабочего цикла. В зависимости от производственной необходимости можно изготавливать большие и мелкие партии отливок из любого металла от стали до алюминия.

В состав линии входят следующие компоненты: формовочная машина 1; устройство для подачи модельных плит 2; стержнеукладчик 3; устройство для быстрой замены модельных плит 4; бункер для песка 5; вакуумная установка 6; гидравлическая установка 7; установка для перемещения поддонов и зажимов 8; зона заливки 9; линия заливки и охлаждения 10; конвейер охлаждения (двухдорожечный) 11.

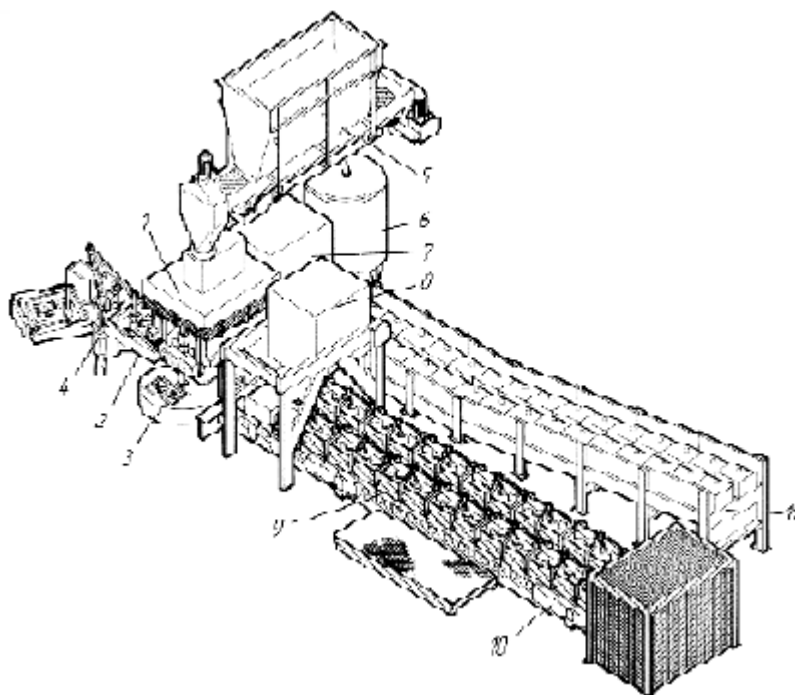


Рис. 3.11. Схема линии вакуумной формовки Дисаматик:

1 – формовочная машина; 2 – устройство для подачи модельных плит; 3 – стержнеукладчик; 4 – устройство для быстрой замены модельных плит; 5 – бункер для песка; 6 – вакуумная установка; 7 – гидравлическая установка; 8 – установка для перемещения поддонов и зажимов; 9 – зона заливки; 10 – линия заливки и охлаждения; 11 – конвейер охлаждения (двухдорожечный)

Материалы формы. Наполнитель. Свойства формовочного материала определяют прочность форм и качество поверхности отливки. Главной особенностью формовочных материалов, используемых в вакуумно-пленочной формовке, является отсутствие в них связующего, поэтому огнеупорность формы зависит только от огнеупорности применяемого наполнителя. Прочность формы, полученной при разрезании, в значительной степени зависит от насыпной массы применяемого песка.

В свою очередь насыпная масса зависит от крупности песка, его типа (кварцевые, цирконовые и др.) и формы (угловатый или округлый), а также соотношения крупной и мелкой фракцией.

При использовании мелкого песка обеспечивается гладкая поверхность отливки ($RZ = 18$ мкм), более крупный песок имеет тенденцию к просечке.

Герметизирующие покрытия. В качестве материала для герметизации форм используются синтетическая пленка, фольга, бумага или самотвердеющие композиты. Чаще всего применяется синтетическая пленка.

На этапе наложения на модель к пленке предъявляются следующие требования: плотное прилегание нагретой пленки к модели; отсутствие разрывов; малая зависимость пластичности пленки от длительности ее нагрева.

На этапе заливки формы требуются: малая термическая усадка пленки при контакте с нагретым жидким металлом (сжимающаяся пленка не должна обнажать слишком большой участок формы, на котором зерна песка удерживаются только за счет вакуумирования); медленное протекание процессов деструкции пленки при минимальной толщине слоя песка, в который проникают продукты деструкции (во избежание образования пригара и попадания в отливку включений песка); незначительное выделение газов в атмосферу цеха; малая стоимость пленки.

Применяются пленки из различных синтетических материалов – полиэтилена низкой плотности (PE-пленка ГОСТ 10354-82), полипропилена (PP-пленка), полистирола (PS-пленка) и этилвинилацетата (EVA-пленка).

EVA-пленка имеет наиболее высокие показатели удлинения, пластической деформации, обладает способностью к деформированию и образованию складок, однако требует для деформирования определенных усилий. По совокупности свойств EVA-пленка наиболее пригодна для использования при вакуумно-пленочной формовке.

Огнеупорные покрытия. В качестве огнеупорного покрытия используются графит, тальк, каолин, циркон, алюминиевая пудра, в качестве жидкой фазы – растворители и компоненты, которые не вступают в химическую реакцию с пленкой, метанол, изопропанол и этанол. Водные покрытия не используются, так как они на пленке высыхают долго и не смачивают ее. При применении метанола и изопропанола требуются более жесткие правила техники безопасности, чем при работе с этанолом; последний более перспективен, хотя и дороже.

Краски большей частью наносят на пленку, покрывающую модель. В отдельных случаях красят поверхность формы после съема модели. При этом краска и песок разделены пленкой.

Экспертные системы в доменном производстве

Хорошие технико-экономические показатели доменной плавки – высокую производительность и низкий удельный расход кокса – можно получить только при "нормальной работе" печи. Понятие о нормальной работе связывается с так называемым ровным ходом печи. Такой ход характеризуется следующими признаками.

1. Плавным и устойчивым сходом шихтовых материалов с постоянной скоростью опускания кусков шихты в поперечном сечении печи. Здесь важно отметить, что скорость опускания материалов в отдельных точках сечения печи может быть различной, но при ровном ходе плавки эта скорость должна быть постоянной.

2. Устойчивым характером распределения шихтовых материалов и газового потока по сечению доменной печи, при котором достигается максимальная степень использования химической и тепловой энергии газа и минимальный для данных условий плавки удельный расход кокса.

3. Постоянными параметрами дутьевого режима, т.е. условиями стабильности расхода дутья, его температуры и влажности, а также постоянными расходами природного газа (пылеугольного топлива или мазута) и технологического кислорода.

4. Устойчивым тепловым состоянием плавки, когда имеет место получение чугуна и шлака заданного состава с соответствующими физикохимическими свойствами.

5. Наличием устойчивого гарнисажа, что обеспечивает постоянство рабочего профиля печи и его сохранность в процессе эксплуатации печи.

Ровный ход достигается строгим соблюдением всех технологических инструкций, начиная от приемки и складирования шихтовых материалов, загрузки

их в печь, выполнения технологии плавки и заканчивая выпуском продуктов доменной плавки.

При ведении доменной плавки, несмотря на сравнительно большую тепловую инерцию современных доменных печей, возможно значительное отклонение режимных параметров плавки от заданных. Причины таких отклонений от ровного хода плавки могут быть разнообразными: изменение химического и гранулометрического составов шихтовых материалов и несвоевременная реакция технологического персонала на произошедшие изменения, выход из строя основного и вспомогательного технологического оборудования, а также ошибки персонала, ведущего доменную плавку, и др.

Наблюдение и корректировка режима доменной плавки осуществляется как визуальным наблюдением, так и с помощью системы отображения информации. При распознавании того или иного вида отклонения печи от нормального режима плавки недопустимо делать вывод по 1-2 признакам. Полученная информация должна оцениваться по совокупности признаков и сопоставляться. В противном случае не исключается возможность принятия ошибочных решений, которые могут еще в большей степени усугубить наступившее нарушение плавки.

Визуальное наблюдение за ходом доменной плавки технологическим персоналом предусматривает, прежде всего, оценку светимости воздушных фурм. Светлые яркие фурмы с раскаленными до белого каления кусками кокса указывают на высокий нагрев печи. Переход от белого накала кусков кокса к розовому характеризует заметное уменьшение нагрева. Появление на фурмах красных кусков кокса и темных кусков железорудного материала свидетельствует о значительном снижении теплового состояния доменной плавки.

Следующий визуальный параметр, который можно использовать для суждения о ходе плавки, – это характер циркуляции кусков кокса в фурменном очаге. При нормальном технологическом режиме в глазке фурмы можно наблюдать интенсивную циркуляцию кусков кокса. При замедлении доменного процесса наблюдается вялая циркуляция кусков твердого топлива. Это может быть одним из признаков горячего хода плавки. При нижнем подвисании шихты, а также при работе печи в режиме тихого хода возможно полное отсутствие циркуляции кокса в зоне горения.

Учитывая крупные достижения в последнее время в области искусственного интеллекта в решении задач диагностики и прогнозирования, с одной стороны, и появление мощных систем реального времени, с другой, появилась возможность создания по сути дела автоматизированной системы управления доменным процессом нового поколения на базе экспертных систем.

В общем случае такая система должна иметь «навыки суждений» о ходе доменной печи по различным признакам, правильно анализировать их и своевременно предупреждать вероятные отклонения от нормального режима, применяя различные приемы воздействия на ход доменной плавки.

Предварительно отметим основные группы параметров, характеризующих ход доменной печи и используемых в ЭС:

- химический состав чугуна и шлака, температура чугуна;
- информация с технических средств контроля хода доменной плавки;
- состояние фурменных зон;
- состояние горна доменной печи и, в частности, уровень расплава.

Основные виды расстройств доменной печи, которые система диагностирует на базе искусственного интеллекта:

- периферийный ход печи;
- осевой ход печи;
- канальный ход печи;
- перекосящий уровень засыпи;
- тугой ход печи с дальнейшим развитием верхнего или нижнего подвисания;
- горячий ход печи;
- холодный ход печи;
- аварийные ситуации (загромождение горна, образование настывов и т.п.).

Кроме того, экспертная система непрерывно определяет состояние ровного хода печи и заданного нагрева и прогнозирует их развитие или нарушение.

В процессе экспертизы хода доменной плавки также выявляются факторы, являющиеся причиной нарушений хода доменной плавки.

К ним относятся:

- изменение свойств шихтовых материалов (качество железорудных материалов, содержание мелочи в шихте, прочность кокса);
- изменение параметров дутьевого режима (расход дутья, температура и влажность);
- изменение режимов загрузки (система загрузки, уровень засыпи);
- изменение вязкости шлака;
- оптимальность рудной нагрузки;
- изменение параметров комбинированного дутья (расход инжeksiруемого топлива (природного газа), технологического кислорода на обогащение дутья);
- состояние горна (уровень жидких продуктов плавки).

Основные способы воздействия на ход доменной плавки с целью устранения возникающих отклонений сводятся к следующему:

- изменение рудной нагрузки (в том числе загрузка в печь дополнительных скипов кокса и холостых подач);
- изменение режима загрузки материалов (система загрузки и уровень засыпи);
- изменение дутьевых параметров (расход, температура и влажность дутья, расход природного газа и технологического кислорода);
- изменение в подачу масс основных и кислых добавок;
- изменение давления колошникового газа;
- изменение количества и состава шлака;
- искусственные (принудительные) осадки шихты.

Управляющие воздействия реализуются обычно путем выдачи рекомендаций технологическому персоналу на их изменение.

Функциональная структура экспертной системы представлена на рис. 3.12 и включает следующие подсистемы.

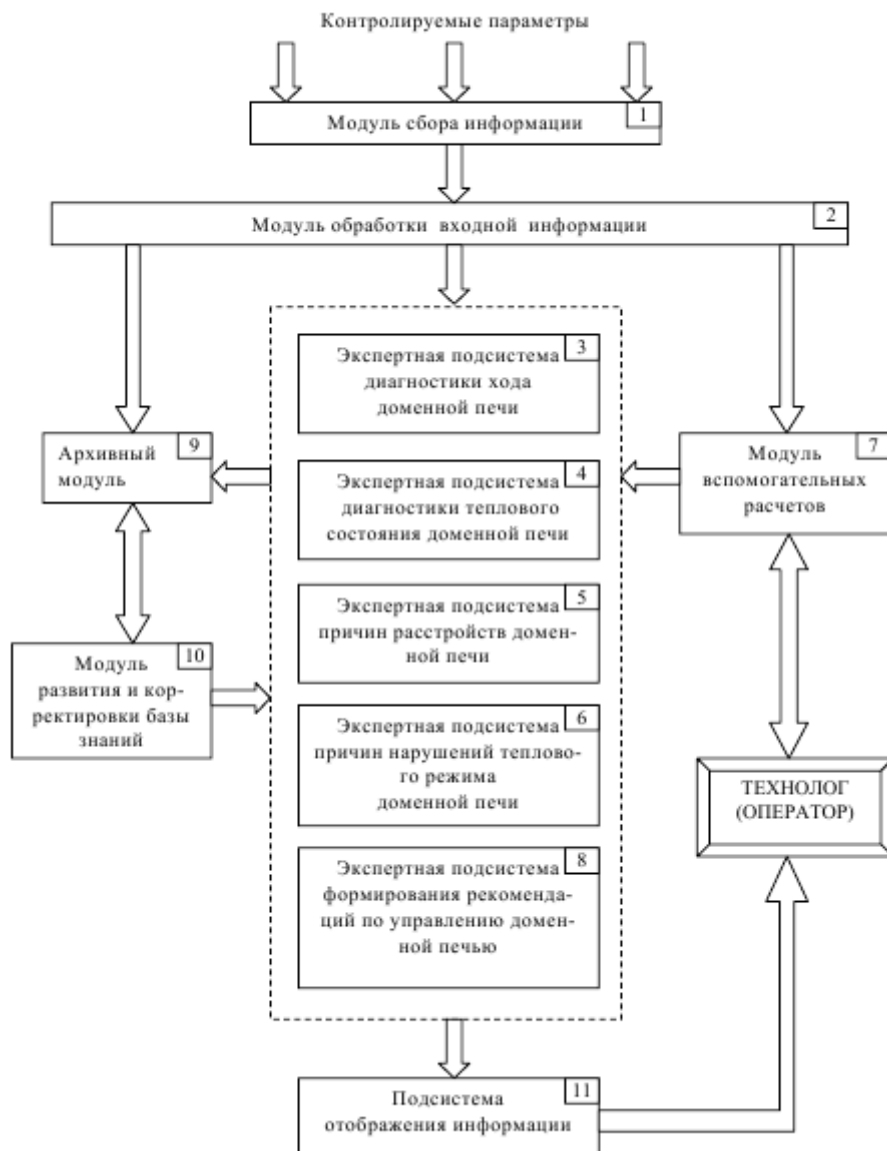


Рис. 8.9. Функциональная структура экспертной системы

1. Модуль сбора информации о параметрах доменной плавки. Этот модуль считывает данные, поступающие в режиме реального времени, генерируемые как датчиками технологических параметров, так и вводимые вручную технологическим персоналом доменной печи. Цикл считывания сигналов датчиков составляет 5–30 секунд.

2. Модуль обработки входной информации. Производит оценку считываемых значений параметров (сглаживание, интерполяцию) и выделение характерных изменений параметров на временном интервале 8 часов по специальным математическим процедурам.

3. Экспертная подсистема диагностики хода доменной печи. Представляет программный модуль, предназначенный для раннего обнаружения намечающихся расстройств доменной печи (канального хода, периферийного хода, тугого хода с дальнейшим прогнозом места подвисания шихты, горячего и холодного хода). Экспертная система обеспечивает возможность идентификации ровного хода печи и диагностирует его

развитие или нарушение. Экспертная система выдает в количественной форме вероятность появления и развития того или иного вида расстройств хода доменной печи.

4. Экспертная подсистема диагностики теплового состояния доменной печи. Представляет программный продукт, обеспечивающий непрерывную диагностику теплового состояния доменной печи по показаниям технических средств контроля. Она выдает с учетом хода, определяемого системой по п.3, количественные данные вероятности того или иного теплового состояния печи (похолодания, разогрева и заданного нагрева печи).

5. Экспертная подсистема причин расстройств хода доменной печи. Представляет собой программное средство, предназначенное для информирования технологического персонала о причинах, вызвавших отклонение от нормального хода печи.

6. Экспертная подсистема причин нарушений теплового режима доменной печи. Представляет собой программное средство для определения факторов, вызывающих нарушение теплового режима доменной плавки.

7. Модуль вспомогательных расчетов - является программным модулем и предназначен для произведения расчетов, необходимых технологическому персоналу при управлении доменным производством. В состав этого модуля входят, в частности, следующие программы:

- проверочный расчет шихты;
- расчет задувочной шихты после стоянки печи различной продолжительности;
- расчет теоретической температуры горения;
- оперативный расчет расходов технологического кислорода, естественного и обогащенного дутья и др.

8. Экспертная подсистема формирования рекомендаций по управляющим воздействиям предназначен для выдачи рекомендаций технологическому персоналу по применению одного из нескольких способов

воздействия на ход доменной печи в случае обнаружения возникающего отклонения от нормального хода или наметившегося отклонения теплового состояния печи от заданного. При этом предусмотрена возможность регулирования теплового режима доменной печи как снизу (температура и влажность, расход природного газа и кислорода) при кратковременном (до 8 часов) нарушении, так и сверху (рудная нагрузка, режим загрузки) при длительных (более 8 часов и до нескольких суток) прогнозируемых отклонениях от заданного значения содержания кремния в чугуне.

9. Архивный модуль представляет собой программное средство, обеспечивающее хранение непрерывных реализаций трендов параметров состояния, основных контролируемых параметров, расчетных и фактических значений управляющих воздействий. Этот модуль также сохраняет результаты работы подсистем хода и теплового состояния доменной печи.

10. Модуль развития и корректировки базы знаний. Является программным модулем и предназначен:

- для включения новых порождающих правил;
- для установки и корректировки коэффициентов уверенности для порождающих правил;
- для тестирования базы знаний на контрольных сценариях развития расстройств печи.

11. Подсистема отображения информации. Модуль предназначен для представления технологическому персоналу необходимой информации о ходе доменной плавки. При этом поддерживается два режима:

- автоматический (постоянный вывод информации на монитор компьютера);
- диалоговый – по запросу пользователя.

Система отображения обеспечивает:

- текущее значение вероятностей появления и развития того или иного хода доменной печи и ее теплового состояния;
- графическое представление текущей тенденции развития вероятностей того или иного хода печи за последние 24 часа;
- необходимые разъяснения по заключениям экспертных систем по запросу технологического персонала;
- вывод на экран монитора экстренных сообщений (перекос уровня засыпи, отклонение теоретической температуры горения от заданной, неисправность датчиков, прекращение поступления данных в систему и т.п.);
- графическое представление изменения теоретической температуры горения;
- графическое отображение газодинамических характеристик столба шихты (текущих и предельных).

ТЕМА 4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РЭС

Лекция 4.10

Для производства микроселектронных изделий и РЭС характерны: групповые технологии, высокая степень автоматизации технологических процессов, сложность технологических процессов, большое количество ТП и АПЕ.

Рассмотрим укрупненные схемы ТП, применяемых при изготовлении микроселектронных изделий.

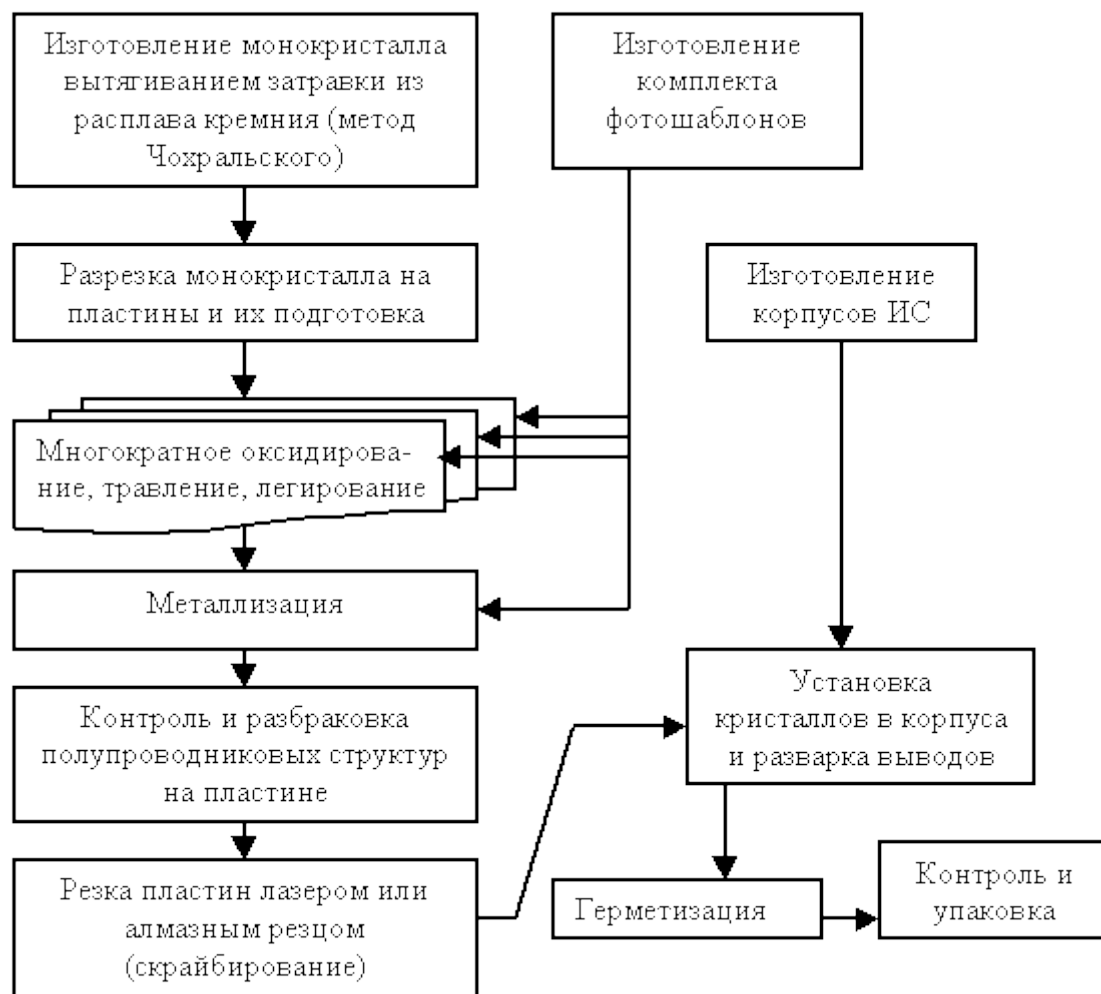


Рис. 4.1. Укрупненная схема технологического процесса изготовления полупроводниковых (монокристаллических) ИС

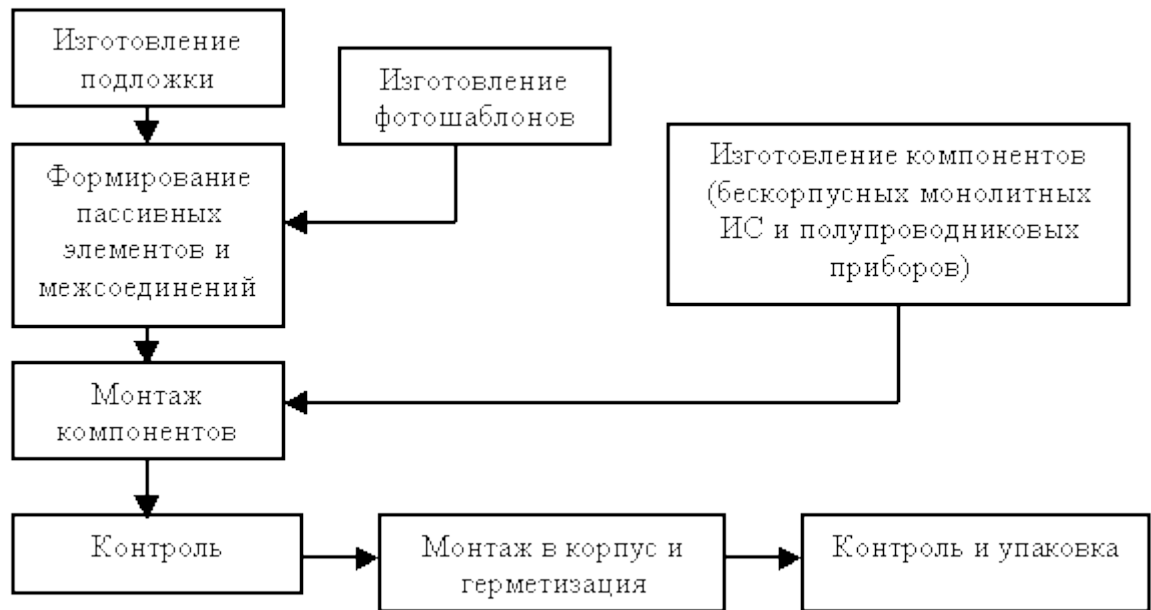


Рис. 4.2. Укрупненная схема технологического процесса изготовления гибридно-пленочных ИС

Анализ данных показывает, что ряд ТП являются общими и позволяет применять сходные подходы к автоматизации.

4.1 Основы технологии изготовления и сборки элементов радиоэлектронной аппаратуры

Современный научно-технический прогресс невозможен без радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), которая широко используется как при планировании и управлении производством, так и в автоматизации производственных процессов, в научных исследованиях.

Глобальных технологических направлений в мире около 50. Технология электронных средств – одно из них. Технология – это сплав науки и искусства по воплощению идей создания новой техники. Технологии являются высоколиквидным товаром. Объем продаж **высоких технологий** в мире в несколько раз превышает объем продаж сырья, включая нефть, газ и древесину.

Термин высокие технологии включает: наукоемкие технологические процессы; моделирование операций, технологических процессов и систем; автоматизация, контроль процессов, авторегулирование; комплексное оборудование (автоматические линии, роботы, электронно-лучевые и лазерные установки, рентгеновское оборудование)

Высокие технологии базируются на организации и культуре производства, элементной базе и степени развития ряда прикладных и фундаментальных наук. Понимание физико-химических процессов изготовления электронной аппаратуры определяет способы их осуществления (например, в процессе пайки необходимо рассмотреть процессы диффузии, реакции образования твердых растворов или интерметаллидов). Поэтому важно разобраться в химических процессах: межмолекулярном взаимодействии, хемосорбции, реактивной диффузии и др., на которые накладываются физическая диффузия, тепломассообмен, адсорбция, испарение. От понимания этих процессов зависит технико-экономическая эффективность технологии и рентабельность производства.

Технология радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) включает: очистку поверхности различными способами; формообразование, травление; получение твердых слоев

различных материалов; изготовление деталей и узлов приборов и систем; монтаж электрических соединений; сборку компонентов на печатных платах и т.д.

В основе критериев для выбора той или иной технологии лежат такие характеристики радиоэлектронных устройств как величина выходной мощности, диапазон используемых частот, требуемое быстродействие, требования к надежности, условия эксплуатации и др.

Производственный процесс (ПП) представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства для изготовления РЭА. ПП включает:

- изготовление изделий (печатных плат, микросхем, сборку и монтаж элементов и компонентов),
- контроль качества выпускаемых изделий,
- организацию снабжения, рабочих мест, управления,
- технологическую подготовку производства.

Технологический процесс (ТП) - это часть производственного процесса, строящаяся по отдельным методам управления (процессы механической и термической обработки, получения покрытий, литья, сборки, монтажа, контроля РЭА). Технологический процесс разделяют на операции.

Операция – это часть ТП, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте. Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций устанавливается трудоемкость изготовления изделий, их себестоимость, количество рабочих мест, оборудования, себестоимость. В условиях автоматизированного производства под операцией следует понимать законченную часть технологического процесса, выполняемую на автоматической линии, которая состоит из не-

скольких единиц оборудования, связанных автоматическими транспортнозагрузочными устройствами. При гибком автоматизированном производстве непрерывность может нарушаться в периоды между отдельными позициями, выполняемыми на разных технологических модулях.

Технологическую операцию характеризуют позиции, установы, переходы и приемы. Позиция – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном положении инструмента относительно детали.

Установ – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении заготовок.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством режимов, поверхностей и применяемых инструментов.

Например, для производства печатных плат характерны следующие технологические операции: механическая обработка поверхности, химическое или химико-гальваническое нанесение меди, получение рисунка схемы, травление, удаление защитной маски. Для каждой операции характерно несколько приемов, переходов, установов и позиций.

Технологический процесс изготовления изделий состоит из нескольких последовательных этапов:

На печатные платы устанавливаются многочисленные компоненты: резисторы, конденсаторы, интегральные схемы, выводы которых соединены в единую электрическую схему.

Отдельные печатные платы и другие компоненты собираются в блоки, образуя законченную конструкцию.

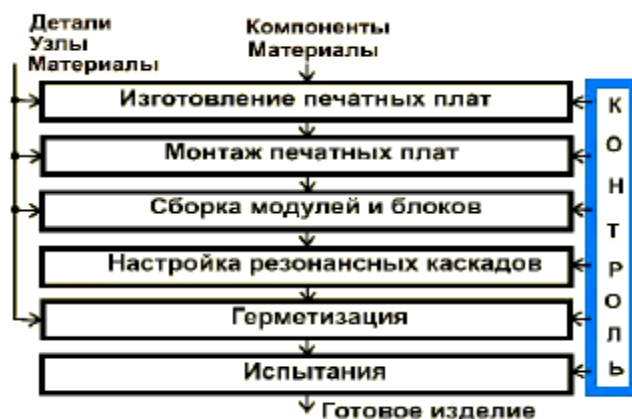


Рис. 4.1. Производственный процесс изготовления электронных схем

На этапе настройки с помощью специальных настроечных элементов выходные параметры элементов доводятся до заданных значений.

На этапе герметизации осуществляется защита узлов и блоков от влияния внешней среды.

На этапе испытаний изготовленную аппаратуру испытывают при воздействии вибраций, удара, высокой температуры, влаги.

На всех этапах изготовления осуществляется тщательный контроль операций.

Технологические процессы изготовления печатных плат

На первом этапе изготовления печатной платы нарезаются заготовки материала нужного размера.

На заготовке сверлятся отверстия для установки компонентов и создания электрических соединений между слоями. На печатной плате могут располагаться до 1000 отверстий диаметром около 100 мкм. Стеклоклинная крошка, образующаяся при сверлении стеклотекстолита, является абразивным материалом, поэтому используются специальные твердосплавные сверла, вращающиеся со скоростью до 1500 оборотов в минуту. Точность установки сверла до 5 мкм.

После промывки поверхности на диэлектрических стенках отверстий создается электропроводящий слой (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Линия гальванического осаждения меди

Электропроводящий слой создается промывкой плат в суспензии, содержащей электропроводящий графит, с последующей сушкой. Электропроводящий слой, нанесенный на стенки отверстий, позволяет выполнить электрохимическое осаждение меди толщиной до 20 мкм. Этот слой меди обеспечивает хороший электрический контакт между проводниками на разных сторонах платы. Гальваническое осаждение меди выполняется на линии гальванического осаждения, состоящей из нескольких ванн. Современные технологии позволяют осаждать медь с высокой равномерностью в глубоких отверстиях при соотношениях толщины платы к диаметру отверстия до 10.

Для создания рисунка проводников, контактных площадок, защитных масок на обе поверхности платы наносится пленочный фоторезист. Заготовки платы перемещаются из одного помещения в другое через шлюз. В модуле нанесения фоторезиста пленочный фоторезист, подогреваемый валками, ламинируется с двух сторон печатной платы.

Участок для изготовления фотошаблонов и нанесения фоторезиста освещается не активным для фотоматериалов светом (рис. 4.3). В этом помещении поддерживается температура с точностью до 1 градуса и влажность с точностью до 5 % для того, чтобы расширение фотошаблонов и заготовок не менялось от температуры и влажности.

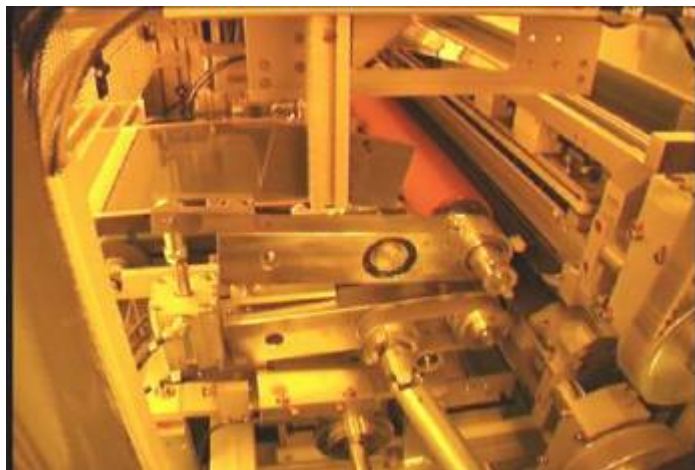


Рис. 4.3. Модуль нанесения фоторезиста

Для создания рисунка проводников, контактных площадок и масок используются фотошаблоны (рис. 4.4). Черные места на фотошаблоне образованы экспонированными участками фотопленки.

Экспонирование осуществляется на фотоплоттере, в котором световой луч сканирует определенные участки пленки. Фотоплоттер управляется компьютером в соответствии с технологическим рисунком платы. После экспонирования пленка проявляется и сушится.



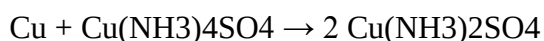
Рис. 4.4. Фотошаблон

На стадии экспонирования печатной платы свет проходит через прозрачные места фоторезиста и экспонирует фоторезист. Освещенные места фоторезиста приобретают способность растворяться в растворе проявителя.

Экспонирование осуществляется с двух сторон через два совмещенных фотошаблона. Для того, чтобы фотошаблон и плата не изменяли свои размеры из-за нагрева экспонирующим светом установки экспонирования, предусматривают охлаждение платы.

В модуле проявления плата омывается с двух сторон струями проявителя, затем струями воды для промывки. Технологические параметры проявления задаются из единой компьютерной сети предприятия или с пульта. В конце движения в этом модуле плата сушится горячим воздухом.

После формирования резистивной маски выполняется травление медной фольги. Фоторезист защищает участки нижележащей пленки от травления. В модуле травления осуществляется струйное травление платы с двух сторон. Травление ведется в медно-аммонийном растворе.



Плата движется по конвейеру и с двух сторон омывается струями травителя. Закрытый рабочий объем камеры обеспечивает нормальные условия работы персонала. Непрерывно ведется корректировка состава травителя и электролитическая утилизация меди и травильного раствора.

Затем промывается струями воды и сушится теплым воздухом. Наилучшее качество сушки достигается в инфракрасной печи (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Инфракрасная печь для сушки

После травления фоторезистивная маска смывается в растворе органического растворителя. После сушки в результате получается двухсторонняя печатная плата с металлизированными отверстиями.

Технология создания многослойных печатных плат (МПП) позволяет создавать различные типы отверстий в платах: глухие с гальванически осажденной медью, сквозные отверстия.

При изготовлении двусторонних печатных плат на полиимидной основе лазером делаются сквозные отверстия в заготовке. В вакууме напыляются пленки с двух сторон заготовки, при этом одновременно создается металлизация отверстий. Гальваническим осаждением припоя, фотолитографией и травлением пленок создается коммуникационная система проводников. Важные достоинства полиимидных плат: малые габариты, вес, возможность одновременно изготавливать платы и формировать гибкий пленочный кабель.

Технология изготовления печатных плат позволяет изготовить платы с заданным волновым сопротивлением проводников.

Сточные воды, производственные растворы и жидкие отходы, образующиеся при производстве печатных плат, собираются отдельно, нейтрализуются и очищаются. В результате переработки получают отработанную воду, которая вновь используется в производстве печатных плат.

Оснащение основных производственных цехов при производстве РЭА

Средства технологического оснащения производства электронной аппаратуры включают: технологическое оборудование, технологическую оснастку (инструмент, средства контроля), средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Состав технологического оборудования и оснастки целесообразно рассмотреть, исходя из профиля цехов производства РЭА.

Заготовительные цехи оснащены оборудованием для получения заготовок из стандартных листов. Резку листов или рулонов металлов осуществляют в основном гильотинными и роликовыми ножницами. Неметаллические материалы толщиной свыше 2,5 мм режут на специальных станках дисковыми пилами, фрезами или алмазными кругами.

Детали в производстве РЭА на 50-70% изготавливаются методом холодной штамповки.

Штамповочные цехи оснащены эксцентриковыми и кривошипными прессами простого и двойного действия. Метод поэлементной штамповки заключается в

последовательной обработке элементов деталей (наружного контура отверстий, пазов) на сменных штампах координатно-револьверных прессов. В холодноштамповочное производство внедрены промышленные роботы. Они позволяют механизировать вспомогательные операции (подачу полос, заготовок, съем и учет деталей) и превращают универсальные прессы в комплексно-автоматизированные агрегаты.

Литейный цех изготовления деталей из пластмасс имеет высокопроизводительные машины для литья и прессования, пресс-автоматы.

Механические цехи оснащены преимущественно токарными станками автоматами, универсальными фрезерными и сверлильными станками, шлифовальными станками. Механизация и автоматизация в механических цехах развивается по следующим направлениям:

1) использование токарных автоматов, холодновысадочных автоматов и токарно-револьверных станков.

2) внедрение станков с программным управлением, и ЧПУ, использование промышленных роботов для вспомогательных операций и создание автономных систем управления техническим процессом.

После механической обработки на поверхности деталей остаются загрязнения. Качество очистки деталей обеспечит получение заданных параметров функциональных узлов. Для очистных операций применяются конусные, карусельные моечные машины, ультразвуковые ванны, центрифуги.

Вместо токсичных органических растворителей все больше используются синтетические моющие препараты и щелочные обезжиривающие растворы. Таким же образом очищают собранные узлы и блоки аппаратуры от остатков паяльных флюсов и др. загрязнений, влияющих на надежность аппаратуры.

Цехи по производству печатных плат оснащены автоматизированными линиями химической и электрохимической металлизации (рис. 4.6), установками для нанесения фоторезистов (рис. 4.7), станками с ЧПУ для механической обработки.



Рис. 4.6. Автоматические линии очистки поверхности и металлизации



Рис. 4.7. формирование фоторезистивной маски

Оборудование с ЧПУ применяют для изготовления фотошаблонов и трафаретов, сверления отверстий в ПП, фрезерования плат, автоматизированными стандами контроля плат.

В цехах лакокрасочных покрытий организуются технологические поточные линии, где окрасочные и сушильные камеры являются проходными, используются автоматические агрегаты- роботы "маляры" с распылителями.

Сборочные цехи оснащены переналаживаемыми конвейерными линиями; универсальными рабочими местами электромонтажников; специализированным оборудованием по подготовке, установке и пайке ЭРЭ и интегральных схем на печатных платах; стандами для контроля и регулировки функциональных параметров сборочных единиц блоков и стоек РЭА. На оборудовании с ЧПУ производят установку и пайку ЭРЭ с планарными выводами, а также осуществляют контроль электрических цепей ячеек. Программное управление обеспечивает автоматизацию проводного монтажа (трассировку проводов на платах, укладку проводов в жгутах, монтаж соединений накруткой, контроль электрических цепей в модулях уровней).



Рис. 4.8. Монтаж компонентов на печатную плату

Оборудование и оснастку следует выбирать по производительности, тогда будет обеспечено его рациональное использование.

Предприятия, выпускающие РЭА на ИС, оснащены установками для диффузионного легирования, эпитаксии, термического окисления, вакуумного напыления, а также сборки и герметизации ИС.

Современное оборудование, изготавливаемое немецкими, голландскими и австрийскими фирмами, оборудовано аналитическими установками. Например, установки высоковольтной ионной имплантации и анализа с помощью ионных пучков. Прибор сухого травления MILTISEM 440 комплектуется лазерным интерферометром, эллипсомером для контроля текущей толщины травящегося покрытия, квадрупольным масс-спектрометром (анализ продуктов травления) и оптическим спектроскопическим анализатором (химический состав поверхности). Универсальная печь фирмы TERMATEC осуществляет регулировку всех 5 зон с точностью до 10. Плазменные реакторы сухого травления, оборудование для фотолитографии, приборы контроля технологических процессов управляются от персональных компьютеров. В компьютер поступает информация от нескольких датчиков состояния плазмы и индикаторов окончания процессов, что обеспечивает контроль и регулировку процесса.

Сверление отверстий

К качеству выполнения отверстий предъявляются следующие требования:

- ☐ цилиндрические отверстия должны быть с гладкими стенками
- ☐ отверстия должны быть без заусенцев
- ☐ предельные отклонения центров отверстий относительно узлов координатной сетки должны составлять ($\pm 0,015$) мм;
- ☐ не должны иметь место деструкция диэлектрика в отверстиях и наволакивание смолы по стенкам отверстий, поскольку это препятствует осаждению меди и приведет к разрыву электрической цепи;
- ☐ точность сверления отверстий должна быть порядка $+0,005$ мм или $0,003$ мм.
- ☐ диаметр отверстий под металлизацию должен быть примерно на $0,005$ мм больше для того, чтобы скомпенсировать толщину осаждаемых меди и металлорезиста.

В производстве ПП применяют следующие способы получения монтажных и переходных отверстий:

- ☐ механический (сверление на станках с ПУ);
- ☐ пробивка (для отверстий не подлежащих металлизации);
- ☐ лазерное сверление;
- ☐ фотолитография;
- ☐ воздействие плазмы

Наиболее широко применяют сверление и пробивку (рис. 4.9).

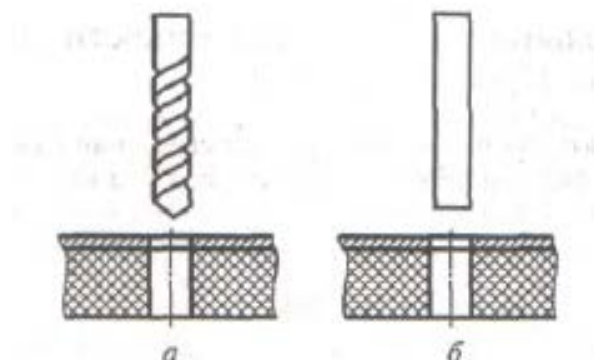


Рис. 4.9. Получение монтажных и переходных отверстий:
а — сверление; б — пробивка

Станок для сверления ПП состоит из следующих основных узлов (рис. 4.10):

- ☐ жесткой рамы из гранитной плиты — основания;

- ☐ двухкоординатного стола, перемещение по осям которого осуществляется с помощью прецизионных воздушных подшипников;
- ☐ приводов координатных перемещений;
- ☐ современного программного управления (ПУ) типа CNC, что обеспечивает безвибрационное позиционирование с максимально возможной точностью ($+0,005$) мм;
- ☐ сверлильных головок с многопозиционностью при вертикальном перемещении по оси Z (шпиндели с воздушными подшипниками);
- ☐ системы линейных измерений

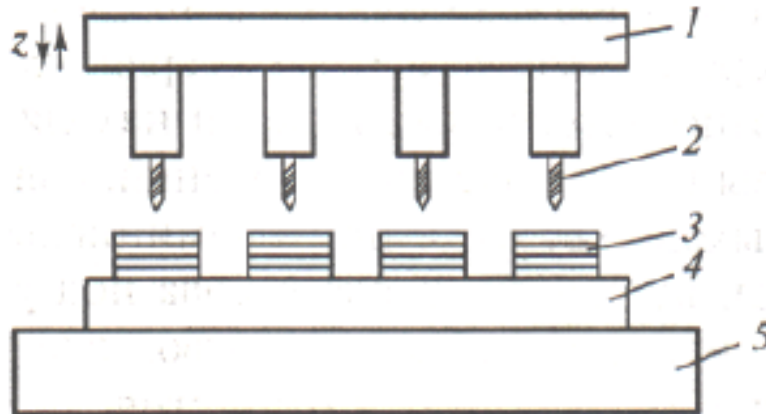


Рис. 4.10. Схема сверлильного станка: 1 — поперечный суппорт; 2 — сверло; 3 — пакеты заготовок ПП; 4 — двухкоординатный стол; 5 — основание (гранитная плита)

Многошпиндельные станки с ПУ обеспечивают высокое качество и точность обработки отверстий, что очень важно для их последующей металлизации. Сложность выполнения операции сверления связана с обработкой в одном технологическом цикле различных по свойствам материалов, таких как медь, алюминий, стекловолокно, смола и других, для каждого из которых требуются разные режимы обработки, и существует большое количество факторов, влияющих на качество полученных отверстий.

Кроме того, повышение плотности монтажа, уменьшение ширины проводников, широкое внедрение технологии поверхностного монтажа, МПП числом слоев более 50-ти приводит к необходимости получения глубоких микроотверстий ($0,1...0,3$ мм) при отношении $d/H = 1:10$ и менее, а также глухих отверстий в МПП. Поэтому все больше ужесточаются требования к оборудованию и технологии их изготовления.

Система управления CNC осуществляет:

- ☐ прямое управление в режиме диалога в реальном и нереальном масштабе времени;
- ☐ хранение нескольких программ в различных форматах;
- ☐ редактирование программ в процессе работы



Рис. 4.11. Установка автоматического сверления

Лазерное сверление отверстий

Сущность лазерного сверления заключается в воздействии излучения на обрабатываемую заготовку ПП, в результате которого происходит испарение или взрывное разрушение материала. Лазерное сверление отверстий в ПП применяется для получения: сквозных отверстий диаметром 40...50 мкм и более в фольгированных и нефольгированных заготовках ПП; глухих отверстий диаметром до 25 мкм, глубиной менее 50 мкм.

Основными составными частями лазерного оборудования являются:

- ☐ лазер твердотельный или газовый (CO₂-лазер);
- ☐ оптический канал для юстировки и фокусирования излучения;
- ☐ двухкоординатный стол, на котором базируются заготовки;
- ☐ система управления, система контроля и др.

Лазерное сверление отверстий ПП может осуществляться двумя способами:

1. С использованием специальной металлической маски с отверстиями, после совмещения которой с заготовкой ПП и воздействия лазерного излучения, происходит испарение материала основания ПП в местах расположения отверстий на маске. Достоинством способа является высокая производительность, недостатком — необходимость изготовления металлической маски с высокой точностью расположения и изготовления отверстий малого диаметра.

2. Путем подачи дозированного лазерного излучения импульсами малой длительности в зону формирования отверстий при обходе этих зон по программе.

Чаще всего для лазерной обработки прецизионных отверстий используется мощный CO₂-лазер, работающий в инфракрасном спектральном диапазоне. Поскольку излучение инфракрасного лазера хорошо поглощается диэлектриком, но не поглощается медным покрытием ПП и не проникает через него, то перед сверлением требуется вскрытие медного покрытия химическим или механическим способами. Кроме того, диаметр пятна фокусировки CO₂-лазера составляет порядка 70 мкм, что требует обязательного использования специальных масок для получения луча нужного диаметра.

Использование ультрафиолетового лазера с длиной волны 250 - 350 нм позволяет формировать проводники в металлическом покрытии печатных плат (для чего необходима плотность энергии излучения более 4 Дж/см²) и обрабатывать отверстия в диэлектрическом основании ПП (при плотности энергии излучения порядка 100

мДж/см²). При этом происходит удаление диэлектрика не только за счет его испарения, но и за счет процесса фотохимического разрушения.

Компания LPKF разработала станок Micro Line Drill, в котором оптическая система состоит: из Nd-YAG-лазера с длиной волны 355 нм, работающего на третьей гармонике; из зеркальной отклоняющей системы, обеспечивающей в сканировании луча по участку печатных плат, из

фокусирующей системы, которая обеспечивает направление лазерного луча под углом 90° к поверхности печатных плат.

Методы формирования рисунка схем

Подготовка поверхности

Подготовка поверхности печатной платы является важной операцией, от которой зависит адгезия наносимых впоследствии слоёв. Неполное удаление загрязнений с подложек может привести к закорачиванию электрической цепи, коррозии металлов, ухудшению адгезии пленок, повышению влагопроницаемости.

Для выбора метода очистки требуется знать, какие загрязнения имеются на поверхности. Оценка может быть только визуальной. Поэтому, в производстве ПП, метод очистки подбирают эмпирически.

Подготовка различных поверхностей требует различных подходов. Поверхность фольги подвергается механической обработке смесью маршалита с полировальной известью и промывается. Затем химическая подготовка поверхности заключается в обезжиривании в горячем щелочном растворе (сода, Na_3PO_4 + ПАВ) или в органических растворителях (спирт, ацетон), подтравливании в растворе хромового ангидрида или персульфата аммония и промывке водой. Сушка осуществляется при 80 – 100 °С в течение 10 минут. В специальном очистителе на основе H_2SO_4 и ПАВ платы одновременно обезжириваются и частично подтравливаются. Отверстия после сверления подвергаются гидроабразивной обработке для удаления заусенцев и насоса эпоксидной смолы с помощью пистолетов – распылителей водной суспензии карбида бора или электрокорунда.

Для снятия окислов применяется вращающиеся щетки или круги из нетканого нейлона насыщенные абразивным материалом с одновременной подачей воды. Контроль чистоты производится по полноте смачивания фольги водой.

Поверхность диэлектрика для химического осаждения меди подвергают механической обработке – пескоструйной или гидроабразивной с порошком Al_2O_3 , затем платы промывают тёплой водой с протиркой щётками. Для получения микро-шероховатостей (для лучшей адгезии слоя меди) и повышения скорости связывания (увеличение функциональных групп) производится химическая модификация - обработка в растворах Cr_6^{+} , содержащих $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и концентрированной H_2SO_4 . Поверхностный слой диэлектрика частично разрушается с присоединением $-\text{OH}_4$ и $-\text{OSO}_3\text{H}$ групп. Затем платы промывают, нейтрализуют и снова промывают.

Для удаления эпоксидной смолы, наволакиваемой при сверлении, используется подтравливание в смеси кислот H_2SO_4 и HF , образуется ортосульфоновая кислота, переходящая в раствор. Для нейтрализации используется KOH или 10% Na_2CO_3 . Образовавшиеся соли удаляют промывкой в горячей и холодной воде. При необходимости повторяются гидроабразивная и УЗ – обработка.

Предложен сухой способ плазменного травления в низкотемпературной плазме в смеси газов O_2 и CF_4 . Плазма превращает смолу в легко летучее вещество, не требует промывок и сушек, процесс автоматизирован. Платы загружают в вакуумную камеру, откачивается воздух, впускаются газы и подают напряжение – возбуждается плазма, затем откачивают продукты реакции.

Очистка предполагает разрыв адсорбционных связей между подложкой и загрязнениями без нарушения поверхности самой подложки. Для большинства подложек эффективна очистка в ультразвуковой ванне с растворителем. Ультразвуковые ванны вызывают кавитацию (образование и схлопывание газовых пузырьков) с локальными повышениями гидростатического давления. При этом растворитель проникает между загрязнениями и подложкой. В качестве растворителей используются галоидозамещенные углеводороды – трихлорэтилен, хлористый метил и другие легко перегоняющиеся. Растворители с высоким поверхностным натяжением высвобождают большую энергию при кавитации, а с низким способны проникать в микропоры. Для очистки подложек используются частоты 20–50 кГц, нижний предел устанавливается исходя из условий слышимости, а верхний определяется возможностью вызывать кавитацию.

Химическая обработка поверхности применяется с ультразвуком или самостоятельно. Химические реагенты делятся на две группы: щелочные (омыляют жиры и снижают поверхностное натяжение) и кислотные (взаимодействуют с окислами, превращая их в растворимые соли). Иногда после химической очистки на поверхность оседают ранее удаленные загрязнения. Для их удаления используется деионизированная дистиллированная вода и изопропиловый спирт (парообразный). Желательно наличие нейтральной атмосферы. В специальном очистителе на основе H_2SO_4 и ПАВ платы одновременно обезжириваются и частично подтравливаются.

В качестве модификаторов средств химической очистки используют ряд моноэфиров $HOOC-CH=CH-COOR$, где $R-C_2H_5, C_4H_9, C_6H_{13}, C_8H_{17}$. Установлено, что обработка поверхности растворами моноалкил-малеинатов увеличивает адгезионную прочность в 1,5 - 2,0 раза и значительно повышает водостойкость полиэтиленового покрытия (ПЭПк). Установлено, что лучшие модифицирующие свойства в изученном ряду проявляют моноэтил и монобутилмалеинаты. При экспозиции в воде, адгезионная прочность таких ПЭПк сохраняет высокие значения в течение 50 и более суток.

Кипячение в водных растворах H_2O_2 и NH_4OH также способствует солеобразованию, но тормозит процесс нарушения поверхностного слоя. (H_2O_2 $\square$ 320 мл NH_4OH $\square$ 80 на один литр H_2O). Высота микронеровностей при этом не возрастает, а уменьшается на 100 ангстрем.

По данным ведущих зарубежных фирм и отечественных специалистов, технология очистки, которая обеспечивает хорошие результаты для подложек из стекла, сапфира, керамик, состоит в следующем:

- ☐ Ультразвуковая промывка в CH_3Cl при 20 °С.
- ☐ Ультразвуковая промывка в CH_3Cl при 70 °С и в парах растворителя.
- ☐ Кипячение в растворе H_2O_2 .
- ☐ Промывка в горячей дистиллированной воде, кипячение (15 минут).
- ☐ Сушка в потоке чистого N_2 или Ar при температуре 110 °С (15 минут).
- ☐ Охлаждение в потоке проходящего газа

Свежеочищенная поверхность может повторно загрязниться из атмосферы производственного помещения. Поэтому подложки должны храниться в герметичных эксикаторах (не более 1,5–2 часов) или немедленно помещаться в установку для нанесения пленок.

Окончательная очистка от адсорбированных газов и воды производится в вакуумной камере при откачке воздуха и прогреве до 200–300 °С. Еще более глубокая очистка достигается ионной бомбардировкой в тлеющем разряде. При этом органические молекулы загрязнений расщепляются и образуются летучие соединения. Однако при неправильно выбранных режимах (напряжение, время обработки) тлеющий разряд может стать источником загрязнений (конденсация C-H, Al со стенок).

Методы получения рисунка схем

Для получения рисунка схемы используются следующие методы:

- ☐ офсетная печать
- ☐ лазерный
- ☐ сеткографический
- ☐ фотохимический метод

Фотохимический метод является наиболее распространенным, поскольку имеет высокую разрешающую способность и позволяет получать платы с высокой степенью интеграции элементов.

Офсетная печать

Офсетная печать обеспечивает 1—2 класс точности ПП с точностью воспроизведения рисунка ($\pm 0,2$) мм. Способ нашел применение в массовом и крупносерийном производстве и состоит из следующих основных этапов:

1. Изготавливается клише (форма для офсетной печати) из алюминия, цинка, их сплавов и пластмасс с изображением рисунка схемы; основными операциями изготовления являются травление, гравирование, прессование, обработка гидрофобизирующей жидкостью, сборка; конструктивно формы для офсетной печати разделяются на несколько видов: высокой печати, глубокой печати и с расположением печатных участков в одной плоскости;

2. Клише (форма) закатывается трафаретной краской;

3. Краска с клише снимается с помощью офсетного валика, покрытого резиной; офсетным валиком краска переносится на подготовленную поверхность заготовки ПП;

4. Сушка краски при высокой температуре.

Наиболее технологичной, надежной и точной является форма для сухого офсета, для которого в качестве основания используют пластину из алюминия толщиной 0,5...1,0 мм. На нее наносят тонкий слой силиконового лака, не смачиваемого трафаретной краской, которой впоследствии закатывается форма. На слое лака лазерным гравировальным автоматом выжигается рисунок ПП. Готовую форму устанавливают на станок офсетной печати, который имеет рабочее поле размером до 500 x 600 мм, точность совмещения контактных площадок ($+0,1$) мм, производительность 300 отпечатков в час.

Достоинства способа

процесса, тиражеспособность; недостатки — низкая точность, получения рисунка, пористость слоев краски вследствие малой толщин, высокая стоимость оборудования.

☐ ВЫС

Лазерное формирование рисунка схемы

В настоящее время применяется и в перспективе планируется широко использовать лазер при экспонировании фоторезистов путем вычерчивания рисунка, соответствующего топологии схемы, без применения фотошаблона, что исключает боковую подсветку проводников и смещение рисунка в результате усадки пленочных фотошаблона. При получении рисунка схемы без использования фоторезиста, фотошаблона и целого ряда операций получения защитного рельефа обработка фольгированного диэлектрика осуществляется мощным излучением ультрафиолетового лазера с длиной волны 250...300 нм.

Обработка проводится в такой последовательности:

1. сначала излучением УФ-лазера большой мощности (плотность энергии излучения составляет более 4 Дж/см²) частично испаряют металлическое покрытие на поверхности заготовки печатных плат в тех местах, где в дальнейшем будут пробельные места печатных плат, т. е. изоляционные участки. Частичное испарение проводят для того, чтобы мощное излучение УФ-лазера, проникающее сквозь тонкий

слой металлического покрытия, не разрушило диэлектрик под обрабатываемым участком;

2. осуществляется химическое травление остаточной толщины (единицы микрон) проводящего покрытия в местах лазерной обработки, которое происходит без подтравливания проводников вследствие малой толщины удаляемого металла и продолжительности процесса травления.

Ширина проводников и расстояние между ними в результате лазерно-химической обработки соизмеримы с первоначальной толщиной металлического покрытия заготовки ПП, а минимальные размеры зависят от диаметра пятна фокусировки и составляют приблизительно 20 мкм.

При прямом лазерном формировании проводящего рисунка ПП.

Процесс обработки состоит из следующих основных этапов:

- ☐ получение заготовки из нефольгированного полиимида
- ☐ подготовка поверхности и сушка
- ☐ напыление промежуточного слоя хрома толщиной порядка 20 нм, затем меди или золота толщиной не более 100 нм на всю поверхность заготовки ПП. Ограничение по толщине связано с необходимой прозрачностью напыленных слоев для УФ-излучения, которая гарантирует возникновение плазмы на границе раздела между металлическим покрытием и полиимидом;

- ☐ лазерное формирование рисунка путем облучения поверхности УФ-лазером с плотностью энергии излучения порядка 50...200 мДж/см² через рабочую маску, изготовленную из кварцевого стекла с хромовым напылением рисунка схемы, и проецирования излучения с помощью объектива на определенный участок поверхности. Излучение лазера проникает через металлическое покрытие, вызывает мгновенное испарение полиимида, приводящее к удалению металла с поверхности;

- ☐ синхронное перемещение заготовки и хромовой маски при помощи отдельных координатных столов на соседний участок поверхности и его лазерная обработка;

- ☐ химическое осаждение меди, никеля или золота на сформированный проводящий рисунок заготовки ПП, и получение проводников шириной более 15 мкм и толщиной порядка нескольких микрон.

Наряду с быстрой полимеризацией покрытия должны иметь комплекс гарантированных эксплуатационных свойств с учетом воздействия экстремальных условий. Это относится, например, к защитным покрытиям - маскам, которые после пайки печатных плат на волне расплавленного припоя должны, оставаясь на печатной плате, сохранять высокую адгезию к разнородным материалам, термоудароустойчивость, влагостойкость, необходимые электрические характеристики и др. Указанным условиям эксплуатации отвечают эпоксидные термополимеризующиеся эмали ЭП-941 и 979, но они требуют сушки в печи в течение 2 ч при температуре 100-120 °С. При создании аналогичных фотополимеризуемых композиций ЭП-918 и ФПК-ТЗ наибольшую трудность представляло избежать размягчения покрытия, налипания расплава припоя и других дефектов в процессе пайки.

Технология изготовления печатных плат

Формирование рисунка схем

СЕТКОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Для получения рисунка схем впервые был использован способ вжигания пасты, который в дальнейшем получил название «сеткографический». Сеткографический способ нанесения защитного рельефа заключается в получении изображения рисунка схемы путем продавливания специальных кислотостойких быстросохнущих трафаретных красок

ракем (резиновой лопаткой) через сетчатый трафарет, на котором рисунок схемы образован ячейками сетки, открытыми для продавливания, и закрепления красок на поверхности заготовки ПП в результате испарения растворителя (рис. 4.12).

Защитные свойства трафаретных красок зависят от оптимальной величины вязкости, которая устанавливается в соответствии с температурой, номером сетки, сложностью рисунка схемы и пр. Оптимальная величина вязкости характеризуется легким и равномерным растеканием и продавливанием краски сквозь отверстия сетки трафарета под воздействием ракеля, изготовленного из листов маслбензостойкой резины или полиуретана. Основными видами трафаретных красок являются: защитные щелочесмываемые; быстросохнущие и защитные гальваностойкие; смываемые органическим растворителем (хлористым метиленом).

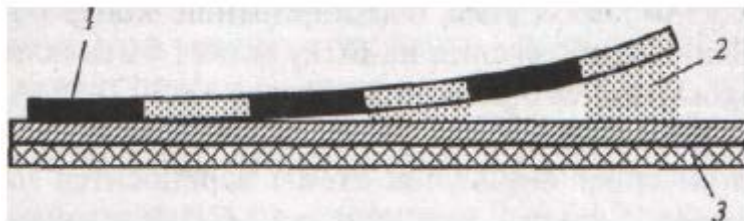


Рис. 4.12. Сеткографический способ нанесения защитного рельефа:
1 — трафарет; 2 — краска; 3 — основание ПП
Материалы сеток

Сетчатые трафареты представляют собой металлическую раму из алюминиевого сплава, на которую натянут тканый материал, к которому предъявляют следующие требования: материал ткани должен быть прочным на разрыв, устойчив к растяжению, истиранию, бездефектным, не должен взаимодействовать с растворителями трафаретной краски, величина просветов должна быть в 1,5—2 раза больше толщины нити.

Сетчатые трафареты изготавливают из синтетических тканей (капрона), из металлических сеток (латунь, бронза, коррозионно-стойкая сталь) и из комбинированных сеток, в которых металлическая центральная часть, соответствующая размеру рабочего поля, вклеивается в натянутую на раму капроновую ткань клеем «Адгезив-2В» или клеем «Виланд-5К», а капрон под

металлической сеткой удаляют концентрированной азотной кислотой. Предприятия в основном используют сетки из капрона, реже из нержавеющей стали, еще реже из полиэфирных волокон.

Наибольшую точность и долговечность имеют сетки из нержавеющей стали или фосфористой бронзы с размером ячеек 40...50 мкм; наибольшую эластичность — сетки из лавсана, капрона, металлизированного нейлонового моноволокна. Сетка равномерно натягивается в раме с заданным усилием на пневматических установках натяжения сетки (например, ПУНС-901).

Одним из недостатков сеток является их растяжение при многократном использовании, поэтому важнейшей их характеристикой является тиражеустойчивость. Самая большая тиражеустойчивость у сеток из нержавеющей стали

(до 20 тыс. отпечатков с одной сетки), далее идут полиэфирные сетки (до 10 тыс. отпечатков) и капроновые (до 5 тыс.).

Прямой и косвенный методы сеткографии

Для получения рисунка трафарета применяют прямой или косвенный способы.

При прямом способе на натянутые сетки с временной подложкой из полиэтилентерефталатной пленки наносится фотополимеризующаяся композиция методом полива («Полисет», или типа ФСТ (ТУ610-028-029), или композиция «Фотосет-Ж» — для синтетических тканей), и получают изображение схемы фотохимическим способом (экспонирование через ФШ, проявление, дублирование, промывка, обезжиривание, контроль качества).

Для экспонирования изображения на сетку может быть использована установка экспонирования сетчатых трафаретов УЭСТ-901А, выпускаемая АООТ НИТИ-ТЕСАР (г. Саратов).

При косвенном способе рисунок схемы переносится на сетку из пленочных материалов, таких как пленка СПФ, пигментная бумага (ТУ29-01-06—70) и др. Достоинством косвенного метода является высокое качество изображения, недостатком — низкая тиражестойкость трафарета (до 600 оттисков), длительность процесса его изготовления. Получение рисунка трафа-

рета возможно также с применением фоторезиста марки «Фотосет-Ж» (ТУ6-15-1467—84), который наносится на натянутую сетку, обработанную в адгезионном составе, поливом. Затем на сетку устанавливают ФШ с антиадгезионным слоем (5%-ный раствор парафина и уайт-спирит), чтобы не прилип к сетке, и проводят экспонирование изображения в течение 3...5 мин при освещенности 3000...3500 лк. Проявляют этиловым спиртом при помощи ватного тампона.

Достоинством фоторезиста «Фотосет-Ж» является высокая тиражестойкость и разрешающая способность (40 линий/см), что позволяет получать ПП по 3—4 классу точности (порядка 0,2 мм ширина проводников и расстояний между проводниками), короткий процесс изготовления трафарета и способность полимеризоваться в жидком состоянии. После нанесения изображения участки сетки, свободные от рисунка, покрывают клеем БФ-4. Рязанский проектно-технологический институт разработал серию нового оборудования для изготовления сетчатых трафаретов с получением изображения от 20 до 40 дюймов и более.

При сеткографическом способе нанесения защитного рельефа используют полуавтоматы трафаретной печати, автоматы шелкографии, автоматические линии сеткографической печати. Оборудование для трафаретной печати обеспечивает нанесение красок теплового или УФ отверждения, плавную регулировку скорости движения ракеля, быстрое и точное совмещение

заготовки и трафарета, вакуумную фиксацию заготовок, печать через сетчатый трафарет, загрузку и разгрузку заготовок, и включает загрузочное устройство, машину для рихтовки заготовок ПП, сеткографический станок, сушильную печь, накопитель. Наибольший формат печати составляет 620 x 650 мм, производительность — порядка 1000 оттисков/ч.

Одной из проблем трафаретной печати является продолжительность сушки, для решения которой разрабатывают краски мгновенной сушки, содержащие мономерно-полимерные композиции и фотоинициатор, которые закрепляются на заготовке под действием УФ-излучения.

Удаление трафаретной краски с заготовки ПП после операции травления меди с пробельных мест производится в установках струйного типа 3...5%-ным раствором горячей щелочи при $T = 40...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 10...20 с.

В оборудовании для одновременного нанесения трафаретной краски на стороны заготовки, ПП устанавливаются вертикально. Сеткотрафаретный способ изготовления печатных плат (ПП) является самым распространенным, надежным и дешевым. Для получения рисунка печатной схемы на сетке используют как жидкие светочувствительные составы (полисет и фотосет), так и сухие пленочные фоторезисты. В СНГ применяют сухой пленочный фоторезист марки ФП, выпускаемый Красноярским заводом "Квант" (толщина светочувствительного слоя 20, 30, 40 мкм, разрешающая способность или минимально воспроизводимый элемент – 100 мкм).

Способ применения прост, на металлическую или синтетическую сетку, натянутую на раму, наносится ровным слоем раствор бихромата аммония. Затем пленочный фоторезист копировальным слоем прикатывается к сетке. Далее следует сушка при температуре 40-45 °С в течение 15-20 мин. Затем снимается лавсановая подложка и с плотно приложенным к поверхности нанесенного фоторезиста фотошаблоном идет экспонирование УФ-источником в течение 90 с при мощности лампы 1000 Вт на расстоянии 50-60 см. Экспонированный образец проявляется водопроводной водой в течение 2-3 мин.

После облучения материал стоек к толуолу, бензину, бутилацетату и другим органическим растворителям. Однако данный материал неудобен в применении из-за необходимости очувствлять сетку бихроматом аммония. Поэтому в настоящее время в разработке находится трафаретный СПФ (условное название СПФ-ТОС). Разрабатываемый материал имеет следующие характеристики:

- ☐ толщина светочувствительного слоя, мкм 20, 40, 60;
- ☐ разрешающая способность, мкм 100;
- ☐ тиражеустойчивость, отп 5000;
- ☐ эффективное время экспонирования, мин, не более 10;
- ☐ усадка слоя, %, не более 5;
- ☐ растяжение слоя при печати, мкм - до 500;
- ☐ химически стоек к органическим растворителям бутилацетату, метилцеллозольву, ацетону, толуолу, уайт-спириту, краскам серии СТ.3.12, СТ.3.13, СТ.3.5, композициям ФПК-ТЗ, ТЩ и ТМ;

Экономический эффект планируется получать за счет упрощения изготовления трафаретных форм, повышения качества трафаретов и полученного с них оттиска, исключения операции очувствления при изготовлении трафарета, а также за счет возможности при изготовлении малых серий повторно использовать трафареты и сократить расход ситовых тканей.

6.4. Светочувствительные композиции

Одной из последних разработок в области светочувствительных материалов является создание жидкой фотополимерной композиции марки ФС-1к, аналогичной по свойствам и технологическим приемам жидкой композиции "Фотосет-Ж". Данная композиция, в отличие от "Фотосета-Ж", обладает более высокой светочувствительностью, что уменьшает время экспонирования. Кроме того, ФС-1к обладает более ярким цветом, что дает возможность оператору в более короткие сроки обнаружить и устранить дефекты на сеткотрафарете.

Рассмотрим приготовление сеткотрафаретных форм. Нижняя лавсановая пленка толщиной не менее 60 мкм помещается на гладкую, ровную поверхность (стекло, оргстекло). На нее накладывается трафаретная рама с натянутой и обезжиренной сеткой, на которую наливается композиция.

Верхней армирующей пленкой является фотошаблон. Для защиты поверхности фотошаблона со стороны эмульсии от воздействия жидкой композиции ее обрабатывают, смазкой из воска, растворенного в бензине. Фотошаблон накладывают эмульсионной стороной на политую композицией сетку, после чего она равномерно распределяется

валиком или ракелем по поверхности формы. Выдавливаемые излишки композиции собираются и могут быть использованы для повторного применения с предварительной фильтрацией.

Как же происходит экспонирование и проявление. В качестве источника экспонирующего излучения используются люминесцентные ультрафиолетовые лампы марки ЛУФ-80 или другие, аналогичные по мощности.

Расстояние от источника излучения до поверхности формы 150-350 мм. Время экспонирования 1-3,5 мин (подбирается экспериментально). Проявление осуществляется многократной протиркой ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом. К концу проявления не должно происходить окрашивания тампона в цвет, характерный для композиции (ярко-красный).

Контроль качества печатной формы производится в проходящем свете визуально или с помощью лупы. В заполимеризованном слое должны отсутствовать сквозные точки, царапины и повреждения. В пробельных местах не должны присутствовать следы недопроявленной композиции. Обнаруженные дефекты в виде проколов и царапин перекрываются клеем "Адгезив-2В" или эпоксидной смолой с нерабочей стороны формы.

Для получения рисунка ПП на фольгированном диэлектрике используются термоотверждающиеся краски СТ.3.5, СТ.3.12, СТ.3.13, СТ.3.19. Режим сушки на воздухе в течение 6 ч или в термощкафу при температуре 60 °С в течение 40 мин. Использование таких красок делает процесс сеткографии растянутым во времени, т. е. недостаточно технологичным.

Более технологичными являются фотополимерные композиции с УФ-отверждением, позволяющие сократить продолжительность отверждения покрытий до нескольких секунд, что является решающим фактором в проблеме автоматизации технологических процессов.

Наряду с быстрой полимеризацией покрытия должны иметь комплекс гарантированных эксплуатационных свойств с учетом воздействия экстремальных условий. Это относится, например, к защитным покрытиям - маскам, которые после пайки ПП на волне расплавленного припоя должны, оставаясь на ПП, сохранять высокую адгезию к разнородным материалам, термоудароустойчивость, влагостойкость, необходимые электрические характеристики и др. Указанным условиям эксплуатации отвечают эпоксидные термолполимеризующиеся эмали ЭП-941 и 979, но они требуют сушки в печи в течение 2 ч при температуре 100-120 °С. При создании аналогичных фотополимеризуемых композиций ЭП-918 и ФПК-ТЗ наибольшую трудность представляло избежать размягчения покрытия, налипания расплава припоя и других дефектов в процессе пайки.

Композиция ЭП-918 образует на ПП отвержденные покрытия в течение 15 с при УФ-облучении на конвейерной установке ртутно-кварцевыми лампами суммарной мощностью не менее 10 кВт и эффективной частью спектра 200-450 нм. Композиция не содержит органических растворителей, является двухкомпонентной, требует предварительного введения фотоинициатора, после чего пригодна к употреблению в течение не менее 4 ч. Нанесение рисунка (цвет - зеленый) производится через трафарет вручную или на любом сеткографическом станке. При однократном нанесении покрытие имеет толщину 15 - 25 мкм и воспроизводит рисунок с шириной линий и расстоянием между ними 0,25 мм. После УФ-полимеризации покрытие выдерживает погружение в расплав припоя ПОС-61 при температуре 260 °С в течение не менее 10с, воздействие спиртобензиновой смеси в течение не менее 5 мин и термоциклирование в интервале температур от -60 до +125 °С (не менее 30 циклов). Адгезия на ПП до и после воздействия указанных выше факторов равна 1 баллу по методу решетчатого надреза. В процессе автоматизированной пайки на волне припоя некоторые флюсы, в т. ч. водные, оказывают разрушающее действие на защитное покрытие ЭП-918, в связи с чем необходимо применять дополнительную термообработку в течение 15 мин при температуре 135 °С, улучшающую все свойства

покрытия за счет углубления процесса полимеризации. Это же рекомендуют и фирмы "Курт Нортэн" (Швеция) и "Коотс" (Великобритания).

В случае, когда необходимы усиленная влагозащита поверхности ПП и механическое закрепление проводников, целесообразно применять защитное покрытие повышенной толщины - 40-50 мкм, получаемое двукратным нанесением композиции с УФ-полимеризацией каждого слоя в течение 15с. Маркировочные фотополимерные композиции в условиях пайки волной припоя находятся в менее жестких температурных условиях. Тем не менее, к ним предъявляются высокие требования, касающиеся надежной адгезии к большому набору разнообразных материалов, а также стойкости ко многим растворителям и другим обезжиривающим средствам, к покровным лакам и механическому истиранию.

Материалы красок

В настоящее время разработаны два вида маркировочных красок - ФПК-М и СКУМ. Эти краски имеют белый, синий и красный цвета, образующие покрытия толщиной около 30 мкм, полимеризуются в течение 20 с и удовлетворяют приведенным выше требованиям. Указанные краски применяются взамен красок термосушки СТ.3.19 и ТНПФ, не содержат растворителей. Маркировочные краски с УФ-отверждением с близкими к отечественным краскам свойствами изготавливаются зарубежными фирмами "Hollmuller" (Германия), "Coats" (Великобритания) и др.

К сеткографическим материалам типичного технологического назначения относятся композиции, применяющиеся для получения на ПП токопроводящего рисунка и удаляющиеся после его образования. Главным требованием, предъявляемым к таким краскам, является высокая химическая и гальваническая стойкость в условиях изготовления ПП химическим и комбинированным позитивным способами, предусматривающими использование сильно агрессивных водных сред. Кроме того, такие покрытия должны не только быстро полимеризоваться, но и быстро сниматься с заготовок ПП при обработке соответствующими органическими растворителями или водными растворами.

Этим требованиям отвечают фотополимерные композиции ФПК-ТЩ и СКУ. Обе краски отверждаются УФ-облучением. Покрытия обладают хорошей адгезией к меди, они стойки, не изменяют внешнего вида и не отслаиваются в кислом растворе травления меди при температуре 40-45 °С в течение 20 мин, а также при комнатной температуре в течение более 2 ч в электролите сернокислого меднения, борфтористом и кремнефтористом электролитах гальванического осаждения сплава "олово-свинец".

Следует отметить, что гальваностойкость полимерных материалов недостаточно оценивать только по их способности выдерживать без разрушения воздействие электролитов в условиях гальваноосаждения металлов. Не менее важным является воздействие испытуемого полимерного покрытия на электролит за счет растворения в нем продуктов гидролиза связующего, а также содержащихся в связующем низкомолекулярных примесей и исходных непрореагировавших компонентов.

Выдержка опытных образцов в дистиллированной воде показывает, что указанные вещества способны существенно изменять рН среды, при этом одновременно происходит уменьшение массы пленки. Воздействие на электролит более значимо и выражается в изменении структуры осаждаемого металла и ухудшении его механических свойств (например, в резком повышении хрупкости и снижении адгезии медного слоя).

Сложность взаимодействия полимерного материала и электролита, зависящего от их структуры и состава, в какой-то мере объясняет производство зарубежными фирмами специальных гальваностойких красок, сочетающихся с типовыми электролитами для осаждения тех или иных металлов.

Краска СКУ гальваностойка в электролите сернокислого меднения, кремнефтористом и борфтористом электролитах осаждения сплава "оловосвинец". Краска ФПК-ТЩ имеет хорошие печатные свойства, но образуемое покрытие не является гальваностойким: оно быстро, в течение нескольких суток, загрязняет электролит меднения, ухудшая при этом качество осажденной меди, а в электролитах осаждения сплава "олово-свинец" изменяет окраску и отслаивается. В настоящее время композиция доработана, ее недостатки большей частью устранены.

Применение в технологии изготовления ПП разработанного комплекса сеткографических фотополимеризуемых композиций открывает возможности для создания автоматизированных систем производства с весьма короткими технологическими циклами, позволяет экономить электроэнергию, материалы, трудозатраты и производственные площади. Отсутствие растворителей снижает загрязнение окружающей среды и улучшает условия труда.

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД

Сущность фотохимического метода

Основным методом изготовления печатных плат являются фотохимический метод, который заключается в получении рисунка проводников и контактных площадок путем засвечивания фоточувствительного материала через фотошаблон.

Перенос рисунка печатных проводников на фольгированный диэлектрик осуществляется с помощью светочувствительного материала, называемого фоторезист, что означает чувствительный к свету (фото) и устойчивый к травлению (резист). Фоторезисты образуют устойчивый к травлению слой толщиной 10 – 30 мкм.

Резисты наносят различными методами. Если структура рисунка печатных проводников не приводит к повышенным требованиям по допускам, используется метод трафаретной печати, который эффективен в больших сериях благодаря использованию автоматического оборудования.

Основой для работы во всех методах служат позитивные или негативные фотошаблоны, получаемые путем фотокопирования оригинала рисунка ПП. Чаще используются фотопленки, а при высоких требованиях к допускам – фотопластины.

При трафаретной печати фотошаблоны служат для изготовления трафарета, а при офсетной печати – для изготовления клише.

Фотохимический метод подразделяется на три метода:

- ☐ субтрактивный с применением фольгированного диэлектрика при котором рисунок схемы образуется за счёт травления части поверхности;
- ☐ аддитивный, где проводящий рисунок поверхности получается химическим осаждением металла на нефольгированный диэлектрик;
- ☐ полуаддитивный или комбинированный – на диэлектрике с химическим осаждением меди наращивается электролитический слой меди.

В основном печатные платы изготавливаются комбинированным методом, поскольку отверстия в диэлектрике, предназначенные для монтажа ЭРЭ с металлическими выводами, требуют химической металлизации и электрохимического наращивания металлизированного слоя.

Субтрактивный метод

Преимущества субтрактивного метода заключается в хорошей адгезии печатных проводников, изготовлении ОПП без применения процессов металлизации и др.

Недостатки:

- ☐ необходима высококачественная электролитическая медная фольга
 - ☐ потери меди при травлении до 60%
 - ☐ проблема сточных вод поскольку регенерация меди и травильных растворов экономична только для больших производств.
 - ☐ для металлизации отверстий ПП необходимы дополнительные химические гальванические процессы, а также особые защитные покрытия (плакирование сплавом Sn – Pb или Au)
 - ☐ ограничение минимальной ширины зазоров и проводников из-за подтравливания
 - ☐ уменьшения площади монтажа для МПП
- Схема технологического процесса изготовления ОПП субтрактивным методом приведена на рис. 4.13.

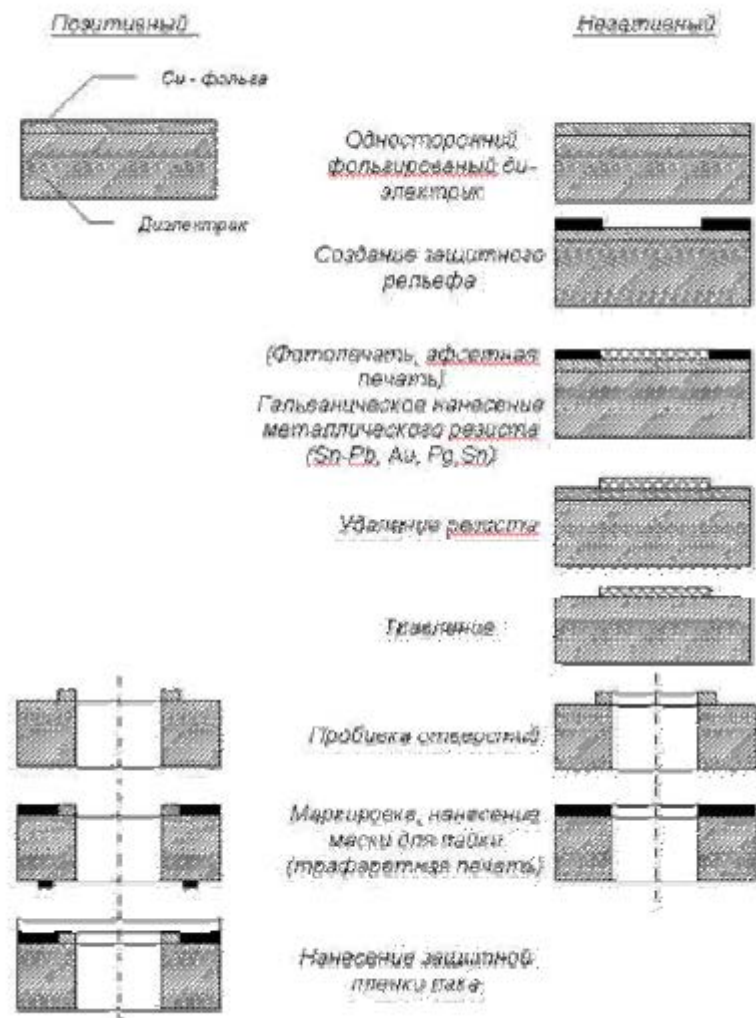


Рис.4.13. Схема технологического процесса изготовления ОПП субтрактивным методом

В основе технологии изготовления ДПП субтрактивным методом лежат те же процессы, что и при создании ОПП (рис. 4.14), дополненные созданием переходных соединений. Их реализация, т.е. электрическое соединение 2 сторон ПП является самой критичной технологической операцией.

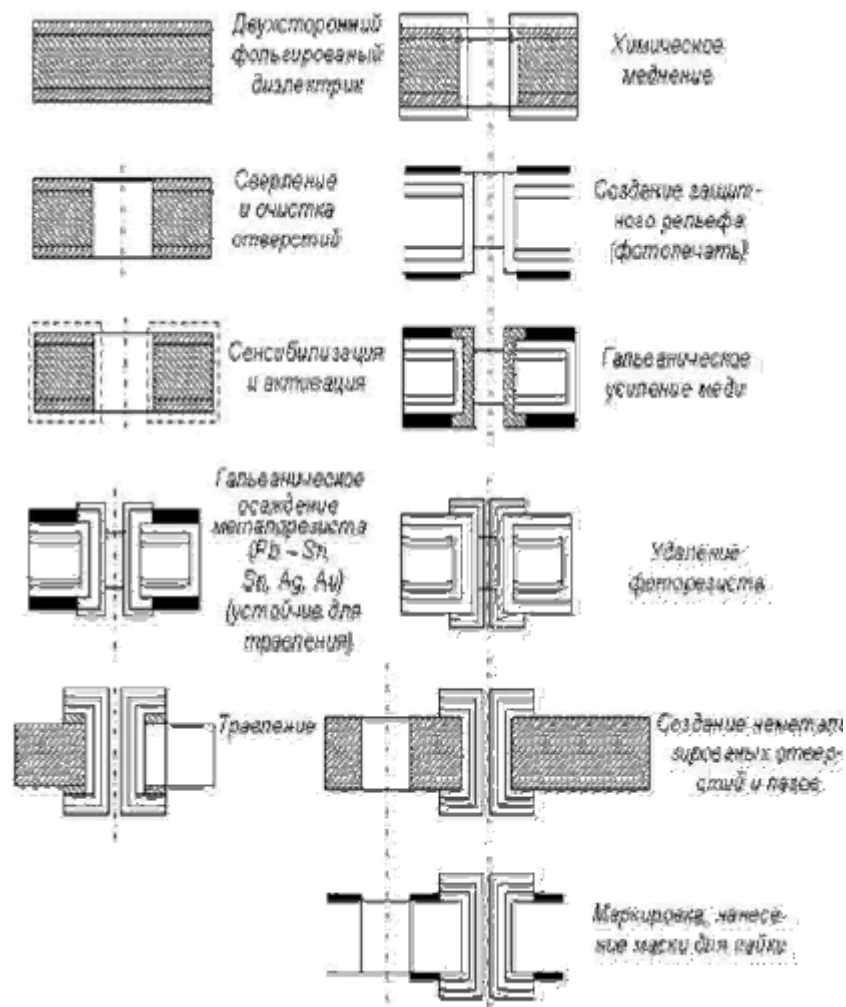


Рис.4.14. Технология изготовления ДПП субтрактивным методом

Методы, основанные на впаивании проволоки или штифтов или на применении полых заклепок, малопригодны для массового производства и малонадежны. В настоящее время для соединения проводников ДПП применяют только металлизированные отверстия. Отверстия для металлизации получают сверлением. Пробивка непригодна т.к. разрушает структуру материала на стенках отверстий. Диэлектрик может быть металлизирован только химическим осаждением с предварительной сенсбилизацией и активацией.

Химический слой меди тонок – до 5 мкм. Для утолщения слоя меди используется гальваническое усиление после создания защитного рельефа методом фотопечати. И наконец, наносится устойчивый к травлению металлорезист (плакирование ПП), который также облегчает процесс пайки. Золото в основном используется для переключающих контактов и печатных соединителей. Металлизированные отверстия существенно повышают надежность паянных соединений за счет того, что припой в результате капиллярных сил заполняет все отверстие.

При негативном методе возможны 2 варианта. Либо операции повторяются при использовании в качестве фотошаблона негатива печатных плат.

Либо после создания защитного рельефа производится защитное покрытие медных поверхностей, не защищенных фоторезистом. Последующими операциями

удаляется ФР или производится травление Cu фольги, при этом гальванически осажденные слои служат защитной маской.

Аддитивный метод

При этом методе исходным является нефольгированный диэлектрик, на поверхность которого наносится рисунок печатных проводников химическим осаждением.

Преимущества аддитивного метода над субтрактивным является:

- ☐ более высокая надежность, тк проводники и металлизация отверстий получается в едином процессе
- ☐ однородность соединений между проводниками и металлизацией отверстий
- ☐ отсутствие подтравления
- ☐ отсутствие гальванического защитного покрытия при травлении
- ☐ экономия меди, травителей и уменьшение затрат на нейтрализацию сточных вод.

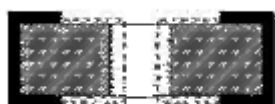
Наряду с этими преимуществами, особенностями аддитивного метода является, равномерность толщины слоя в отверстиях и на поверхности, а также хорошие механические и физические свойства химически осажденной меди (твердость, износостойкость, паяемость).

Недостатками метода являются высокая стоимость изделия (в 3 – 4 раза выше, чем при гальваническом осаждении) и низкая стоимость осаждения. Рассмотрим 2 основных варианта аддитивного метода изготовления ПП:

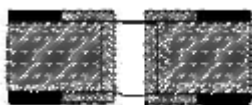
химический и химико – гальванический или комбинированный

В первом варианте проводящие слои получают на основе восстановительного осаждения, при этом возможно получать слои толщиной 0,010 мкм подбирая соответствующие условия осаждения (рН, t ☐,). химического аддитивного метода включает:

- ☐ сверление и очистку отверстий в диэлектрике
- ☐ сенсibiliзацию и активизацию поверхности
- ☐ создание защитного рельефа методом фотопечати;



- ☐ химическое меднение



- ☐ удаление фоторезиста
- ☐ создание неметаллизированных отверстий
- ☐ нанесение маски для пайки (трафаретная печать).



электрика сначала получают химическим методом слой меди толщиной 5 мкм, который служит основой для селективного гальванического наращивания рисунка проводника. Однако из-за неравномерного распределения плотности тока гальванических ванн, возможна неравномерная толщина покрытий в отверстиях. Поскольку активация с помощью растворов SnCl_2 и PbCl_2 производится на всей поверхности ПП, то после

создания защитного рельефа и гальванического наращивания необходима короткая операция травления тонкого слоя химически осажденной Cu с нежелательных мест.

Лекция 4.11

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЧИСТОТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Технологический микроклимат и чистота технологических сред являются залогом высокого качества материалов для микро – и нано-электроники. Исходные материалы, среды, оборудование, технологическая тара, транспортные средства и другие промышленные сооружения являются потенциальными источниками загрязнений, вносимых в обрабатываемые изделия на всех этапах технологического процесса.

Между функциональными параметрами ИС и качеством отдельных компонентов технологических сред существует взаимосвязь. Невозможно гарантировать качество, надежность и высокий выход годных интегральных микросхем и БИС, если хотя бы один из десяти или ста факторов чистоты технологического процесса производства выпал из-под контроля, т. е. за пределы допустимых значений параметра.

Все ИС и СБИС чувствительны к воздействию загрязнений. Поэтому качество исходных материалов особенно важно. Наиболее чистые современные материалы и технологические среды характеризуются количеством загрязнений по отдельным контролируемым примесям не больше 10-6 ат %.

Установлено, что микрочастицы (бактерии) вызывают до 80 % всех дефектов, возникающих в процессе производства ИС. Критическим размером микрочастицы считают линейный размер, который составляет не больше 0,1 минимального размера топологического элемента ИС.

Собственно технологический процесс может быть причиной до 25 % дефектов, вносимых в полупроводниковую пластину, оборудование, основные средства автоматизации – до 25 % дефектов, газы, химикаты – 8 %, воздушная среда технологических помещений – 7 %, производственный персонал – 35 %.

Основными источниками загрязнений эпитаксиальных подложек является воздух производственных помещений и рабочих объемов, технологические газы, реактивы, деионизованная вода.

Наиболее опасно присутствие в воздухе частиц размером менее 0,5 мкм. поскольку им свойственно находиться во взвешенном состоянии и они могут оседать на подложки.

Стандартом установлено следующее разделение производственных помещений и рабочих объемов в зависимости от максимальной концентрации частиц размером менее 0,5 мкм в 1 л воздуха: 0, 5, 35, 350, 1000, 3500, 10 000, 35 000. Операции окисления, диффузии, наращивания эпитаксиальных слоев выполняются в рабочих объемах, концентрация частиц пыли в 1 л. воздуха которых составляет не более 5, а вакуумного нанесения диэлектрических и проводящих слоев – не более 35.

Технологические газы – водород, кислород, аргон, азот и др. дополнительно очищают от примесей других газов и микрочастиц. Так, водород, аргон и азот очищают от кислорода и паров воды, присутствие которых вызывает нежелательное окисление подложек при нагреве. Особо чистый водород получают диффузионной очисткой, пропуская его через мембрану из сплава палладия с серебром.

Качество применяемых для микроэлектроники жидких технологических сред и химикатов в значительной степени зависит от технологии глубокой комплексной очистки воды. Так как вода не только используется в многочисленных операциях отмывки поверхности полуфабриката и готовых изделий, но и служит основой технологических растворов для отмывки и травления. Природная вода перед технологическим применением в микроэлектронике подвергается многократной комплексной очистке, в том числе биологической (от бактерий и вирусов). Критический размер взвешенных частиц для интегральной микроэлектроники 1–0,5 мкм.

Число частиц большего размера должно быть сокращено до 1000 в 1 л очищенной воды. Для производства СБИС допустимые размеры частиц снижаются до 0,1–0,2 мкм и их число – до 20 единиц в 1 л воды.

В чистых технологических помещениях кроме запыленности (загрязнение микрочастицами) контролируется: степень освещения, влажность воздуха, кратность воздухообмена, скорость и направленность воздушного потока, газовый состав воздуха, степень ионизации воздуха,

рабочая температура, количество статического электричества на рабочих поверхностях технологического оборудования, уровень вибраций. Специальные установки кондиционирования воздуха круглосуточно поддерживают относительную влажность в рабочих помещениях от 40 до 60 % и температуру 20–26 °С.

Как показывают исследования, человек в современной сверхчистой производственной одежде, пройдя все стадии обдува и отсоса частиц, прежде чем попасть в рабочую зону, является все равно основным источником загрязнений микрочастицами. Человек в повседневной одежде выделяет в окружающую среду не менее $2 \cdot 10^6$ частиц загрязнений в минуту. Одежда персонала должна напоминать костюм космонавта. Количество обслуживающего персонала должно быть сокращено до минимума. В перспективе все производство должно быть управляемо дистанционно ЭВМ одним чело-

веком, при использовании новых технологических приемов, которые позволяют снизить уровень загрязнений.

Любая поверхность, загрязненная статическим электричеством, притягивает и накапливает микрочастицы. Накопленная пыль при вибрациях, толчках, деформациях, температурном воздействии отрывается и повышает в помещении загрязненность. В этом отношении представляют интерес материалы, способные сохранить значительный электрический заряд даже при повышенной влажности, например электреты, способные притягивать пыль из окружающего пространства на расстояния до 50 мм и удерживать ее. Снижению уровня статического электричества способствует ионизация воздуха, поступающего из фильтров тонкой очистки, устройствами, которые генерируют попеременно (+) и (–) аэроионы.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЦЕССАМ МАКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

При производстве изделий электронной техники используется большинство известных в современной технологии процессов. Их можно классифицировать по физико-химическим основам: механический, термический, корпускулярный, полевой. По виду процесса: нанесение, удаление, модифицирование. По характеру протекания процессов: тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный. По способу активации: тепло, излучение, поле.

Одним из ответственных процессов, определяющих, в конечном счете, готовое изделие, является получение исходного материала.

После получения исходного материала он обрабатывается сначала механически – резка монокристаллов на пластины, разделение пластин на кристаллы. Затем используются электрофизические методы обработки: ультразвуковые, электроэрозионные, плазменные, лазерные. На основе этих методов создаются наиболее ответственные технологические процессы.

Ультразвуковая технология используется в процессе очистки поверхности, для интенсификации химических и электрохимических процессов, для контроля и диагностики.

Электроэрозионный метод основан на эффекте расплавления и испарения микропорций металла под действием импульсов электрического тока.

Плазменный метод используется для нанесения покрытий, формообразования изделий сложной формы, для резки, сварки, плавления. В этом методе используются высокие температуры, до 4000 градусов Цельсия и выше. При таких температурах можно расплавить и испарить практически любые тугоплавкие материалы.

Плазма характеризуется энергетической неустойчивостью и электропроводностью. Поэтому можно управлять ею с помощью электрических и магнитных полей. С помощью таких полей можно получить плазменную струю небольшого размера с большой концентрацией тепловой энергии, т. е. сосредоточить большую тепловую мощность в небольших объемах материалов.

Кроме высокотемпературной плазмы для обработки материалов используют низкотемпературную плазму. Низкотемпературная плазма – слабо ионизированный газ, состоящий из смеси нейтральных и заряженных частиц, положительных и отрицательных ионов, стабильных и возбужденных атомов и молекул. С помощью низкотемпературной плазмы проводят ионное травление поверхности для удаления загрязнений, создают прецизионные рисунки при производстве интегральных микросхем. Если в качестве рабочего газа использовать не инертный, а химически активный газ, то можно проводить процесс не просто ионного травления, а ионо-химического травления. Механизм ионо-химического травления представляет собой совместное действие распыления и химической реакции.

В элионной технологии при электронно-лучевой обработке используют тепловую энергию, выделяющуюся при столкновении быстрых электронов или ионов с веществом.

Электронно-лучевая обработка используется не только для сварки и плавки, но и для зонной очистки материалов, для нанесения покрытий и полирования.

Ионно-лучевая обработка используется для ионной имплантации (ионного легирования). Ионная имплантация или ионное легирование – это процесс внедрения в материал ионизованных атомов легирующего вещества (бора, фосфора, мышьяка) с энергией, достаточной для проникновения в приповерхностную область вещества. Например, при энергии ионизованных атомов 3–500 кэВ имплантация произойдет в глубь кремниевой подложки на 10–100 нм.

Преимущество технологий ионной имплантации, которая широко используется в микро- и нанотехнологии, в том, что она дает возможность точного управления количеством внедренных атомов примеси путем последующей термической обработки. Ионно-лучевые методы используются при нанесении покрытий в процессе катодного распыления.

Лазерные методы используются для отжига пластин после ионного легирования, увеличения размеров зерен в поликристаллическом кремнии, для очистки и улучшения рельефа поверхности, легирования и перераспределения примеси, геттерирования примеси, изменения сопротивления поликристаллических кремниевых проводников, рекристаллизации аморфных и кристаллических слоев, рекристаллизации слоев «кремний на диэлектрике», для травления, формирования омических контактов.

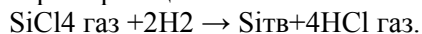
ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Осаждение вещества из газовой фазы Газофазная эпитаксия

Термин «эпитаксия» (стройся как я) означает ориентированное наращивание слоев вещества с воспроизведением кристаллической структуры подложки. Эпитаксию применяют в процессах наращивания тонких монокристаллических слоев на монокристаллических подложках. Образующийся слой закономерно продолжает кристаллическую решетку подложки, если наращиваемый слой и подложка имеют одинаковый химический состав. Такой процесс называется гомоэпитаксией или автоэпитаксией. Если эпитаксиальный слой и подложка состоят из разных материалов, постоянные решетки которых не совпадают, то такой процесс называют гетероэпитаксией.

При этом на границе раздела из-за рассогласования решеток возникают дефекты. Поэтому тонкие эпитаксиальные слои трудно получить с хорошей монокристаллическостью.

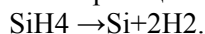
Процесс осаждения эпитаксиальных слоев из газовой фазы называют газофазной эпитаксией. Рассмотрим процесс эпитаксии из парогазовой смеси на примере выращивания кремния. Процесс проводится в реакторе из кварцевого стекла, коррозионно-стойкой стали, хромоникелевых сплавов. Реакторы установок делятся на два типа: горизонтальный и вертикальный. Для выращивания кремния используются четыре кремнийсодержащих реагента: тетрахлорид кремния SiCl_4 , трихлорсилан SiHCl_3 , дихлорсилан SiH_2Cl_2 и силан SiH_4 . Наиболее широко используется тетрахлорид кремния SiCl_4 . Суммарная реакция состоит в восстановлении кремния из SiCl_4 водородом при температуре выше 1100 °C:



Заданный тип проводимости наращиваемой пленки получается путем введения в парогазовый поток контролируемого количества легирующих примесей.

SiHCl_3 и SiH_2Cl_2 являются промежуточными продуктами реакции. Их используют в качестве сырья, так как они устойчивы в жидкой фазе при нормальной температуре. Вышеприведенные реакции обратимы и при определенных условиях (при определенной температуре процесса) на подложку наращивается Si, а в других условиях (при более высокой температуре) скорость наращивания становится отрицательной и происходит травление кремниевой подложки.

Наращивание при термическом разложении силана происходит при температуре 900–1100 °C в результате реакции:



Зависимость скорости наращивания от температуры приведена на рис. 4.15.

На участке А скорость наращивания определяется реакцией в газовой фазе, на участке В – процессами диффузии к поверхности подложки. На практике проводится эпитаксия при нормальном давлении газа. В качестве рабочей области выбирается участок В, не очень критичный к точному поддержанию температуры. Как видно из рисунка, участок В лежит у силана в диапазоне меньших температур, чем для хлористых соединений. Практически наращивание при использовании силана производится при температуре 1000 °C.

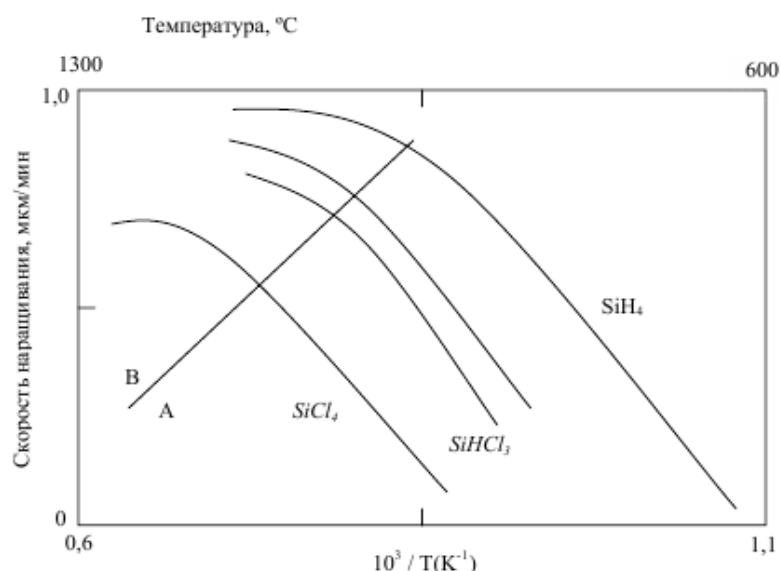


Рис. 4.16. Зависимость скорости эпитаксиального наращивания слоя кремния от температуры при использовании различных реакционных газов SiH_2Cl_2

Конструкция камер для газозаводного наращивания представлена на рис. 4.7.

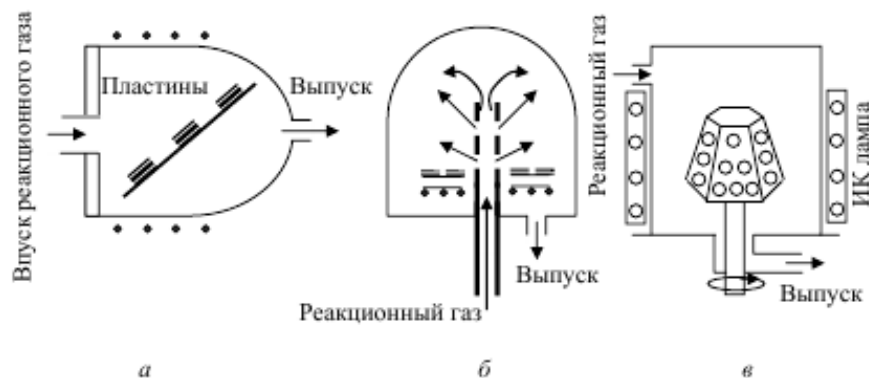
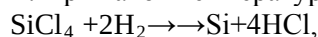


Рис. 4.16. Конструкция реакционных камер для газозаводной эпитаксии:
 а – установка с высокочастотным нагревом горизонтального типа,
 б – установка с высокочастотным нагревом вертикального типа,
 в – установка с ИК нагревом

Хлоридный процесс эпитаксии кремния заключается в следующем: монокристаллические кремниевые пластины загружаются в тигель (лодочку) и помещают в кварцевую трубу. Через трубу пропускают поток водорода, содержащий небольшую примесь SiCl_4 . Поверхность пластин в тигле нагревают до 1200°C током высокой частоты. При такой температуре на пластине происходит реакция:



в результате которой на поверхности осаждается слой чистого кремния, а пары HCl уносятся потоком водорода. Процесс, проходящий в потоке газа, называется газотранспортной реакцией. Основной газ H_2 , переносящий примесь в зону реакции, называется газом-носителем. Скорость роста пленки пропорциональна давлению реакционного газа. Все вещества, поступающие в реактор, являются газами, поэтому и название способа получения – эпитаксия из газовой фазы или химическое осаждение из газовой фазы. Формирование слоев эпитаксии осуществляется при ламинарном течении газа по трубе, т. е. когда число Рейнольдса:

$$\text{Re} = Dvp/\eta = 100$$

меньше критического значения $\text{Remax} = 2000$, D – диаметр трубы реактора, p – плотность газа, η – коэффициент вязкости пара. Число Рейнольдса – безразмерный параметр, описывающий характер течения газа в реакторе. Для массового производства используется вертикальная камера с ИК нагревом. Поскольку эпитаксиальный слой очень чувствителен к загрязнению на лицевой поверхности подложки, эта поверхность перед проведением эпитаксии подготавливается на глубину несколько мкм в

парах HCl . Если используется $\text{SiCl}_4 : \text{H}_2$, то в количестве молярного отношения больше 0,27, скорость наращивания становится отрицательной и начинается травление подложки. Введение примеси в эпитаксиальный слой проводится добавлением в реакционный газ AsH_3 – арсина и фосфина – PH_3 , если надо получить материал n-типа и для получения p-проводимости в реакционный газ вводится диборан – B_2H_6 . Реакционный газ содержит большое количество водорода, поэтому эти водородные соединения разлагаются медленно. Главным образом их разложение происходит на лицевой стороне подложки. Атомы примеси проникают в подложку, замещая кремний в узлах решетки, и при этом образуются доноры или акцепторы. Количество примеси, вводимое при эпитаксии, зависит от скорости эпитаксиального наращивания. При меньшей скорости вводится больше примеси, а при очень быстром наращивании эпитаксиального слоя процессы адсорбции и десорбции на подложке взаимно уравниваются и концентрация примеси в подложке не повышается. Изменить удельное сопротивление эпитаксиального слоя можно в пределах от 0,01 до 1,5 Ом·см, за счет изменения содержания легирующих газообразных добавок в реакционной камере. Для получения монокристаллического слоя необходимо сильно нагреть подложку так, чтобы осаждающиеся атомы кремния могли перемещаться в положения, в которых бы они образовывали с подложкой ковалентные связи. При этом атомы должны успеть продолжить монокристаллическую решетку до того, как они будут покрыты следующим слоем осаждающихся атомов. Это происходит при температуре процесса от 900 °С до 1200 °С. Обычно скорость роста несколько мкм в мин.

Отметим достоинства метода эпитаксиального наращивания.

1. Процесс проводят при температуре, меньшей температуры выращивания слитка монокристалла.
2. Концентрация примеси, их распределение варьируются в широком диапазоне.
3. Возможно получение эпитаксиального слоя с противоположным подложке типом проводимости.
4. Получаемый эпитаксиальный слой содержит меньше дефектов, связанных с примесью кислорода и углерода по сравнению с подложкой.
5. Имеется возможность нанесения однородного по толщине тонкого эпитаксиального слоя на подложку большой площади.
6. Эпитаксиальный слой может быть локально нанесен на определенном участке поверхности подложки. Все это позволяет формировать ИС разнообразных конструкций и топологий. Очень эффективно сочетание эпитаксии с термической диффузией примеси в подложку и ионной имплантацией. Эпитаксиальное наращивание эффективно применяется для создания скрытого коллекторного слоя, который необходим для обеспечения электрической прочности коллекторного перехода и снижения сопротивления в структуре биполярных ИС.

Получение поликристаллического кремния

Один из методов получения поликристаллического кремния – газофазная эпитаксия. Формирование слоев поликристаллического кремния производится путем термического разложения силана, происходящего при температуре 620–650 °С при нормальном давлении при разбавлении силана азотом или аргоном или при пониженном давлении до 133 Па при использовании 100%-ного силана.

При необходимости проводится отжиг полученного слоя кремния при 900–1000 °С. При температуре 600 °С зерна поликристаллического кремния имеют размер до 20 нм при ориентации (110), при температуре 570 °С размер зерен – 10 нм и образуется аморфная фаза. Однако термообработка полученного слоя (отжиг при температуре 900–1000 °С) формирует слой столбчатого кремния с размерами зерен больше 80 нм и кристаллической ориентацией (110). Отжиг при более высокой температуре приводит к преимущественной ориентации зерен (100).

Конкретные условия процессов наращивания и отжиг определяются в зависимости от заданных свойств получаемого слоя поликристаллического кремния.

Поликристаллический кремний легируется методом ионной имплантации или диффузии, кроме тех случаев, когда он используется как высокоомный материал.

При легировании, проводимом одновременно с наращиванием слоя, удельное сопротивление поликристаллического кремния может быть <0,01 Ом·см, если температура процесса больше 500 °С при легировании бором, и при температуре больше 630 °С при легировании фосфором.

Получение оксида и нитрида кремния

Наиболее распространенный метод получения оксида кремния – газофазная эпитаксия, при которой происходит газофазная химическая реакция силана и кислорода, протекающая при температуре 500 °С.

Этот метод используется в технологии производства ИС даже при формировании алюминиевой разводки. В основном, применяют метод нанесения SiO_2 при нормальном давлении. Скорость наращивания SiO_2 возрастает при увеличении температуры, и энергия активации невелика. На скорость наращивания Si_2

большое влияние оказывает давление O_2 , так как адсорбция молекул кислорода на поверхности подложки задерживает химическую реакцию. В слоях оксида кремния, выращенных при низкой температуре, содержится водород: (Si–OH, Si–H, H_2O).

Высококачественный окисный слой получается также путем эпитаксии в результате термического разложения тетраэтоксисилана (ТЭОС), $Si(OC_2H_5)_4$ при низком давлении. Этот процесс протекает при высокой температуре (650–750 °C). Поэтому его используют в основном для нанесения SiO_2 -слоя поверх кремния или поликремния с целью сглаживания ступенек и канавок на поверхности подложки. В таких слоях оксида водород почти не содержится.

Слои, легированные фосфином (PH_3), (фосфоросиликатное стекло, ФСС) играют роль защитных слоев. Они захватывают примеси металлов, которые проникают в структуру при технологическом процессе. ФСС легко наносится при низкой температуре и его используют в качестве пассивирующего слоя. Этот слой наносится поверх алюминиевой разводки.

Слои нитрида кремния (Si_3N_4), применяемые для защиты лицевой поверхности, формируются методом газофазной эпитаксии при низком давлении. Получаемый таким способом нитрид кремния является аморфным диэлектриком с показателем преломления $n = 2,01$ и содержит несколько процентов H_2 . Качество слоев нитрида кремния контролируется по удельному сопротивлению ($10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$), показателю преломления, скорости травления в плавиковой кислоте HF .

Слои нитрида кремния применяются в современных ИС при локальном окислении в качестве маскирующих слоев, в качестве изолирующих слоев запоминающих конденсаторов, в качестве изолирующих слоев затвора в МНОП – типа ЗУ с сохранением информации при отключении питания, в качестве изолирующих слоев многослойной разводки, в качестве защитных слоев для предохранения лицевой поверхности от проникающих извне молекул воды, атомов щелочных металлов и других примесей.

Пиролитическое осаждение

Пиролитическое осаждение используют для получения толстых слоев оксида кремния при низких температурах. Пиролитическое осаждение обеспечивает большую производительность, высокую равномерность слоев, качественное покрытие уступов металлизации и позволяет создавать изолирующие и пассивирующие слои не только на поверхности кремния, но и германия, арсенида галлия и других материалов. Помимо оксида кремния осаждают слои SiC , Si_3N_4 , ФСС (фосфорно-силикатные стекла) и поликремния.

При пиролитическом осаждении оксида кремния происходит термическое разложение сложных соединений кремния (алкосисиланов) с выделением SiO_2 , например:

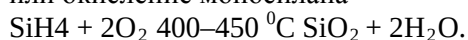
тетраэтаксисилана



тетраметоксисилана



или окисление моносилана



Последнюю реакцию обычно используют и при осаждении фосфорно-силикатного стекла с добавлением к газовой смеси фосфина PH_3 , разбавленного азотом до 1,5%-ной концентрации. Фосфин вступает в реакцию с кислородом

Установка для пиролитического осаждения (рис. 4.17) представляет собой трехтрубную диффузионную печь и имеет реакторы (3) с горячими стенками, работающие при пониженном давлении в режиме непрерывной откачки их объема. Нагревательный элемент (10) состоит из трех секций.

Пластины устанавливают в кассету (2) вертикально по всей длине рабочей зоны, равной 600 мм.

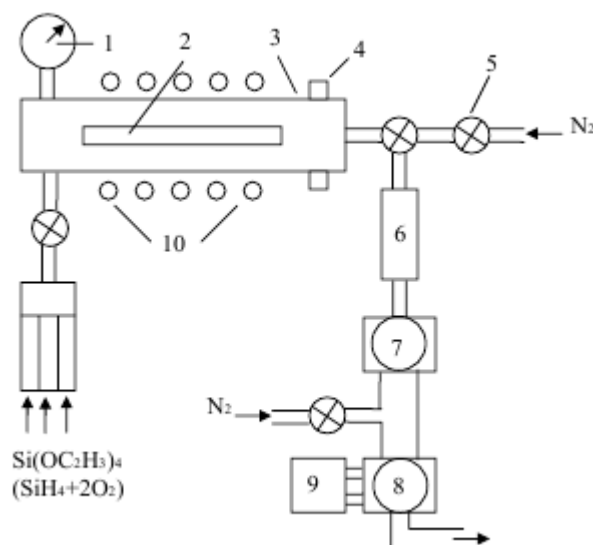


Рис. 4.17. Схема установки для пиролитического осаждения SiO_2 : 1 – датчик давления; 2 – кассета с пластинами; 3 – кварцевый реактор; 4 – водохлаждаемая заглушка; 5 – кран впуска азота; 6 – фильтр; 7 – диффузионный насос; 8 – масляный насос; 9 – очиститель; 10 – резистивные нагреватели

Газовая смесь поступает с одного конца реактора и откачивается с другого. Предельное разрежение в реакторе установки не выше 0,7 Па, рабочее давление при напуске газов варьируется в пределах от 13 до 670 Па.

Система откачки реактора имеет диффузионный (7) и паромасляной насосы (8) с очистителем (9), фильтр (6), кран впуска азота (5) и заглушку (4). Датчик (1) контролирует давление в реакторе. Установка работает в автоматическом режиме с выводом на ЭВМ.

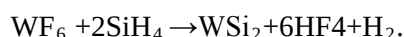
В таких установках скорость осаждения SiO_2 составляет 0,2 мкм/ч, ФСС –0,7 мкм/ч. Наиболее важными факторами, определяющие скорость осаждения, являются температура пластин, состав и расход газов, давление в реакторе.

Газофазная эпитаксия тонких слоев металлов

В кремниевых ИС методом газофазной эпитаксии формируются изолирующие слои, наносятся различные металлы и силициды металлов. Применение поликристаллического кремния в качестве электрической разводки сдерживает повышение быстродействия приборов из-за высокого сопротивления кремния. Поэтому поликристаллический кремний в разводке заменяют тугоплавкими металлами и их соединениями с кремнием. Например, при нанесении вольфрама смесь газов WF_6 и H_2 реагировали при низком давлении в камере газофазной эпитаксии при 350 °С. В результате на поверхности кремния или поликристаллического кремния формируется слой вольфрама. Удельное сопротивление слоя W толщиной 120 нм составляет 1 Ом·см. При правильном проведении процесса наращивание слоя W происходит только на поверхности Si, а поверх слоя окиси кремния наращивание слоя W совершенно не происходит.

Это локальное нанесение слоя W может быть использовано для улучшения контактов электродов, барьерных металлических слоев и многослойной электрической разводки.

Для получения силицидов (солей кремния) возможно использовать газофазную эпитаксию при реакции:



Получаются слои WSi_2 с удельным сопротивлением в несколько десятков мкОм·см. (Для сравнения: легированный поликристаллический кремний имеет удельное сопротивление $\rho = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{см.}$)

Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы

Жидкофазная эпитаксия

Жидкофазная эпитаксия относится к методам выращивания вещества из раствора или расплава. Этот метод используют, если надо получить толстые эпитаксиальные слои или высокие концентрации

примесей. Принцип жидкофазной эпитаксии состоит в растворении вещества источника в подходящем растворителе при значительно более низкой температуре, чем температура плавления.

Жидкий раствор приводится в контакт с монокристаллической подложкой и медленно охлаждается. В этом случае вся система нестационарна. В процессе охлаждения материал источника рекристаллизуется на подложке. Затем растворитель сливается. При такой методике толщина осажденного слоя зависит от объема растворителя, перепада температур при охлаждении и площади поверхности подложки. Устройство для жидкостной эпитаксии.

Эта система проточная, т. е. продуваемая водородом. В кварцевый контейнер-реактор помещают подложку (GaAs и смесь GaAs и Ga). Температуру задают такую, чтобы растворить необходимое количество GaAs в Ga. Затем установку наклоняют таким образом, чтобы раствор первоначально был недосыщен GaAs, при этом растворяются поверхностные слои подложки (подложка очищается). Затем температуру раствора доводят до заданного пересыщения GaAs и на подложке кристаллизуется пленка GaAs.

Метод движущегося растворителя

Этот метод жидкофазной эпитаксии отличается от предыдущего тем, что в этом случае система находится в равновесии, т.е. температура сохраняется практически постоянной, а перенос вещества осуществляется за счет теплового потока. Принцип действия этого метода можно описать на основе схемы (рис. 4.18).

Система имеет вид сэндвича, в котором между источником и подложкой находится тонкий слой растворителя. Источник находится при более высокой температуре, чем подложка. По мере повышения температуры системы источник и подложка начинают растворяться на границе с растворителем. Поскольку температура источника больше температуры подложки, растворимость источника в растворителе больше, чем растворимость подложки. Избыток вещества источника диффундирует от области источника к области подложки. Таким образом, вблизи подложки создается условие перенасыщения и на ней происходит осаждение вещества источника.

С течением времени растворенная зона перемещается сквозь источник, пока не достигнет верхней границы. Скорость движения зоны зависит от температуры, от растворимости вещества источника в растворителе и толщины слоя растворителя. Таким способом наращивали GaAs на Si, используя Ga в качестве растворителя.

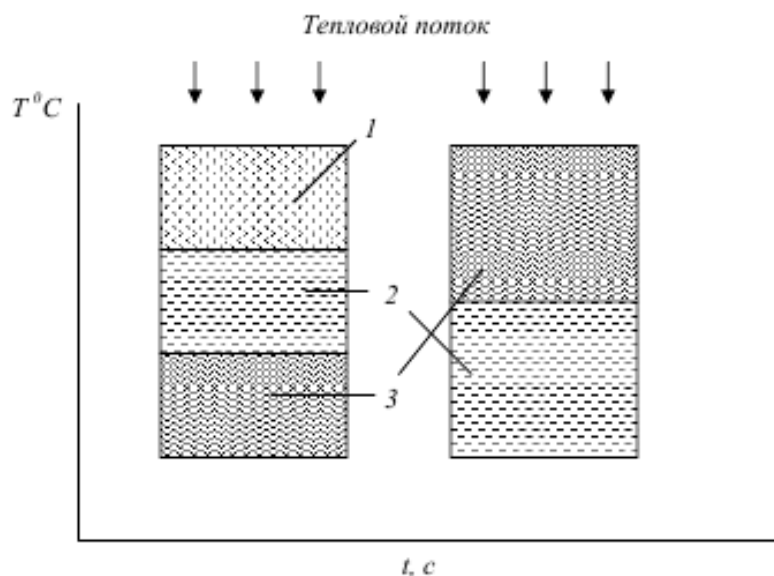


Рис. 4.18. Жидкофазная эпитаксия. Метод движущегося растворителя или «сэндвич»-метод:
1 — источник, 2 — растворитель, 3 — подложка

Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков

Вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение

Вакуум-термическое испарение применяется для получения тонких металлических и диэлектрических пленок, используемых в планарных приборах, во внутрисхемных соединениях ИМС.

Отечественная промышленность выпускает сравнительно большое количество модулей нанесения пленок. Отличаются они размером рабочей камеры, конструкцией и уровнем автоматизации внутрикамерных устройств, оснащённостью аппаратурой для автоматического измерения вакуума, режима испарения и параметров пленок в процессе испарения.

Термическое испарение основано на создании направленного потока пара вещества с последующей его конденсацией на поверхности подложек, температура которых ниже температуры источника пара.

Принципиальная схема типовой установки показана на рис. 4.19.

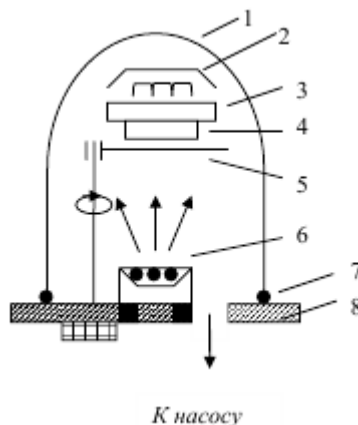


Рис. 4.19. Схема термического испарения в вакууме: 1 – колпак, 2 – нагреватель подложек, 3 – подложкодержатель, 4 – подложка, 5 – заслонка, 6 – испаритель, 7 – уплотнительная прокладка, 8 – опорная плита установки

Внутри вакуумной камеры (1) расположены основные функциональные элементы: нагреватели (2) для обезгаживания и подогрева подложек, подложкодержатель (3), подложка (4), маска (5), через которую наносится пленка заданной конфигурации, испаритель (6), между испарителем и подложкой имеется заслонка (7), позволяющая в нужный момент прекращать подачу испаряемого вещества.

Необходимое разрежение в рабочей камере создается вакуумной системой, состоящей из паромасляного насоса с азотной ловушкой и форвакуумной системы.

Процесс термического испарения состоит из трех основных этапов: испарения вещества, переноса его паров к подложкам, конденсации на них и образовании пленочной структуры.

Для испарения вещество нагревают прямым пропусканием тока, электронным лучом, высокочастотным полем, лучом лазера или электрической дугой. Вначале вещество плавится, а затем переходит в парообразное состояние. Некоторые вещества испаряются из твердого состояния, минуя жидкую фазу (например Mg, Cd, ZnS). Такой процесс называется сублимацией или возгонкой.

Среди параметров процесса нанесения важнейшими являются скорость нанесения и температура подложки. Скорость нанесения является параметром, наиболее трудно контролируемым и регулируемым.

Если обозначить через N_i поток молекул, покидающих поверхность испарителя, а через N_n – поток молекул, конденсирующихся на подложке, то

$$N_i = K_k(A/dI)N_i,$$

где K_k – коэффициент конденсации, A – коэффициент, учитывающий форму и молекулярно-кинетические характеристики испарителя, d – расстояние между подложкой и испарителем. При постоянном давлении, температуре, объеме скорость конденсации равна скорости испарения – это состояние называется равновесным (состояние насыщения). При этом скорость испарения:

$$v = 0,0585 P_s (M/T) S,$$

где P_s – давление насыщенного пара, T – температура испарения, M – молярная масса испаряемого вещества.

При нанесении пленок вещество должно испаряться в молекулярном режиме, так как при этом создается молекулярный пучок, частицы которого перемещаются по прямолинейным траекториям от испарителя к подложке без столкновений и рассеяния. Эти условия достигаются при давлении остаточных паров $P < 10^{-2}$ Па, т. е. при невысокой скорости испарения.

При $P_s > 10^1$ Па скорость испарения v_i достаточно велика и над поверхностью подложек образуется слой пара, затрудняющий испарение. При $P > 0,01$ также создаются условия для молекулярного режима испарения, так как длина свободного пробега λ частиц меньше расстояния между подложкой и испарителем. Согласно кинетической теории газов

$$\lambda = kT/\pi 2S p dI,$$

где k – постоянная Больцмана, d – эффективный диаметр молекулы газа.

Для выполнения условия $\lambda \gg d$ и создания прямолинейной траектории движения частиц необходимо давление не выше 10^{-1} Па, так как $d = 15\text{--}20$ нм.

Кроме того, форма молекулярного пучка должна быть такой, чтобы обеспечить максимальную направленность движения частиц испаряемого вещества к подложке. Для равномерного осаждения по толщине пленки плотность падающего пучка должна быть одинаковой по всей поверхности подложки.

Конденсация паров зависит от температуры подложки и плотности молекулярного пучка.

Температура подложки, выше которой все частицы вещества отражаются от ее поверхности и пленка при этом не образуется, называется критической температурой. Она зависит от физикохимических свойств материалов осаждаемой пленки и подложки и от состояния поверхности подложки.

Наименьшая плотность, при которой частицы вещества конденсируются на подложке при данной ее температуре, называется критической плотностью молекулярного потока. При нахождении молекулами осаждаемого вещества мест, соответствующих минимуму свободной энергии системы молекула-подложка, образуются зародыши. Рост зародышей происходит в результате присоединения новых молекул.

Размер зародыша, при котором он обладает минимальной устойчивостью, называется критическим. При росте и объединении зародышей образуются островковые структуры, а затем – сплошная пленка.

Электрофизические параметры тонких пленок, их надежность и качество зависят от давления остаточных газов p , температуры подложек T_p и испарения и условий термообработки нанесенной пленки (температуры, времени, среды).

При большом давлении в рабочей камере присутствуют остаточные газы (O_2 , H_2 , N_2 , CO_2 и др.), которые не только уменьшают длину свободного пробега молекул, но насыщают пленку, химически взаимодействуя с ней, образуют соединения, изменяющие первоначальные свойства осаждаемого вещества.

Производительность процесса, возможность химического взаимодействия остаточных газов и испаряемого вещества и условия его кристаллизации на подложке зависят от скорости испарения v_w , которая зависит от температуры. При низких скоростях испарения в пролетном пространстве успевают пройти химические реакции и образуются оксиды, гидриды, нитриды и другие соединения, обладающие другими, чем осаждаемое вещество, свойствами и скоростями миграции по поверхности подложки. В результате этого изменяются условия кристаллизации, структура и электрические параметры осаждаемой пленки.

Температурой подложки T_p определяется взаимодействие ее материала с остаточными газами и интенсивность химического взаимодействия этих газов и материала пленки. При повышении температуры улучшается десорбция, уменьшается газонасыщение и создаются условия термодинамического равновесия. В результате формируются сплошные и бездефектные пленки, обладающие хорошей адгезией, имеющие ненапряженную структуру и оптимальные размеры зерен. Значительное повышение температуры подложки увеличивает критический размер зародышей и может привести к сохранению островковой структуры, что приводит к неравномерности пленки по толщине и ухудшает ее электрофизические параметры. Это особенно важно при изготовлении тонкопленочных резистов (толщина пленки $0,35\text{--}0,6$ мкм). Обычно температуру подложки выбирают в интервале от 30 до 400°C .

В зависимости от способа нагрева осаждаемого вещества различают резистивные и электронно-лучевые испарители.

Резистивные испарители изготавливают из проволоки и лент тугоплавких металлов, а также из графита и диборида титана TiB_2 .

Ленточные испарители для устранения тепловой деформации имеют компенсаторы и позволяют испарять сыпучие вещества, и большие, чем проволоочные, количества вещества.

Графитовые и из диборида титана испарители применяют для осаждения материалов, имеющих $T > 2200^\circ\text{C}$.

В тигельных испарителях из теплостойкой керамики (Al_2O_3 , VO , ThO) устранен непосредственный контакт нагревателя с испаряемым веществом и значительно увеличена нагрузка.

Недостатком резистивных испарителей является загрязнение наносимой пленки материалом испарителя или тигля, малый срок службы, невозможность испарения тугоплавких материалов.

Электронно-лучевые испарители основаны на преобразовании кинетической энергии электронов в энергию нагрева при бомбардировке ими испаряемого вещества. Эти испарители применяются при нанесении пленок тугоплавких материалов, не загрязняя камеру материалом нагревателя и тигля и могут быть использованы более длительное время, чем резистивные. Однако при электронной бомбардировке некоторые материалы разлагаются на фракции с выделением газообразных веществ.

Молекулярно-лучевая эпитаксия

Методы молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) в вакууме различают по способу генерации пара и вещества и относятся к прямым механизмам наращивания пленок.

Непрямое наращивание происходит, когда атомы кремния образуются за счет разложения кремниевых соединений на поверхность нагретой подложки. Прямое наращивание происходит, когда атомы кремния непосредственно попадают на поверхность подложки и осаждаются на ней. Кремниевый источник нагревают электронным лучом. Электроны бомбардируют источник, в результате формируется пучок атомов кремния плотностью $5 \cdot 10^{16}$ ат/см²·с. Подложка нагревается до 400–800 °С. На ней осаждаются атомы кремния, двигаясь по поверхности, занимают положения, соответствующие кристаллической структуре подложки. То есть эпитаксиальное наращивание состоит в образовании центров кристаллизации и последовательном формировании двумерной решетки из островков, растущих вдоль поверхности. Результирующая скорость роста определяется самым медленным процессом в такой последовательности:

1. Из турбулентного потока атомы кремния проникают путем диффузии в поверхность подложки из кремния.
2. Адсорбция атомов и молекул кремния с поверхностью.
3. Процесс реакции на поверхности.
4. Десорбция продуктов реакции.
5. Упорядочение адсорбированных атомов кремния в решетке.

Энергия активации процесса 5 эВ и соответствует энергии активации самодиффузии кремния. Этот метод позволяет получить сравнительно большие скорости роста пленок при их хорошем качестве и электрофизических характеристиках.

Методы МЛЭ позволяют совместить наращивание пленки с контролем во время роста структуры и чистоты ее поверхности Оже-спектроскопией, а также контроль состава газовой среды масс-спектрометром.

Методы МЛЭ с помощью масок позволяют выращивать на поверхности локальные структуры. Маска в виде пленки толщиной 10–100 нм с окнами в требуемых местах может быть напылена непосредственно на подложку. Материалами напыляемой маски могут быть оксиды и нитриды кремния. В другом варианте для выращивания трехмерных структур используются теневые маски. Механические теневые маски изготавливают из тугоплавких металлов W, Ta, Mo или из тонких пластин Si. Самосовмещенные теневые маски представляют собой избирательно вытравленные канавки на подложках.

Уникальным свойством МЛЭ является возможность выращивания сверхрешеток полупроводниковых гетероструктур с резкими границами, гладкими на атомном уровне.

Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения Катодное распыление

Катодное распыление основано на том, что поток положительно заряженных ионов газа, например аргона, получивших энергию от сотен электронов вольт до единиц килоэлектронвольт, направляют на мишень, выполненную из распыляемого вещества.

Ионной бомбардировкой из мишени выбиваются частицы вещества, которые оседают на подложке в виде тонкой пленки. Процесс происходит при давлении от 1 до 100 Па.

В зависимости от способов ионизации газа, т. е. создания плазмы и распыления мишени, ионные источники подразделяют на диодные, триодные и магнетронные.

Процесс нанесения тонких пленок диодной системой распыления заключается в использовании явления разрушения катода в результате его бомбардировки ионизированными молекулами разряженного газа. Осаждение вещества происходит на подложку, располагаемую на аноде. Если распыляемая мишень металлическая, распыление ведется на постоянном токе, а если диэлектрическая, при переменном. Во втором случае при отрицательной полярности мишень распыляется, а при положительной – с нее снимается накопленный отрицательный заряд.

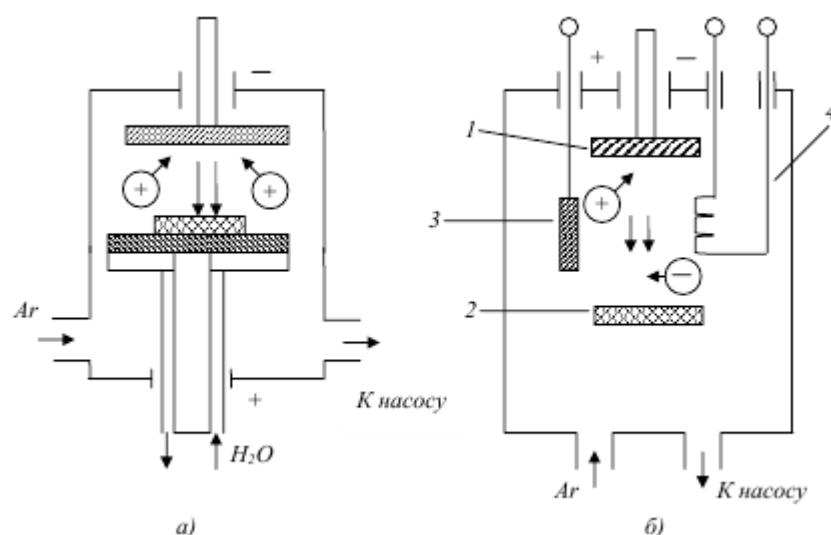


Рис. 4.20. Ионные источники испарения: а – диодный, б – триодный; 1 – катод-мишень, 2 – подложка, 3 – анод, 4 – термокатод

Диодные системы (рис. 4.20 а) состоят из катода – мишени 1, анода 3 и подложки 2, размещенных в рабочей камере, в которой первоначально создается вакуум 0,0001–0,00001 Па, затем в камеру напускается инертный газ до давления 1,3–13 Па. При подаче на электроды напряжения 1–5 кВ электроны с катода-мишени устремляются в сторону анода, ионизируя инертный газ, в результате чего возникает нормальный тлеющий заряд и образуется плазма. Положительные ионы плазмы, ускоряясь, устремляются к катоду-мишени, бомбардируют и распыляют ее.

Разновидностью диодной системы распыления являются магнетронные источники, используемые для распыления металлов, полупроводников и диэлектриков. Разряд в них возникает в скрещенных электромагнитных полях, в результате чего достигаются высокие скорости осаждения – до 2 мкм/мин.

На рис.4.12 приведена схема вакуумной установки для нанесения пленок магнетронным распылением.

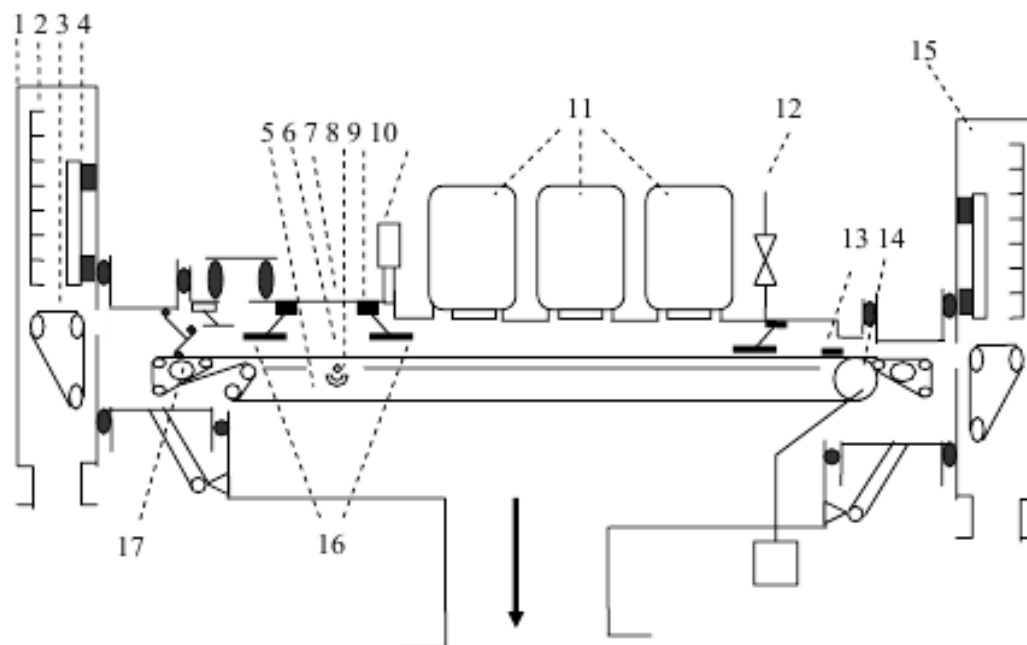


Рис. 4. 21. Вакуумная установка непрерывного действия для напыления пленок магнетронным распылением: 1, 15 – шлюзовые камеры; 2 – кассета; 3 – устройство подачи пластин; 4 – затвор; 5 – рабочая камера; 6 – конвейер; 7 – фланец устройства предварительной ионной очистки пластин; 8 – нагреватель; 9 – диафрагма; 10, 17 – датчики; 11 – магнетронный распылитель; 12 – натекабель; 13 – стол охлаждения пластин; 14 – привод; 16 – щелевые каналы

В разрядном промежутке одновременно с электрическим действует магнитное поле, что позволяет без увеличения концентрации электронов повысить плотность плазмы. На электроны, эмитированные автоэмиссионным катодом-мишенью (3) и движущиеся к кольцевому аноду (2) в приложенном между ними электрическом поле, действует магнитное поле H , направленное перпендикулярно электрическому.

При перекрещивании полей путь движения электронов удлиняется, что повышает вероятность их столкновения с молекулами рабочего газа. В результате при давлении $0,1\text{--}0,01$ Па создается высокая концентрация ионов газа, которые движутся к катоду-мишени, бомбардируя ее и распыляя с большой интенсивностью. Поток (1) распыляемого вещества устремляется к подложке и осаждается на ней в виде пленки.

Достоинством магнетронных систем, используемых для распыления металлов, полупроводников и диэлектриков, являются:

- низкое давление, позволяющее уменьшить количество газовых включений в осаждаемой пленке,
- высокая скорость нанесения пленки,
- надежность и стабильность параметров напылительной системы,
- широкий диапазон толщин пленок при их высокой адгезии и однородности.

Ионно-плазменное распыление

В триодных источниках, называемых также ионно-плазменными, третий электрод выполняет функции термоэмиссионного катода, увеличивая концентрацию электронов, а, следовательно, и ионизированных атомов рабочего газа (аргона). Схема установки для ионно-плазменного нанесения пленок приведена на рис. 4.22.

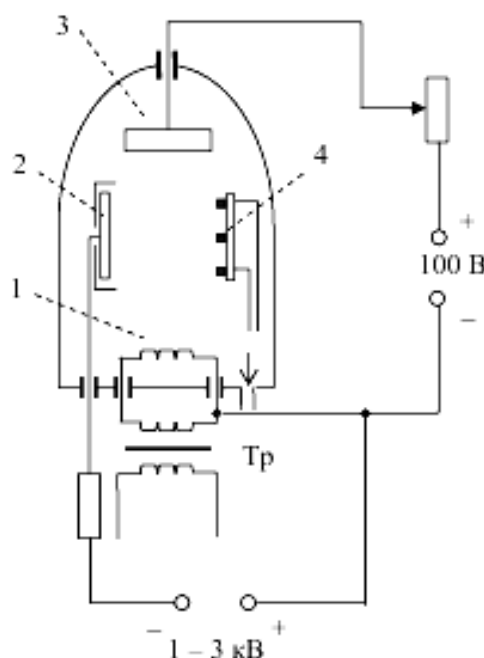


Рис. 4.22. Схема установки ионно-плазменного напыления пленок: 1 – термоэмиссионный катод; 2 – мишень; 3 – анод; 4 – подложка

Термоэмиссионный катод 1 является источником электронов. Рабочий газ непрерывно подается в рабочую камеру через натекаль и откачивается вакуумной системой до давления $0,1\text{--}0,01$ Па, что обеспечивает достаточно чистые условия по сравнению с диодной системой нанесения пленок. Напряжение между катодом и анодом (3) примерно 100 В. При этом возникает низковольтный дуговой разряд между катодом и анодом.

Медленные ионы, образующиеся в разряде, очищают мишень (2) и подложку (4) от загрязнения перед началом распыления. Для этого на них подается небольшой отрицательный потенциал по отношению к потенциалу анода.

Распыление начинается после того, как на мишень подается высокое отрицательное напряжение – примерно $1\text{--}3$ кВ, вытягивающее ионы из плазмы дугового разряда между катодом и анодом. Распылившийся материал мишени попадает на подложку, снабженную системой нагрева и охлаждения.

Особенностью ионно-плазменного распыления является безынерционность, возможность ионной очистки поверхностей мишени и подложки без встраивания специальной системы электродов.

Получение гидрогенизированного аморфного кремния

Пленки гидрогенизированного аморфного кремния получают разложением силана SiH_4 в плазме тлеющего разряда. Подложки, на которые наносятся пленки гидрогенизированного аморфного кремния, размещают в рабочей камере и пропускают через нее со скоростью от 0,1 до 30 $\text{см}^2/\text{мин}$ смесь из газообразного силана с водородом, возбуждая и поддерживая с помощью электромагнитного поля тлеющий разряд. Разложение молекул силана на атомы водорода и кремния, которые осаждаются на подложки, происходит в плазме тлеющего разряда. В зависимости от способа возбуждения тлеющего разряда различают несколько типов установок нанесения пленок аморфного кремния. Безэлектродные высокочастотные системы возбуждения и поддержания тлеющего разряда с помощью индуктора, расположенного снаружи рабочей камеры, обычно работают при частоте напряжения питания индуктора в диапазоне от 0,5 до 13,5 МГц (давление силана от 10 до 270 Па) и обеспечивают скорость нанесения пленок 10–100 нм/мин. Недостаток – неоднородность нанесения пленок $\alpha\text{-Si:H}$, связанная с огромными размерами рабочей камеры.

В двухэлектродной емкостной системе этот недостаток устраняется. В такой системе два плоскопараллельных электрода размещены внутри рабочей камеры. Для возбуждения и поддержания тлеющего разряда на электроды подается напряжение частотой 13,5 МГц. Давление силана составляет 0,7–30 Па. Скорость нанесения пленок 50 нм/мин. Кроме индуктивных и емкостных систем применяют системы, в которых тлеющий разряд создается постоянным напряжением, прикладываемым между анодом и подложкодержателем – катодом. Скорость нанесения пленок уменьшается в 10 раз. Для управления процессом разложения силана и, стало быть, свойствами получаемых пленок в области плазмы дополнительно создают электрические и магнитные поля. Легируют пленки добавлением к силану фосфина (PH_3) или диборана (B_2H_6). Электрические, оптические и фотоэлектрические свойства пленок зависят от температуры.

Плазмохимическое осаждение

При плазмохимическом осаждении (ПХО) процесс разложения кремнийсодержащих соединений активизируется высокочастотным (ВЧ) разрядом, образующим в газовой среде при пониженном давлении низкотемпературную кислородную плазму. Плазма состоит из атомов, радикалов, молекул в разных степенях возбуждения, электронов и ионов. Плазмохимическое осаждение проводят при давлении в реакционной камере 66–660 Па и частоте ВЧ-разряда 13,56–40 МГц.

Механизм образования пленок при ПХО состоит из трех основных стадий: образования в зоне разряда радикалов и ионов, адсорбции их на поверхности пленки SiO_2 и перегруппировки адсорбированных атомов. Перегруппировка (миграция) адсорбированных поверхностью атомов и стабилизации их положения представляют важную стадию роста пленки.

Плазмохимическое осаждение проводят в установках, отличающихся конструкцией подколпачных устройств и систем ВЧ-возбуждения плазмы.

В установке на рис. 4.23 а реакционная камера представляет коаксиальную систему со штыревыми электродами. Подложкодержатель (3) с крышкой (1) выполнен в виде составной пирамиды из дюралюминия, на внутренней стороне которой крепятся пластины (7). Пирамида изолирована от системы ВЧ-возбуждения. Плазма зажигается между стержневыми электродами (2), включенными в сеть ВЧ-генератора. Газовую смесь подают на газораспределитель (4). Подколпачное устройство монтируется на сварной металлической плите (6). Колпак (5) из нержавеющей стали поднимается и опускается гидроприводом.

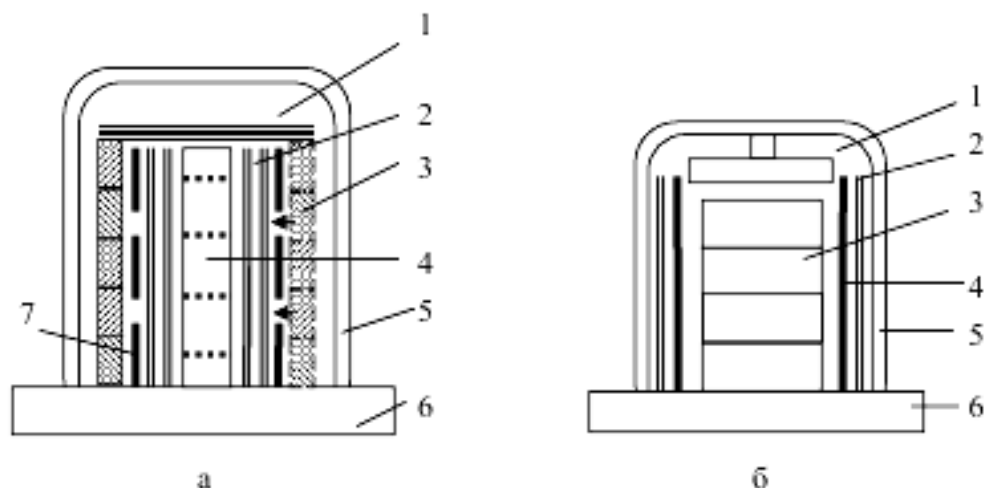


Рис. 4.23. Схема подколпачного устройства плазмохимических реакторов для осаждения SiO_2 установок УВП-2М (а) и УВП-4М (б): 1 – крышка; 2 – электроды; 3 – подложкодержатель; 4 – газораспределители; 5 – колпак; 6 – плитка; 7 – пластины

В установке (рис. 4.23. б) стержнеобразные электроды заменены коаксиальными (2), и плазма зажигается между ним и подложкодержателем (3). Скорость осаждения в этой установке почти в два раза выше и составляет (1) мкм/ч. Пленки имеют самый низкий уровень напряжений по сравнению с полученными термическими и пиролитическими методами осаждения.

Вакуумно-плазменное технологическое оборудование

Для современного вакуумного технологического оборудования характерен кластерный характер технологических комплексов. А именно, отдельные установки, реализующие тот или иной способ нанесения пленок вакуумным напылением, травления и т.д. объединяются через систему шлюзовых камер и роботов манипуляторов в единый технологический кластер. Что можно проиллюстрировать на следующем технологическом оборудовании см. рис. 4.24.а,б,в.



а



б

Рис. 4.24.

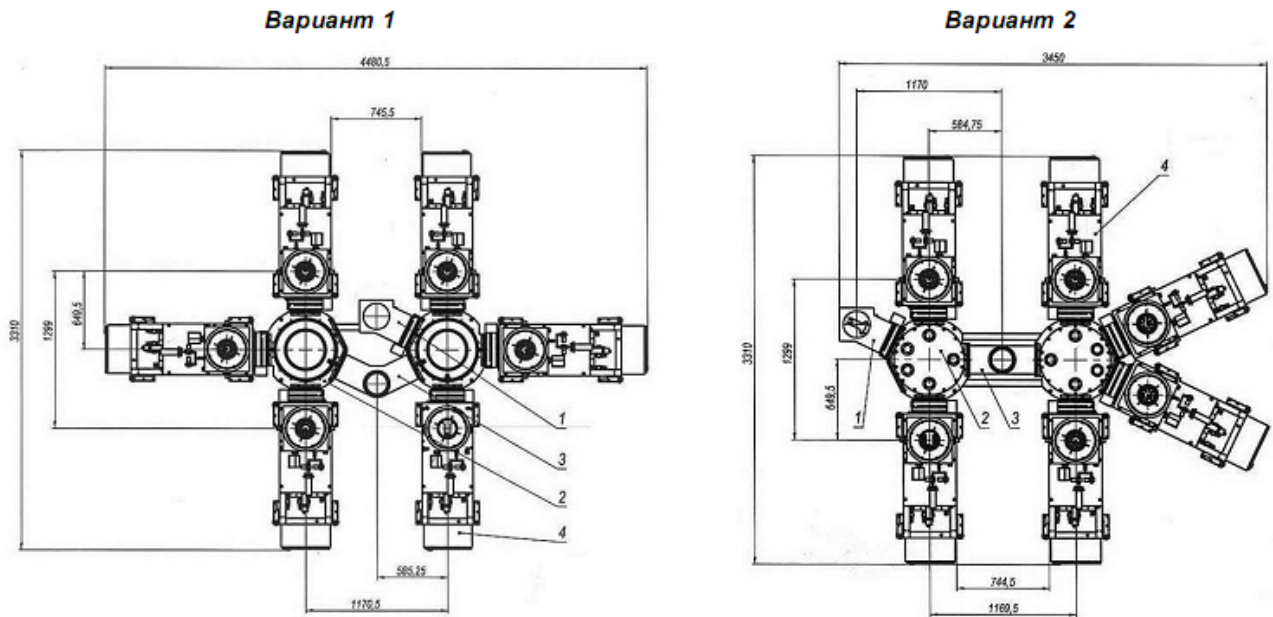


Рис. 4.25. Миникластеры а - мини-кластер из двух установок; б - мини-кластер из трех установок; в - 6-ти позиционные кластеры вакуумных технологических установок.

1- модуль «Шлюз». 2 - Модуль «Радиальный распределительный центр (РРЦ)».

3 - Модуль «Переходник». 4 - Модули технологических установок

Для перемещения обрабатываемой пластины из одной установки в другую используется модуль «Радиальный распределительный центр (РРЦ)»(см. рис. 4.26.)



Рис. 4.26. Модуль «Радиальный распределительный центр (РРЦ)».

**Комплект технологического оборудования индивидуальной
обработки подложек (пластин) со шлюзовой загрузкой**



Рис. 4.26.

Специализация установок по техпроцессам:

- "Магна ТМ-200" – Нанесение многослойных или многокомпонентных металлических и диэлектрических слоёв, в том числе для формирования наноструктурированных каталитических слоёв.
- "Плазма ТМ-200" – Плазмохимическое и реактивно-ионное травление проводящих и диэлектрических материалов, в том числе для формирования наноструктур и микроэлектронных механических систем (МЭМС)
- "Изофаз ТМ-200" – Осаждение проводящих и диэлектрических материалов в вакуумном реакторе из газовой фазы с плазменной активацией в ВЧ, СВЧ плазме, в том числе для формирования алмазоподобных плёночных структур и углеродных нанотрубок

Назначение: разработка, исследование и реализация технологических процессов в микро-, нано-, радиоэлектронике.

Общие особенности установок:

- Индивидуальная обработка подложек до $\varnothing$ 200 мм (150x150мм).
- Безмасляная система откачки на базе турбомолекулярного и форвакуумных насосов.
- Микропроцессорная система управления.
- Возможность встраивания в "чистую комнату".
- Возможность объединения в кластерный комплекс из 2-х или 3-х установок (стыковка установок через шлюзовую камеру загрузки-выгрузки подложки).

Вакуумная установка магнетронного нанесения металлических и диэлектрических слоёв "Магна ТМ-200"

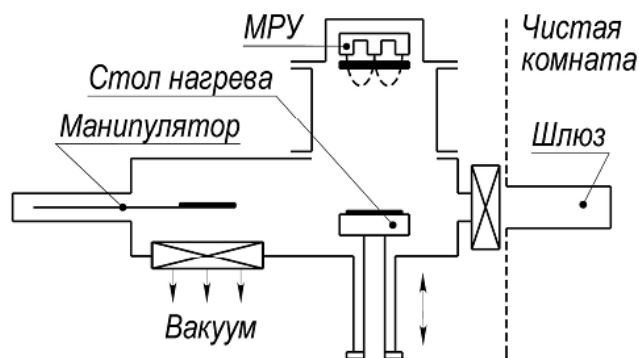


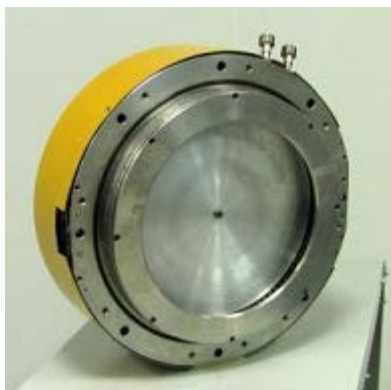
Схема установки

Рис. 4.27.

- Нанесение многослойных или многокомпонентных металлических и диэлектрических слоёв,
- Скорость нанесения:
 - металлических слоёв – до 0,5 мкм/мин;
 - диэлектрических слоёв – до 0,2 мкм/мин.
- Неравномерность слоёв по толщине – $\pm 3\%$.
- ВЧ-очистку подложек перед нанесением слоёв.



Мультикатодные магнетроны



Планарный магнетрон

Рис. 4.28.

Вакуумная установка плазмохимического травления наноструктур "Плазма ТМ-200"

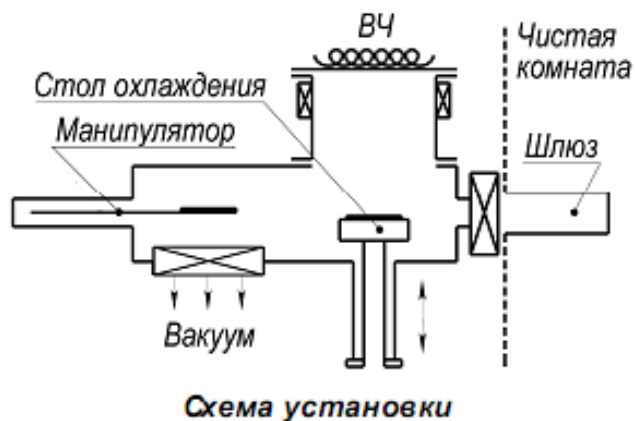


Рис. 4.29.

Система гелиевого охлаждения подложек на рабочем столе с источником напряжения смещения на подложку;

- Неравномерность травления $\pm 2\%$.
- Скорость анизотропного травления:
 - кремния – (1-3) мкм/мин;
 - двуокиси кремния, кварца, стекла "пирекс" – (0,5–1) мкм/мин.
- Аспектное соотношение - 1/10 – 1/30.



Рис. 4.30.

Вакуумная установка плазмохимического осаждения плёнок из газовой фазы "Изофаз ТМ-200"

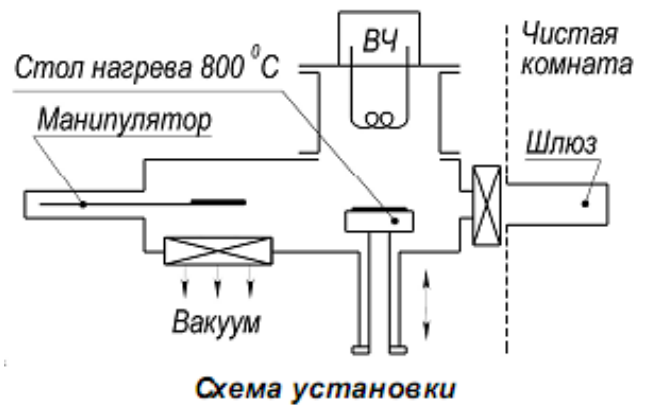


Рис. 4.31.

- Осаждение проводящих и диэлектрических материалов (SiO_2 , Si_3N_4 , Si , SiC) в вакуумном реакторе из газовой фазы с плазменной активацией в ВЧ, СВЧ плазме.
- Рабочий стол с нагревателем до 1000°C и источником напряжения смещения на подложку;
- Многоканальная газовая система;
- Безмасляная система откачки на базе химически стойких турбомолекулярных (или криогенных) и форвакуумных насосов.



Рис. 4.32.

Габаритный чертёж установки "Плазма ТМ-200-01"

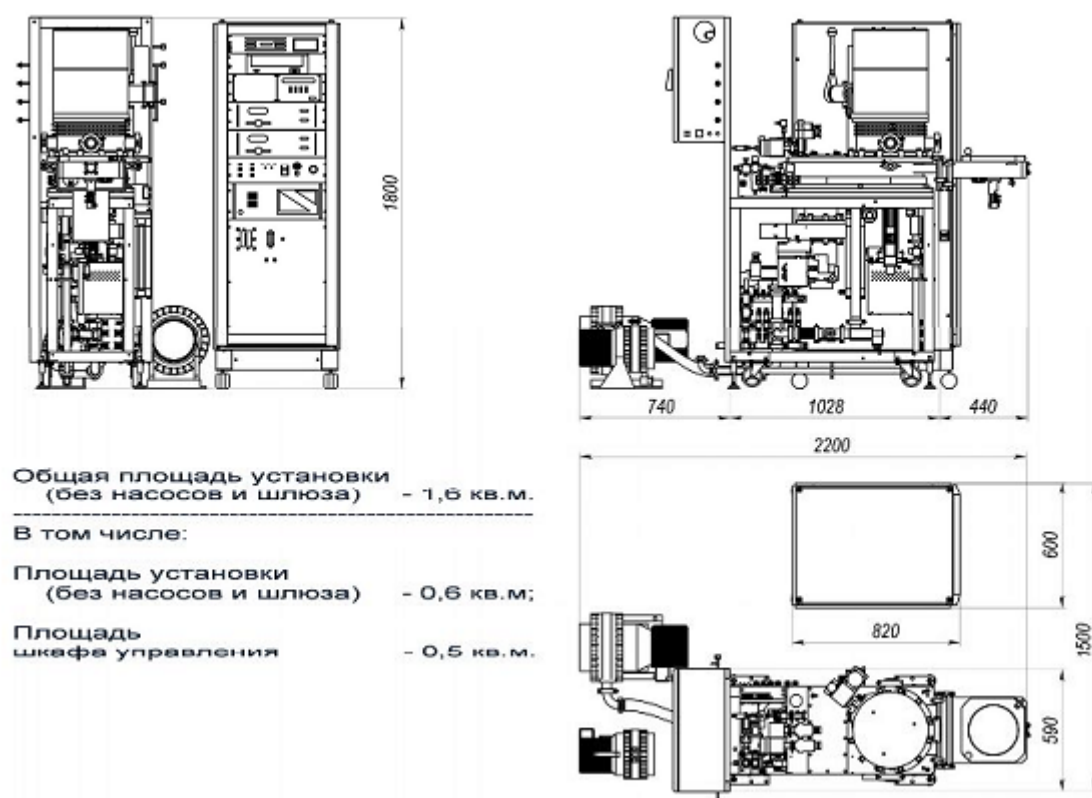


Рис. 4.33.

Гибридные двухразрядные плазменные системы для обработки пластин большого диаметра (450 мм)

Реакционная камера с гибридной двухразрядной плазменной системой для установок газофазного осаждения и плазмохимического травления пластин большого диаметра (450 мм)

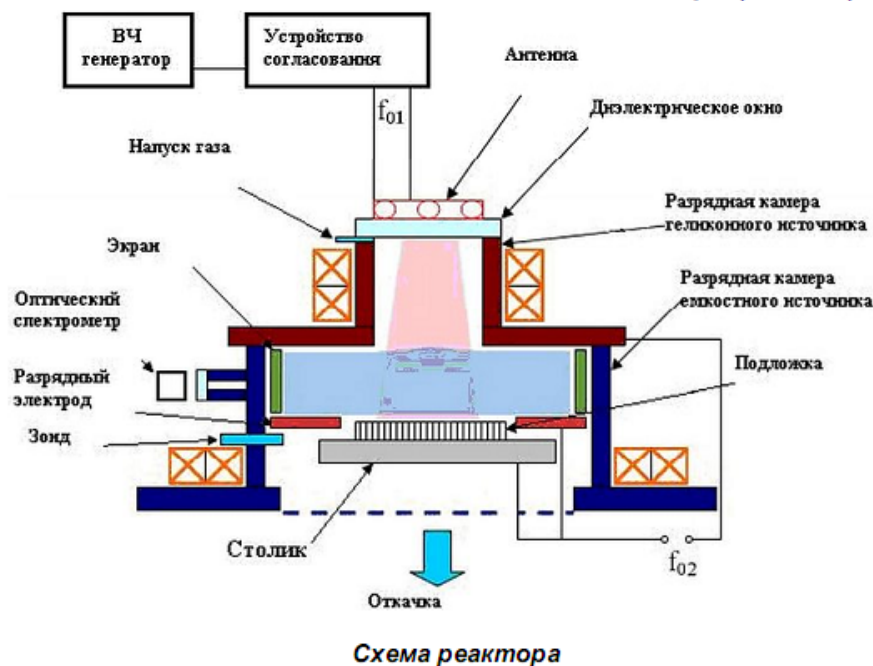


Рис. 4.34.

Технологические процессы:

- селективное плазмохимическое травление (геликоновый источник плазмы);
- прецизионное анизотропное плазмохимическое травление (магнетронный источник плазмы).

Реакционная камера с гибридной двухразрядной ионно-плазменной системой для формирования пленок и покрытий на пластинах большого диаметра (450 мм)

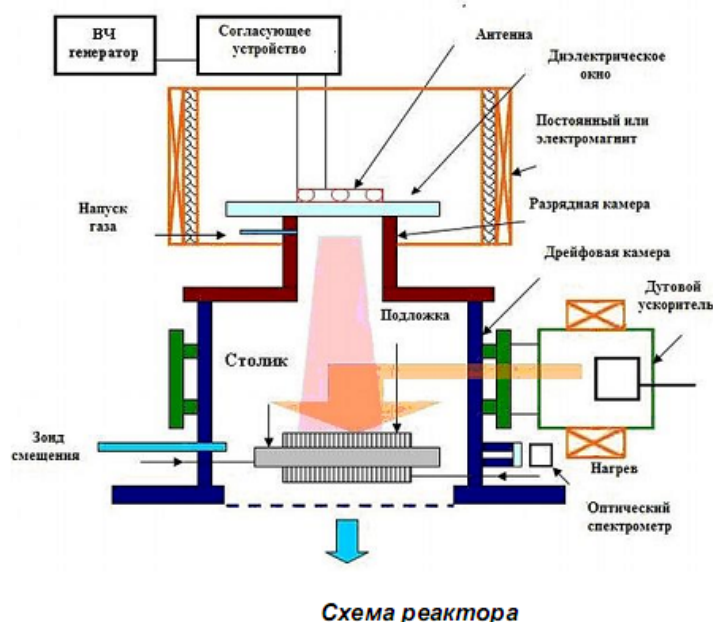


Рис. 4.35.

Технологические процессы:

- нанесение металлических, диэлектрических и других покрытий с рабочей температурой до 180°C (плазменно-дуговой ускоритель);
- очистка обрабатываемой поверхности в процессе нанесения покрытий (геликоновый источник плазмы).

Промышленное технологическое оборудование групповой обработки пластин

Четырёхпозиционная вакуумная установка с магнетронными распылительными системами “Магна ТМ-5”

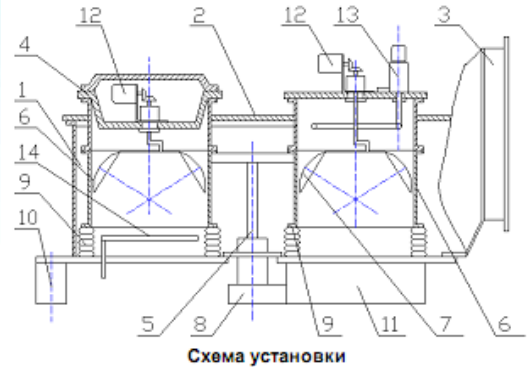


Рис. 4.36.

1. Рабочая камера.
2. Крышка рабочей камеры.
3. Фланец высоковакуумного затвора.
4. Крышка шлюза.
5. Карусель.
6. Камеры на карусели.
7. Держатель пластин.
8. Привод карусели.
9. Сильфоны.
10. Привод затвора шлюза.
11. Привод уплотнения камер магнетронов.
12. Приводы вращения держателей пластин.
13. Регулятор подачи рабочего газа.
14. Нагреватель пласти



Рис. 4.37.

Распыления “Магна ТМ-29”

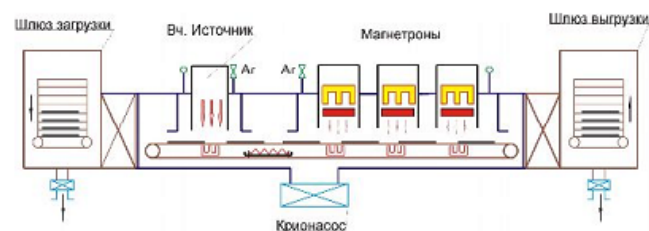


Схема установки

Рис. 4.38.

Кроме того современное производство и наука требуют вакуумных технологических установок с сочетанием нескольких устройств реализующих те или иные плазменные процессы травления, напыления, отжига и т.д. в одной рабочей камере. Этим требованиям отвечают установки серии МВУ (см. рис. 4.39.).



Рис. 4.39. Комплект малогабаритных вакуумных установок настольного типа “МВУ ТМ”

Специализация установок по техпроцессам: нанесение металлов и диэлектриков методом магнетронного распыления (МВУ ТМ-Магна); напыление плёнок металлов методом термического испарения (МВУ ТМ-ТИС); плазмохимическое газофазное осаждение плёнок с диодной системой (МВУ ТМ-Изофаз CVD); плазмохимическое газофазное осаждение плёнок с ICP источником плазмы (МВУ ТМ-Изофаз CVD ICP); травление слоёв и материалов методом реактивно-ионной обработки (МВУ ТМ-Плазма РИТ); плазмохимическое травление слоёв и материалов в плазме диодного разряда (МВУ ТМ-Плазма ПХТ); (МВУ ТМ-Плазма ПХТ ICP) плазменное травление слоёв и материалов с ICP источником плазмы (МВУ ТМ-Плазма ПХТ ICP); термический отжиг и сушка слоёв и материалов (МВУ ТМ-Отжиг). Во всех установках используются: автоматизированное управление от персонального компьютера, безмасляная вакуумная система откачки, автономная система водяного охлаждения.

Схема рабочей камеры и входящих в нее устройств установки “МВУ ТМ-Магна” представлена на рис 4.40.

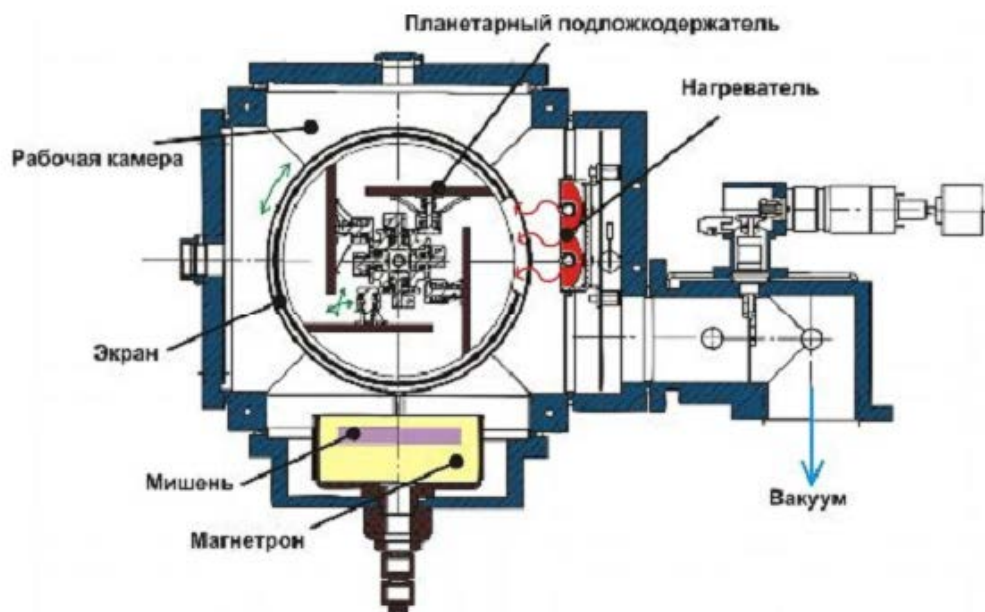
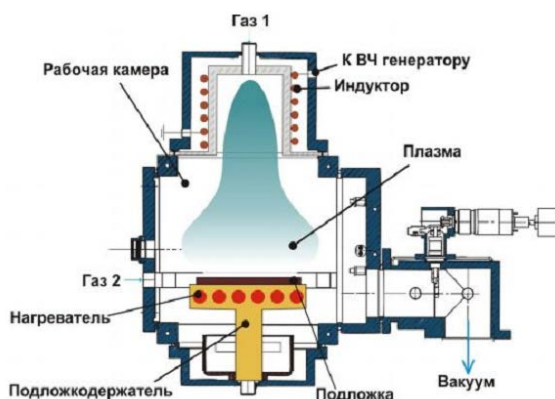
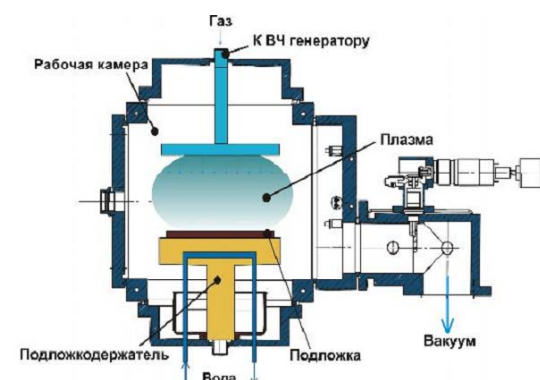
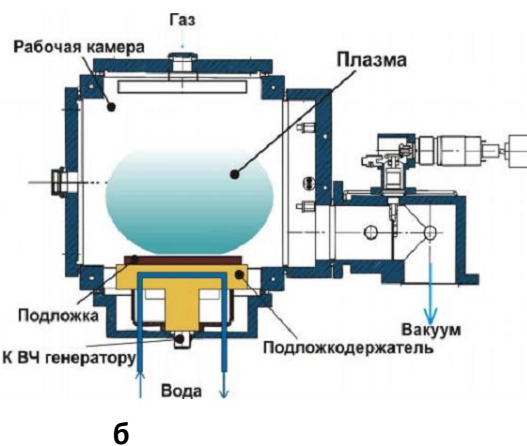
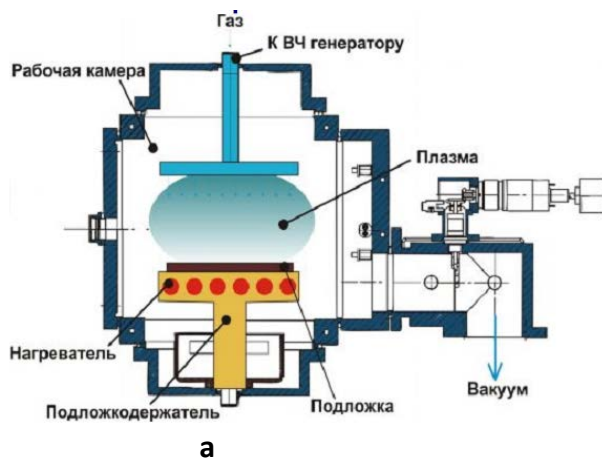


Рис 4.40. Малогабаритная вакуумная установка магнетронного напыления

На данной установке реализовано нанесение плёнок металлов (Al, Ni, Fe, W, др.) и диэлектриков (SiO_2 , Si_3N_4 , др.) методом магнетронного распыления. Магнетрон с дисковой мишенью из соответствующего материала служит источником молекул напыляемых на поверхность пластины, расположенной на планетарном подложкодержателе. Пластины могут устанавливаться следующих размеров: 2 шт. – $\varnothing 150$ мм; 4 шт. – $\varnothing 76$ мм, $\varnothing 100$ мм; 8 шт. – $\varnothing 60$ мм, 60×48 мм. В комплекте установки предусмотрены нагрев и ионная очистка пластин.

Рабочая камера в установках среии MBY универсальна и позволяет устанавливать несколько магнетронов, термический испаритель или источники ВЧ плазмы (диодного типа или ISP) (см. рис 4.41а,б,в,г и рис 4.42).



В Г
Рис 4.41. Рабочая камера с ВЧ источником а,б,в - диодного типа; г- ISP

На всех установках предусмотрены системы: измерения ВЧ смещения на электроде (подложкодержателе) в диапазоне от 0 до 1000 В; регулирования и автоматического поддержания уровня ВЧ мощности в диапазоне 30-200 Вт, охлаждаемый подложкодержатель (при необходимости).

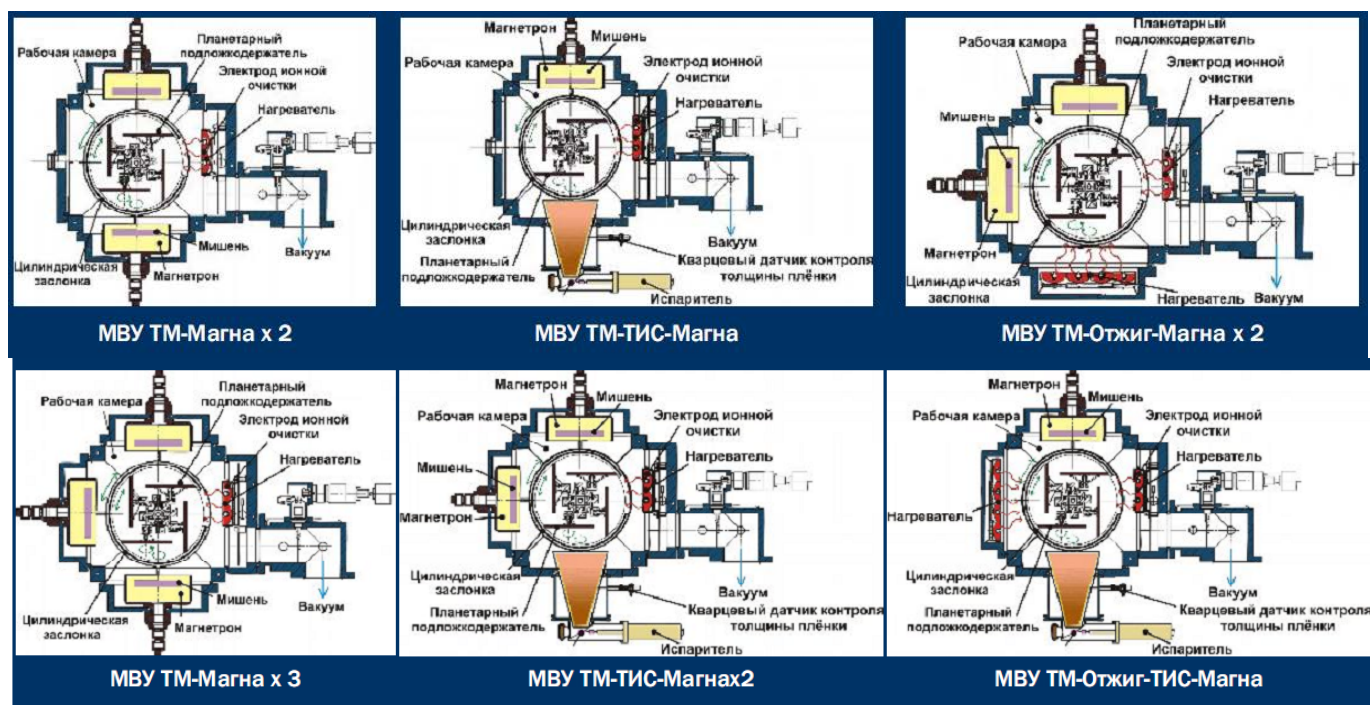


Рис. 4.42. Схемы модификаций реакторов МВУ с планетарным подложкодержателем для 2-х или 3-х технологических процессов

Источники плазмы ВЧ и СВЧ разрядов

Для вакуумных технологических установок представленных на рис. 4.24-4.42 характерно применение современных источников низкотемпературной плазмы магнетронного ВЧ и СВЧ разрядов.

В самом простом случае для возбуждения и поддержания тлеющего разряда постоянного тока необходимо, чтобы два проводящих (металлических) электрода находились в непосредственном контакте с зоной плазмы. С технологической точки зрения такая конструкция плазмохимического реактора является не всегда удобной. Во-первых, при проведении процессов плазменного нанесения диэлектрических покрытий непроводящая пленка может также образовываться и на электродах. Это приведет к увеличению нестабильности разряда и в конечном итоге к его затуханию. Во-вторых, в реакторах с внутренними электродами всегда существует проблема загрязнений целевого процесса материалами, удаляемыми с поверхности электрода в ходе физического распыления или химических реакций с частицами плазмы. Избежать этих проблем, в том числе и полностью отказаться от использования внутренних электродов, позволяет использование периодических разрядов, возбуждаемых не постоянным, а переменным электрическим полем.

Основные эффекты, имеющие место в периодических разрядах, определяются соотношениями между характерными частотами плазменных процессов и частотой приложенного поля. Целесообразно рассмотреть три характерных случая:

- Низкие частоты. При частотах внешнего поля до $10^2 - 10^3$ Гц ситуация близка к реализуемой в постоянном электрическом поле.

Однако если характерная частота гибели зарядов νd меньше частоты поля ω ($\nu d \geq \omega$), заряды после изменения знака поля успевают исчезнуть раньше, чем величина поля достигнет значения достаточного для поддержания разряда. Тогда разряд будет дважды гаснуть и поджигаться за период изменения поля. Напряжение повторного зажигания разряда должно зависеть от частоты. Чем выше частота, тем меньшая доля электронов успеет исчезнуть за время существования поля, недостаточного для поддержания разряда, тем ниже потенциал повторного зажигания. На низких частотах после пробоя соотношение между током и напряжением горения отвечает статической вольтамперной характеристике разряда (рис. 4.43, кривая 1). Параметры разряда “отслеживают” изменения напряжения.

- Промежуточные частоты. При увеличении частоты, когда характерные частоты плазменных процессов соизмеримы и несколько меньше частоты поля ($\nu d \leq \omega$), состояние разряда не успевает “следить” за изменением питающего напряжения. В динамической ВАХ разряда появляется гистерезис (рис. 4.43, кривая 2).

- Высокие частоты. При выполнении условия $\nu d \ll \omega$ за полупериод состояние разряда не успевает измениться, при этом концентрация электронов также практически не меняется. Динамическая ВАХ становится линейной (рис. 4.43, кривая 3). Если к тому же расстояние, проходимое электронами в направлении поля, много меньше расстояния между электродами, то последние уже не играют роли в поддержании разряда.

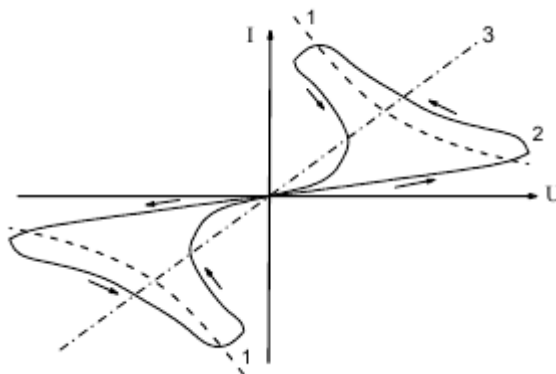


Рис. 4.43. Вольтамперные характеристики периодических разрядов:
1 – статическая ВАХ, 2 – ВАХ в переходной области частот,
3 – установившаяся динамическая ВАХ

Реально используемый для возбуждения плазмы диапазон частот не слишком велик. Это связано с тем, что работающие установки могут создавать помехи радиосвязи. Международными договоренностями выделены несколько частот для промышленных установок.

Наиболее употребительными являются частоты 13.56 МГц и 2450 МГц. Первая частота относится к области частот, называемых высокими (ВЧ разряд), а вторая – к области сверхвысоких частот (СВЧ разряд).

Для ВЧ разрядов существуют разные способы их возбуждения, которые делят по признаку того, замыкаются ли силовые линии электрического поля в плазме или нет. К первой группе относятся индукционные разряды (рис. 4.44,а), где разряд возбуждается путем подачи переменного тока в соленоид, внутри которого расположен реактор из диэлектрического материала. Силовые линии электрического поля представляют собой окружности концентрические с витками соленоида, а магнитное поле направлено вдоль оси соленоида. Такой разряд называют разрядом Н-типа. Ко второй группе относятся разряды, в которых переменное напряжение подается на электроды, которые могут находиться в непосредственном контакте с плазмой (рис. 4.44,с), либо быть изолированными от нее (рис. 4.44,б). Такая система возбуждения по отношению к переменному напряжению аналогична конденсатору. Поэтому такие типы разрядов называются емкостными или разрядами Е-типа.

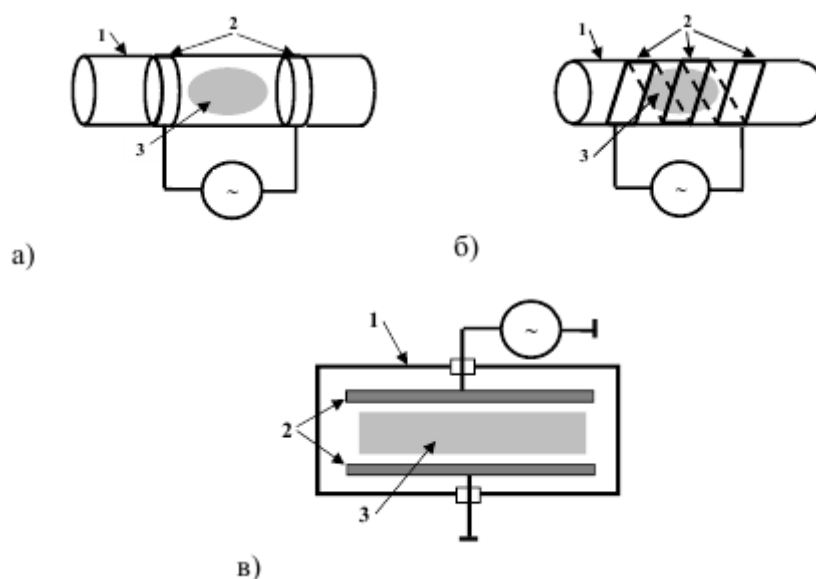


Рис. 4.44. Способы возбуждения ВЧ разряда: а-емкостное возбуждение с внешними электродами; б - индукционное возбуждение с внешними электродами; в) - емкостное возбуждение с внутренними электродами. Обозначения: 1 - корпус реактора, 2 – электроды, 3 – плазма

В СВЧ диапазоне ($\omega > 10^9$ Гц), учитывая специфику распространения электромагнитных волн, для возбуждения разрядов используются те или иные виды колебательных контуров, которые называются резонаторами. Резонатором может быть отрезок прямоугольного волновода, перпендикулярно широким стенкам которого вставлен реактор из материала, имеющего низкие диэлектрические потери на частоте возбуждения (рис. 4.45,а), бывают также резонаторы цилиндрической формы (рис. 4.45,б). По существу, цилиндрическим резонатором может быть и сам реактор, как это изображено на рис. 4.45,в.

Здесь энергия в реактор поступает из прямоугольного волновода, отделенного от реактора вакуумноплотным окном из специального диэлектрика. Для обеспечения поддержания разряда при низких давлениях резонатор помещается в магнитное поле, создаваемое соленоидом.

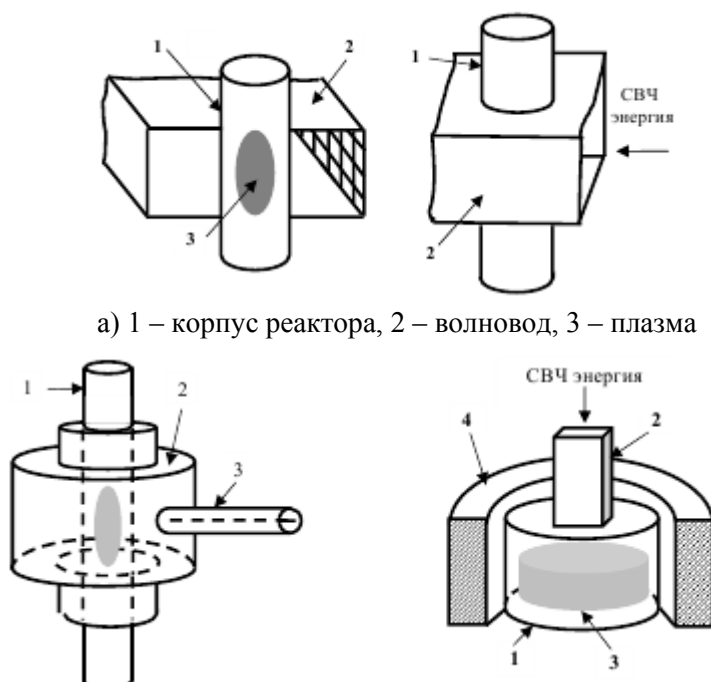


Рис. 4.45. Способы возбуждения СВЧ разряда
б) 1 – корпус реактора, 2 – резонатор, 3 – ввод СВЧ энергии (антенна).

в) 1 – корпус реактора, 2 – волновод, 3 – плазма, 4 - соленоид.

Лекция 4.12

4.2. Технологические процессы и оборудование литографии

Литографией называется совокупность фото- и физико-химических процессов, используемых для послойного формирования топологического рисунка. Более просто – это процесс формирования рисунка. Процессы литографии основаны на использовании высокомолекулярных соединений, называемых резистами, и обладающих способностью изменять свои свойства под действием различного рода излучений. Основными методами литографии являются: фото – (оптическая) литография, рентгенолитография, электролитография и ионолитография. Наиболее широкое применение получила контактная и проекционная фотолитография, с помощью которой в пленочных слоях или непосредственно на подложках создают по заданным рисункам высокоточные рельефы будущего полупроводникового прибора или ИС. Рельефы могут быть сформированы в диэлектрических (Si_2 , Si_3N_4), металлических (Al, Cu, Au, Ni), или полупроводниковых (Si, Ge) слоях.

Литографический цикл состоит из 4-х этапов:

1. Формирования фотослоя – нанесение и сушка резиста (фоторезиста).
2. Формирование фотомаски, включающее следующие процессы – совмещения и экспонирования, проявления и удаления фотослоя.
3. Формирование рисунка в оксиде и металле, состоящее в травлении оксида или металла.
4. Удаление используемой маски.

Фотолитография

Процессы легирования, а также наращивания слоёв различных материалов призваны сформировать вертикальную физическую структуру ИМС. Необходимые форма и размеры элементов и областей в каждом слое структуры обеспечиваются процессом фотолитографии. Фотолитография - процесс избирательного травления поверхностного слоя с использованием защитной фотомаски.

На рис. 4.2.1. приведена укрупнённая структурная схема процесса фотолитографии. Отдельные этапы на схеме включают в себя несколько операций. Ниже в качестве примера приведено описание основных операций при избирательном травлении оксида кремния (SiO_2), которое используется многократно и имеет целью создание окон под избирательное легирование, а также контактных окон.

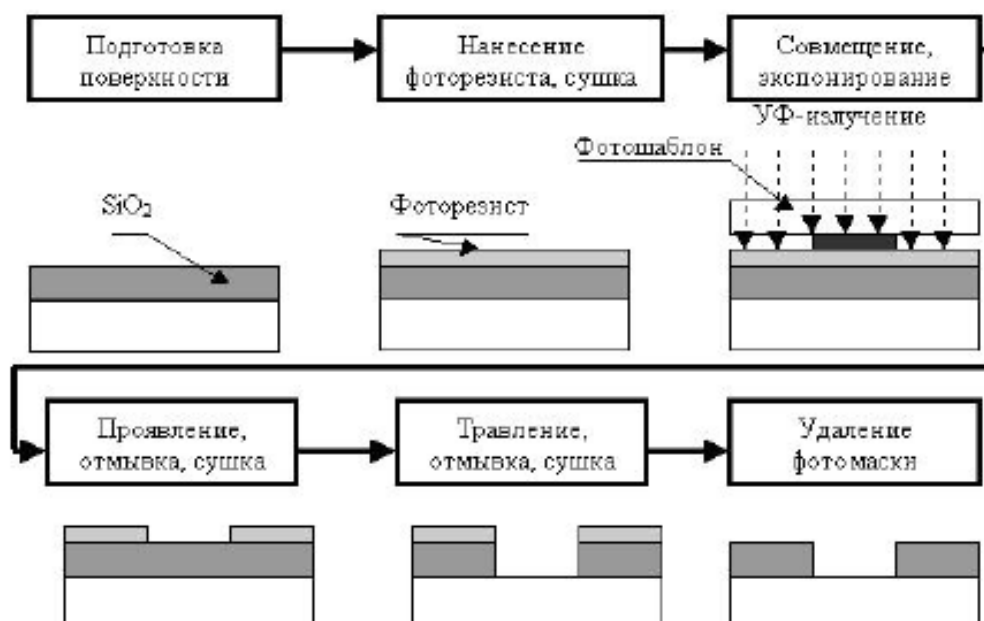


Рис. 4.2.1. Укрупнённая схема процесса фотолитографии

Подготовка поверхности

Сырьем для изготовления полупроводниковых пластин служит химически чистый кремний. Его получают из кварца, т.е. двуокиси кремния, путем восстановления с использованием углерода.

Подготовка поверхности к нанесению фотослоя заключается в её обработке парами органического растворителя для растворения жировых плёнок, которые препятствуют последующему сцеплению фоторезиста с поверхностью. Отмывка сверхчистой (деионизованной) водой удаляет следы растворителя; а также микрочастицы, способные впоследствии образовать "проколы" в тонком (≈ 1 мкм) слое фоторезиста.

Нанесение фотослоя

При нанесении фотослоя используется раствор светочувствительного полимера в органическом растворителе (фоторезист). Для получения тонких слоёв фоторезиста на поверхности пластины его вязкость должна быть очень мала, что достигается высоким содержанием растворителя (80-95 % по массе).

В свою очередь, с уменьшением толщины фотослоя повышается разрешающая способность фотолитографического процесса. Однако, при толщинах менее 0,5 мкм плотность дефектов ("проколов") в фотослое резко возрастает, и защитные свойства фотомаски снижаются.

Нанесение фотослоя может быть выполнено одним из двух способов: центрифугированием или распылением аэрозоля. В случае использования центрифуги дозированное количество фоторезиста подаётся в центр пластины, прижатой вакуумом к вращающейся платформе (центрифуге). Жидкий фоторезист растекается от центра к периферии, а центробежные силы равномерно распределяют его по поверхности пластины, сбрасывая излишки в специальный кожух. Толщина h нанесённой плёнки зависит от скорости вращения платформы w , от вязкости фоторезиста v и определяется соотношением:

$$h = k \sqrt{\frac{v}{w}} \quad (4.2.1)$$

где k - коэффициент, устанавливаемый экспериментально.

Скорость вращения центрифуги около 6000 об/мин, толщина фотослоя регулируются подбором соответствующей вязкости, т.е. содержанием растворителя.

Для центрифугирования характерны следующие недостатки:

- трудность получения относительно толстых (в несколько микрон) и равномерных плёнок из-за плохой растекаемости вязкого фоторезиста;
- напряжённое состояние нанесённой плёнки, что приводит на этапе проявления к релаксации участков фотомаски и изменению их размеров;
- наличие краевого утолщения как следствие повышения вязкости в процессе выравнивания, что ухудшает контакт фотошаблона с фотослоем;
- трудность организации одновременной обработки нескольких пластин.

При распылении аэрозоли фоторезист подаётся из форсунки на пластины, лежащие на столе, совершающем возвратно-поступательное движение. Необходимая толщина формируется постепенно. Отдельные мельчайшие частицы растекаются и, сливаясь, образуют сплошной слой. При следующем проходе частицы приходят на частично просохший слой, несколько растворяя его. Поэтому время обработки, которое зависит от вязкости, расхода и "факела" фоторезиста, от скорости движения стола и расстояния от форсунки до подложки, устанавливается экспериментально. При реверсировании стола крайние пластины получают большую дозу фоторезиста, чем центральные. Во избежание утолщения слоя на крайних пластинах форсунке также сообщается возвратно-поступательное вертикальное движение (синхронно с движением стола). При торможении стола в конце хода форсунка поднимается вверх и плотность потока частиц в плоскости пластин снижается.

Распыление аэрозоли лишено недостатков центрифугирования, допускает групповую обработку пластин, но предъявляет более жёсткие требования к чистоте (отсутствие пыли)

окружающей атмосферы. Нанесение фоторезиста и последующая сушка фотослоя являются весьма ответственными операциями, в значительной степени определяющими процент выхода годных микросхем.

Пылевидные частицы из окружающего воздуха могут проникать в наносимый слой и создавать микродефекты. Нанесение фотослоя должно выполняться в условиях отсутствия пыли в рабочих объёмах (боксах, скафандрах) 1 класса с соблюдением следующей нормы: в 1 литре воздуха должно содержаться не более четырёх частиц размером не более 0,5 мкм.

При сушке нанесённого слоя в слое могут сохраниться пузырьки растворителя, а при выходе на поверхность слоя они могут образовать микротрещины. Поэтому сушка выполняется с помощью источников инфракрасного излучения, для которого фоторезист является прозрачным, а, следовательно, поглощение излучения с выделением тепла происходит на границе "пластина - фоторезист". Следовательно, сушка протекает от нижних слоёв фоторезиста к верхним, обеспечивая свободное испарение растворителя. Во избежание преждевременной полимеризации фоторезиста и потери им чувствительности температура сушки должна быть умеренной ($\approx 100-120^{\circ}\text{C}$).

Совмещение и экспонирование

Под совмещением перед экспонированием понимается точная ориентация фотошаблона относительно пластины, при которой элементы очередного топологического слоя (на фотошаблоне) занимают положение относительно элементов предыдущего слоя (в пластине), предписанное разработчиком топологии. Например, фотошаблон, несущий рисунок эмиттерных областей должен быть точно ориентирован относительно пластины, в которой уже сформированы базовые области.

Схема совмещения фотошаблона с пластиной представлена на рисунке 4.2.2.

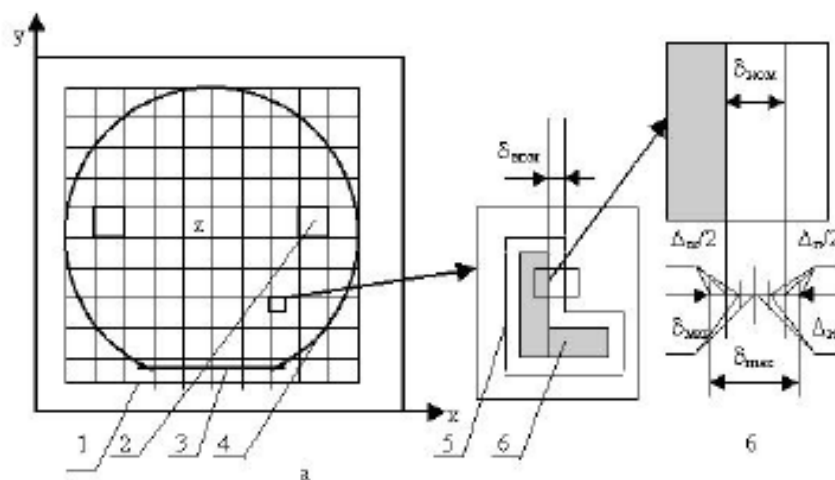


Рис. 4.2.2. Совмещение фотошаблона с пластиной: а - общая схема совмещения: 1 - групповой фотошаблон; 2 - модули для грубого совмещения; 3 - базовый срез на пластине для предварительной ориентации; 4 - групповая пластина; 5 - знак совмещения в модуле пластины; 6 - знак совмещения в модуле шаблона; б- схема для расчета номинального зазора между знаками совмещения

Процесс совмещения включает три этапа:

- предварительная ориентация по базовому срезу, обеспечивающую на границах модулей групповой пластины выгодную кристаллографическую плоскость с точки зрения качества разделения пластины на отдельные кристаллы;

- предварительное грубое совмещение по границам крайних модулей, имеющее целью исключить разворот пластины и фотошаблона относительно вертикальной оси Z;

- точное совмещение, исключающее смещение рисунков фотошаблона и пластины по осям X и Y.

Для точного совмещения используют специальные знаки совмещения с контролируемым зазором, которые входят в состав топологических рисунков соответствующих слоёв. Совмещение считается выполненным, если при введении одного знака внутрь другого по всему контуру просматривается зазор.

Номинальным зазором называется равномерный по всему контуру зазор, который образуется при номинальных (проектируемых) размерах знака введении одного знака внутрь другого по всему контуру просматривается зазор.

Номинальным зазором называется равномерный по всему контуру зазор, который образуется при номинальных (проектируемых) размерах знаков и их точном совмещении (центрировании). Из рис. 4.2.2б следует, что

$$\delta_{ном} = \delta_{min} + \Delta_u + \frac{\Delta_{ш} + \Delta_n}{2} \quad (4.2.2)$$

где $\delta_{min} = 200/G$ - предельное разрешение системы "глаз - микроскоп" (200мкм - линейное разрешение нормального глаза; G - кратность увеличения микроскопа); Δ_n - абсолютная предельная погрешность фиксации изображения на установке совмещения и экспонирования; $\Delta_{ш}$ и Δ_n - абсолютная предельная погрешность размера знака соответственно на шаблоне и пластине ($\Delta_{ш} < \Delta_n$).

Таким образом, в зависимости от фактических значений случайных погрешностей, реальный зазор может колебаться в пределах от δ_{max} до δ_{min} , а абсолютная предельная погрешность совмещения Δ_c для контролируемого модуля групповой пластины

$$\Delta_c = \delta_{max} - \delta_{min} = \Delta_n + \Delta_{ш} + \Delta_u \quad (4.2.3)$$

Для совокупности модулей в партии групповых пластин:

$$\Delta_c = \Delta_n + \Delta_{ш} + \Delta_u + \Delta_t + \Delta_{доб} \quad (4.2.4)$$

где Δ_t - абсолютная предельная погрешность шага расположения модулей на групповом фотошаблоне; $\Delta_{доб}$ - дополнительное расширение зазора, которое может предусматриваться для снижения зрительного напряжения оператора.

Погрешность совмещения учитывается при расчёте размеров областей каждого слоя. Обычно фотошаблон очередного слоя совмещается с предыдущим (по ходу технологического процесса) слоем, уже сформированном на пластине. В частности, слой контактных окон совмещается с эмиттерным слоем, а слой металлизации - со слоем контактных окон. Поскольку контактные окна и металлические контакты формируются одновременно для всех областей структуры, погрешность совмещения накапливается и для эмиттерных областей входит в размер величиной $4\Delta_c$, для базовых областей - $6\Delta_c$, для коллекторных - $8\Delta_c$. Поэтому совершенствование процессов литографии (уменьшение $\Delta_{ш}$ и Δ_n) и применяемого оборудования (Δ_n и Δ_t) является важной и постоянной задачей конструкторов и технологов.

После выполнения совмещения микроскоп отводится, а на его место подводится осветитель, жёстко связанный с микроскопом на каретке (или поворотной турели). Оператор включает осветитель одновременно с реле времени, которое контролирует время экспонирования.

Проявление

Проявление скрытого изображения для негативных фоторезистов заключается в обработке фотослоя органическим растворителем. При этом участки, не подвергшиеся облучению, растворяются, а облучённые участки, где при поглощении ультрафиолетового излучения происходит разрыв межатомных связей и перестройка структуры ф(отополимеризация), сохраняются.

В позитивных фоторезистах на участках, подвергшихся облучению, происходит разрушение структуры (деструкция) с образованием кислоты. Для перевода её в растворимые слои применяют раствор неорганического соединения со щелочными свойствами (KOH, NaOH и др).

После отмычки от следов проявителя и сушки полученную фотомаску подвергают тепловому задубливанию ($120\text{--}180^\circ\text{C}$ в зависимости от марки фоторезиста), в результате чего окончательно формируются её защитные свойства (рис. 4.2.3).

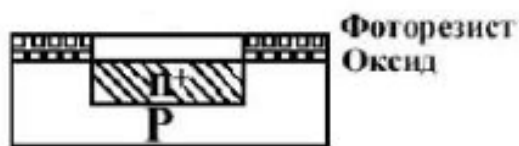


Рис. 4.2.3. Удаление засвеченного фоторезиста и находящегося под ним оксидного слоя

Травление

При травлении в жидких травителях используются водные растворы неорганических соединений (обычно кислот). Химический состав и концентрация травителя в растворе подбирается так, чтобы поверхностный слой растворялся активно, а нижележащий не растворялся. С травлением в жидких травителях связано не только явление подтравливания под фотомаску, но и разброс величины подтравливания в совокупности элементов одного слоя.

К моменту окончания растворения слоя в "окне" фотомаски боковое травление оказывается примерно равным толщине слоя (рис. 4.2.4), однако момент окончания травления зависит от размеров вытравливаемого элемента (окна в маске). В процессе травления имеют место отвод продуктов химической реакции. Оба процесса протекают благодаря взаимной диффузии, скорость которой и определяет скорость травления. В мелких элементах массообмен затруднён и скорость травления ниже, чем в крупных элементах. Поскольку технологическое время травления устанавливают по самому мелкому элементу, более крупные элементы получают "перетрав", т.е. большие погрешности размера.

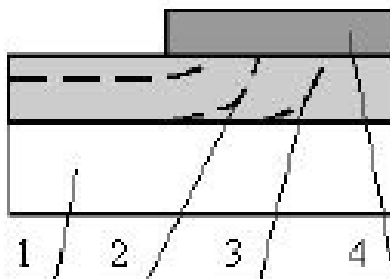


Рис. 4.2.4. Боковое подтравливание под фотомаску: 1 - пластина; 2 - фронт травления при нормальном режиме; 3 - фронт травления при «перетравливании»; 4 – фотомаска

Для повышения точности травления, т.е. уменьшения разброса размеров элементов из-за растрыва, необходимо динамическое воздействие травителя на обрабатываемую поверхность. На рис. 4.2.5 приведена схема установки на основе центрифуги, снабжённой тремя форсунками для последовательного травления, отмычки (деионизированной водой) и сушки (подогретым воздухом). Форсунка для травителя обеспечивает ускоренную подачу свежего травителя к поверхности, вытесняя продукты реакции, а центробежные силы ускоряют отвод отработанного травителя.

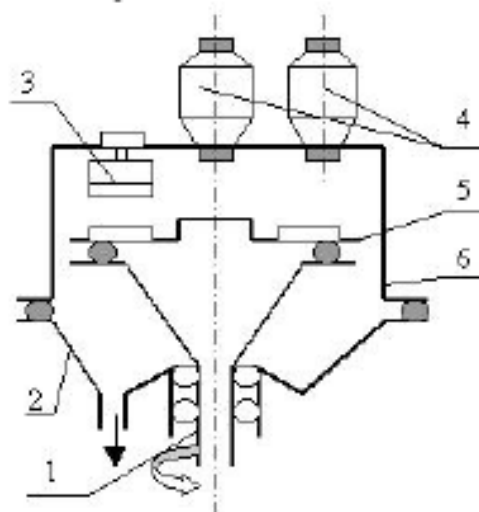


Рис. 4.2.5. Схема установки травления, отмывки и сушки: 1 – полный ротор; 2 – днище камеры с отверстием; 3 – форсунка сушки; 4 – форсунки травления и отмывки; 5 – платформа с пластинами; 6 – съемная крышка

В таблице 4.1 приведены применяемых при производстве интегральных микросхем типы травителей.

4.1. Травители для некоторых материалов

Ag— г.к. H_2SO_4 , HNO_3	Pt— "царская водка"
Al— рз. щелочи, г. H_3PO_4	Si— HNO_3+HF
Au— "царская водка" (к $HCl:HNO_3=3:1$)	SiO_2 — рз. HF
Cr— HCl , H_2SO_4 , г. HNO_3	Si_3N_4 — г. H_3PO_4 , к HF
Cu— г.к. H_2SO_4 , HNO_3	Ta— HF
Mo— г.к. H_2SO_4 , г. HNO_3 , "царская водка"	Ti— щелочи, HF, рз. кислоты
Ni— рз. Кислоты	V— HF, HNO_3 , "царская водка", г.к. H_2SO_4
Pd— HNO_3 , г.к. H_2SO_4 , "царская водка"	W— "царская водка", HNO_3+HF

Примечание: к- концентрированная; рз- разбавленная; г- горячая.

Существенное повышение точности травления достигается при использовании вакуум-плазменных ("сухих") методов травления, при которых разрушение слоя происходит механически за счёт бомбардировки потоком заряженных частиц (ионов инертного газа). С этой целью в вакуумной камере при давлении газа 1×10^{-4} Па зажигается разряд, и обрабатываемая пластина в качестве катода подвергается обработке ионами с энергией до 1 кэВ. Структура полимерной фотомаски и её толщина сохраняют её защитные свойства до окончания обработки слоя. Поскольку движение ионов инертного газа (обычно аргона) происходит по нормали к поверхности пластины, вытравленные участки точно соответствуют размерам окон фотомаски, т.е. эффект подтравливания отсутствует.

Технология электронно-лучевой литографии

Электронолитография представляет собой современный высокоразрешающий метод создания топологии микроструктур с использованием электронных пучков в качестве источника излучения.

В основе электронолитографии лежит явление нетермического воздействия электронных лучей на материал резиста, чувствительного к потоку электронов.

Излучение ускоренных электронов имеет короткую длину волны, большое фокусное расстояние и легко управляется электрически. В электронно-лучевой литографии различают два основных способа создания рисунка на пластине:

1. Последовательная экспозиция каждого элемента топологии сфокусированным пучком (сканирующий способ).

2. Проекционный способ – передача с помощью электронного пучка сразу всего изображения на пластине.

В обоих способах электронографический процесс сводится к нанесению на поверхность подложки пленки чувствительного к электронной бомбардировке резиста, последующему экспонированию его электронным пучком и проявлению.

В процессе электронной литографии из производства исключается изготовление промежуточных шаблонов, что существенно упрощает технологию, повышает производительность труда, расширяет конструктивные возможности и снижает стоимость производства.

Основными типами электронно-лучевых литографических установок являются:

1. Однолучевые сканирующие установки растрового типа с пучком кругового или квадратного сечения и векторного типа с пучком кругового или прямоугольного сечения, изменяемого по заданной программе.

2. Многолучевые сканирующие установки.

3. Сканирующие установки векторно-проекционного типа.

4. Проекционные установки с сохранением масштаба изображения и с уменьшением масштаба изображения. Однолучевые сканирующие установки предназначены для формирования топологии ИС с высокой разрешающей способностью. Эта установка состоит из 3 основных функциональных частей: системы формирования пучка заданной формы, системы мультипликации изображения рисунка по поверхности обрабатываемой пластины, системы сканирования пучка в пределах рабочего поля.

Система формирования пучка представляет собой электроннооптическую систему, в которой поток электронов образуется в результате термоэмиссии с подогреваемого катода или автоэмиссии с острейного катода, а система линз обеспечивает получение электронного пучка заданной формы и плотности тока.

Система сканирования пучка состоит из совокупности отклоняющих и блокирующей (запирающей луч) систем, которые осуществляют отклонение электронного пучка в пределах рабочего поля и включение – выключение его в соответствии с запрограммированной топологией.

Системой мультипликации изображения является координатный стол с приводом.

В основе работы всех систем электронно-лучевой литографической установки лежит принцип совместного управления системами с помощью универсальной ЭВМ и специализированного программно вычислительного устройства (СПВУ), которые обеспечивают необходимую последовательность и быстродействие процесса управления литографическим оборудованием.

Для формирования топологии интегральных микросхем применяют два способа перемещения пучка: растровое и векторное.

При растровом методе сканирования координатный стол перемещается с постоянной скоростью в направлении одной из координат, в то время как электронный луч сканирует в перпендикулярном направлении. Этот метод обеспечивает высокую скорость экспонирования, если ширина линии больше 2 мкм.

При векторном способе сканирования обработка всей поверхности пластины осуществляется в результате шагового перемещения стола с отклонением и модулированием электронного луча над подложкой таким образом, чтобы получить требуемое изображение топологии на поле размером от 0,5·0,5 до 2·2 мм.

Векторное сканирование более эффективно, так как электронный луч перемещается не по всей площади рабочего поля, а только в тех местах, в которых должен быть сформирован рисунок.

Увеличения производительности процесса электронно-лучевой литографии добиваются использованием многолучевых установок.

Группа операций фотолитографии завершается проявлением рисунка, термообработкой (дублированием) пленки и травлением.

Основным способом проявления является дисперсионное распыление.

Операция травления завершает процесс формирования топологического рельефа на обрабатываемой подложке.

Рентгеновская литография

Рентгеновская литографическая установка является разновидностью оптических установок, где производится экспонирование с зазором. Они разработаны для мягкого рентгеновского излучения в области длин волн (0,5–4,0) нм. Пучок рентгеновских лучей пропускают через шаблон и экспонируют слой резиста. Рентгенолитография, как и оптическая литография, осуществляется путем одновременного экспонирования большого числа деталей рисунка. Но более коротковолновое рентгеновское излучение позволяет создать рисунок с более тонкими деталями, с более высоким разрешением. В рентгеновском диапазоне прозрачные материалы отсутствуют, поэтому оптическими элементами рентгеновских литографических установок могут быть отражающие зеркала на основе наногетероструктур и зонные пластинки Френеля с наименьшей шириной зоны около 100 нм и дифракционной решеткой с периодом, равным 100 нм, а в качестве шаблона используются тонкие (<1 мкм) металлические мембраны. В качестве зеркал в рентгеновском диапазоне используются также многослойные наноструктуры из веществ с высоким поглощением: Ni-C, Cr-C, Co-C, Mo-C, W-C с периодом 4 нм. Слои наносят методом электронно-лучевого и лазерного испарения. По принципу действия многослойные рентгеновские зеркала образуют брэгговское отражение при условии: $d = \lambda/2 \sin \alpha$, d – период структуры, α – угол скольжения. При нормальном падении угол скольжения $\alpha = 90^\circ$ и $d = \lambda/2$, поэтому толщина каждого слоя равна $\lambda/4$.

Ионно-лучевые системы литографии

Они обеспечивают разрешение до 10 нм. Для экспонирования полимерных резистов используют легкие ионы – протоны или ионы гелия. Использование более тяжелых ионов дает возможность проводить легирование подложки или создавать на ней тонкие слои новых химических соединений. Различия между ионной и электронной литографией обусловлены большой массой иона по сравнению с массой электрона и тем, что ион является многоэлектронной системой. Тонкий пучок ионов имеет более слабое угловое рассеяние в мишени, чем пучок электронов, поэтому ионно-лучевая литография обладает более высоким разрешением, чем электронно-лучевая. Потери энергии ионного пучка в полимерных резистах примерно в 100 раз выше, чем потери энергии электронного пучка, поэтому чувствительность резистов к ионному пучку тоже выше.

Это означает, что экспонирование резиста тонким ионным пучком происходит быстрее, чем электронным лучом. Образование ионным пучком дефектов типа френкелевских пар «вакансия – междоузельный атом» меняет скорость растворимости диэлектриков и металлов в некоторых растворителях в 5 раз. Благодаря этому возникает возможность отказаться от полимерного резиста, так как слои материалов сами ведут себя как неорганические резисты.

Голографическая литография

В голографической литографии экспонируемая подложка помещается в область, где интерферируют два лазерных луча, создающих стоячую волну. Этот способ литографии применим в основном для экспонирования рисунков, имеющих периодическую или квазипериодическую структуру. Период экспонированной решетки может составлять половину длины волны лазерного излучения. Решетки, полученные голографической литографией, применяются как дифракционные или фокусирующие элементы для формирования изображения с помощью рентгеновских лучей. Они могут использоваться как элементы наноэлектронных приборов с размерами (1–10) нм.

В последние годы в США интенсивно ведутся работы по применению в литографии жесткого ультрафиолетового излучения (УФ) ($\lambda = 13,5$ нм). Это примерно в 18 раз меньше чем $\lambda = 248$ нм глубокого УФ, которая используется в УФ-литографии. Переход с глубокого УФ на жесткую УФ-литографию обеспечивает более чем 10-кратное уменьшение λ и переход в диапазон, где она сопоставима с размерами нескольких десятков атомов. Применение жесткой УФ-литографии делает возможной печать линий шириной до 30 нм и формировать элементы структуры размером меньше 45 нм. Поскольку жесткое УФ-излучение хорошо поглощается стеклом, то новая технология предполагает использование системы из 4 специальных выпуклых зеркал, которые уменьшают и фокусируют изображение, полученное после применения маски. Каждое такое зеркало представляет собой наноструктуру и содержит 80 отдельных металлических слоев толщиной примерно в 12 атомов, благодаря чему оно не поглощает, а отражает жесткий УФ. Применение жесткой УФ-литографии позволит создать макропроцессоры, работающие в 30 раз быстрее, чем самые распространенные процессоры Pentium Pro, выпускаемые компанией Intel.

В последнее десятилетие развивается нанопечатная литография и литографически индуцированная самосборка наноструктур.

В нанопечатной литографии изображение образуется в основном за счет физической деформации резиста штампом, а не с помощью облучения. Литографически-индуцированная самосборка (физические принципы самосборки не ясны) может применяться для создания полимерных наноструктур.

Технологические процессы и оборудование сборочных операций микроэлектроники

Электрический монтаж кристаллов интегральных микросхем на коммутационных платах

Электромонтаж бескорпусных кристаллов ИМС заключается в электрическом соединении контактных монтажных площадок на поверхности кристалла с контактными монтажными площадками на поверхности коммутационной платы. Обычно кристалл предварительно фиксируется на плате с помощью клея или припоя. Во втором случае групповая пластина до разделения ее на отдельные кристаллы должна быть металлизирована со стороны, противоположной структурам, металлом, который хорошо смачивается припоем. Облуженными должны быть также площадки на плате, на которые устанавливаются кристаллы.

В производстве нашли применение три способа электромонтажа: с помощью гибких проволочных перемычек круглого сечения (проволочный монтаж), с помощью гибких ленточных перемычек прямоугольного сечения (ленточный монтаж) и с помощью жестких объемных выводов, предварительно выращенных на кристалле.

Проволочный монтаж

При проволочном монтаже перемычка формируется в процессе монтажа (рис. 4.2.6): после совмещения свободного конца проволоки с площадкой на кристалле производится сварка, далее изделие (коммутационная плата) перемещается так, чтобы под сварочный инструмент пришла соответствующая площадка коммутационной платы; после совмещения инструмента с площадкой производится сварка и обрезка проволоки. Далее формируется перемычка для следующей пары контактов.

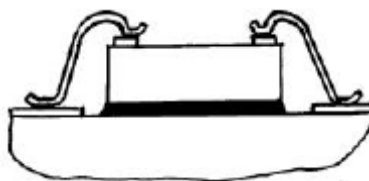


Рис. 4.2.6. Проволочный монтаж кристалла на коммутационную плату

При перемещении платы с приваренным концом проволоки последняя сматывается с катушки неподвижной сварочной головки так, чтобы образовался небольшой избыток по длине. В результате упругости проволоки перемычка получает плавный изгиб вверх, который при температурных изменениях длины перемычки предотвращает замыкание ее на кристалл.

В современных установках для микросварки рабочий цикл сварки (контролируемые давление инструмента, нагрев, время выдержки) автоматизирован. Что касается вспомогательных приемов (перемещения, совмещения), то существуют установки с ручным перемещением изделия и визуальным совмещением с помощью микроскопа, а также установки с автоматическими программируемыми перемещениями в сочетании с системой "машинного зрения", освобождающей оператора от зрительного напряжения.

Достоинством проволоочного монтажа является возможность размещения перемычек при произвольном расположении любого количества монтажных площадок на коммутационной плате, т.е. гибкость в процессе ее конструирования. Недостаток заключается в высокой трудоемкости монтажа, т.к. сварные соединения можно получать только последовательно, индивидуально.

Ленточный монтаж

Отказ от проволоки и переход к плоским ленточным перемычкам позволяет изготовить их заранее и одновременно вне кристалла методом избирательного травления (фотолитографии) ленты, однако взаимное расположение перемычек должно быть жестко предопределено расположением монтажных площадок на кристалле и плате. Ленточные перемычки толщиной 70мкм остаются гибкими, поэтому для сохранения их взаимной ориентации они удерживаются в заданном положении изолирующими перемычками из полиимида (рис. 4.2.7). Таким образом, исходная лента для изготовления системы перемычек должна быть двухслойной: алюминий (70мкм) и полиимид (40мкм). Для исключения замыкания перемычек на кристалл их специально формуют перед монтажом.

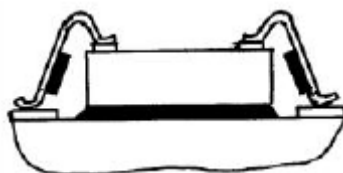


Рис. 4.2.7. Ленточный монтаж кристалла на коммутационную плату

Использование ориентированных ленточных перемычек позволяет существенно снизить трудоемкость монтажа. Во-первых, для совмещения всей системы перемычек с кристаллом достаточно совместить две пары "перемычка-площадка", расположенных по диагонали. После приварки всех перемычек на кристалле последний с системой перемычек переносится на плату и аналогично производится совмещение свободных концов с площадками платы и их приварка. Во-вторых, появляется возможность одновременной (групповой) приварки всех перемычек, расположенных в одном ряду. Из рассмотренных ниже способов сварки для групповой сварки могут быть использованы термокомпрессионный и ультразвуковой способы.

К недостатку следует отнести ограничения, накладываемые на конструкцию коммутационной платы и самого кристалла по числу и характеру расположения монтажных площадок. Для смягчения этого недостатка приходится разрабатывать и изготавливать стандартный ряд систем перемычек, отличающихся числом и шагом расположения.

Монтаж с помощью жестких объемных выводов

Жесткие объемные выводы формируются на кристаллах заранее и одновременно до разделения групповой пластины. В первом приближении они представляют собой выступы полусферической формы высотой порядка 60мкм и покрыты припоем. Облуженными должны быть и ответные монтажные площадки на коммутационной плате. В отличие от проволоочного и ленточного монтажа объемные выводы соединяют с площадками платы пайкой, а кристалл при этом оказывается в перевернутом положении, т.е. структурами вниз (рис. 4.2.8).

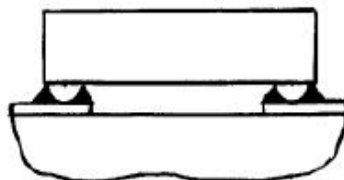


Рис. 4.2.8. Монтаж кристалла на коммутационной плате с помощью объемных выводов

Последовательность монтажа следующая. Кристалл, находящийся в кассете в ориентированном положении, забирается вакуумным присосом ("пинцетом") и переносится в позицию монтажа с определенным зазором. В зазор вводится полупрозрачное зеркало, позволяющее оператору через микроскоп наблюдать одновременно площадки на плате и выводы на кристалле. После совмещения зеркало выводится из зазора, а присос опускает кристалл на плату и прижимает его. Далее из миниатюрного сопла подается горячий инертный газ, выполняющий одновременно функции нагревательной и защитной среды, затем холодный инертный газ, чем и заканчивается цикл монтажа. К достоинствам монтажа с помощью жестких объемных выводов относится: сокращение числа соединений вдвое, что повышает надежность изделия при эксплуатации; сокращение трудоемкости за счет одновременного присоединения всех выводов; уменьшение монтажной площади до площади, занимаемой кристаллом; отсутствие необходимости предварительного механического крепления кристалла. Ограничением для использования данного метода является необходимость применения коммутационных плат на основе тонких пленок с использованием фотолитографии, т.е. высокого разрешения, т.к. размеры площадок и шаг их расположения на плате и кристалле должны совпадать.

Микросварка

К микросварке прибегают при проволочном и ленточном монтаже. Ввиду малых толщин соединяемых элементов (порядка 1,5 мкм для площадки и несколько десятков мкм для перемычки) сварка должна выполняться без расплавления соединяемых элементов. Таким образом, все разновидности микросварки представляют собой сварку давлением. В этом случае прочность соединения обеспечивается электронным взаимодействием соединяемых поверхностей и взаимодиффузией материалов в твердой фазе, что, в свою очередь, требует применения пластичных материалов и обеспечения плотного контакта на достаточно большой площади. Так как необходимую площадь контакта можно получить лишь за счет пластической деформации перемычки, к материалу последней предъявляются требования пластичности. Для облегчения пластического течения материала, а также для ускорения взаимодиффузии, во всех видах микросварки предусматривается нагрев зоны соединения до температуры ниже эвтектической (во избежание расплавления).

Таким образом, все виды микросварки характеризуются температурой в зоне соединения $300 \div 800^\circ\text{C}$ и удельным давлением инструмента $100 \div 200 \text{ Н/мм}^2$. Конкретные значения режимов определяются материалом перемычки и видом микросварки.

В производстве нашли применение следующие разновидности микросварки: термокомпрессионная сварка (ТКС); сварка косвенным импульсным нагревом (СКИН); электроконтактная односторонняя сварка (ЭКОС); ультразвуковая сварка (УЗС) (рис. 4.2.9).

Основная тенденция развития методов микросварки - локализация тепла в зоне соединения и уменьшение теплового воздействия на изделие в целом, что позволяет повысить температуру сварки и применять для перемычек менее пластичные материалы (например, медь). Способ нагрева зоны соединения находит свое отражение в конструкции сварочного инструмента, схематически представленного на рис. 4.2.9. Независимо от вида микросварки в случае проволочного монтажа инструмент должен быть снабжен "капилляром" для направления проволоки под рабочую часть инструмента (на рис. 4.2.9 показан только для ТКС).

К достоинствам монтажа с помощью жестких объемных выводов относится: сокращение числа соединений вдвое, что повышает надежность изделия при эксплуатации; сокращение трудоемкости за счет одновременного присоединения всех выводов; уменьшение монтажной

площади до площади, занимаемой кристаллом; отсутствие необходимости предварительного механического крепления кристалла.

Ограничением для использования данного метода является необходимость применения коммутационных плат на основе тонких пленок с использованием фотолитографии, т.е. высокого разрешения, т.к. размеры площадок и шаг их расположения на плате и кристалле должны совпадать.

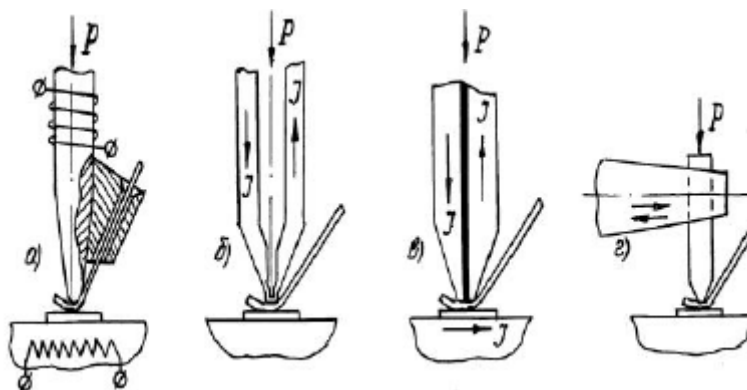


Рис. 4.2.9. Виды микросварки. Разновидности сварочного инструмента
а) – ТКС; б) – СКИН; в) – ЭКОС; г) – УЗС

При ТКС (рис. 4.2.9,а) нагреву подвергают все изделие или инструмент (или то и другое), обеспечивая температуру порядка 400°C .

В случае СКИН (рис. 4.2.9,б) разогрев зоны соединения осуществляется только в момент сварки. Это достигается V-образной конструкцией инструмента, через который пропускается амплитудно-модулированный импульс тока с несущей частотой $0,5 \div 1,5 \text{ кГц}$. В результате температуру в зоне сварки можно повысить до 650°C . Инструмент является частью электрической цепи и благодаря малому сечению рабочего конца инструмента выделяемое тепло концентрируется именно в этой части.

Инструмент для ЭКОС (рис. 4.2.9,в) часто называют расщепленным: он состоит из двух частей, разделенных изолирующей термостойкой прокладкой, которые являются составной частью электрической цепи. Последняя замыкается лишь при контакте с перемычкой. Таким образом, импульс тока проходит через свариваемый участок перемычки, причем тепло выделяется в зоне контакта. В установках для ЭКОС предусмотрено автоматическое измерение контактного сопротивления, регулирование по сопротивлению усилия и формирование параметров импульса тока, что повышает воспроизводимость характеристик соединения. Температура в зоне сварки может быть повышена до 800°C , что дает возможность применять медные перемычки. Ультразвуковая сварка может выполняться без специально организованного нагрева, т.к. тепло, необходимое для повышения пластичности, выделяется в результате трения перемычки о площадку. Сварочный инструмент жестко закрепляется в концентраторе магнитострикционной головки (рис. 4.2.9,г) и вместе с ним совершает продольные колебательные движения, "втирая" перемычку в площадку. Частота ультразвуковых колебаний выбирается в пределах $20 \div 60 \text{ кГц}$, а амплитуда - $0,52 \text{ мкм}$.

В таблице 4.1 приведены сведения по свариваемости материалов при различных методах микросварки.

Таблица 4.1.

Материал монтажной площадки	Метод микросварки, материал перемычек											
	ТКС			СКИН			ЭКОС			УЗС		
	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu	Au	Al	Cu
Au	++	+	-	++	++	+	++	-	++	++	++	+
Cu или Ni	++	+	-	++	+	+	++	-	+	++	+	+
Al	++	+	-	+	+	-	+	-	+	+	++	-

Примечание: ++ - свариваются хорошо; + - свариваются удовлетворительно; - не свариваются

Изготовление системы объемных выводов

Для формирования объемных выводов стандартный процесс, который заканчивается осаждением защитной пленки SiO_2 и образованием в ней окон над монтажными площадками, дополняется рядом операций, выполняемых в групповой пластине, т.е. до разделения ее на отдельные кристаллы. Для будущих круглых выводов окна в защитном окисле выполняют также круглыми диаметром 70мкм. Методом осаждения в вакууме на всю поверхность пластины наносят слой ванадия (для восстановления алюминия из поверхностного окисла и уменьшения контактного сопротивления) и меди (для замыкания всех выводов и возможности последующего гальванического наращивания). Толщина каждого из слоев - несколько десятых долей мкм (рис. 4.2.10,а). После формирования фотомаски, открывающей лишь участки будущих выводов, гальваническим методом выращивают слой меди толщиной порядка 50-60мкм. Используя ту же фотомаску, гальванически наносят слой серебра толщиной в несколько мкм. Серебро служит для защиты меди от окисления, а впоследствии - в качестве маски для травли тонкой меди и ванадия. Далее (рис. 4.2.10,б) фотомаска удаляется, и последовательно травятся слои меди и ванадия (выводы электрически разобщаются). Наконец, горячим лужением (контакт пластины с расплавленным припоем) получают на выводах слой припоя. Во избежание растворения серебра оловом припоя в состав припоя ПОС-61 вводится за счет олова 3% серебра (припой ПСрОС-3-58).

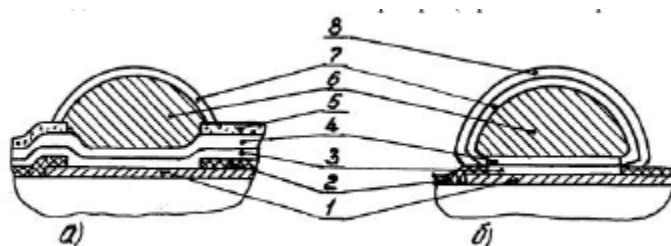


Рис. 4.2.10. Структура жестких объемных выводов на кристалле ИМС: 1 - алюминий; 2 - двуокись кремния; 3 - ванадий; 4 - тонкая медь; 5 - фотомаска; 6 - гальваническая медь; 7 - серебро; 8 - припой

Герметизация полупроводниковых приборов и ИС

Финишной операцией в процессе сборки ИС является герметизация, осуществляемая на автоматизированных модулях. Герметизация производится методом литьевого прессования в многоместной прессформе.

Под герметичностью понимают способность замкнутой конструкции не пропускать газ (жидкость). Герметичность характеризуется допустимой утечкой газа или жидкости, измеряемой в единицах потока. Поток жидкости или газа через микроотверстие выражают единицей объема при определенном давлении за определенное время, т. е. ($\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$).

Корпуса полупроводниковых приборов и ИС считаются герметичными при натекании гелия не более $1,32 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$. Герметизация является одной из важнейших заключительных операций технологического процесса производства полупроводниковых приборов и ИС, так как обеспечивает их надежность и долговечность при механических и климатических воздействиях в условиях эксплуатации. От качества выполнения герметизации зависит выход годных изделий.

Подсчитано, что трудоемкость сборных операций (вместе с герметизацией) изделий микроэлектроники превышает трудоемкость всех других операций. Забракованные негерметичные приборы представляют собой довольно дорогие и почти готовые изделия, что заставляет с особой тщательностью относиться к процессам герметизации.

Постоянное стремление к повышению компактности, миниатюризации и быстродействию электронных систем вызывает увеличение плотности рассеиваемой мощности, что усложняет

теплоотвод от активных элементов, вызывая дополнительные требования к конструкции корпусов, способам их герметизации. Конструктивное исполнение корпусов и их герметизация не менее сложны, чем создание р-п переходов.

Различают корпусную, бескорпусную и комбинированную герметизацию. Выбор способа герметизации зависит от конструкции полупроводникового прибора и ИС и должен обеспечивать механическую прочность изделия при его эксплуатации.

При корпусной герметизации предварительно изготавливают элементы корпусов – основания с изолированными выводами, крышки и вспомогательные детали. После монтажа прибора, кристалла или платы на основании корпуса и микроконтактирования выводов присоединяют крышку, в результате чего образуется замкнутый объем.

Разнообразие конструкций и типоразмеров корпусов обусловило применение различных видов пайки и сварки, некоторые из которых уже описаны выше. Рассмотрим другие виды сварки и пайки, наиболее часто применяемые при герметизации.

Контактная электросварка с нагревом сопротивлением. Корпуса полупроводниковых приборов и ИС герметизируют по замкнутому контуру, которую в отличие от других видов сварки называют контактной контурной сваркой (ККС), а в случае применения рельефов – контактной контурно-рельефной сваркой (ККРС) или электросваркой. Контактное сопротивление электрод–деталь должно быть минимальным, т. е. намного меньше контактного сопротивления между свариваемыми деталями, которое должно быть значительным, особенно, если они изготовлены из материалов, имеющих низкое удельное сопротивление. Контактное сопротивление зависит от состояния поверхностей свариваемых деталей и удельного давления, создаваемого сварочными электродами. ККС имеет свою специфику: выполняется с использованием узких сварочных поясков или рельефов; должна происходить без выплеска металла и прожогов; сварной шов должен иметь хороший внешний вид.

Роликовая (шовная) электросварка является разновидностью контактной и применяется для герметизации прямоугольных корпусов ИС на полуавтоматах.

Аргонно-дуговая сварка является разновидностью электродуговой и выполняется в защитной атмосфере газа (аргона) плавящимся или неплавящимся электродом. При сварке плавящимся электродом электродная проволока одновременно служит электродом и присадочным материалом. При герметизации этим способом кромки крышки и основания корпуса микросхемы под воздействием теплоты электрической дуги оплавляются с образованием сварочной ванны. Охлаждаясь, металл в месте сварки кристаллизуется, и образуется сварочный шов. Основное преимущество аргонно-дуговой сварки – возможность местного (локального) нагрева деталей, а недостаток – повышенное требование к точности их совмещения и изготовления оснастки. Аргонно-дуговой сваркой герметизируют металлостеклянные корпуса со штыревыми выводами, когда периметр соединения больше 50 мкм, а суммарная толщина фланцев – 0,2–0,6 мм.

Микроплазменная сварка является разновидностью аргоннодуговой и отличается от нее большей стабильностью и более высокой температурой столба дуги, получаемой при сжатии ее потоком аргона, пропускаемого через сопло ограниченного диаметра. Изменением сварочного тока, угла наклона струи, напряжения, скорости и расхода газа, а также его состава и геометрической формы струи можно регулировать параметры плазменной сварки.

Электронно-лучевая сварка. Отличием ее от других видов сварки является механизм теплопередачи. При обычных видах сварки нагрев соединяемых деталей происходит теплопередачей через их поверхность. При электронно-лучевой сварке тепловая энергия высвобождается в результате торможения электронов в поверхностных слоях твердого тела. При определенных условиях сварки проникновение электронов в металл составляет несколько десятков мкм. Фокусируя электронный луч в пятно диаметром 0,005–0,1 мм, концентрируют на обрабатываемой поверхности очень большую плотность мощности излучения 109 Вт/см².

Достоинством электронно-лучевой сварки является: возможность соединения очень тонких материалов (толщиной до нескольких мкм), высокая чистота процесса, так как он выполняется в вакууме, точные фокусировка и дозирование энергии электронного луча, обеспечивающее

выделение большой мощности, что позволяет соединить тугоплавкие, высокопрочные и химически активные металлы и сплавы при значительных скоростях (10–100 м/ч).

Лазерная сварка применяется для герметизации корпусов некоторых гибридных ИС со значительной длиной корпуса, для соединения разнородных, разнотолщинных и тугоплавких (вольфрам, молибден) металлов, а также металлов, обладающих большой теплопроводностью (медь, серебро). Производится в труднодоступных местах или замкнутых объемах, в любой среде.

Недостатки лазерной сварки – незначительная глубина проплавления соединяемых деталей при средних мощностях излучения, выплески испаряемого металла при использовании мощных лазеров и необходимость удаления образующихся ядовитых газов и ионизированных паров.

Бескорпусная герметизация предполагает совмещение герметизации с формированием корпуса (т. е. его заранее не изготавливают). При этом методе свободное пространство (конструктивные промежутки) между элементами полупроводниковых приборов и ИС заполняют полимеризующимся электроизоляционным составом (компаундом), который при затвердевании образует монолитную оболочку. Герметизирующие компаунды преимущественно изготавливают на основе эпоксидных, кремний-органических или полиэфирных смол.

Преимущества бескорпусной герметизации – значительное сокращение количества технологических операций, повышение производительности процесса и снижение стоимости изделий. Приборы и ИС имеют меньшие габариты и массу, чем загерметизированные в корпуса. Недостатки этого метода герметизации – слабое уплотнение внешних выводов, различие между ТКЛР изолирующего

материала, полупроводника и металла выводов, а также низкая теплопроводность герметиков.

Бескорпусную герметизацию выполняют обволакиванием герметиком, заливкой полимером, а также опрессовкой расплавленным термопластическим или термореактивным материалом.

Обволакивание – наиболее простой способ, при котором каплю герметика наносят на сборку или кратковременно погружают сборку в герметик. Этот способ используют для предварительной защиты изделий перед заливкой или опрессовкой.

Заливку выполняют в специальные литьевые формы из силиконовой резины многократного использования. Заливка может быть свободной или в вакууме.

Литьевое прессование является наиболее совершенным способом создания бескорпусных оболочек, применяемым в серийном производстве. Этот способ основан на использовании разъемных пресс-форм и пресс-порошков, получаемых из эпоксидных и кремнийорганических смол или их композиций. Расплавленный в специальной камере пресс-порошок подают через каналы под давлением в формирующие гнезда. Когда через 3–5 мин давление снимают и раскрывают пресс-форму, изделие выталкивается из нее.

При комбинированной герметизации предварительно изготавливают крышку в виде металлического колпачка, в которую устанавливают сборку с выводом, заливают их компаундом. Так обычно герметизируют толсто пленочные гибридные ИС невысокой степени интеграции.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Основным направлением интенсификации производства полупроводниковых приборов и ИС является автоматизация технологических процессов, которая обеспечивает повышение производительности труда, качества продукции, ее конкурентоспособности и снижение себестоимости.

Автоматизация технологических процессов – это комплекс мероприятий по разработке и внедрению прогрессивных технологий и созданию на их основе высокопроизводительного оборудования для выполнения технологических операций без непосредственного участия человека.

Особенностью производства большинства полупроводниковых приборов и ИС является невозможность их качественного изготовления непосредственно человеком, который физиологически не способен осуществлять необходимые микроперемещения и микропозиционирования. Кроме того, при работе человек загрязняет технологическую зону

микрочастицами дежды и органических веществ. Все это определяет направления автоматизации технологических процессов: создание комплексов технологического оборудования, работающего под управлением ЭВМ, использование роботов и манипуляторов для выполнения технологических и вспомогательных операций, а также вакуумных автоматических линий для многооперационной обработки подложек в полностью контролируемой среде. При обработке подложек в полностью контролируемой среде, какой является вакуум в рабочем пространстве линии, уменьшается количество загрязнений, что повышает выход годных структур. Однако создаваемые на вакуумных автоматических линиях условия непригодны для изготовления тонкопленочных СБИС и ультраБИС.

Для реализации молекулярно-лучевой эпитаксии, ионнолучевого осаждения и других современных технологических процессов, а также поверхностно-чувствительных методов контроля созданы сверхвысоковакуумные технологические комплексы, которые являются новым поколением автоматизированных линий. Такие комплексы служат для автоматического выполнения операций очистки поверхности подложек от загрязнений и примесей, формирования тонких пленок и их металлизации, нанесения диэлектрических покрытий.

Применительно к технологии изготовления полупроводниковых приборов и ИС роботы разделяют по точности манипулирования и степени воздействия на атмосферу рабочих пространств.

Ультрапрецизионные роботы обеспечивают точность позиционирования до 0,03 мкм, прецизионные – до 5 мкм, а нормальной точности до 0,15 мкм. По степени газо- и пылевыведения роботы бывают вакуумные, чистые и обычные. Вакуумные роботы существенно не изменяют параметров вакуума, а чистые – не ухудшают атмосферу чистых комнат, к обычным роботам не предъявляют требований по герметичности, газо- и пылевыведениям.

Ультрапрецизионные роботы служат, например, для перемещения контрольных зондов на операциях промежуточного контроля подложек, а также применяются на операциях литографии. Прецизионные промышленные роботы предназначены для микросварки внешних выводов ИС к контактными площадкам кристаллов. Так как при монтаже невозможно очень точно установить кристаллы относительно корпусов, такие роботы оснащены системой «машинного зрения» с телевизионным датчиком, позволяющим определять индивидуальные смещения и разворот кристаллов.

Применение роботов увеличивает производительность труда и снижает брак на операции микросварки.

Наиболее прогрессивным является создание робототехнических комплексов- систем, состоящих из технологических установок и роботов, которые могут функционировать автономно, выполняя многократные циклы и легко перестраиваясь на производство новых изделий модулей, встраиваемых в технологические системы и

называемых гибкими производственными модулями (ГПМ).

Интеграция в микроэлектронике

Одним из основных направлений интеграции и миниатюризации в электронике является увеличение количества элементов ИС на единице площади в результате уменьшения их размеров.

Другим направлением интеграции является создание ИС осаждением тонких монокристаллических кремниевых пленок на аморфные изолирующие подложки, например из окисленного кремния. После зонной перекристаллизации получают пленки высокого качества, предназначенные для формирования элементов ИС, размеры которых менее одного микрона.

Повышение степени интеграции способствует также созданию объемных или вертикальных многослойных пленочных структур.

При этом сформированные структуры одного слоя соединяют пленочной металлизацией и покрывают слоем диэлектрика, на который осаждают еще одну пленку полупроводника и формируют в ней структуры, которые соединяют металлизацией второго уровня и т. д.

Перспективным направлением является разработка технологии одновременного изготовления на подложках большого количества однотипных простых структур, соединенных между собой системой перемычек и программируемых перемычками логических схем.

Зондовым контролем определяют годные структуры, адреса которых программируются логическими схемами, и соединяют эти структуры пленочной металлизацией второго уровня в соответствии со схемой создаваемого устройства (например, устройства памяти ЭВМ), а негодные или частично годные отключают пережиганием перемычек. Такие подложки не разделяют на кристаллы, а вырезают из них полученные устройства, размеры которых могут быть, например 64x76 мм. Плотность упаковки таких элементов высока, и поскольку они имеют мало внешних выводов и проволочных соединений, их надежность во много раз выше, чем выполненных из нескольких ИС.

Однако повышение плотности упаковки элементов ИС и связанное с ним уменьшение их размеров имеет определенные пределы, которые определяются технологическими, физическими и энергетическими барьерами.

Системный подход к управлению качеством продукции. Качество изделий микроэлектроники – это совокупность свойств, обуславливающих их способность удовлетворять определенным требованиям в соответствии с назначением. Основные показатели качества регламентируются государственным стандартом.

ГОСТ устанавливает показатели их назначения, экономного использования энергии, технологичности, стандартизации и унификации, объемно-массовые, стойкости к внешним воздействиям, надежности.

Качество и надежность полупроводниковых приборов и ИС закладываются при их проектировании, обеспечиваются в процессе изготовления и поддерживаются при эксплуатации. Качество и надежность зависят, прежде всего, от конструкции изделий, от сложности технологических процессов и стабильности технологических процессов и стабильности их режимов. При этом определяющим является выбор технологии.

Одним из методов оценки качества полупроводниковых приборов и ИС на этапах их производства и эксплуатации является оценка единым комплексным показателем, называемым коэффициентом качества. За высшую оценку условно принимают коэффициент качества, равный единице. Коэффициент качества определяют с учетом процента сдачи продуктов с первого предъявления, претензий потребителя, процента брака, состояния технологической дисциплины и других показателей.

ГОСТы представляют собой документы, определяющие нормы, правила, методы производства, свойства конкретной продукции и т. д. и предназначены для применения в разных сферах народного хозяйства.

Способы и методы проверки различных параметров полупроводниковых приборов и ИС определяются ГОСТами системы контроля качества изделий электронной техники. Оценивают качество полупроводниковых приборов и ИС, сравнивая результаты их испытаний с требованиями стандарта.

Испытания обычно регулярно повторяют и проводят в лабораторных или эксплуатационных условиях. В промышленности испытания проводят в лабораторных условиях, имитируя различные воздействующие факторы с помощью специальных испытательных стендов.

Для контроля качества полупроводниковых приборов и ИС проводят квалификационные, приемо-сдаточные, периодические, типовые и контрольно-выборочные испытания.

По характеру воздействий испытания подразделяются на конструктивные, электрические, механические и климатические.

Лекция 1. Процессы и производства как объект автоматизации. Физический и технический процессы. Входные и выходные потоки. Формирование технического состояния продукции.

Основой автоматизации производства являются технологические процессы (ТП), которые должны обеспечивать высокую производительность, надежность, качество и эффективность изготовления изделий. С этой точки зрения большое значение приобретают прогрессивные высокопроизводительные методы обработки и сборки, используемые при проектировании автоматизированных ТП.

При разработке ТП автоматизированного производства (АП) рассматривают комплексно все его элементы: загрузку-выгрузку изделий, их базирование и закрепление, обработку, контроль, межоперационное транспортирование и складирование и др. Поэтому для оценки возможности и эффективности автоматизации важно правильно классифицировать ТП.

Характерной особенностью ТП обработки и сборки является строгая ориентация деталей и инструмента относительно друг друга в рабочем процессе — первый класс процессов. Другие виды обработки (термообработка, сушка, окраска и пр.), которые не требуют строгой ориентации детали, относят ко второму классу процессов. Кроме того, ТП по непрерывности подразделяют на дискретные и непрерывные. Дискретные процессы характеризуются прерывистостью и строгой последовательностью рабочих и холостых движений, непрерывные — не прерываясь, изменяются плавно, без скачков (например, бесцентровое шлифование, протягивание). Это разделение носит условный характер, так как большинство процессов сочетает дискретность с непрерывностью. Для обеспечения высокой производительности и надежности проводят дифференциацию ТП, т.е. делят его на упрощенные технологические переходы (позиции). По мере возможности для уменьшения длины транспортных путей и числа операций, а также в силу технической целесообразности осуществляют концентрацию переходов и позиций на едином оборудовании в одну операцию. Эффективность этих мероприятий устанавливается технико-экономическими расчетами, обязательно сопровождающими проектирование ТП автоматизированного производства.

Основные определения

Производство — технико-организационное подразделение труда, предназначенное для получения продуктов труда. Очевидно, что более конкретное определение производства зависит от структурного иерархического уровня данного подразделения и его предметной содержательности.

Деятельность или совокупность видов деятельности, использующая ресурсы и управляемая с целью преобразования входов в выходы, может рассматриваться **как процесс** (Международный стандарт ISO9001-2008. Системы менеджмента качества требования)[1].

В общем случае термин «процесс» означает последовательную смену состояний какого-либо объекта. Например, выполнение компьютерной программы является процессом.

Под **физическим процессом** понимают последовательную смену состояний объектов физического мира. Процессами в этом смысле являются движение, химические реакции или теплообмен. Процессы данного типа: промышленное или химическое

производство, кондиционирование воздуха в помещении (изменение влажности и температуры), движение транспортного средства (изменение его скорости и положения).

Технический стандарт DIN66201 (Германия) характеризует **физический процесс** как комбинацию связанных событий в системе, в результате которых изменяются, перемещаются или запасаются материя, энергия и информация.

Там же, под термином **технический процесс** понимается процесс, физические переменные которого можно измерить и изменить техническими средствами. Разница между физически техническим и техническим процессом заключена в том, что физический процесс не обязательно должен управляться извне, а технический процесс включает обработку информации для достижения заданной целевой функции.

Любой физический процесс характеризуется входом и выходом в виде:

- материальных компонентов;
- энергии;
- информации.

Примеры входных и выходных потоков рассмотрены в табл.1.1

Вход/выход	Химический реактор	Кондиционирование воздуха	Управление самолетом
Ввод материальных компонентов (сырья)	Потоки исходных реагентов	-	-
Выход материальных компонентов (продукции)	Один или несколько новых продуктов	-	-
Ввод энергии	Нагревание или охлаждение	Нагревание или охлаждение	Топливо к двигателям
Выход энергии	Получение тепла от реакции	Излучение тепла	Движение самолета
Ввод информации	Управление входными потоками реагентов и дополнительным нагревом	Управление температурой и интенсивностью поступления нагревающей/охлаждающей жидкости	Управление двигателем и аэродинамическими поверхностями
Вывод информации	Измерение температуры, давления, интенсивности потоков, концентрации	Измерение температуры	Измерение скорости, высоты, углов атаки, крена, курса

Задание: Дополнить таблицу 1 примерами из технологических процессов микроэлектроники (термическое напыление, плазмохимическое травление, литография, и т.д.)

В общем случае материальные компоненты (энергию и информацию) можно рассматривать как входные и выходные потоки, которые изменяются в ходе физических либо технических процессов.

При физико-химическом анализе любых процессов потоки являются основными кинетическими характеристиками системы, описывающей какой-либо технологический процесс или аппаратно-процессную единицу (АПЕ).

Например, для кинетической характеристики любого процесса достаточно знания четырех потоков: массы, компонента, теплоты (энтальпии) и импульса.

Поток массы — количество вещества, проходящее через поверхность в единицу времени. Единица потока массы — кг/ч или кг/с. При определении потока массы ее химический состав не учитывают.

Поток компонента является частным случаем потока массы. Из закона сохранения массы следует, что сумма потоков компонентов равна потоку массы/Единицы потока компонента — моль/ч или моль/с. При этом химический состав компонента принимается во внимание.

Поток теплоты (энтальпии) в инженерных расчетах является энергетической характеристикой потока и равен количеству теплоты в единицу времени при нормальных условиях ($T=298\text{ K}$, $p=10^4\text{ Па}$). Размерность потока теплоты Дж/с.

Поток импульса характеризует изменение импульса в единицу времени. Размерность потока импульса — кг·м/ч² или кг·м/с².

Конвективный поток образуется под действием какой-либо силы, обуславливающей перенос некоторого множества частиц (массы) из одного места системы в другое. Такое множество частиц характеризуется обобщенной плотностью Γ и элементарным объемом V . Следовательно, масса элементарного объема частиц составит ΓV . Элементарный конвективный поток данного

множества частиц.
$$J_k = \frac{d(\Gamma V)}{d\tau}$$

Помимо описанных компонентов, существуют посторонние по отношению к цели процесса факторы, которыми нельзя управлять, но которые оказывают влияние на процесс. Эти факторы рассматриваются как возмущения, отклоняющие процесс от штатного рабочего режима (рис.1.1). Возмущения сами по себе не являются физическими величинами, а проявляются в виде случайных флуктуаций в потоках материалов, энергии и информации.

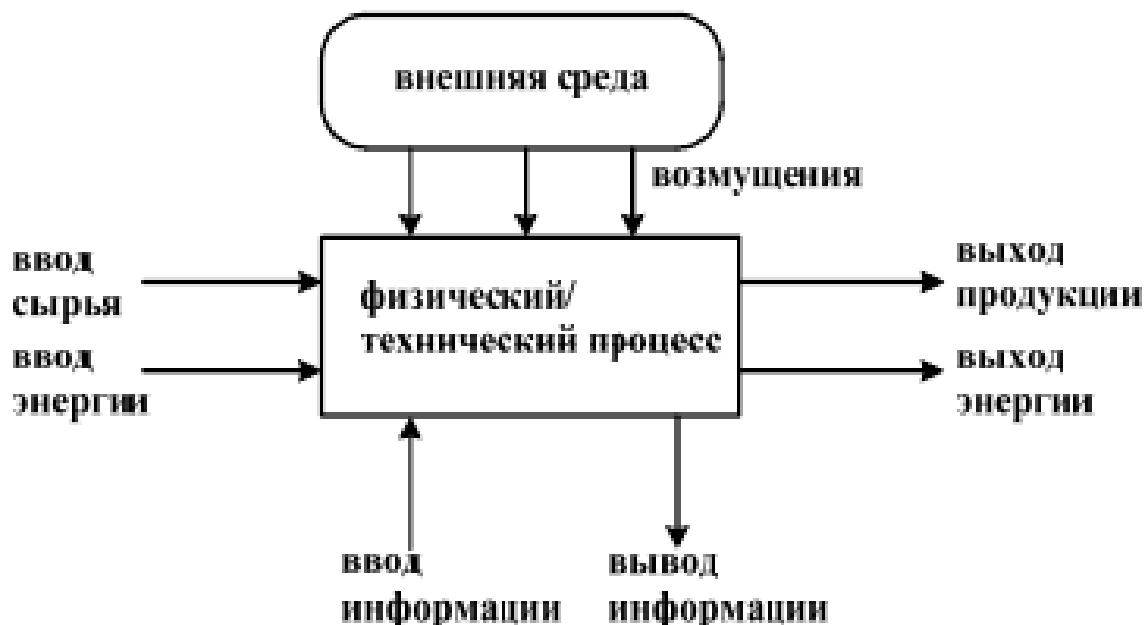


Рис. 1.1. Обобщенная модель физического/технического процесса [2]

Существование флуктуации термодинамических величин является следствием их статистической природы. Возникновение флуктуации означает переход системы из более вероятного состояния в менее вероятное.

В любой системе возникают флуктуации как кинетической и потенциальной энергий частиц, так и распределения частиц в пространстве. Флуктуации кинетической энергии условно относят к динамическим, а флуктуации потенциальной энергии и концентрации частиц — к статическим искажениям.

Флуктуации параметров системы во времени различны, несмотря на их постоянное среднее значение. Отклонение параметра в определенный момент времени будет скомпенсировано противоположными отклонениями его в другие моменты, хотя эти отклонения и неравнозначны. Например, изменение давления во времени для равновесной системы

$$\sum \Delta p = 0. \quad (1.1)$$

Количественной мерой флуктуации параметров системы служит среднеквадратичная флуктуация $(\Delta\Phi)^2$, равная среднему значению суммы квадратов разностей $\Phi_i - \Phi$:

$$(\Delta\bar{\Phi})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\Phi} - \Phi_i)^2}{n} = \frac{(\bar{\Phi} - \Phi_1)^2 + (\bar{\Phi} - \Phi_2)^2 + \dots + (\bar{\Phi} - \Phi_n)^2}{n}, \quad (1.2)$$

где Φ_i — истинное значение параметра; Φ — среднее значение параметра; n — число рассматриваемых значений параметра. Квадратичная флуктуация всегда однозначна и положительна. Величину $V(\Delta\bar{\Phi})^2$ называют **абсолютной**, а $V(\Delta\bar{\Phi})^2/\bar{\Phi}$ — **относительной флуктуациями**.

Поскольку в термодинамической системе потенциальная и кинетическая энергии непрерывно взаимодействуют и превращаются одна в другую, с их флуктуациями происходит то же самое. Динамические искажения приводят к появлению, то к-исчезновению статических искажений. Аналогично статические

искажения приводят к изменению характера движения частиц, что обуславливает как появление, так и исчезновение динамических искажений.

Флуктуации параметров играют существенную роль во многих технологических процессах и физических явлениях. Например, распределение дефектов структуры пленок по объему физически закономерно, если рассматривать это явление как «замораживание» флуктуации, даже если отвлечься от многих других причин возникновения дефектов.

Процесс производства заключается в выпуске продукции из сырья с соответствующими затратами (вводом) энергии. Входной информацией являются технологические инструкции, выраженные в виде набора параметров, которые можно явно контролировать. Выходная информация есть набор измеряемых переменных и параметров, которые описывают текущее состояние процесса и его изменение. Большое количество информации заключено в самом конечном продукте. Информация, следовательно, есть не только данные для наблюдения и управления, но технологические и организационные процедуры, вплоть до циркулирующих по кабинетам служебных документов и заявок на поставку.

Для обработки информации применяются компьютерные и микропроцессорные системы (рис. 1.2), которые выполняют две основные функции:

- 1) контролируют, находятся ли параметры технического процесса в заданных пределах;
- 2) индицируют соответствующие управляющие воздействия, чтобы параметры оставались в этих пределах даже при наличии внешних возмущений.

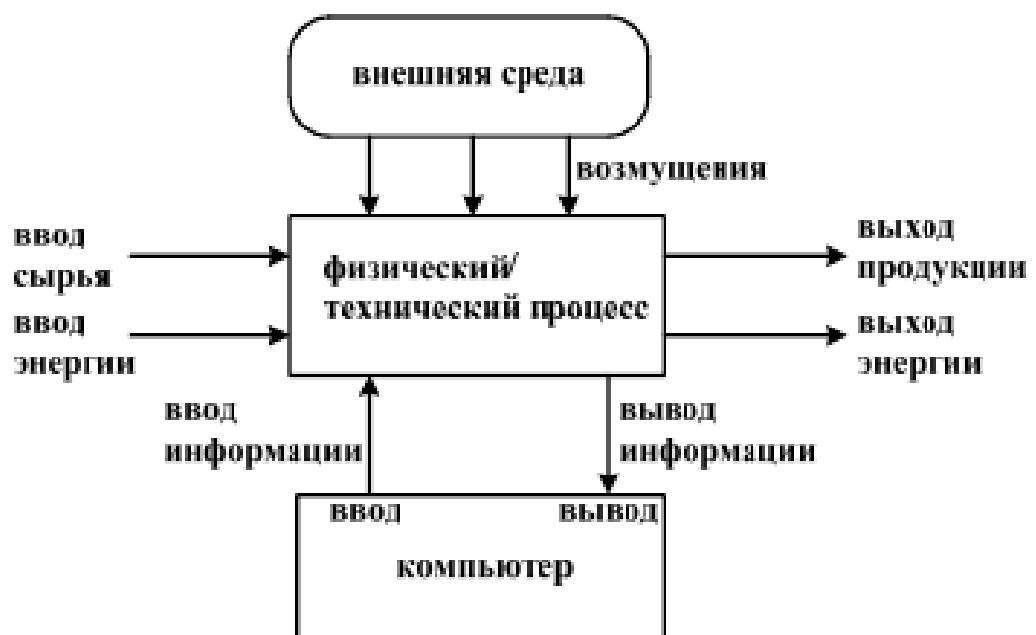


Рис. 1.2. Применение компьютера в управлении процессом

Механизация производственного процесса – замена физического труда человека работой механизмов, получающих энергию от какого-либо источника энергии неживой природы.

Автоматизация производственного процесса – замена физического труда человека, затрачиваемого на управление механизмами и машинами, работой специальных устройств, обеспечивающих это управление (регулирование различных параметров,

получение заданной производительности и качества продукта без вмешательства человека и т. п.).

Автоматическими называются процесс, оборудование или производство, не требующие присутствия человека в течение определенного промежутка времени для выполнения ряда повторяющихся рабочих циклов.

Автоматизированным называется такой процесс, часть которого выполняется автоматически, а другая часть требует присутствие рабочего.

Автомат – самостоятельно действующее устройство или совокупность устройств, выполняющее по заданной программе без непосредственного участия человека процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации.

Полуавтомат - это такое устройство, для возобновления рабочего цикла которого требуется вмешательство рабочего.

Рабочий цикл – это последовательность автоматически выполняемых запрограммированных действий.

Автоматизация управления – замена физического и умственного труда человека, затрачиваемого на управление, работой технических средств, обеспечивающих выполнение определенных управленческих работ с заданной производительностью и качеством без вмешательства человека, за которым остаются только функции наблюдения и подготовки технических средств к работе.

При автоматизации управления производственным процессом работа технических средств управления обеспечивает автоматический сбор и обработку данных о состоянии процесса, воздействие на процесс через исполнительные механизмы, вывод данных оператору или выполнение части этих функций.

Автоматизированная система – понятие, имеющее двойной смысл. С одной стороны, под автоматизированной системой понимается организационная система, использующая технические средства. С другой стороны, понятие используется для пояснения совершенства технической системы управления.

В автоматизированной системе, в отличие от автоматической, технические средства не обеспечивают полной автоматизации, и для успешного функционирования системы необходим труд людей – операторов, диспетчеров и др.

Главное отличие автоматизированной системы от автоматической - отсутствие замкнутой цепочки управления в автоматических исполнительных механизмах.

Техническая система управления – совокупность технических средств, имеющих между собой электрические, пневматические, гидравлические или иные информационные связи, а также независимые средства оргтехники, используемые для управления производственными или другими процессами по правилам и методике, предусмотренной в соответствующей организационной системе управления. Техническая система управления может предназначаться для управления производственными процессами, участками, цехами, производствами, предприятиями и т. д.

Автоматизированная система управления (АСУ) производством или технологическим процессом – разновидность систем управления, включающая технические средства, которые обеспечивают замену физического и умственного труда человека работой машин для сбора, переработки и вывода информации, требующих, однако, затрат труда операторов для своего обслуживания и выполнения отдельных функций управления. Для автоматизированных систем управления характерны значительные затраты труда на сбор, обработку и вывод информации, несмотря на использование технических средств.

Такие системы необходимы, например, в том случае, если часть первичной информации не может быть получена и введена в технические средства или системы автоматически, без участия человека, или если автоматическое управление с помощью технических средств невозможно, или если это можно сделать, но ценой неоправданно больших затрат или неоправданного усложнения технических средств.

Автоматизированные системы управления могут быть информационными и информационно-советующими. Последние отличаются тем, что предлагают оператору проекты готовых решений, рекомендации. Например, «Советчик мастера» – система, автоматически собирающая информацию о состоянии производственного процесса, обрабатывающая эту информацию и выдающая решения в виде рекомендаций. Система «замыкается» человеком, который принимает окончательное решение и реализует его. Такие системы считаются разомкнутыми, хотя цепь воздействий «замыкается» человеком.

Автоматическая система управления – разновидность систем управления, включающая технические средства, которые обеспечивают автоматический сбор, обработку информации, в том числе принятие решения и реализацию принятого решения. Затраты труда человека необходимы только для контроля функционирования и обслуживания системы. Автоматическая система управления состоит из управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой. Объектов и управляющих устройств в системе может быть несколько.

Применение самых совершенных технических средств не определяет полностью степени совершенства системы. Она в значительной мере зависит от идей, заложенных в организационной части системы (например, будет ли система адаптивной, обучающейся).

При внедрении автоматическая система управления технологическим процессом обычно используется вначале как автоматизированная система, работающая в информационном режиме, а после накопления опыта, проверки надежности системы и т. п. переводится в автоматический режим.

Непрерывные системы (аналоговые) – системы, в которых входные сигналы действуют непрерывно в течение всего времени работы системы.

Дискретные (импульсные) системы – с прерывистым воздействием сигнала на входе.

Рассмотрим обобщенную структуру автоматической системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) см. рис. 1.3.

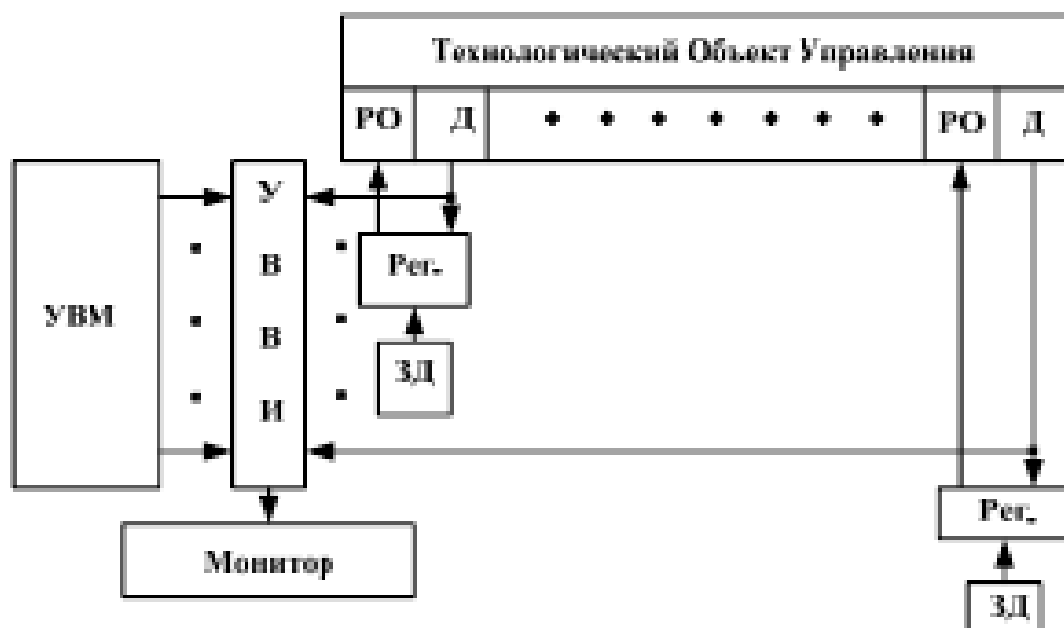


Рис. 1.3. Обобщенная структура АСУ ТП

Элементы обобщенной структуры АСУ ТП:

Д – датчик.

РО – регулирующий орган (клапан, вентиль, заслонка).

Рег. – автоматический регулятор (поддерживает на заданном уровне значение технологической величины).

ЗД – задатчик (вводит в автоматический регулятор значение регулируемой величины).

УВВИ – Устройство Ввода и Вывода Информации.

УВМ – Управляющая Вычислительная Машина. УВМ может работать в следующих режимах:

1. Режим слежения – обработка поступившей информации, вывод информации на монитор.

2. Режим советника – анализ ситуации, рекомендации по исправлению возникших ошибок.

Автоматизированные системы управления процессом обычно выполняет много различных функций, представленных на рис. 1.4.

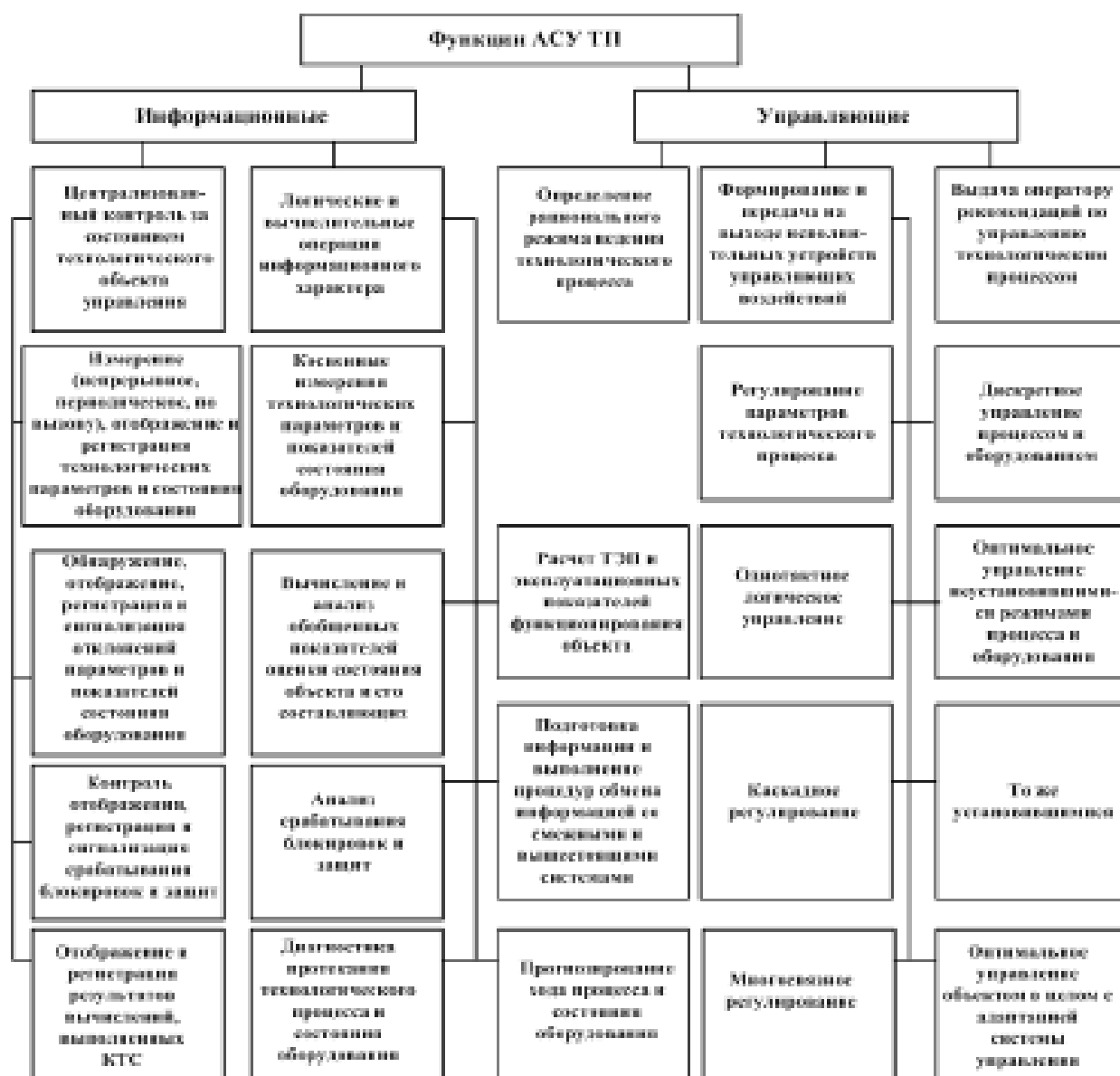


Рис. 1.4. Функции АСУ ТП по ГОСТ 16084–75



Рис. 1.5. Основные функции управления

Описанный выше перечень функций можно разделить на три большие группы (рис.1.5):

- 1) сбор и оценка данных технического процесса – мониторинг;
- 2) управление некоторыми параметрами технического процесса;
- 3) связь входных и выходных данных – обратная связь, автоматическое управление.

Мониторинг

Мониторинг процесса, или сбор информации о процессе, – это основная функция, присущая всем системам управления, осуществляющая сбор значений переменных процесса, их хранение и отображение в подходящей для человека-оператора форме.

Мониторинг может быть ограничен лишь выводом первичных или обработанных данных на экран монитора или на бумагу, а может включать более сложные функции анализа и отображения. Например, переменные, которые нельзя непосредственно измерить, должны рассчитываться или оцениваться на основе имеющихся измерений. Другой классической чертой мониторинга является проверка, что измеренные или рассчитанные значения находятся в допустимых пределах.

Когда функции системы управления процессом ограничены сбором и отображением данных, все решения об управляющих действиях принимаются оператором. Этот вид управления, называемый супервизорным, или дистанционным управлением (supervisory control), был очень распространен в первых системах компьютерного управления процессами. Он до сих пор применяется, особенно для очень сложных и относительно медленных процессов, где важно вмешательство человека. Примером являются биологические процессы, где определенную часть наблюдений нельзя выполнить без помощи автоматики.

При поступлении новых данных их значение оценивается относительно допустимых границ. В более развитой системе контроля несколько результатов могут комбинироваться на основе более или менее сложных правил для проверки: находится ли процесс в нормальном состоянии или вышел за какие-либо допустимые пределы. В еще более современных решениях, в особенности построенных на экспертных системах или базах знаний, комбинированная оперативная информация от датчиков объединяется с оценками, сделанными операторами.

Лекция 2 Управление техническим состоянием изделий. Управление технологическими процессами

Управление

Управление – это функция, обратная мониторингу. В прямом смысле управление означает, что команды ЭВМ поступают к исполнительным механизмам для воздействия на физический процесс. Во многих случаях на параметры процесса можно воздействовать только опосредованно, через другие параметры управления.

Автоматическое управление

Система, которая действует автономно и без прямого вмешательства оператора, называется автоматической. Система автоматического управления может состоять из простых контуров управления (одного для каждой пары входных и выходных переменных процесса) или из более сложных регуляторов со многими входами и выходами.

Существуют два основных подхода к реализации обратной связи в вычислительных системах. При традиционном прямом цифровом управлении (ПЦУ, Direct Digital Control – DDC) центральная ЭВМ рассчитывает управляющие сигналы для исполнительных устройств. Все данные наблюдения передаются в полном объеме от датчиков к центру управления, а управляющие сигналы – обратно к исполнительным устройствам.

В системах распределенного прямого цифрового управления (Distributed Direct Control) вычислительная система имеет распределенную архитектуру, а цифровые регуляторы реализованы на основе локальных процессоров, т. е. расположены вблизи технического процесса. ЭВМ верхних уровней управления рассчитывают опорные значения, а локальные процессоры ответственны главным образом за непосредственное управление техническим процессом, т. е. выработку управляющих воздействий для исполнительных механизмов на основе данных локального мониторинга. Эти локальные ЭВМ включают в себя цифровые контуры управления.

С точки зрения структурирования уровней управления и обработки различие между прямым цифровым управлением и распределенным прямым цифровым управлением заключается в том, что в первом случае, даже при наличии нескольких ЭВМ, они занимаются только передачей информации и не принимают решений (кроме центрального) об управляющих действиях. В распределенной структуре ЭВМ на уровнях процесса, участка и общего управления могут действовать более или менее автономно и не зависеть от центральной ЭВМ. Такое различие влияет на надежность сложной системы. Так, при отказе центральной ЭВМ управляющая система, при прямом цифровом управлении, останавливается, а распределенная система, даже при отказе одного или нескольких элементов утратит часть функций, но будет продолжать работу.

В более простых системах, осуществляющих управление опорными значениями (setpoint control), ЭВМ рассчитывает опорные значения, которые затем поступают на обычные регуляторы. ЭВМ в этом случае выполняет роль только вычислителя (без измерения и генерации управляющих воздействий).

Виды обеспечения автоматических систем управления технологическими процессами

Автоматическая система управления технологическими процессами (АСУ ТП) включает оперативный персонал, организационное и информационное, программное и техническое обеспечение (ГОСТ 16084–75).

Оперативный персонал АСУ ТП включает технологов-операторов автоматизированного технологического комплекса (АТК), осуществляющих управление технологическим объектом, и эксплуатационный персонал АСУ ТП, обеспечивающий функционирование системы. Ремонтный персонал в состав оперативного персонала не включается. Оперативный персонал может работать как в самом контуре управления, так и вне его. В первом случае оперативный персонал реализует функции управления, используя рекомендации, выдаваемые комплексом технических средств. Вне контура управления оперативный персонал задает системе режим работы, контролирует работу системы и, при необходимости (при отказе оборудования, аварийной ситуации), принимает на себя управление технологическим процессом.

Организационное обеспечение АСУ ТП включает описание функциональной, технической и организационной структур системы, инструкции и регламенты для оперативного персонала по работе АСУ ТП. Оно должно содержать совокупность правил и предписаний, обеспечивающих требуемое взаимодействие оперативного персонала между собой и комплексом средств.

Информационное обеспечение АСУ ТП включает систему кодирования технологической и технико-экономической информации, справочную и оперативную информацию. Информационное обеспечение содержит описания всех сигналов и кодов, используемых для связи технических средств. Формы выходных документов и другие формы представления информации не должны вызывать трудностей у персонала при их использовании.

В информационном обеспечении в соответствии с требованиями технического задания предусматривается некоторая избыточность, позволяющая обеспечить расширение массивов при развитии системы, а также совместимость со смежными и вышестоящими системами по

содержанию, системе кодирования и форме представления информации, используемой для обмена.

Программное обеспечение АСУ ТП включает общее программное обеспечение, поставляемое со средствами вычислительной техники, в том числе программы-диспетчеры, транслирующие программы, операционные системы, библиотеки стандартных программ и др. Специальное программное обеспечение – совокупность программ, реализующих функции конкретной системы и обеспечивающих функционирование комплекса технических средств, в том числе встроенное программное обеспечение (ПО).

Централизованная и распределенная архитектура АСУ ТП

Системы управления технологическими процессами применяются в различных отраслях промышленности. При этом каждому объекту автоматизации присущи индивидуальные особенности технологического процесса, которые приходится учитывать разработчику. Однако в целом всю совокупность технологических процессов разработки делят на следующие типы:

- 1) непрерывный (Process Control);
- 2) дискретно-непрерывный (Batch Control);
- 3) дискретный (Factory automation)

Управление описанными технологическими процессами подчиняется общей (классической) модели управления, приведенной на рис. 1.6.

Архитектура современных систем АСУ ТП в настоящее время имеет два варианта реализации:

1. Централизованные – это системы которые объединяют управляющую подсистему, систему ввода-вывода и отображения. Примеры подобных систем: станки с ЧПУ, пульты управления плавильными печами, автоматизированные линии.
2. Распределенные – это системы которые позволяют:
 - приблизить управляющий контроллер к объекту;
 - разделение подсистем управления и визуализации;
 - управление в масштабе предприятия.



Рис. 1.6. Модель управления технологическими процессами

Централизованные АСУ ТП (рис. 1.7) обычно имеют 2 уровня: верхний и нижний. На верхнем уровне располагается вычислительное устройство. На нижнем – исполнительные приводы, датчики обратных связей.

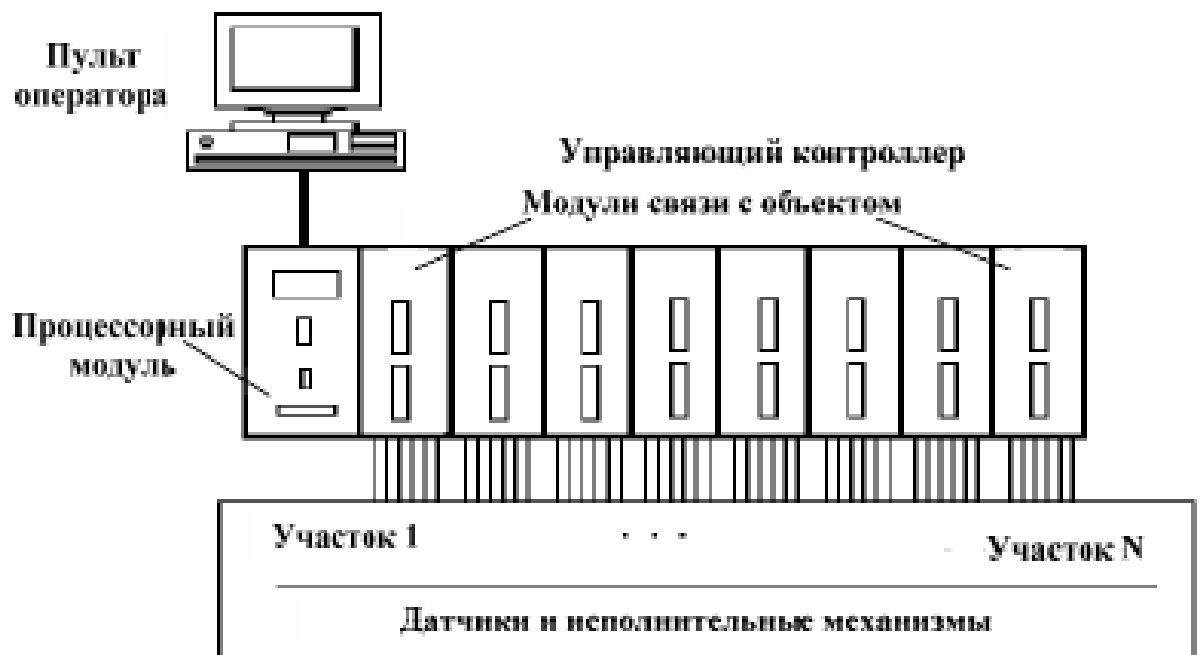


Рис. 1.7. Централизованная АСУ ТП

Управление техническим состоянием изделий. Управление технологическими процессами.

Централизованная АСУ ТП имеет ряд недостатков:

Необходимость применения в управляющих контролерах мощных высокопроизводительных процессоров. Поскольку все задачи решаются только одним процессором, то при большом количестве периферийных устройств и модулей ввода-вывода он должен иметь достаточно большую производительность.

Большие трудности, связанные с расширением системы. При расширении или модернизации требуется замена конструктива контроллера и модификация или полная замена программного обеспечения.

Невысокая надежность системы и повышенная подверженность действию помех. Поскольку электронные блоки системы при таком подходе сосредоточены в одном месте, то к ним приходится прокладывать большое количество силовых и сигнальных цепей (от датчиков

и исполнительных устройств), что при больших габаритах системы снижает надежность и увеличивает стоимость (большой расход дорогостоящей кабельной продукции) системы.

Распределенные АСУ ТП (рис. 1.8), как правило, разделяются на 3 уровня: верхний, нижний и средний. На верхнем уровне располагается автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

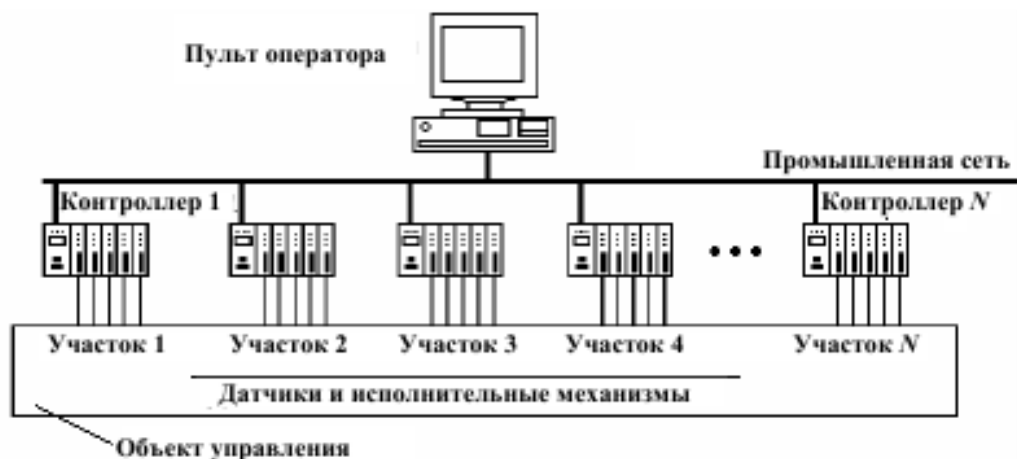


Рис. 1.8. Распределенная АСУ ТП

Достоинства распределенной АСУ ТП:

Высокая надежность работы системы. Четкое распределение обязанностей в распределенной системе делает ее работоспособной даже при выходе из строя или зависании любого узла. При этом работоспособные узлы продолжают осуществлять сбор данных и управление процессом или осуществляют последовательный останов технологического оборудования.

Малое количество проводных соединений. Контроллеры имеют возможность работать в тяжелых промышленных условиях, поэтому они, как правило, устанавливаются в непосредственной близости от объекта управления. В связи с этим существенно снижается расход кабельной продукции, а для организации сети, как правило, достаточно всего двух или четырех проводов.

Легкая расширяемость системы. При появлении дополнительных точек контроля и управления достаточно добавить в системы новый узел (контроллер, интеллектуальный модуль ввода-вывода).

Малые сроки проведения модернизации. Наибольший выигрыш достигается при модернизации крупных систем, поскольку большая часть аппаратных средств и программного обеспечения не требует модификации.

Использование компьютеров и контроллеров меньшей мощности.

Легкость тестирования и отладки. Поскольку все элементы системы активны, легко обеспечить самодиагностику и поиск неисправности.

В последнее время в области автоматизации технологических процессов наметился переход от централизованных систем, в которых один мощный процессорный модуль управляет большим количеством пассивных периферийных устройств, к распределенным, где каждый элемент системы является активным устройством сбора данных и управления.

В связи с резким удешевлением микропроцессорной техники с одновременным повышением их отказоустойчивости, уменьшением их размеров и увеличением их функциональных возможностей появилось большое количество малогабаритных контроллеров и компьютеров, обладающих невысокой стоимостью. Наличие развитых сетевых средств позволяет связывать эти контроллеры в единую сеть, причем различные узлы (контроллеры, интеллектуальные модули ввода-вывода, компьютеры) этой сети могут быть разнесены друг от друга на достаточно большие расстояния, что делает наиболее предпочтительным вариант распределенной АСУ ТП.

Классификация промышленных объектов управления

По характеру установившегося значения выходной величины объекта управления при действии на его вход ступенчатого сигнала выделяют объекты с самовыравниванием и без самовыравнивания.

По количеству входных и выходных величин и их взаимосвязи объекты делятся на одномерные (один вход и один выход) и многомерные.

Многомерные могут быть многосвязными, когда наблюдается взаимное влияние каналов регулирования друг на друга, либо несвязными, взаимосвязь между каналами которых мала.

По виду статических характеристик объекты делятся на линейные и нелинейные. В последних статическая характеристика может быть гладкой, линеаризуемой в окрестности заданной точки, либо носить существенно нелинейный характер. (Статические характеристики объекта управления устанавливают связь между установившимися значениями входа и выхода объекта.) При наличии в объекте нескольких нелинейностей графическим методом определяется его суммарная нелинейная характеристика. Большинство систем регулирования относится к классу систем автоматической стабилизации режима работы объекта относительно его рабочей точки (относительно номинального режима работы). В этом случае в процессе работы отклонения переменных относительно рабочей точки будут малы, что позволяет использовать линейные модели объекта управления. Однако при смене рабочей точки происходит изменение коэффициента усиления объекта, что будет негативно влиять на динамику замкнутой системы.

Объекты могут быть как стационарные, так и нестационарные. В нестационарных объектах параметры изменяются с течением времени (дрейфуют). Примерами таких объектов могут быть химический реактор с катализатором, активность которого падает с

течением времени, или аэрокосмический аппарат, масса которого по мере выгорания топлива уменьшается. Такие явления должны учитываться при проектировании соответствующих систем управления.

В зависимости от интенсивности случайных возмущений, действующих на объект, они делятся на стохастические и детерминированные. В реальных условиях часто точно неизвестны ни точка приложения возмущения F , ни его характер (рис. 1.9).

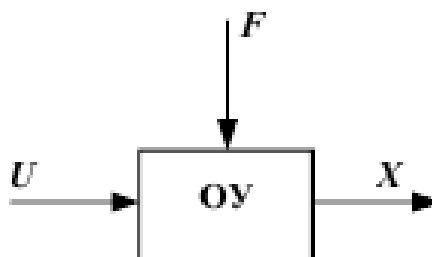


Рис. 1.9. Внешние возмущения в объектах управления

Известно, что лишь при наличии достаточно точной математической модели объекта можно спроектировать высококачественную систему управления этим объектом. Причем, согласно принципу Эшби, сложность управляющего устройства должна быть не ниже сложности объекта управления. Поэтому основной целью построения математической модели объекта управления является определение структуры объекта, его статических и динамических характеристик.

Особенно важно определение структуры для многомерных и многосвязных объектов управления. В тоже время, для локальных объектов управления определение структуры может быть сведено к определению порядка дифференциального уравнения, описывающего объект. Кроме того, оцениваются входные сигналы и возмущения, действующие на объект (их статистические характеристики, точки приложения, максимальные амплитуды). Значение этих характеристик позволяет выбрать структуру регулятора и рассчитать параметры его настройки, ориентируясь также на критерий качества работы этой системы.

Наряду с динамической частью $W(p)$ в структуре объекта могут содержаться различные запаздывания в сигналах управления, измерения и состояния (рецикла), рис. 1.10.

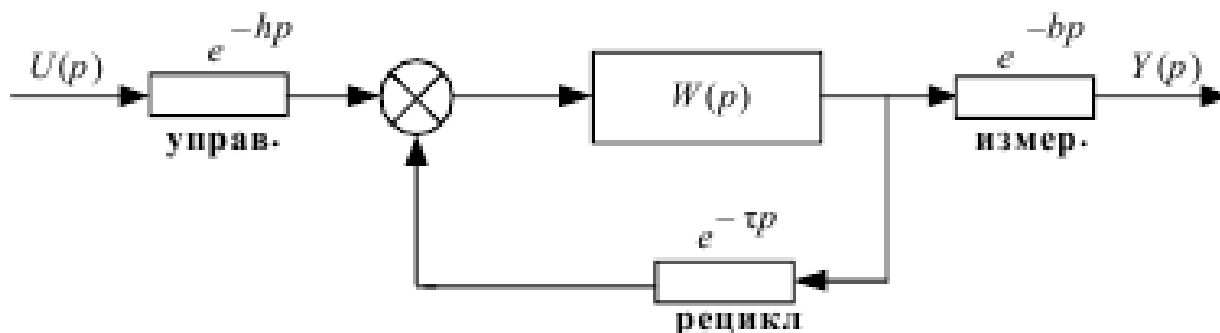


Рис. 1.10. Объект управления с запаздыванием

В промышленных объектах под рециклом понимается возврат части продукта с выхода объекта на его вход с целью повторной переработки.

Большинство промышленных объектов управления имеют запаздывания. Наличие запаздывания объясняется конечной скоростью распространения потоков информации в технологических объектах (транспортное запаздывание). Наряду с этим при понижении порядка модели объекта, вводят дополнительное динамическое запаздывание. Для этого выделяют одну наибольшую постоянную времени, а все остальные малые постоянные времени заменяют звеном динамического запаздывания.

Классификация параметров технологических процессов

Управление осуществляется на основании получаемой информации. Состояние технологических объектов находит отражение в особом виде информации – параметрах.

Параметр в технике – величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, явления, системы, технического устройства. Параметры можно классифицировать по многим признакам (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Классификационные признаки параметров технологических процессов

По характеру физических величин параметры можно, в свою очередь, классифицировать по ряду признаков, как показано на рис. 1.12.



Рис. 1.12. Классификация параметров по характеру физических величин

По характеру измерений параметры можно также подразделить в соответствии с классификацией измерительных сигналов, приведенной на рис. 1.14 в соответствии с характером измерений показанной на рис. 1.1. Под сигналом в общем случае понимают материальный носитель информации. Измерительный сигнал несет информацию в виде отражения физического процесса либо представляет собой кодовый или дискретный сигнал.

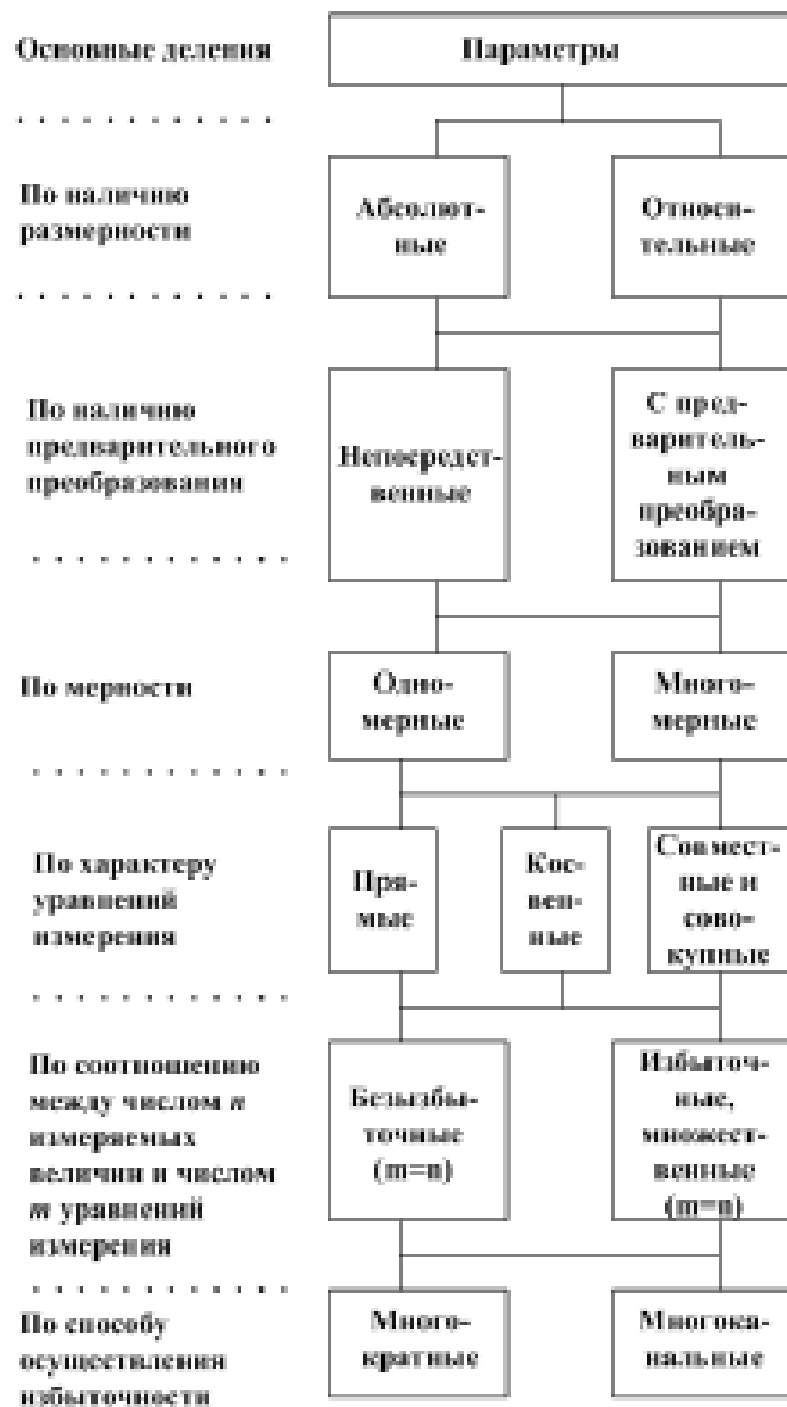


Рис. 1.13. Классификация параметров по характеру измерений



Рис. 1.14. Классификация параметров по видам измерительных сигналов

По характеру дискретизации параметры подразделяются на непрерывные и прерывистые, или дискретизированные во времени или в пространстве. Непрерывные параметры (аналоговые) характеризуют физический процесс, непрерывный во времени или пространстве. Дискретизированные параметры определяют физический процесс только в определенные моменты времени или в определенных точках пространства (например, импульсы электрического тока, совокупность электрических зарядов, расположенных в отдельных точках поверхности диэлектрика).

По отношению к технологическому процессу параметры подразделяются на входные, промежуточные и выходные. Входные параметры характеризуют качество и количество исходных продуктов, данные лабораторных испытаний, показания аналитических приборов и т. п. Промежуточные параметры отражают ход технологического процесса в промежуточных звеньях технологической цепочки. Выходные параметры характеризуют обобщенные технико-экономические показатели, которыми оценивают качество и экономическую эффективность работы объектов и процессов.

По информативному признаку параметры подразделяются на информативные и неинформативные. Информативные параметры – параметры процесса, являющиеся измеряемыми физическими величинами. Неинформативные параметры – параметры, не связанные функционально с измеряемой величиной. Неинформативные параметры могут оказывать воздействие на средство измерений, вызывающее изменение его показаний.

По возможности контроля параметры можно классифицировать на контролируемые и неконтролируемые, причем первые определяются показаниями аналитических приборов, операциями учета и др. Неконтролируемые параметры характеризуются влияниями случайных процессов флуктуаций характеристик

материала, изменениями окружающей среды, влияниями износа и старения оборудования, явлениями наводок и т. д.

По направлению управления параметры подразделяются на управляемые и управляющие. Управляемые параметры характеризуют состояние технологического процесса, который подвергается управлению. Управляющие параметры определяют воздействия, с помощью которых поддерживаются заданный технологический режим процесса, изменения состояний агрегатов и технических средств и т. п.

По степени локализации параметры классифицируются на сосредоточенные и распределенные. Сосредоточенные параметры характеризуют состояние локальных участков процесса, например нагрузку на балку на малом участке по сравнению с длиной балки. Распределенные параметры определяют физические величины, распределенные в пространстве, например распределенную емкость линии электропередач.

Классификация технических средств регулирования

По роду используемой энергии:

- а) гидравлические;
- б) пневматические;
- в) электрические;
- г) смешанные.

По закону регулирования:

- а) П-закон;
- б) И-закон;
- в) ПИ-закон;
- г) ПД-закон;
- д) ПИД-закон.

По характеру поддержания заданного значения:

- а) стабилизирующие;
- б) программные регуляторы;
- в) экстремальные – поддерживают значение регулируемой величины на наибольшем или наименьшем уровне;
- г) следящие системы – слежение за некоторым входным сигналом, изменяющимся во времени по заранее неизвестной зависимости;

Уровень АПП определяется необходимой долей участия оператора в управлении этим процессом. Различают автоматизацию производства трех уровней:

1. **Частичная автоматизация** – это автоматизация отдельных операций технологического процесса (применение станков с ЧПУ).
2. **Комплексная автоматизация** – это АПП изготовления деталей и сборки с использованием автоматических систем машин (автоматическая линия (АЛ), гибкие производственные системы (ГПС)).
3. **Полная автоматизация** – это высшая ступень автоматизации, где все функции изготовления, контроля и управления производством выполняются автоматически (автоматический цех, завод). При полной автоматизации присутствие человека не требуется (**безлюдный режим работы** – это такая степень автоматизации, при которой станок, производственный участок, цех или весь завод могут работать автоматически в течение хотя бы одной смены без участия человека).

Технико-экономические преимущества автоматически управляемых производственных систем по сравнению с ручным управлением следующие:

1. более высокое быстродействие, позволяющее повышать скорости протекания производственных процессов, а, следовательно, повышать производительность производственного оборудования.
2. более высокое и стабильное качество управления процессами, обеспечивающее высокое качество продукции при более экономном расходовании материалов и энергии.
3. возможность работы автоматов в тяжелых, вредных и опасных для человека условиях.
4. стабильность ритма работы, возможность длительной работы без перерыва вследствие отсутствия утомляемости, присущей человеку.
5. сокращение периодов времени от начала проектирования до начала выпуска продукции.
6. возможность расширения производства без увеличения трудовых ресурсов.

Повышение производительности труда при автоматическом производстве достигается следующим образом:

1. полным использованием календарного времени при круглосуточной автоматической работе оборудования
2. повышением скорости протекания процессов, которые не ограничиваются возможностями человека.
3. высвобождением обслуживающего персонала.

Автоматическое регулирование процесса предотвращает потери вследствие поломок инструмента и вынужденного простоя оборудования.

Автоматизация проектирования и изготовления продукции с использованием **ЭВМ** позволяет значительно сократить количество бумажных документов (чертежей, схем, графиков), необходимых в неавтоматизированном производстве.

Степень автоматизации производственных процессов.

Степень автоматизации – безразмерный показатель, позволяющий количественно оценить уровень автоматизации отдельной машины, систем машин или производственного процесса.

Степень АПП оценивается отношением времени автоматической работы к рассматриваемому периоду времени. Различают:

1. Цикловая степень автоматизации ($\hat{E}_c$)

$K_u = \frac{t_a}{t_u}$ – это отношение времени автоматической работы устройства (t_a) в течение цикла к полному времени цикла (t_c).

$$t_c = T_0 + T_{\text{анл.}}, \text{ и т.д.}$$

2. Рабочая степень автоматизации ($\hat{E}_D$)

$\hat{E}_D = \frac{t_a}{t_{\text{шт.}} \cdot (t_{\text{шт.}})}$ – это отношение доли штучного времени автоматической работы ко всему штучному времени.

$$t_{\text{шт.}} = T_0 + T_{\text{анл.}} + T_{\text{зад.}} + T_{\text{налад.}} - \text{и др.}$$

3. Эксплуатационная степень автоматизации ($\hat{E}_Y$)

$$\hat{E}_{\dot{\gamma}} = \frac{t_a}{t_{\dot{\gamma}}} \text{ – это отношение } \sum \text{ времени автоматической работы в течение расчетного}$$

периода времени (смены, месяца, квартала, года) к расчетному периоду времени эксплуатации.

Области применения технологического оборудования с различными уровнями автоматизации для основного производства:

1. Единичное, мелкое и среднесерийное производство – механизированное и автоматизированное универсальное оборудование с ручным управлением, оборудование с ЧПУ, гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие производственные участки (ГПУ).

2. Крупносерийное и массовое производство – специальные и агрегатные станки автоматические линии (АЛ), автоматы и полуавтоматы, гибкие автоматические линии (ГАЛ).

3. Сверхмассовое производство – автоматические роторные линии и автоматические роторно-конвейерные линии (АРКЛ).

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) – совокупность устройств получения, передачи, хранения, обработки и представления информации о состоянии и ходе различных процессов и выработки управляющих воздействий на них. ГСП состоит из унифицированных элементов, модулей и блоков, допускающих информационное, энергетическое и конструктивное сопряжение в агрегатных комплексах и автоматизированных системах управления. В ГСП входят электрические, пневматические и гидравлические приборы.

ГСП составляет техническую основу для реализации информационно-управляющих систем в промышленной и непромышленной сферах народного хозяйства страны. ГСП охватывает измерительную, управляющую и регулирующую технику.

На сегодняшнем этапе основой ГСП являются агрегатные системы. Каждая система регулирования строится за счет комбинирования, изменения порядка подключения различных блоков и модулей, обменивающихся унифицированными сигналами.

Блок – конструктивное сборное устройство, выполняющее одну или несколько функций, смонтированное в одном корпусе.

Модуль – более простая структурная единица, унифицированный узел, выполняющий одну элементарную операцию и входящий в состав блока или прибора.

Исполнительные механизмы – устройства для преобразования управляющей информации в механическое перемещение регулирующего органа и развивающее мощность, достаточную для потребителя.

Реализация типовых функций АСУ ТП осуществляется в ГСП аппаратными средствами, иерархическая структура которых изображена на рис. 1.13. Средства первого уровня включают в себя датчики и исполнительные устройства. Средства второго и третьего уровней выполняют функции программного управления, стабилизации режимов работы объекта управления и вывода на режим, включая ручное управление и программно-логическое. Задачи исследования объекта управления и оптимизации процесса управления решаются средствами четвертого уровня. С помощью этих же средств выполняются и функции представления информации, и сервисные функции.

Одна из задач ГСП – создание ограниченной номенклатуры унифицированных устройств, способных максимально удовлетворить потребности экономики, а одним из важнейших принципов, лежащих в основе построения ГСП, является требование конструктивного сопряжения устройств в системах контроля, регулирования и управления

технологическими процессами.

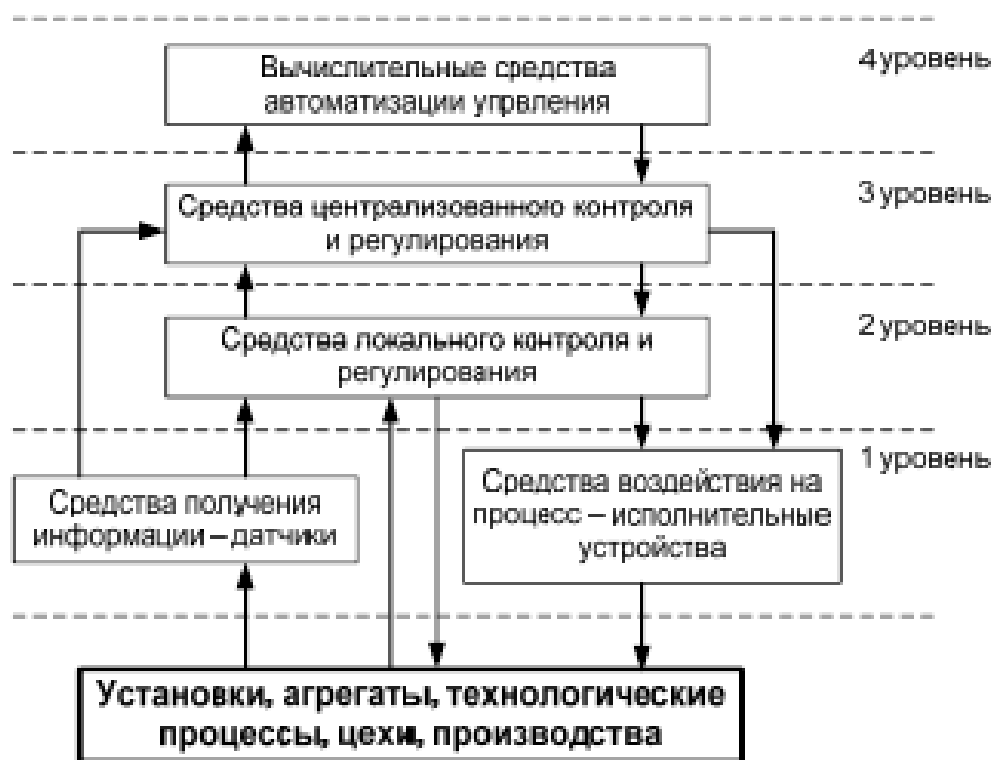


Рис. 1.13. Иерархическая структура технических средств ГСП

Унифицированный сигнал ГСП – это сигнал дистанционной передачи информации с унифицированными параметрами, обеспечивающий информационное сопряжение (интерфейс) между блоками, приборами и установками ГСП. В зависимости от вида унифицированных параметров в ГСП применяют унифицированные сигналы четырех групп:

- 1) тока и напряжения электрические непрерывные;
- 2) частотные электрические непрерывные;
- 3) электрические кодированные;
- 4) пневматические.

Электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 9895–78 следующие:

токовые сигналы постоянного тока: 0...5 мА (наиболее распространены); –5 ... +5 мА; 0...20 мА; 4...20 мА;

сигналы по постоянному напряжению 0...10 мВ; –10 ... +10 В; 0...24 В; 0...48 В; 0...110 В; 0...220 В;

сигналы по переменному напряжению 0...1 В; 0...2 В; 0...36 В; 0...127 В; 0...220 В.

Частотные электрические непрерывные сигналы по ГОСТ 10938–75: 0...8 Гц; 2...4 Гц; 4...8 Гц; 0...100 Гц.

Пневматические сигналы: 0,1...1,0 атм; 0,01...0,1 МПа.

Лекция 3. Формообразующие технологии

Основные принципы построения технологии механической обработки в автоматизированных производственных системах

Раскрыть потенциальные возможности АПС и обеспечить их максимальную эффективность можно только тогда, когда проектированию АПС предшествуют глубокие технологические разработки, соблюдение основных принципов технологии. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Принцип завершенности* заключается в том, что следует стремиться к выполнению всех операций в пределах одной АПС без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения. Для реализации принципа необходимы: обеспечение требований по технологичности изделий; разработка новых унифицированных методов обработки и контроля; расширение и обоснование типажа оборудования АПС с повышенными технологическими возможностями.

2. *Принцип малооперационной* технологии заключается в формировании ТП с максимально возможным укрупнением операций, с минимальным числом операций и установок в операциях. Для реализации принципа необходимы те же мероприятия, что и для принципа 1, а также оптимизация маршрутов и операционной технологии, применение методов автоматизированного проектирования ТП.

3. *Принцип «малолюдной»* технологии заключается в обеспечении автоматической работы АПС в пределах всего производственного цикла. Для реализации принципа необходимы: стабилизация отклонений входных технологических параметров АПС (заготовок, инструментов, станков, оснастки); расширение и повышение надежности методов операционного информационного обеспечения; переход к гибким адаптивным системам управления СУ ТП со статистической коррекцией УП.

4. *Принцип «безотладочной»* технологии заключается в разработке ТП, не требующих отладки на рабочих позициях. Принцип особенно актуален для широкономенклатурных АПС, он близок к принципу 3. Для его реализации необходимы те же мероприятия, что и для принципа 3.

5. *Принцип активно-управляемой* технологии заключается в организации управления ТП и коррекции проектных решений на основе рабочей информации о ходе ТП. Корректировать можно как технологические параметры, формируемые на этапе управления, так и исходные параметры технологической подготовки производства (ТПП). Для реализации принципа необходимы: разработка методов и алгоритмов адаптивного управления ТП; разработка методов статистической коррекции базы данных (БД) для создания самообучающихся АПС.

6. *Принцип оптимальности* заключается в принятии решения на каждом этапе ТПП и управлении ТП на основе единого критерия оптимальности. Для реализации принципа необходимы: разработка теоретических основ оптимизации ТП; разработка алгоритмов оптимизации для условий работы АПС; разработка специальных технических, аппаратных, программных средств реализации указанных алгоритмов.

Принцип оптимальности создает единую методическую основу решения технологических задач на всех уровнях и этапах, позволяет выработать наиболее эффективное, однозначное и взаимоувязанное решение указанных задач.

Помимо рассмотренных для технологии АПС характерны и другие принципы: компьютерной технологии, информационной обеспеченности, интеграции, безбумажной документации, групповой технологии. Все они объединены в единую систему ТПП и управления, что позволяет говорить о создании принципиально новой технологии АПС, реализующей наиболее эффективные технические решения и максимально раскрывающей потенциальные технические и технологические возможности АПС. Последний принцип групповой технологии является фундаментальным для всех АПС, так как именно он обеспечивает «гибкость» производства.

Существуют **типовые** и **групповые** технологические процессы

Методы типовой и групповой технологии, позволяющие свести к минимуму индивидуальные технологические разработки, широко используют при автоматизации ТПП.

Типизация ТП для сходных по конфигурации и технологическим особенностям групп деталей предусматривает их изготовление по одинаковым ТП, основанным на применении наиболее совершенных методов обработки и обеспечивающим достижение наивысшей производительности, экономичности и качества. Основу типизации составляют правила обработки отдельных элементарных поверхностей и правила назначения очередности обработки этих поверхностей.

Типовые ТП находят применение главным образом в крупносерийном и массовом производстве.

Принцип групповой технологии лежит в основе технологии переналаживаемого производства — мелко- и среднесерийного. В отличие от типизации ТП при групповой технологии общим признаком объединения деталей в группы является общность обрабатываемых поверхностей и их сочетаний, т. е. общность оборудования, необходимого для обработки детали или отдельных ее поверхностей. Очевидно, что в состав группы можно включать заготовки различной конфигурации и даже различных типов.

В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей, являющегося основой построения типового процесса. Поэтому групповые методы обработки характерны для обработки деталей с широкой номенклатурой.

И типизация ТП, и метод групповой технологии являются основными направлениями унификации технологических решений, повышающей эффективность производства. Для их реализации необходимы классификация деталей, отработка их конструкций на технологичность с одновременной унификацией конструктивно-технологических элементов (КТЭ) этих деталей.

Классификация деталей

Классификацию деталей проводят в целях определения групп технологически однородных деталей для их совместной обработки в условиях группового производства. Выполняют ее в два этапа: первичная классификация — кодирование деталей обследуемого производства по конструктивно-технологическим признакам; вторичная классификация — группирование деталей с одинаковыми или несущественно отличающимися признаками классификации.

Состав признаков устанавливают с учетом особенностей анализируемого производства. При классификации деталей нужно учитывать следующие признаки: конструктивные — в соответствии с классификатором ЕСКД; габаритные размеры, массу, материал, вид обработки и заготовки; число операций обработки; точностные и другие показатели, определяемые особенностями объектов исследования.

Группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам и выбор деталей-представителей выполняют методом сопоставления запросов на группирование с перечислением признаков первичной классификации в такой последовательности: выбор совокупности деталей на уровне классов, например, тела вращения для механообрабатывающего производства; выбор совокупности деталей на уровне подкласса, например, детали типа вала; классификация деталей по комбинации поверхностей, например, валы с комбинацией гладких цилиндрических поверхностей; группирование по габаритным размерам с выделением областей с максимальной плотностью распределения размеров (рис. 3.1); определение по диаграмме областей с

наибольшим числом наименований деталей. Эти области формируют группы по

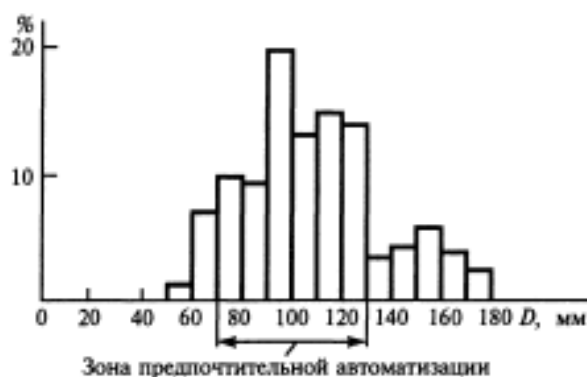


Рис. 3.1. Пример диаграммы частоты распределения коротких тел вращения (подклассы 711, 712) по диаметру

конструктивным признакам; в таких группах определяют подгруппы с общностью технологических признаков; в каждой подгруппе выбирают типовой представитель по критерию максимума операций ТП; выполняют укрупненное нормирование операций обработки типового представителя по каждой группе деталей; определяют укрупненно суммарную станкоемкость по каждой операции на группу изделий с учетом годового выпуска всех деталей группы:

$$Q_{ij} = t_{шт} N_i$$

где Q_{ij} — станкоемкость обработки i -й операции j -й группы деталей;
 $t_{шт}$ — штучное время обработки по i -й операции типового представителя j -й группы; N_i — годовой выпуск изделий i -й группы.

Одним из факторов, определяющих приоритет автоматизации, является станкоемкость групповой обработки. Итоговые данные удельного веса станкоемкости обработки рассчитывают для каждой группы деталей. Этот показатель необходим для определения целесообразности и очередности автоматизации.

При большой номенклатуре деталей и трудностях с выполнением кодирования и группирования допускается анализ выпускаемой продукции по ее основным группам. В этом случае по каждой группе деталей определяют деталь-представитель, имеющую наибольшее число общих признаков, присущих деталям данной группы. Остальные детали являются модификациями базовой детали.

Полученную в результате классификации деталей информацию формализуют и используют для формирования БД по объектам производства. Применение информационных технологий позволяет использовать эти БД при выборе технологии, основного и вспомогательного оборудования, оснастки и инструмента. При этом значительное упрощение и удешевление конструирования и производства машин за счет резкого сокращения типажа приспособлений, режущего и мерительного инструментов, инструментальных наладок и использования типовых технологических модулей (модульной технологии) возможно на основе унификации КТЭ деталей машин и точностных параметров.

Основой унификации деталей и элементов являются их классификация по конструктивно-технологическим признакам и последующий статистический анализ точностных и геометрических параметров унифицируемых деталей и элементов. Унификация конструктивных элементов деталей и сборочных единиц заключается в

системном подходе к формированию групп элементов по их геометрическим, точностным, технологическим признакам, выделению ограниченного количества типовых представителей этих групп на основе статистического анализа. Унификация элементов и их параметров должна сопровождаться тщательным анализом функционального назначения детали и узла, особенностей их конструкции и эксплуатации, технологических возможностей производства, т. е. унификация конструктивно-технологических элементов (наружных цилиндрических поверхностей, расточек, канавок, пазов и т. д.) должна проводиться на стадии отработки конструкций изделий на технологичность.

Технологичность конструкций изделий для условий автоматизированного производства Оценка и отработка конструкций изделий на технологичность — один из важнейших этапов технологической подготовки производства, и в особенности автоматизированного. Конструкция изделия считается технологичной, если для его изготовления и эксплуатации требуются минимальные затраты материалов, времени и средств. Оценку технологичности проводят по качественным и количественным критериям отдельно для заготовок, обрабатываемых деталей, сборочных единиц.

Для повышения надежности автоматизированного производства (АП) необходимо максимально приблизить форму и размеры заготовки к конечной форме и размерам детали, т. е. обеспечить достижение минимальных припусков на каждой операции.

Детали, подлежащие обработке в АП, должны быть технологичны, т. е. просты по форме, габаритам, состоять из стандартных поверхностей и иметь максимальный коэффициент использования материала. Детали, подлежащие сборке, должны иметь как можно больше стандартных поверхностей, соединений, простейших элементов ориентации сборочных единиц и деталей.

Особое значение имеют вопросы технологичности деталей и сборочных единиц при обработке на станках с ЧПУ, в гибких АП. Здесь особое значение имеют унификация и стандартизация форм, размеров, условий обработки и сборки для использования типового оборудования и унифицированных средств автоматизации вспомогательных операций, например схватов промышленных роботов.

Типизация технологических процессов и метод группового изготовления деталей

Проведение типизации ТП для сходных по конфигурации и технологическим особенностям деталей предусматривает их изготовление по одинаковым ТП, основанным на применении наиболее совершенных методов обработки и обеспечивающим достижение наивысшей производительности, экономичности и качества.

Типовые процессы разрабатывают на изготовление в конкретных производственных условиях типовых представителей групп изделий, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками.

К типовым представителям относят те изделия, обработка которых требует наибольшего количества операций, характерных для изделий рассматриваемых групп. Типовые ТП находят применение главным образом в крупносерийном и массовом производстве.

Типизация ТП является одним из основных направлений технологической унификации наряду с групповым методом обработки деталей. Групповые ТП получили распространение в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств. Частично их применяют в условиях крупносерийного и массового производства для деталей с коротким производственным циклом.

Методика типизации, основанная на классификации деталей, их элементов, ТП обработки и комплексном решении всех задач, возникающих при выполнении процессов каждой классификационной группы, была впервые разработана проф. А.П. Соколовским.

К классификационным признакам деталей относят: конфигурацию (форма), размер, точность и качество обработанных поверхностей, материал. Классификация построена по схеме класс — подкласс — группа — тип. На рис. 3.2 приведена схема классификации деталей класса реек. Конечной целью классификации деталей является установление типов деталей, т. е. совокупностей сходных деталей, имеющих в данных производственных условиях общий ТП. Целью же разработки типовых технологических процессов является систематизация ТП для обработки однотипных деталей.

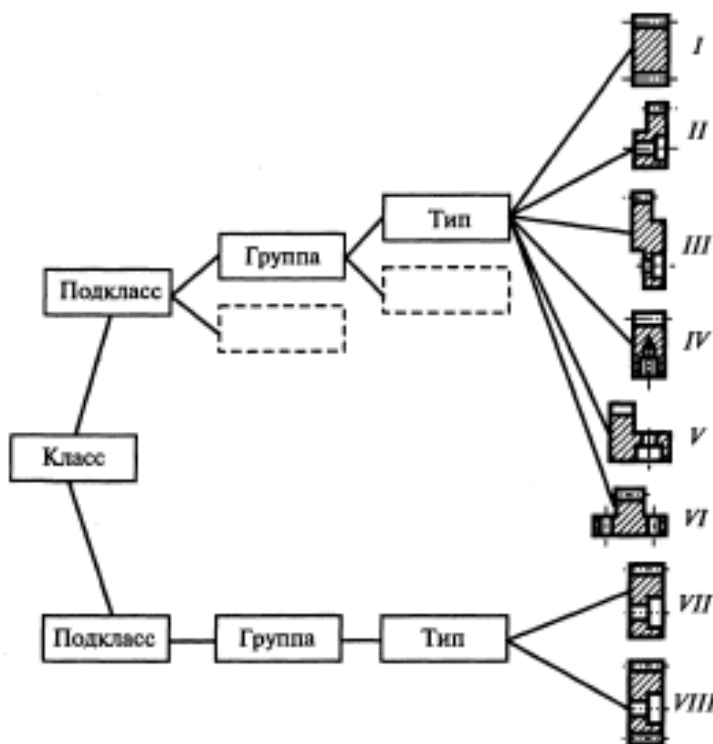


Рис. 3.2. Схема классификации деталей класса реек

В настоящее время при типизации в основном используют три направления:

- 1) типизация ТП безотносительно к деталям производства, сам технологический процесс является основой классификации и типизации;
- 2) типизация ТП, основанная на классификации деталей;
- 3) типизация на основе сочетания типового ТП с классификацией реальных деталей.

Первое направление — типовой ТП разрабатывают как образцовый, обеспечивающий применение передовой техники и технологии. Типовой процесс служит базой для проектирования нового оборудования. Направление применяют при разработке новых ТП в таких производствах, как металлургическое, литейное, прокатное, химическое.

Второе направление — разработка типовых ТП для реальных деталей — обеспечивает наиболее прогрессивные методы изготовления деталей машин и приборов. Направление наиболее распространено в машиностроении.

Третье направление — комбинированное — применяют при корректировке разработанных типовых ТП, в отдельных случаях меняется и конструкция деталей.

Независимо от указанных направлений типовые ТП разрабатывают как для конкретных производственных условий (оперативный типовой процесс), так и для

перспективного развития производства — перспективный типовой ТП, предусматривающий дальнейшее совершенствование производства с учетом развития науки и техники в области технологии. Необходимость разработки типовых процессов определяется экономической целесообразностью, зависящей от количества изделий в группах и частоты их применяемости.

Создание типовых ТП позволяет избегать повторных и новых разработок при проектировании рабочих ТП, что ведет к сокращению времени на технологическую подготовку производства и особенно эффективно при создании БД типовых ТП и использовании информационных технологий на стадии технологических разработок.

Групповые ТП — второе направление унификации ТП (впервые предложенные и разработанные проф. С.П. Митрофановым) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности.

За основу метода, так же как и при типизации ТП, принимают технологическую классификацию деталей, заканчивающуюся формированием групп. Однако построение классификации деталей для групповой обработки существенно отличается от классификации деталей при типизации ТП. Если при типизации процессов в общий класс объединяют детали и заготовки по принципу общности их конфигурации, технологического маршрута, отдельных операций, то при групповой обработке основным признаком объединения деталей в группы по отдельным технологическим операциям является общность обрабатываемых поверхностей или их сочетаний, т. е. общность оборудования, необходимого для обработки детали или отдельных ее поверхностей.

Очевидно, что в состав группы могут включаться заготовки различной конфигурации (рис. 3.3). В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей, являющегося основой построения типового процесса. Поэтому групповые методы обработки характерны для обработки деталей с широкой номенклатурой, типичной для

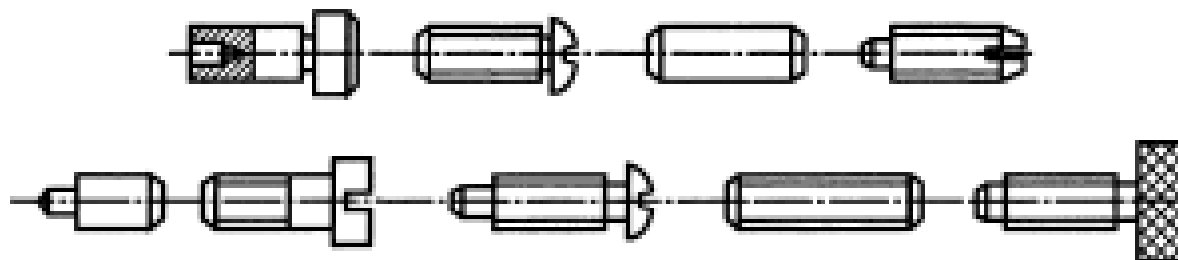


Рис. 3.3. Примеры деталей, обрабатываемых по одному групповому ТП

единичного, мелкосерийного производства. Именно в этих условиях данный метод создает все необходимые предпосылки для организации группового производства, которое характеризуется совместным изготовлением или ремонтом групп изделий различной конфигурации на специализированных рабочих местах.

При формировании групп деталей учитывают следующие признаки: общность обрабатываемых поверхностей, их точность и шероховатость, однородность материала заготовок, близость их размеров, позволяющая обрабатывать детали на одном и том же оборудовании в однотипных приспособлениях, серийность выпуска и трудоемкость обработки деталей. В условиях единичного, мелкосерийного производства в группы объединяют до 60-80 деталей. Проводят экономический расчет размеров групп и разрабатывают схему групповой наладки каждого станка для наиболее сложной заготовки группы, включающей в себя все поверхности, встречающиеся у остальных

заготовок. Если у сложных заготовок отсутствуют поверхности, характерные для других более простых заготовок, то эти поверхности искусственно добавляют в чертежи. Такую усложненную деталь называют комплексной. В настоящее время групповые процессы разрабатывают для обработки деталей на токарных автоматах, револьверных, агрегатных и многооперационных станках (обрабатывающих центрах).

Типизация ТП, методы групповой обработки деталей позволяют не только существенно сократить трудоемкость технологической подготовки производства, снизить затраты на оборудование и оснастку, но и обеспечивают максимальную загрузку станков (загрузка станков с ЧПУ повышается в 2,4 раза), повышают серийность деталей. Именно эти направления автоматизации производства делают весьма перспективным создание комплексной системы типовых ТП (модулей) и агрегируемого специализированного оборудования. Использование технологических модулей может обеспечить выбор наиболее прогрессивных ТП и на 30...35 % снизить трудоемкость их разработки. Применение конструктивных модулей позволяет сокращать сроки проектирования нового оборудования в 3-4 раза, а также выбирать оптимальные конструкторские решения.

К формообразующим технологиям в машиностроении относятся различные технологические процессы резания, гибки, штамповки.

Обработка резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя материала в виде стружки для получения необходимой геометрической формы детали, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости ее поверхностей. При обработке инструмент и заготовку устанавливают в рабочих органах станка: в шпинделе, патроне, на столе, в револьверной головке и т.п. Для осуществления процесса резания необходимо наличие относительных движений заготовки и инструмента, которые выполняют рабочие органы станка. Движения рабочих органов подразделяют на движения резания, установочные и вспомогательные.

Движения резания – обеспечивают срезание слоя материала в процессе формообразующей обработки детали или изменение состояния поверхностного слоя заготовки в процессе отделочной обработки. К движениям резания относят главное движение и движения подачи. Эти движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру: вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Главное движение определяет скорость отделения стружки и называется скоростью резания. Скорость резания обозначается символом V .

Движения подачи определяют непрерывность врезания режущего лезвия инструмента в новые слои материала заготовки. Движения подачи обозначают символом S .

При резании с поверхности заготовки срезается слой материала толщиной t .

Скорость резания V , подача S и глубина резания t определяют параметры режима резания.

Установочные движения – обеспечивают взаимное положение инструмента и заготовки. Предшествуют движениям резания.

Вспомогательные движения – не связаны непосредственно с процессом срезания слоя материала. Вспомогательные движения: транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка и др.

Методы обработки резанием можно подразделить по направлениям.

1. По назначению: формообразующие и отделочные.
2. По характеру режущего инструмента: лезвийные и абразивные.

3. По виду выполняемой операции: точение, сверление, шлифование, фрезерование, зубообработка, строгание, протягивание и др.

Формообразующие методы предназначены для изготовления деталей заданной формы и заданного уровня показателей точности.

Отделочные методы предназначены для обеспечения заданного уровня качества поверхности и поверхностного слоя при сохранении уровня точности, достигнутого при формообразующих методах обработки.

Лезвийные методы характеризуются использованием лезвийного режущего инструмента. Лезвийным инструментом называют такой, геометрия режущей части и режущие свойства которого регламентируются условиями технологического процесса и могут быть воспроизведены при переточке инструмента. Лезвийный инструмент, применяемый для обработки резанием подразделяют на однолезвийный и многолезвийный. Пример однолезвийного – токарный резец. Пример многолезвийного – фреза.

Абразивные методы характеризуются использованием абразивного режущего инструмента.

Абразивный инструмент имеет статистические характеристики геометрии и режущих свойств множества режущих лезвий. Путем переточки могут быть воспроизведены режущие свойства и основные элементы формы.

Способы обработки металлов резанием и элементы режима резания

В процессе обработки исходная заготовка и режущий инструмент получают рабочее движение от механизмов металлорежущих станков и перемещаются относительно друг друга. Для осуществления обработки резанием необходимо сочетание двух видов движения: главного движения резания и движения подачи.

Главное движение резания — прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью v в процессе резания. *Движение подачи* — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость v_p ; которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обработанную поверхность. В зависимости от направления движения подачи различают продольное, поперечное и другие движения подачи.

Наиболее распространенными способами обработки металлов резанием являются точение, сверление, фрезерование, строгание, шлифование (на рис. 3.4. стрелками указаны направления главного движения резания и движения подачи).

При точении (рис. 3.4, а) заготовке сообщается главное движение резания, а инструменту — движение подачи; при сверлении (рис. 3.4,б) оба движения, как правило, сообщаются сверлу; при фрезеровании (рис. 3.4,в) главное движение резания осуществляет фреза, а движение подачи — заготовка; при строгании на поперечно-строгальных станках (рис. 3.4, г) главное движение резания совершает резец, движение подачи — заготовка, а на продольно-строгальных станках наоборот; при шлифовании (рис. 3.4,д) главное движение резания осуществляет шлифовальный круг. Продольная подача при плоском шлифовании сообщается обычно заготовке, а поперечная — заготовке или шлифовальному кругу.

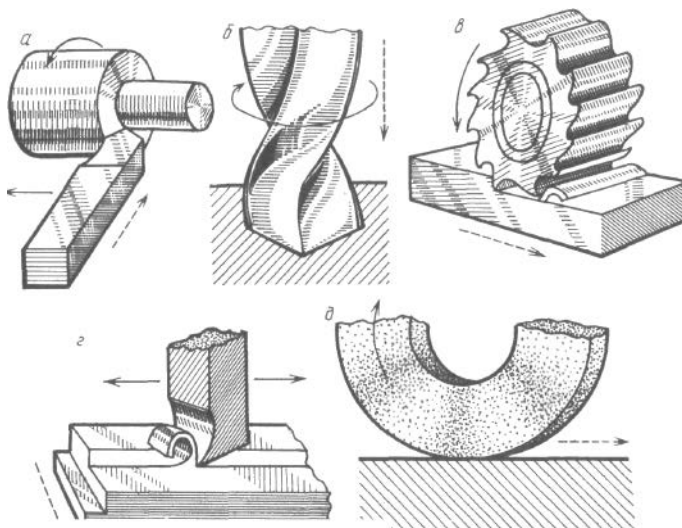


Рис.3.4. Способы обработки металлов резанием

В общем случае процесс резания характеризуется элементами режима резания: скоростями главного движения резания и движения подачи; подачей; толщиной, шириной, а также площадью срезаемого слоя; машинным и штучным временем.

Скорость главного движения резания, V — скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания:

$$v = \pi D n / 1000, \quad (3.1)$$

где v — скорость главного движения резания, м/мин; D — диаметр поверхности обрабатываемой заготовки, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин.

Скорость движения подачи — скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи.

Подача S — отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей цикла другого движения во время резания или к числу определенных долей цикла этого другого движения.

Под циклом движения понимают полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. Долей цикла является часть оборота, соответствующая угловому шагу зубьев режущего инструмента. Под ходом понимают движение в одну сторону при возвратно-поступательном движении.

Различают: подачу на оборот S_0 , на зуб S_r , на ход S_x , на двойной ход S_{2x} , минутную S_m .

Толщина срезаемого слоя a — длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя b — длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания. При наружном и внутреннем точении с продольной подачей $a = (D_1 - D_2) / 2$, где D_1, D_2 — диаметр отверстия или вала соответственно до и после обработки. Площадь f среза (площадь сечения срезаемого слоя) $f = ab$.

Время, затрачиваемое непосредственно на процесс отделения стружки, называют основным технологическим:

$$T_o = Li / (nS_o) = Lh / (naS_o), \quad (3.2)$$

где L — путь, проходимый резцом в направлении подачи, мм; i — число проходов резца на данной операции; h — припуск на обработку, мм.

По основному технологическому времени рассчитываются нормы выработки на данном виде оборудования.

Силы резания Сила резания, приложенная к передней поверхности резца, преодолевает сопротивление металла снятию стружки и зависит от ряда факторов: рода обрабатываемого материала, размера стружки, углов заточки резца, скорости резания и др.

Сила резания P может быть разложена на три взаимно перпендикулярные составляющие P_x , P_y , P_z (рис. 4). Составляющая P_x действует в направлении продольной подачи и называется осевой составляющей силы резания. Сила P_y направлена по радиусу главного вращательного движения резания в вершине лезвия и называется радиальной составляющей силы резания. Направление силы P_z совпадает с направлением скорости главного движения резания в вершине лезвия и называется главной составляющей силы резания.

Ее необходимо знать для расчета резца, деталей коробки скоростей и других сборочных единиц станка на прочность, а также для определения мощности и вращающего момента на шпинделе.

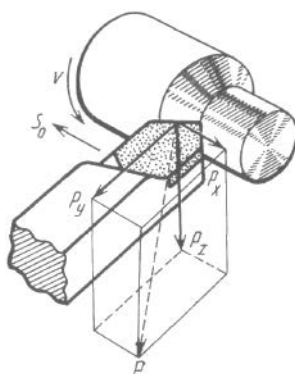


Рис.3.5 Схема сил резания при точении

По осевой составляющей силы резания $P_x = (0,1...0,25)P_z$ рассчитывают, например, детали механизма подачи станка на прочность. Радиальная составляющая $P_y = (0,25...0,5) P_z$.

Сила резания P рассчитывается по формуле, $P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$

Главная составляющая силы резания P_z создает на обрабатываемой детали момент сопротивления вращению $M_c = P_z D / 2$,

Мощность, затрачиваемая в процессе резания,

$$Ne = P_z V, \quad (3.3)$$

а расчетная мощность электродвигателя станка

$$N_{ог} = N / \eta \quad (3.4)$$

где η — КПД станка (для современных токарных и фрезерных станков $\eta = 0,75... 0,9$, сверлильных — $0,85... 0,9$, шлифовальных — $0,8... 0,95$).

Основы выбора оптимальных режимов резания

Оптимальный режим резания характеризуется таким сочетанием отдельных его элементов, которое обеспечивает качественное выполнение данной операции с наименьшими затратами труда. Следовательно, оптимальным является такой режим, который обеспечивает наименьшую себестоимость обработки при условии удовлетворения всех требований к качеству продукции.

Важнейшим фактором, обуславливающим снижение себестоимости изготовления деталей, является повышение производительности металлорежущего оборудования, т. е. обеспечение минимального машинного времени (T_m , мин) при обработке деталей.

С учетом формул (3.1) и (3.2)

$$T_m = Dh\pi D / (1000vS_0t)$$

При точении одних и тех же деталей величина $LpD/1000$ остается постоянной. Обозначив ее буквой C , получим

$$T_M = Ch/(vS_0t)$$

Отсюда видно, что наименьшее машинное время при точении может достигаться при наибольшем значении произведения vS_0t .

Последовательность выбора v , S_0 , a определяется их влиянием на стойкость резца. Аналитически найдено, что стойкость резца зависит от глубины резания в меньшей степени, чем от подачи; с повышением скорости резания стойкость резца снижается наиболее интенсивно. **Поэтому для определения рационального режима резания при заданной стойкости инструмента необходимо вначале выбирать максимально допустимую глубину резания, затем устанавливать максимальную технологически допустимую подачу, а по выбранным глубине резания и подаче определять скорость резания.**

Глубина резания определяется припуском на обработку. Из формулы машинного времени видно, что наименьшим оно будет в случае, когда весь припуск снимается за один проход резца. Хотя современные методы изготовления заготовок предусматривают минимальные припуски на механическую обработку, однако чаще ее приходится производить в два прохода — черновой и чистовой. В этом случае весь припуск h делят на предварительный $h_{пр}$ и чистовой $h_{ч}$, причем $h_{пр} = 0,85h$.

Максимальную технологически допустимую подачу определяют с учетом установленной глубины резания и требований к обработанным поверхностям, прочности и жесткости механизма подачи станка, способа крепления резца и других ограничивающих факторов.

Скорость резания при точении зависит от качества обрабатываемого и инструментального материалов, стойкости режущего инструмента, геометрических параметров режущей части резца, способа охлаждения зоны резания и других факторов. Скорость резания (v , м/мин) определяют по эмпирической формуле

$$v = C_v k_v / (T^m a^{x_v} S_0^{y_v})$$

где C_v — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала, кинематические элементы и характеристики резания, условия обработки; x_v , y_v — показатели степеней, зависящие от условий обработки; k_v — поправочный коэффициент.

Значения k_v , y_v , x_v приводятся в нормативных материалах. По рассчитанной скорости резания определяется необходимая частота вращения заготовки n и подбирается по паспорту станка частота вращения шпинделя.

После выбора толщины среза и скорости главного движения резания рассчитывают мощность, затрачиваемую в процессе резания, по формуле (2.3).

Элементы технологического процесса обработки металлов резанием и пути повышения его эффективности

Технологический процесс механической обработки — это часть производственного процесса, связанная с последовательным изменением размеров и формы заготовки до превращения ее в готовую деталь. Этот процесс состоит из ряда операций, которые могут выполняться при одной или нескольких установках детали.

Часть технологического процесса по обработке одной или нескольких деталей, выполняемого на одном рабочем месте непрерывно до перехода к обработке следующей детали, называется **операцией**, а часть операции, выполняемой при одном закреплении детали, — **установкой**. Каждое из отдельных положений закрепленной детали относительно станка и режущего инструмента называется **позицией**. Технологическая операция механической обработки выполняется за один или несколько **переходов**, под которыми понимают часть операции, выполняемой на одной

обрабатываемой поверхности одним и тем же режущим инструментом при данном режиме резания (например, обточка цилиндра — один переход, подрезка торца — другой и т. д.).

Различают последовательное и параллельное выполнение переходов и операций технологического процесса.

Организация работы по последовательной схеме присуща серийному производству. Параллельная схема технологического процесса обеспечивает более высокую производительность, так как обработка деталей осуществляется с одновременным выполнением ряда переходов в одной операции на многорезцовых и многошпиндельных станках, применение которых целесообразно при значительных программах выпуска изделий.

Технологический процесс механической обработки зависит от ряда факторов: формы и размеров детали, требуемой точности обработки; вида заготовок и способа их получения, программы выпуска деталей, наличного парка оборудования и др. Во всех случаях следует стремиться к нахождению оптимального варианта технологического процесса, обеспечивающего наибольшую производительность при наименьшей себестоимости обработки.

При механической обработке резанием вначале проводят черновую или обдирочную обработку, затем чистовую и в заключение - отделочную обработку, обеспечивающую нужную точность и степень шероховатости поверхности детали.

Повышение производительности при механической обработке резанием может быть достигнуто совершенствованием конструкции типовых металлорежущих станков, режущего инструмента и приспособлений, а также технологического процесса обработки на типовых металлорежущих станках. Кроме того, решение указанной задачи связано с совершенствованием систем управления металлорежущими станками, повышением степени механизации и автоматизации процесса, улучшением организации работ, применением новых видов оборудования и способов обработки металлов.

Совершенствование режущего инструмента достигается как за счет использования новых материалов (твердых сплавов, металло-керамических) и обеспечения оптимальных его форм, так и создания комбинированного инструмента и инструмента для ступенчатой обработки. Режущие инструменты из быстрорежущей стали работают при скоростях резания в 2...4 раза больших, чем инструменты из углеродистой стали. При оснащении инструментов пластинками из твердых сплавов скорость резания может быть увеличена еще в 3...5 раз. Износостойкость минералокерамического инструмента в 2...3 раза больше, чем инструмента из твердых сплавов. При работе инструментом со ступенчатым лезвием удельный расход мощности в 1,9 раза меньше, а производительность процесса в 2 раза больше, чем при обычном лезвии.

При совмещении операций (черновой и чистовой обработки одной поверхности) или видов обработки резанием (сверления и зенкерования с развертыванием, резьбонарезанием, фрезерованием и др.), выполняемых комбинированным инструментом на одной рабочей позиции станка, производительность процесса значительно выше, чем при последовательной обработке несколькими типовыми инструментами.

Совершенствование технологического процесса механической обработки на типовых металлорежущих станках может быть достигнуто за счет правильного выбора станка, режущего, мерительного инструмента и приспособлений; применения интенсивных режимов резания; улучшения конструкции режущего инструмента; модернизации станков и усовершенствования приспособлений; одновременной обработки несколькими инструментами; увеличения числа одновременно обрабатываемых деталей и др.

Улучшение использования станков и повышение их производительности может быть достигнуто за счет сокращения затрат рабочего времени по основным элементам, составляющим штучное время.

Сокращение машинного времени обработки обеспечивается повышением характеристик режимов резания, применением высокопроизводительных инструментов и новых прогрессивных инструментальных материалов, повышением технологичности деталей, уменьшением припусков на обработку, модернизацией приводов станков и т. п.

Уменьшение вспомогательного времени достигается за счет применения быстродействующих приспособлений для зажима заготовок и систем управления станком, автоматизации процесса загрузки и выгрузки деталей, подвода и отвода инструментов, измерений деталей и т. п.

Эффективный путь автоматизации единичного и серийного производства — внедрение гибких производственных систем (ГПС) на базе гибких автоматизированных модулей. При внедрении ГПС улучшаются условия труда; снижается возможность появления брака в результате нарушения технологического режима; повышается загрузка оборудования за счет трехсменного режима работы; улучшается управление, в частности производственно-оперативное планирование.

Методы формообразования поверхностей деталей машин

Пространственную форму детали определяет сочетание различных поверхностей.

Геометрическая поверхность представляет собой совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой образующей, движущейся по другой производящей линии, называемой направляющей. Например, для образования круговой цилиндрической поверхности прямую линию (образующую) перемещают по окружности (направляющей). При обработке поверхностей деталей на металлорежущих станках образующие и направляющие линии воспроизводятся комбинацией движений заготовки и инструмента, скорости которых согласованы между собой. **Движения резания являются формообразующими.**

Обработка резанием деталей машин реализует четыре метода формообразования поверхностей: метод копирования, метод следов, метод касания, метод обкатки.

Метод копирования — режущая кромка инструмента соответствует форме образующей линии обрабатываемой поверхности детали. Направляющая линия воспроизводится вращением заготовки. Главное движение является формообразующим. Движение подачи необходимо для получения поверхности заданного размера. Метод применяется для обработки фасонных поверхностей.

Метод следов — образующая линия 1 является траекторией движения точки (вершины) режущей кромки инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точки заготовки. Движения резания являются формообразующими. Метод наиболее широко распространен при обработке резанием. Отличается невысокой производительностью.

Метод касания — образующей линией 1 служит режущая кромка инструмента, а направляющая линия 2 поверхности является касательной к ряду геометрических вспомогательных линий — траекторий точек режущей кромки инструмента в направлении подачи. Движение подачи — формообразующее.

Метод обкатки — направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Образующая линия 1 получается как огибающая кривая к ряду последовательных положений режущей кромки инструмента относительно заготовки благодаря согласованию двух движений подачи. Скорости движений согласуются так, что за время

прохождения круглым резцом расстояния L он делает один полный оборот относительно оси вращения.

Процесс обработки на станке включает этапы установки заготовки, закрепления, обработки и снятия готовой детали. При проектировании технологических операций обработки деталей на металлорежущих станках разрабатывают схемы обработки. Под схемой обработки понимают условное изображение обрабатываемой заготовки, ее установки и закрепления на станке с указанием положения режущего инструмента относительно заготовки и движений резания. Схема обработки при операции точения показана на рисунке 3.6.

Инструмент показывают в положении окончания обработки (при ручном управлении станком) или в исходном положении (при автоматическом управлении). Обработанную поверхность выделяют толстой линией или другим цветом. В процессе обработки на заготовке различают обрабатываемую поверхность 1, обработанную поверхность 2, и поверхность резания, образуемую режущим лезвием инструмента и являющуюся переходной зоной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

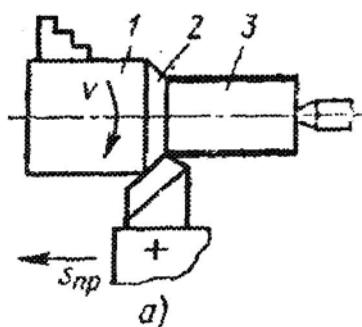


Рис.3.6. Схема обработки резанием

ЛЕКЦИЯ 4 ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКАХ

Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей выполняют прямыми, отогнутыми или упорными проходными резцами с продольной подачей; гладкие валы, — при установке заготовок в центрах и с использованием люнетов — подвижного или неподвижного. Схемы обработки заготовок на токарных станках показаны на рисунке 4.1. Здесь: а – точение наружной цилиндрической поверхности (методы обработки: б – многопроходная, в – однопроходная), г – подрезание торцевой поверхности, д – обработка фасонных поверхностей, е – обработка канавок, ж – сверление отверстия, з, и – растачивание, л – варианты отрезки детали

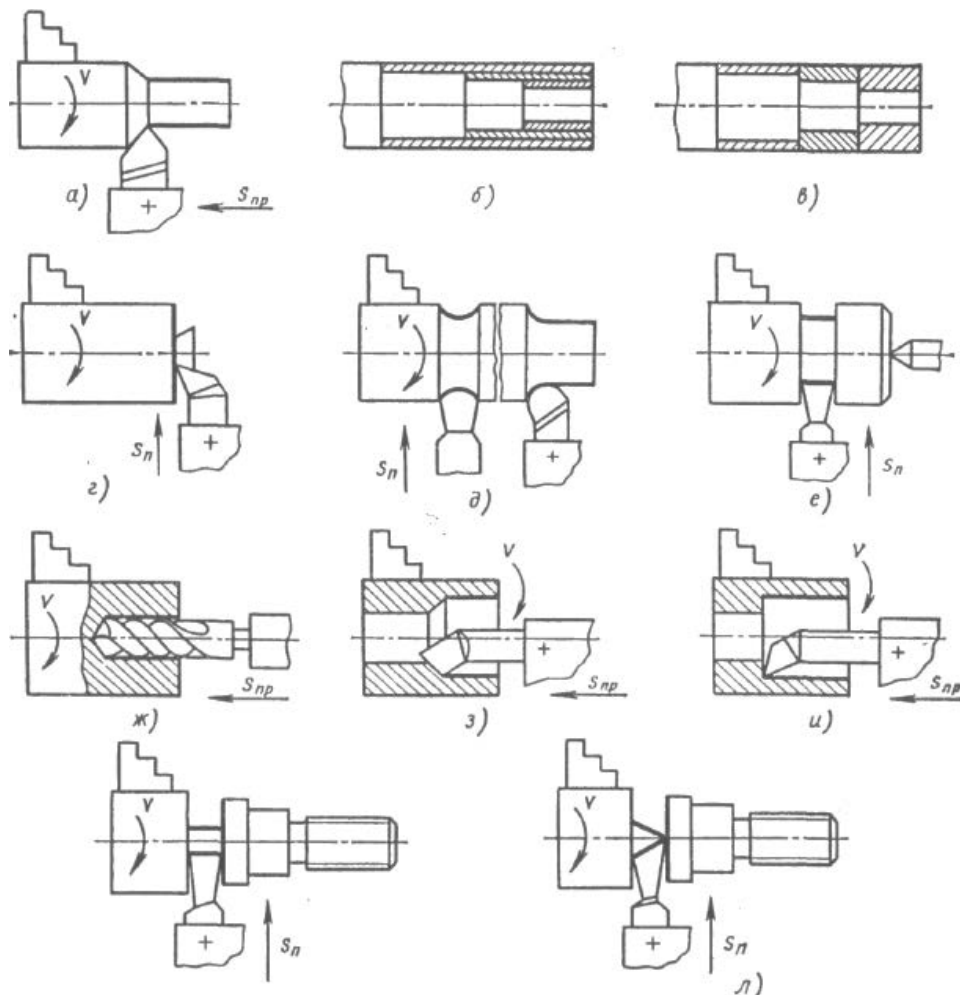


Рис.4.1 Схемы обработки заготовок на токарных станках

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

На сверлильных станках выполняют **сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание резьбы и обработку сложных отверстий.**

Сверление сквозного отверстия показано на рис. 4.2, а. Режущим инструментом служит спиральное сверло. В зависимости от требуемой точности и величины партии обрабатываемых заготовок отверстия сверлят в кондукторе или по разметке.

Рассверливание — процесс увеличения диаметра ранее просверленного отверстия сверлом большего диаметра (рис. 4.2, б). Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка в работе не участвовала. В этом случае осевая сила уменьшается.

Зенкерование — обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости многолезвийным режущим инструментом — зенкером (рис. 4.2, в).

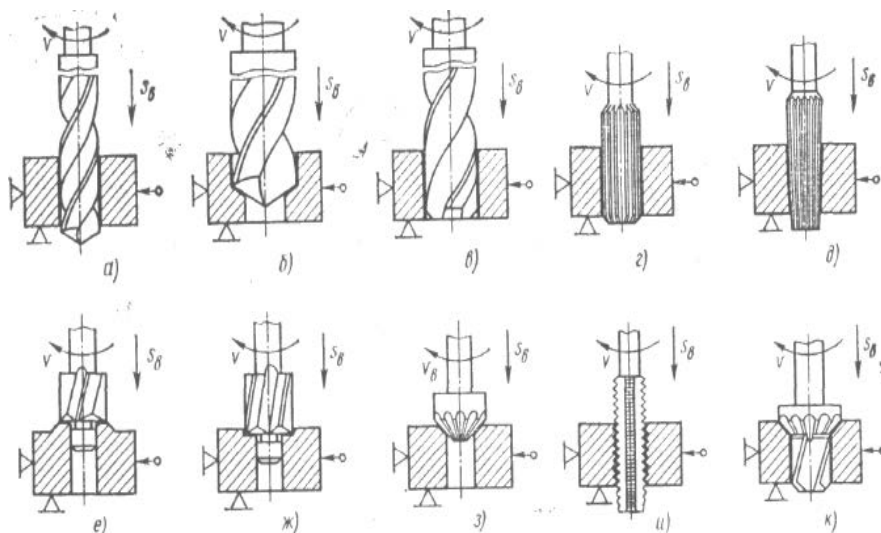


Рис. 4.2. Схемы обработки заготовок на вертикально-сверлильных станках

Развертывание — окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой (обычно после зенкерования) / в целях получения высокой точности и малой шероховатости обработанной поверхности (рис. 4.2, г, д).

Цекование — обработка торцевой поверхности отверстия торцовым зенкером для достижения перпендикулярности плоской торцевой поверхности к его оси (рис. 4.2, е).

Зенкованием получают в имеющихся отверстиях цилиндрические или конические углубления под головки винтов, болтов, заклепок и других деталей. На рис. 4.2, ж, з показано зенкование цилиндрического углубления цилиндрическим зенкером (зенковкой) и конического углубления коническим зенкером.

Нарезание резьбы — получение на внутренней цилиндрической поверхности с помощью метчика винтовой канавки (рис. 4.2, и).

Отверстия сложного профиля обрабатывают с помощью комбинированного режущего инструмента.

Обработка на расточных станках

На расточных станках обрабатывают отверстия, наружные цилиндрические и плоские поверхности, уступы, канавки, реже конические отверстия и нарезают внутреннюю и наружную резьбы резцами. Наиболее распространенный вид обработки на расточных станках — растачивание отверстий.

Растачивание цилиндрических отверстий выполняют резцами, установленными на консольной или двухопорной оправке. Использование консольной оправки целесообразно в тех случаях, когда длина обрабатываемого отверстия $L < D$, так как с увеличением длины оправки снижается ее жесткость.

На рис. 4.3, а показана схема растачивания отверстия небольшой длины двухлезвийным пластинчатым резцом, закрепленным в консольной оправке. Заготовке сообщают продольную подачу. При небольшой длине отверстия, когда возможна работа с короткой жесткой оправкой, растачивают при осевой подаче расточного шпинделя. Растачиванием с продольной подачей заготовки получают более правильное отверстие вследствие постоянного вылета шпинделя.

. Отверстия с отношением $L/D > 5$ и соосные отверстия растачивают резцами, закрепленными в двухопорной оправке.

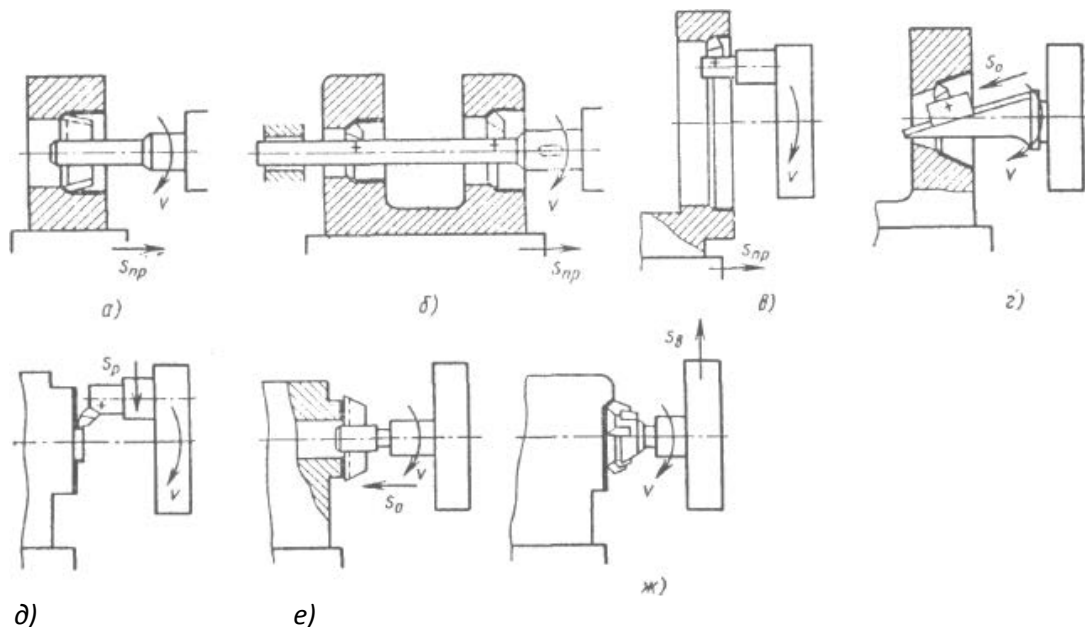


Рис. 4.3. Схемы обработки заготовок на горизонтально-расточных станках

На рис. 4.3, б показано одновременное растачивание двух соосных отверстий. Оправка с резцами получает главное вращательное движение, а заготовка — продольную подачу в направлении от задней стойки к шпиндельной бабке.

Отверстия большого диаметра, но малой длины, растачивают резцом, закрепленным в радиальном суппорте планшайбы (рис. 4.3, в). Планшайбе с резцом сообщают главное вращательное движение, а столу с заготовкой — продольную подачу. Отверстия диаметром более 130 мм обрабатывают расточными блоками и головками.

Растачивание параллельных и взаимно перпендикулярных отверстий выполняют с одной установки заготовки. После растачивания первого отверстия перемещают стол в поперечном направлении или шпиндельную бабку в вертикальном направлении на величину, равную межцентровому расстоянию, затем растачивают второе и другие отверстия. Если требуется расточить взаимно перпендикулярные отверстия, то после растачивания первого отверстия стол поворачивают на 90° и растачивают второе отверстие.

Растачивание конических отверстий осуществляют расточными головками, закрепленными в расточном шпинделе, которому сообщают осевую подачу. Конические отверстия диаметром более 80 мм растачивают резцом с использованием универсального приспособления, смонтированного на радиальном суппорте планшайбы (рис. 4.3, г),

Сверление, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование и нарезание резьбы метчиками выполняют на расточных станках так же, как и на вертикально-сверлильных. Инструмент закрепляют в расточном шпинделе и сообщают ему главное вращательное движение и осевую подачу. Заготовка, установленная на столе станка, остается неподвижной. Большое значение имеет свободный доступ ко всем элементам детали при обработке и измерении. Обрабатываемые поверхности рекомендуется располагать параллельно или взаимно перпендикулярно. Применение наклонных обрабатываемых поверхностей затрудняет изготовление деталей из-за сложности установки их на станке.

ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Фрезерование — один из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом — фрезой.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением

подачи. Подачей может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенность процесса фрезерования — прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки, до следующего врезания.

На рис. 4.4. показаны схемы фрезерования плоскости цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами. При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу выполняют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности фрезы. При торцовом фрезеровании плоскостей в работе участвуют зубья, расположенные на цилиндрической и торцевой поверхностях фрезы.

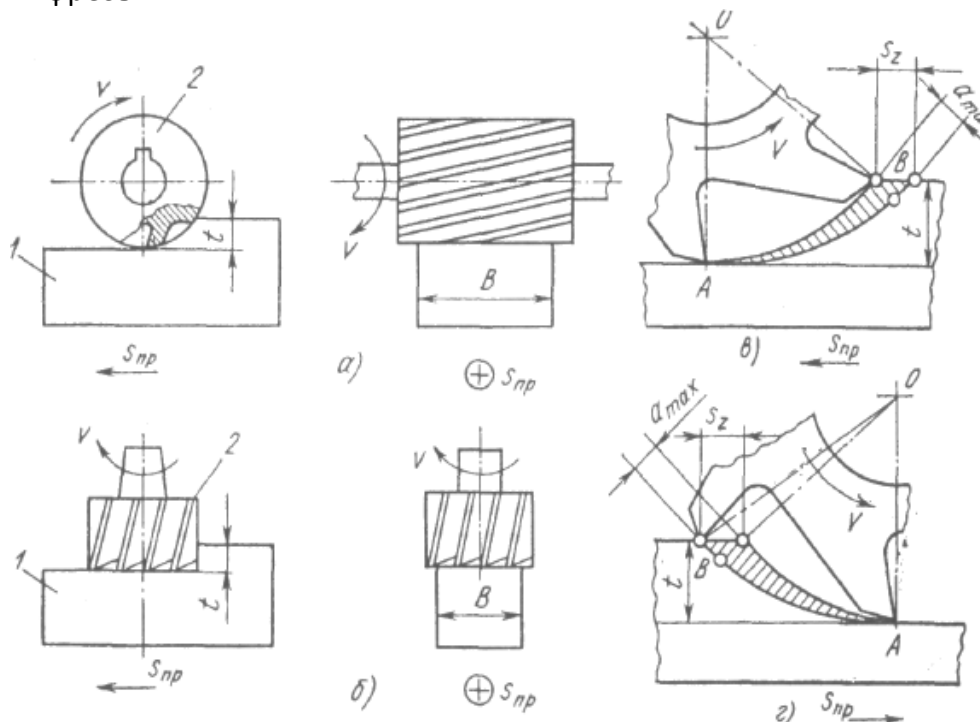


Рис. 4.4. Схемы фрезерования цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами, против подачи (в) и по подаче (г): 1 — заготовка; 2 — фреза

Цилиндрическое и торцовое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами: 1) против подачи (встречное фрезерование), когда направление подачи противоположно направлению вращения фрезы (рис. 4.4, в); 2) по подаче (попутное фрезерование), когда направления подачи и вращения фрезы совпадают (рис. 4.4. г).

При фрезеровании против подачи нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом фрезерования против подачи является работа зубьев фрезы «из-под корки», т. е. фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке B . Недостатком является наличие начального скольжения зуба по наклепанной поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы. При фрезеровании по подаче зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ.

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ГОРИЗОНТАЛЬНО-И ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Горизонтально-фрезерные станки. Заготовка, устанавливаемая на столе в тисках или приспособлении, получает подачу в трех направлениях: продольном (перемещение стола по направляющим салазок, поперечном (перемещение салазок по направляющим консоли) и вертикальном (перемещение консоли по направляющим станины). Главным движением является вращение шпинделя. Коробка подач размещена в консоли. Хобот служит для закрепления подвески, поддерживающей конец фрезерной оправки.

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называют универсальными.

Вертикально-фрезерные станки. Главным является вращательное движение шпинделя. Заготовка, установленная на столе, может получать подачу в трех направлениях: продольном, поперечном и вертикальном. На рис. 4.5 показаны схемы фрезерования поверхностей на горизонтально - и вертикально-фрезерных станках. Движения, участвующие в формообразовании поверхностей в процессе резания, на схемах указаны стрелками.

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами и на вертикально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 4.5, б). Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцовыми фрезами вследствие большей жесткости их крепления в шпинделе и более плавной работы, так как число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы больше числа зубьев цилиндрической фрезы.

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. 4.5, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (рис. 4.5, г).

Наклонные плоскости и скосы фрезеруют торцовыми (рис. 4.5, д) и концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. Скосы фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 4.5, е).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 4.5, ж) на горизонтально-фрезерных станках. Точность взаиморасположения обработанных поверхностей зависит от жесткости крепления фрез по длине оправки. С этой целью применяют дополнительные опоры (подвески), избегают использования несоразмерных по диаметру фрез (рекомендуемое отношение диаметра фрез не более 1,5).

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми (рис. 4.5, з) и дисковыми (рис. 4.5, и) фрезами на вертикально – и горизонтально-фрезерных станках.

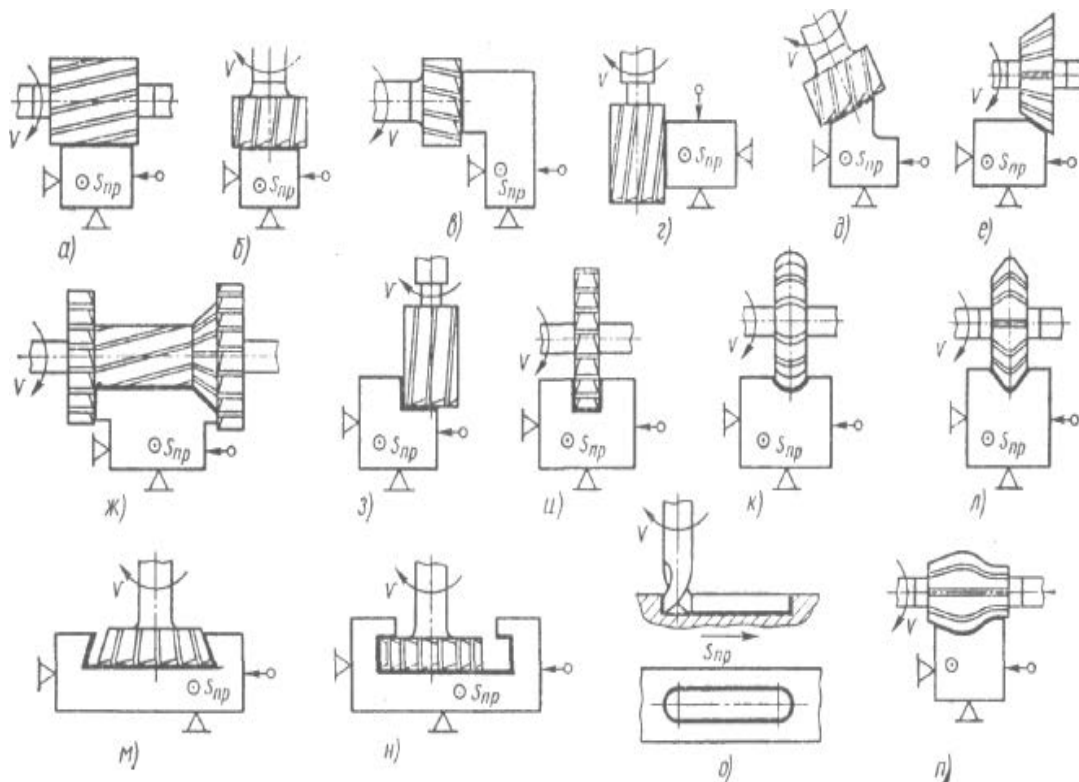
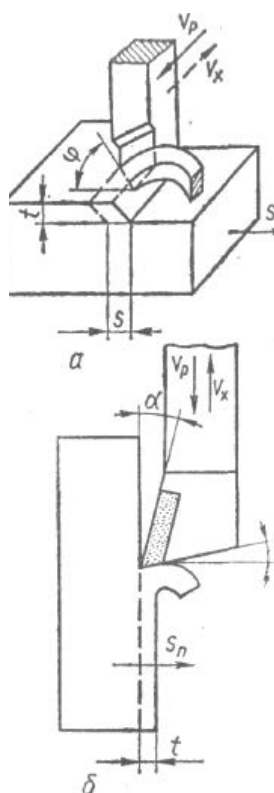


Рис. 4.5. Схемы обработки заготовок на горизонтально - и вертикально-фрезерных станках

ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ, ДОЛБЕЖНЫХ И ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ

Строгальные станки применяют для обработки резцом плоских поверхностей, пазов, канавок и др. Эти станки делят на поперечно- и продольно-строгальные. У поперечно-строгальных станков главное (возвратно-поступательное) движение совершает резец, а движение периодической поперечной подачи — обрабатываемая заготовка. У продольно-строгальных станков главное (возвратно-поступательное) движение совершает стол с обрабатываемой деталью, а периодическую подачу в поперечном направлении — резец.



У долбежных станков резцу сообщается возвратно-поступательное движение вниз и вверх, а обрабатываемой детали — периодическая подача в поперечном, продольном или круговом направлениях.

Строгальные резцы более массивны, чем токарные, и имеют изогнутую рабочую часть. Долбежные резцы — прямые.

При строгании и долблении прямой ход является рабочим (происходит резание), а обратный — холостым (рис. 4.6).

На холостом ходу резец для уменьшения износа откидывается в резцедержателе и свободно скользит по обработанной поверхности. Чтобы увеличилась производительность обработки, скорость холостого хода v_x берут больше скорости рабочего хода V_p . На строгальных и долбежных станках достигается точность до 7-го качества и шероховатость поверхности — до 7-го класса чистоты.

Подачу выбирают максимально допустимую, исходя из прочности станка и требований к шероховатости обработанной поверхности. Скорость резания ограничивается стойкостью резца T .

Рис. 4.6 Схемы процесса резания при строгании (а) и долблении (б)

Протягивание — высокопроизводительный процесс обработки многолезвийными инструментами (протяжками) — применяется в серийном и массовом производстве для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, зубчатых колес с внутренним зацеплением, шлицев и наружных поверхностей. Процесс протягивания состоит в том, что инструмент 1

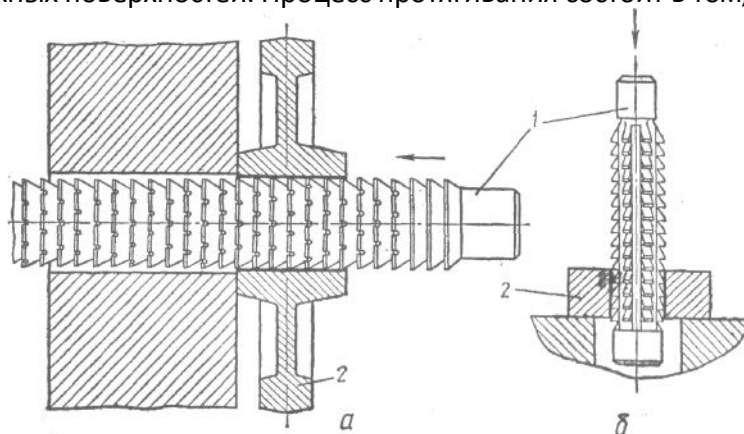


Рис. 4.7. Схемы протягивания

(протяжка) получает перемещение в горизонтальном (рис. 4.7, а) или вертикальном (рис. 4.7, б) направлении относительно неподвижно закрепленной на станке заготовки 2. Зубья протяжки выполнены так, что каждый последующий выше предыдущего на величину толщины срезаемого слоя; делятся они на режущие и калибрующие. За один ход инструмента срезается весь припуск. При протягивании достигается точность обработки до 5-го качества, а шероховатость обработанной поверхности — 7...9-го классов.

Соответственно схемам протягивания протяжные станки бывают горизонтальные и вертикальные. Внутри станины станка помещается гидравлический привод. При подаче масла в цилиндр шток приводит в движение протяжку.

Скорость резания при протягивании — это путь, проходимый зубьями протяжки относительно обрабатываемой заготовки в минуту. Обычно скорость протягивания $v = 8 \div 12$ м/мин. Подача на зуб, или толщина срезаемого слоя, лежит в пределах 0,02—0,2 мм.

Средняя стойкость протяжек из сталей Р9 и Р18 колеблется в пределах 100—600 мин.

Поступательное движение протяжке сообщают до тех пор, пока она не выйдет из отверстия заготовки. После окончания протягивания заготовка падает в корыто, протяжка извлекается из каретки, последняя возвращается в исходное положение (холостой ход a_x) и цикл обработки повторяется.

Протяжные станки для внутреннего протягивания оснащаются механизмами автоматического подвода и отвода протяжек, что позволяет исключить тяжелые ручные вспомогательные движения, связанные с переустановкой протяжек после окончания каждого цикла (рабочего хода).

Вертикально-протяжной станок для наружного протягивания состоит из основания, станины, насосной станции, каретки, стола. Заготовку устанавливают в приспособлении на столе станка. Протяжку закрепляют в каретке и от гидропривода сообщают ей вертикальное поступательное перемещение — главное движение. Протяжка, опускаясь (рабочий ход), обрабатывает заготовку. Обработанную заготовку снимают, и подвижная каретка быстро возвращается в исходное положение (холостой ход).

Протяжные станки непрерывной обработки являются станками высокой производительности. Заготовки устанавливают в приспособлениях непрерывно вращающейся тяговой цепи и сообщают им главное поступательное движение со скоростью v относительно неподвижной протяжки. На протяжных станках непрерывной обработки карусельного типа заготовки устанавливают на вращающемся круглом столе. При оснащении протяжных станков загрузочно-разгрузочными устройствами цикл обработки полностью автоматизируется.

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5—250 мм.

Цилиндрические отверстия протягивают круглыми протяжками после сверления, растачивания или зенкерования. Применяют также протягивание отверстий, полученных при литье и штамповке, без предварительной их обработки. Обычно длина отверстий не превышает трех диаметров.

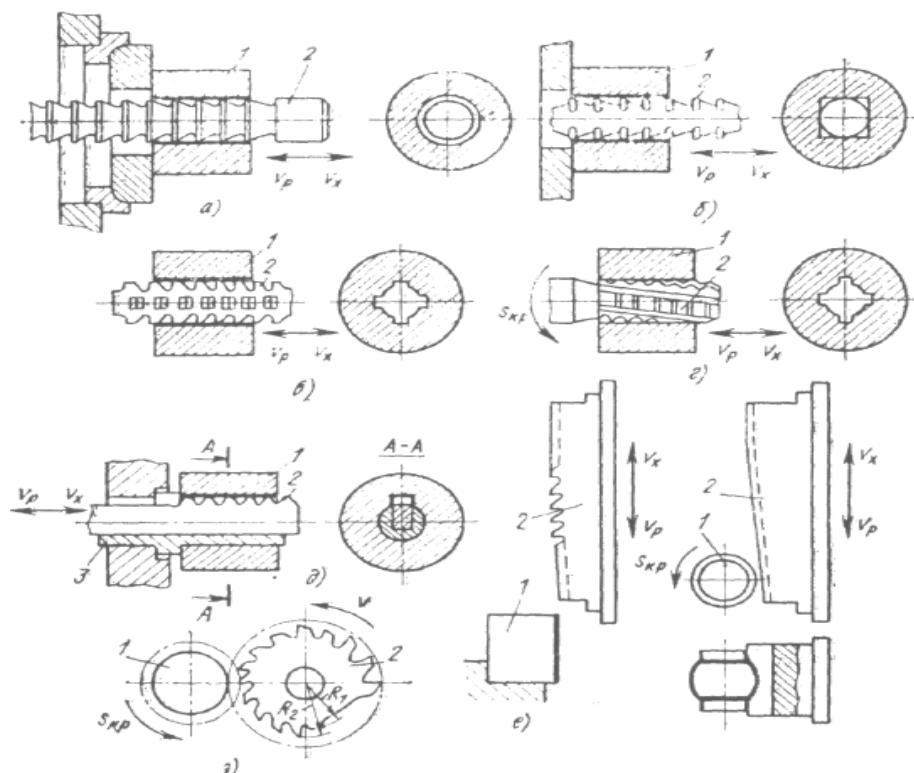


Рис. 4.8. Схемы обработки заготовок протяжных станков:
1 — заготовка; 2 — протяжка; 3 — направляющая втулка

Если торец отверстия в заготовке не обработан, то для ее установки применяют приспособления со сферической опорной поверхностью (рис. 4.8, а). Заготовка в этом случае может самоустанавливаться (центрироваться) по оси протяжки. В тех случаях, когда после предыдущей обработки получен торец детали, перпендикулярный к оси протягиваемого отверстия, заготовка опирается на жесткую (неподвижную) поверхность.

Многогранные отверстия (треугольные, квадратные и т. п.) протягивают многогранными протяжками. Исходной поверхностью для протягивания служит круглое отверстие.

На рис. 4.8, б приведена схема протягивания квадратного отверстия.

Шлицевые отверстия с различным профилем шлицев протягивают многошлицевыми протяжками, формирующими одновременно весь профиль отверстия. На рис. 9.8, в приведена схема протягивания прямых шлицев. Винтовые шлицы протягивают протяжкой, режущие вудья которой расположены по винтовой линии, с приспособлением, обеспечивающим дополнительное вращение протяжки (рис. 4.8, г) или заготовки.

Шпоночные и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствуют профилю протягиваемого паза, Шпоночные пазы протягивают плоской шпоночной протяжкой.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ОБРАБОТКА РЕЗЬБ

Обработка зубчатых колес

История применения зубчатых колес начинается еще со времен Аристотеля. В современной технике трудно найти машину, механизм или прибор, где бы не применялись зубчатые колеса. Диаметры их изменяются от 3 мм до 7 м, а модули равны 0,07—70 мм.

Основное назначение зубчатого колеса — передать крутящий момент от одного вала к другому или преобразовать вращательное движение в поступательное (зубчатое колесо — рейка). Зубчатые колеса

обеспечивают наиболее надежную работу передач энергий от машины-двигателя к рабочей машине. У них постоянное передаточное отношение, небольшие габариты, они просты в обслуживании и имеют высокий к. п. д. Зубчатое колесо — самая массовая сложная деталь в современном машино- и приборостроении. Ежегодно изготавливаются миллионы зубчатых колес различных размеров из разных материалов.

Изготавливают зубчатые колеса литьем, методами копирования, огибания, накатывания и гидроэкструзией.

Литые необработанные зубчатые колеса могут применяться только в тихоходных машинах. Обработанные зубчатые колеса первым применил в металлорежущих станках В. К. Нартов в 1709 г. В то время зубья обрабатывали по разметке вручную. Каждый зуб выпиливали напильниками.

Затем стали применять напильники, имеющие форму впадин зуба; профиль инструмента копировали с зубчатого колеса. Так возник метод копирования.

Для работы **методом копирования** можно применять фасонный резец и нарезать зубчатое колесо на строгальном станке, установив заготовку в делительной головке. В этом случае нужно иметь самый простой и дешевый инструмент (резец) и универсальное оборудование. Но этот способ малопроизводителен, а сами колеса получаются низкого качества.

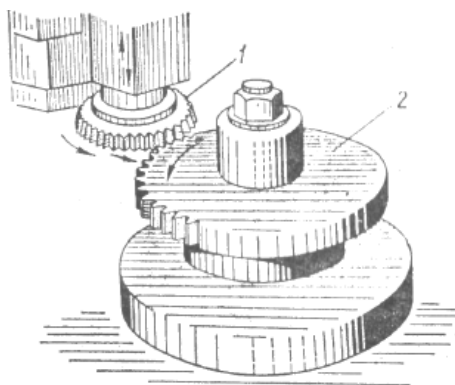


Рис.4.9. Изготовление зубчатого колеса долбяком (метод обкатки)

Большая производительность достигается при изготовлении зубчатых колес с помощью многолезвийного инструмента — фрезы. Применяют дисковые и пальцевые фрезы, имеющие профиль по форме впадин с нужным модулем. После прорезания впадины фреза отводится, а заготовка поворачивается на один шаг. Но и в этом случае производительность недостаточна, а качество зубчатых колес низкое. Поэтому в массовом производстве метод копирования сейчас не применяют. На смену копированию пришел новый метод обработки зубьев — метод обкатки (огибания), (рис 4.9).

Метод обкатки не только повысил точность зубчатых колес, но и оказался более производительным и окончательно утвердил эвольвентный профиль зуба. Этот метод основан на использовании принципа работы самого зацепления. Во время нарезания инструмент — зубчатое колесо (долбяк), зубчатая рейка (гребенка) или эвольвентная фреза (червяк) — совершает движения, которые соответствуют зацеплению с обрабатываемым зубчатым колесом.

Чаще других инструментов в методе обкатки применяют долбяк — закаленное стальное зубчатое колесо, имеющее для резания передний и задний углы. При нарезании колеса долбяк 1 (рис. 4.9) вращается, перемещается вниз (рабочий ход) и вверх (холостой ход) и совершает движение радиальной подачи; заготовка 2 осуществляет движение круговой подачи навстречу вращению долбяка. При этом заготовка вращается во столько раз медленнее или быстрее долбяка, во сколько раз ее будущее число зубьев больше или меньше числа зубьев долбяка. Цикл нарезания колеса на полную глубину занимает 2—4 оборота заготовки.

При нарезании зубчатых колес *ч е р в я ч н ы м и* фрез а м и (рис. 4.10) станок настраивают так, чтобы за один оборот фрезы 1 заготовка 2 поворачивалась на один зуб (при однозаходной фрезе). Червячная фреза нарезает сразу все зубья по окружности заготовки, постепенно врезаясь в заготовку. Чтобы нарезать зуб на полную высоту, фреза осуществляет движение подачи. Производительность червячной фрезы выше, чем долбяка или рейки, достигается наибольшая точность зубчатых колес, но шероховатость поверхности зубьев несколько выше.

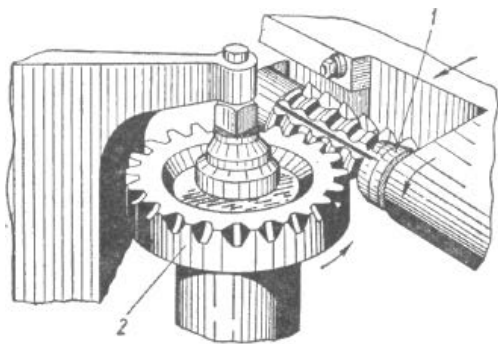


Рис. 4.10 Обработка червячной фрезой (метод обкатки)

Наша промышленность выпускает зуборезные станки, работающие автоматически и полуавтоматически. Выпуска-

емые станки делятся на зубодолбежные марок 512, 5Б12, 514, 516 и т. д. и зубофрезерные марок 532, 5Б32, 5Б31 и др.

Зубчатые колеса с эвольвентным зацеплением имеют ряд существенных недостатков:

- 1) неудовлетворительная контактная прочность зубьев;
- 2) высокая чувствительность передач к неточностям изготовления колес и монтажу передачи;
- 3) сравнительно большие потери энергии в зацеплении вследствие трения зубьев при работе передачи;
- 4) трудность создания мощных передач с малыми габаритами и весом.

Недостатки эвольвентных зубчатых колес привели к поискам принципиально новых систем зацепления. Советский ученый, лауреат Ленинской премии, доктор технических наук М. Л. Новиков в 1955 г. создал зубчатые колеса с круговинтовой, или точечной, системой зацепления.

Зубчатые колеса с зацеплением М. Л. Новикова изготавливают на обычных зуборезных станках специальными червячными фрезами.

Изготавливают зубчатые колеса из углеродистых сталей Ст5, Об, 35, 45, 50, 50Г и т. д., легированных сталей 12ХНЗ, 15Х, 20Х, 35Х и т. д., стального литья, серого чугуна 24 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40, неметаллических материалов — текстолита, капрона и др.

Обработка резьб

Резьбовые соединения относятся к группе разъемных соединений, т. е. таких, которые допускают разборку машин и механизмов без повреждения деталей. Применяют такие соединения для удержания деталей в определенном положении, устранения возможности перемещения и обеспечения плотности стыка соединяемых деталей. Резьбовые изделия — это винт, болт, шпилька и гайка. В машинах и приборах часто встречаются такие узлы, в которых резьба выполняется непосредственно на одной из соединяемых деталей, что исключает гайку.

В основу образования профиля витка метрической резьбы положен исходный треугольник высотой H и основанием P . Расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы, называется шагом резьбы, т. е. основание P исходного треугольника и есть шаг резьбы. Угол между боковыми сторонами профиля — угол профиля α .

Чтобы получился действительный профиль витка, исходный треугольник уменьшают по высоте и по основанию в определенном соотношении с шагом резьбы. Таким образом, шаг резьбы — основной параметр резьбы; все остальные размеры (высота действительного профиля, основание профиля витка, радиусы закругления выступов и впадин, зазоры между вершинами резьбы винта и впадинами гайки и др.) определяются в зависимости от него.

По форме профиля витка резьба бывает: 1) метрическая; 2) трапецеидальная (с равнобокой трапецией); 3) упорная (с неравнобокой трапецией); 4) ленточная (для грузовых винтов); 5) круглая.

Резьбы бывают однозаходные и многозаходные. Для однозаходной резьбы шаг P и ход I совпадают. Для многозаходных резьб $I = nP$, где n — число заходов.

Резьбы обрабатывают: резьбовыми резцами — точные и специальных профилей, метчиками — резьбы обыкновенной точности на внутренних поверхностях отверстий, плашками — резьбы обыкновенной точности на наружных цилиндрических поверхностях.

ОТДЕЛОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Отделочная обработка служит для придания детали заданного уровня качества поверхностного слоя, а именно:

1. Обеспечение заданного класса шероховатости поверхности.
2. Создание в поверхностном слое комплекса физико-механических свойств, обеспечивающих работоспособность детали в условиях эксплуатации.
3. Придание требуемых декоративных свойств поверхности детали.

Для отделочных методов обработки характерны слабые силы резания (или деформирования), малые усилия закрепления заготовок, незначительная толщина срезаемого слоя материала и незначительные тепловыделения в процессе обработки.

Виды отделочной обработки

Тонкое резание – применяют вместо шлифования. При тонком обтачивании используют большую скорость резания, малую подачу и глубину резания. Обработку производят резцами с широкой режущей кромкой, параллельной направлению подачи. Эта кромка образуется путем заточки вспомогательного угла в плане $\phi_1=0$. Длина режущего лезвия b принимается по условию, $b = (1,5 \div 2)S$. Для тонкого обтачивания цветных металлов и пластмасс применяют алмазные резцы, что позволяет снизить взаимодействие материалов резца и заготовки, снизить тепловыделение и существенно повысить качество поверхности детали. Особое значение для достижения высокого качества поверхности детали при этих методах обработки играет высокая жесткость станка, отсутствие вибраций.

Разновидности тонкого резания: тонкое точение, тонкое шлифование, тонкое фрезерование, тонкое строгание, тонкое растачивание.

Хонингование – предназначается для устранения погрешностей формы и размеров отверстий, а также для создания специального микропрофиля поверхности в виде сетки для повышения специальных эксплуатационных характеристик детали. Такая сетка создается на внутренней поверхности цилиндров двигателя внутреннего сгорания для удержания смазки на этой поверхности при движении поршня. Инструментом для хонингования является – хон – устройство с закрепленными в нем абразивными брусками из мелкозернистого абразива. Скорости движения хона составляют:

вращение вокруг оси / перемещение вдоль оси (м/мин):

$45 \div 60 / 4 \div 6$ – для стали и $60 \div 75 / 6 \div 7,5$ – чугуна, бронзы. Размеры сетки и угол наклона к оси цилиндра определяет соотношение скоростей вращения/перемещения хона. Хонингованием исправляют погрешности формы (отклонения от цилиндричности) при толщине срезаемого слоя $0,01 \div 0,02$ мм.

Суперфиниширование - предназначается для уменьшения шероховатости от предыдущей обработки. Обработанная поверхность имеет сетчатый рельеф со скругленными вершинами микровыступов. Движения, применяемые при суперфинишировании – вращение и перемещение заготовки вдоль оси и колебание абразивных брусков в радиальном направлении к оси заготовки. Амплитуда колебаний брусков- $1,5 \div 6$ мм, частота колебаний - $400 \div 1200 \text{ мин}^{-1}$, скорость резания - $5 \div 7 \text{ м/мин}$.

Полирование – предназначается для получения зеркальной поверхности. Выполняется с помощью полировальных паст, нанесенных на мягкие, эластичные инструменты. В качестве инструментов используют полировальные круги, ленты из войлока, фетра, кожи, ткани, капрона и т.п. Полировальные круги вращаются с большой скоростью или совершают колебания с большой частотой и малой амплитудой. В зоне полирования одновременно происходит тонкое резание, пластическая деформация и химические реакции. Для полирования стали используют абразивные порошки из электрокорунда или Fe_2O_3 . При полировании чугуна используют Fe_2O_3 или SiC . Изделия из алюминия и меди полируют пастами ГОИ (Государственный оптический институт) на основе окиси хрома Cr_2O_3 .

При полировании стали для создания суспензии с абразивными порошками в качестве смазки используют керосин, а при полировании чугуна и цветных сплавов – керосин, парафин, воск, сало.

Притирка – предназначена для устранения отклонений от геометрически точной формы (неплоскостность, нецилиндричность и т.п.) или от формы поверхности сопрягаемой детали (например, седло клапана – клапан в двигателе внутреннего сгорания). Притирка производится притиром, на который наносят абразивную пасту. Притир имеет форму, которую необходимо получить на обрабатываемой детали. Материал притира должен иметь меньшую твердость, чем материал обрабатываемой детали во избежание явления «шаржирования», т.е. внедрения

абразивных зерен в обрабатываемую деталь. Для изготовления притиров чаще всего используют чугуны.

Абразивно-жидкостная отделка – предназначена для отделки объемно-криволинейных, фасонных внутренних поверхностей (труб, патрубков и т.п.). Производится струей абразивной суспензии. При этом методе характерны процесс – тонкое резание, пластическая деформация, химические реакции. Образующаяся на поверхности заготовки жидкостная пленка ускоряет съём выступов неровностей и затрудняет съём впадин вследствие демпфирования слоем жидкости удара частиц абразива. Абразивно-жидкостная обработка значительно ускоряет процесс обработки труднодоступных поверхностей, таких как, внутренние поверхности патрубков насосов, корпусов, двигателей и т.п. Такая обработка внутренней поверхности системы выхлопных патрубков двигателя внутреннего сгорания приводит к существенному повышению мощности двигателя за счет уменьшения сопротивления движению выхлопных газов.

2. Методы отделки зубчатых колес

Чтобы обеспечить плавность зацепления и бесшумность работы, зубья колес после нарезания подвергают дополнительной обработке — шевингованию, шлифованию и притирке.

Шлифование зубьев применяется для высокоточных колес в серийном и массовом производстве. Припуск на шлифование дается до 0,3 мм.

Притирка — самый дешевый способ обработки зубьев закаленных колес. Производят ее при помощи чугунных зубчатых колес, находящихся в зацеплении с обрабатываемым колесом, которое получает вращение и возвратно-поступательное движение. Припуск на притирку равен 20— 60 мкм.

Шевингование – отделка незакаленных зубчатых колес с помощью шевера. Шевингованием обрабатывают незакаленные колеса. Производят его специальным инструментом — шевером, представляющим собой стальное закаленное колесо с мелкими канавками на поверхности зубьев. Шевер, приводя во вращение обрабатываемое колесо, снимает с поверхности зубьев стружку толщиной 1—5 мкм. Припуск на шевингование не превышает 0,25 мм.

Шевер устанавливают под углом к оси зубчатого колеса. Угол скрещивания оси шевера с осью заготовки в зацеплении составляет $-10 \div 15^\circ$. При обработке воспроизводится зацепление зубчатой пары и происходит срезание тонких стружек. Резание производится боковыми поверхностями зубьев шевера, которые имеют специальные режущие канавки.

Зубохонингование – отделка закаленных зубчатых колес с помощью абразивного хона в виде зубчатого колеса. При обработке оси хона и заготовки скрещены под углом $15 \div 18^\circ$.

Примечание. Число зубьев шевера и хона некратно числу зубьев обрабатываемого колеса, что обеспечивает резание за счет скольжения зубьев инструмента относительно заготовки.

Точность и качество обработки резанием

Требования различных отраслей промышленности в отношении точности выполнения размеров и формы деталей должны соответствовать допускам, установленным системой квалитетов точности. Для всех диапазонов размеров установлено 19 квалитетов, которые имеют номера 01, 1, 2 ... 17 (порядке убывания гарантируемой точности). Они образуют единую шкалу точности, применяемую в машиностроении. Применяемость квалитетов ориентирована в следующих направлениях:

Квалитеты 01 — 4 - точное приборостроение, прецизионное машиностроение, средства измерения.

Квалитеты 4 -12 - допуски размеров в посадках, обеспечивающих сопряжения деталей в сборочных конструкциях.

Квалитеты 12 -17 - допуски неответственных размеров свободных поверхностей деталей.

Отклонения формы и расположения поверхностей регламентируются в соответствии со степенями точности формы. установлено 16 степеней точности, которые имеют номера 1, 2, 3

16 (в порядке убывания гарантируемой точности). Требования в отношении качества изготовления детали определяется совокупностью параметров, регламентирующих структуру, физико – механические и химические свойства, геометрические параметры поверхности. Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности и оказывает существенное влияние на эксплуатационные показатели детали.

Экономически достижимые показатели точности и качества различных способов обработки резанием показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Характеристики точности и качества, характерные для различных способов обработки резанием

N п/п	Вид обработки	Точность		Качество
		Размеров	формы	П поверхности
		квалитет	Степень точности	R _a мкм
1	Доводка	5	3-4	0,08-0,01
2	Суперфиниширование	5	3-4	0,16-0,01
3	Хонингование	5	3-4	0,63-0,01
4	Полирование	Предшествующ.	Пр.обработка	0,63-0,02
5	Тонкое точение	5-6	5-6	1,25-0,32
6	- строгание	8	6-7	6,3-1,2
7	- шлифование	5	3-4	0,63-0,16
8	- фрезерование	6	6-7	1,6
9	- растачивание	5-6	5-6	1,25-0,32
10	Чистовое шлифование	6	6-7	1,25-0,63
11	- фрезерование	6-7	8	
12	- точение	5-6	8-9	6,3-3,2
13	-расточивание	5-7	8-9	10-1,25
14	- строгание	8	8	5-2,5
15	-развертывание	6-7	6-7	6,3-3,2
16	- зенкерование	9-10	9-10	1,25-0,32
17	Черновое точение	7-9	8	6,3-3,2
18	-:-шлифование	7	6-7	40-20
19	- растачивание	7-9	9-10	2,5-1,25
20	- сверление	11-13	13-15	80-50
21	- зенкерование	10-11	8-10	25-5
22	- развертывание	7-9	7-9	25-12,5
23	- фрезерование	8	9-10	2,5-1,25
24	- строгание	10	9-10	50-25
25	- долбление	11-12	9-10	25-12,5
26	Сверление по кондуктору	10	8-9	25-12,5
27	Координатное растачивание	5	4-5	25-6,3
28	Нарезание резьбы: Метчиком (Плашкой)			1,25-0,32
29	Резцом			10-5
30	фрезой			5-1,25 5-1,6
N п/п	Вид обработки	Точность		Качество
		Размеров	формы	П поверхности
		квалитет	Степень точности	R _a мкм

Лекция 5 Технологии механосборочных работ

Для технологической подготовки сборочного производства, так же как и для механообработки, характерен комплексный подход. Он подразумевает тщательную проработку технологичности изделия, типизацию процессов сборки, проработку вспомогательных процессов транспортирования собираемых изделий, их установки на сборочных позициях, контроля и испытания, широкое внедрение нормализованного и переналаживаемого сборочного оборудования.

Важным условием разработки рационального ТП автоматизированной сборки является унификация и нормализация соединений, т.е. приведение их к определенной номенклатуре видов и точностей. На основе унификации и нормализации соединений в сборочных единицах и изделиях разрабатывают типовые сборочные процессы (операции и переходы), выполняемые на типовом сборочном оборудовании с использованием типовых инструментов и приспособлений. В условиях крупносерийного и массового производства автоматизированная сборка изделий выполняется на сборочных автоматах и АЛ. В зависимости от сложности изделий используют одно- и многопозиционные сборочные автоматы. Последние применяют, например, при сборке подшипников качения. В линиях сборочные автоматы размещают линейно или по замкнутому контуру. Перемещение изделий осуществляется с помощью шаговых транспортеров или на приспособлениях-спутниках.

Главным отличием роботизированного производства является замена сборщиков сборочными роботами и выполнение контроля контрольными роботами или автоматическими контрольными устройствами.

Если в условиях АП сборку изделий можно выполнять методом полной или частичной взаимозаменяемости, с применением методов селективной сборки и использованием контрольно-сортировочных автоматов, а также с ограниченным применением методов пригонки и регулировки, то роботизированная сборка должна выполняться по принципу полной взаимозаменяемости или (реже) по принципу групповой взаимозаменяемости. При этом исключается возможность подгонки, регулировки. Строго должны быть соблюдены принципы выбора и постоянства баз, которые определяют качество собираемых изделий и надежность работы сборочных робото-технических комплексов (РТК).

Основные этапы автоматизированной сборки:

- автоматическая ориентация деталей и основных частей изделия для использования автоматизированных транспортно-захватных устройств, контроль и очистка деталей;
- автоматическое выполнение соединений;
- транспортирование деталей и узлов;
- межоперационный контроль;
- окончательный контроль;
- упаковка.

Выполнение операций сборки должно проходить от простого к сложному: деталей — в подузлы, подузлы — в узлы, узлы — в агрегаты, узлы и агрегаты — в изделие, что учитывается при составлении схем сборки. В зависимости от сложности и габаритов изделий выбирают форму организации сборки: стационарную или конвейерную.

Стационарная сборка возможна без перемещения изделия, с подводом сборочных узлов и деталей к базовой сборочной единице (детали, узлу и т. д.). Конвейерная сборка возможна, когда роботы обслуживают рабочие места с различной ориентировкой и погрешностью позиционирования деталей и узлов.

В структуру роботизированного комплекса должны входить сборочное оборудование и приспособления, объединенные с транспортно-загрузочной системой и системами управления различных уровней и расположенные в технологической последовательности, поэтому для определения структуры и состава РТК необходимы разработка и оптимизация общей и узловой

сборки. В состав РТК входят сборочное оборудование и приспособления, транспортная система, операционные сборочные роботы, контрольные роботы, система управления.

При разработке ТП сборки в РТК предпочтительна высокая концентрация операций, определяющая модели роботов, их функции, точность, оперативность, быстродействие. Особенно важно уточнить временные связи элементов РТК, так как и они могут определить операционные возможности, модели и количество сборочных промышленных роботов (ПР). С этой целью возможно и целесообразно построение циклограммы как отдельных роботизированных рабочих мест и ПР, так и РТК в целом. На основе операционной технологии и циклограмм РТК может быть проведена подготовка управляющих программ для сборочных роботов с ЧПУ и для всего РТК.

Перспективным направлением роботизации сборки является использование ПР, построенных по блочно-модульному принципу, а также обучаемых ПР. В системы модулей ПР, как правило, включают модули линейных и угловых перемещений, комплекты переходных элементов для соединения модулей, сменные захватные устройства. На рис. 5.1 приведены схемы системы модулей и компоновок роботов типа ПР5-2 с различными степенями свободы.

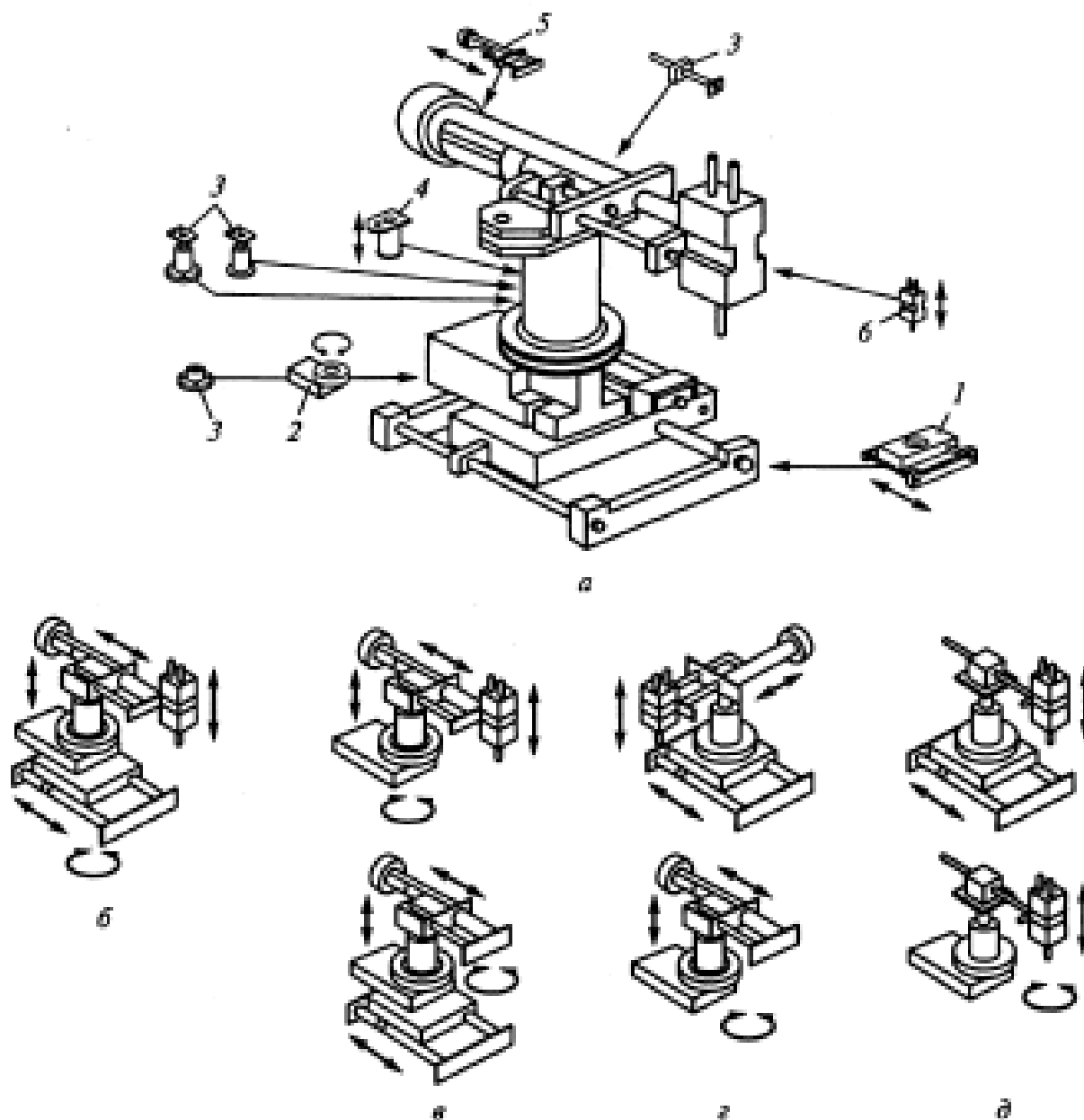


Рис. 5.1. Схемы системы модулей (а) и компоновок с пятью (б), четырьмя (в), тремя (г) и двумя (д) степенями подвижности роботов типа ПР5-2: 7 — линейный модуль МЛ-2; 2 — угловой модуль МУ-13; 3 — комплекты переходных модулей; 4 — линейный модуль МЛ-4; 5 — линейный модуль МЛ-3; 6 — линейный модуль МЛ-7

Унификация модулей позволяет существенно увеличить число их модификаций, снизить затраты на автоматизацию сборочного производства.

Обучаемые роботы — это роботы, которые могут приспосабливаться к различным случайным факторам, сопровождающим запрограммированную работу. Эта приспособляемость выражается в корректировке своей же программы на основе полученного «опыта» — результатов анализа и классификации возникающих отклонений и методов их устранения.

Направления развития машиностроительного производства

Сложившийся тип производственных структур машиностроительных предприятий характеризует ряд признаков:

- отсутствие ярко выраженной технологической специализации машиностроительных производств;
- распыленность технологических ресурсов;
- во многих случаях избыточность или недостаточность мощностей производственных систем;
- отсутствие гибкости производственных систем при переходе предприятия к выпуску новой продукции.

Предметная специализация по предприятиям лежала в основе отрасли. Переход на выпуск принципиально новой продукции в этих условиях требует коренной перестройки с привлечением дополнительных инвестиций, получение которых затруднено.

На смену постоянным организационным структурам промышленных предприятий предметной специализации должна прийти переменная структура на основе так называемой перманентно-изменяющейся матрицы. Промышленное производство представляется как система предприятий корпоративного типа, состоящего из головного предприятия, определяющего вид выпускаемой продукции, и набора технологически специализированных предприятий. Состав и количество таких предприятий определяются видом изготавливаемых изделий. Такая структура легко изменяется в зависимости от запросов рынка. Ее формирование тесно связано с особенностями современного машиностроительного производства:

- формируется сфера информационных технологий инжиниринга, рынка предоставления информационных услуг, которые превращаются в самостоятельную отрасль, имеющую приоритетное значение для развития машиностроения;
- наука становится самостоятельным элементом производительных сил общества. Растет объем производства наукоемких изделий. Их разработки базируются на опережающих фундаментальных исследованиях, а не на ранее доминирующем эмпирическом подходе к созданию новых изделий;
- в качестве важнейшего фактора развития предприятий выступает конкуренция при регулирующей роли государства;
- происходит реструктуризация предприятий на основе рыночных законов экономики. Структура предприятия обеспечивает выполнение полного жизненного цикла изделий. Корпоративные стремления находят развитие в виде создания виртуальных предприятий;
- индивидуализация заказов, частая смена моделей изделий приводят к повышению трудоемкости технологической подготовки производства и относительному уменьшению трудоемкости самого производства;
- основными показателями эффективности деятельности предприятий становятся: время и надежность сроков выполнения заказов, качество и себестоимость изделий;
- возрастает роль информационных технологий инжиниринга, существенным образом влияющих на все основные показатели экономики предприятия;

- развитие кооперации между предприятиями, расширение рынков сбыта изделий приводят к необходимости создания для производства единой информационной базы.

Таким образом, современный этап развития машиностроения характеризуется необходимостью обеспечения конкурентоспособности производимой продукции, что означает оперативное реагирование производства на изменение потребительского спроса, снижение себестоимости ее выпуска при существенном сокращении сроков выпуска и обеспечение качества. Эта проблема предусматривает решение задачи сокращения времени на ТПП, связанного прежде всего с увеличением номенклатуры выпускаемой продукции при снижении величин партий, что требует создания быстропереналаживаемых производственных систем (ПС).

В условиях серийного производства ПС ориентированы на возможность выпуска достаточно широкой номенклатуры изделий. Каждая из существующих ПС изначально ориентирована на выпуск определенных видов изделий. При этом приходится говорить о ПС, как о распределенных производственных системах (РПС). Под РПС подразумевают отдельные ПС, организационно не связанные между собой, содержащие в своем составе технологическое оборудование, необходимое для выполнения ТП изготовления конкретного вида заданной для них продукции.

В последнее время скорость организационных перестроек в проектных организациях существенно опережает скорость перестройки на промышленных предприятиях, усиливается конкуренция. Все это остро ставит вопрос разработки методов обеспечения быстрой перестройки и адаптации ПС для выполнения создаваемых проектов, причем выполнение таких проектов должно предусматривать изготовление деталей широкой номенклатуры различного количества.

Изделия с большим объемом выпуска также целесообразно начинать изготавливать на гибком производстве, начиная с малых программ. Это позволит «довести» конструкцию изделия, отработать технологичность оригинальных деталей, ускорит сроки внедрения и наращивания объема выпуска. При этом перевод изготовления деталей с «гибкой» технологии на основную может происходить поэтапно по мере запуска оборудования на отдельных операциях. Высвобождающиеся при этом станки в «гибком» производстве будут задействованы на развитие мощностей оставшихся операций. И так до полного перевода на основное производство.

Появление рынка проектных услуг конструкторскими бюро выдвигает требование формирования ПС, способных реализовать разрабатываемые проекты в короткие сроки при обеспечении заданных параметров. Время жизненного цикла проекта может быть достаточно малым, поэтому проводить физическую перестройку существующих ПС для их реализации оказывается невозможным. Кроме того, при реализации нескольких проектов, а во многих случаях даже одного требуется одновременное изготовление небольшого количества деталей различной номенклатуры. Здесь приходится говорить о многообъектном проектировании и изготовлении, при этом формируемая ПС должна быть объектно-ориентированной.

Формирование ПС традиционными методами, связанными с материальными перестройками существующих ПС, для этих целей оказывается неприемлемым. Возникает необходимость в поиске новых подходов к процессам формирования ПС с требуемыми свойствами без осуществления трудоемких материальных перестроек.

Подходом к решению данной проблемы является обеспечение возможности создания ПС на базе существующих, путем проведения мероприятий, использующих временные (на период жизненного цикла проекта) организационные связи, без трудоемких материальных перестроек. Материальной основой такой ПС является совокупность технологического оборудования РПС в рамках фонда их свободного времени. Ввиду того что при построении такой ПС отсутствуют материальные изменения в РПС, а информация о ее структуре формируется и хранится только в памяти ЭВМ, такая ПС является виртуальной производственной системой (ВПС), при этом обеспечивается значительное сокращение сроков ее создания.

Информация о параметрах свободных частей РПС может быть представлена в электронном виде и распространена с помощью различных информационных сетей, в частности глобальной сети Internet. В этом случае можно говорить о формировании рынка услуг РПС.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит специфика разработки ТП АП?
2. Назовите преимущества стандартизации и унификации изделий, оборудования, технологических процессов.
3. Перечислите основные требования, предъявляемые к технологии сборки в условиях мелкосерийного автоматизированного производства.
4. Назовите основные подходы к проектированию технологии изготовления изделий в АПС.
5. Перечислите основные принципы построения технологии в АПС. Укажите их назначение и пути реализации.
6. Что является основой типизации ТП? Где применяют типовые ТП?
7. Назовите основные направления, которые используют при типизации ТП.
8. Объясните различие классификации деталей в мелко- и крупносерийном производстве.
9. Перечислите критерии оценки технологичности изделий. Для чего проводят отработку конструкций изделий на технологичность?
10. Что является основой построения групповой технологии? Где ее применяют?
11. Приведите примеры использования методов типизации и групповой технологии при обработке типовых деталей.
12. Что такое модульная технология?
13. Перечислите направления развития машиностроительного производства.

Лекция 6 Технологическое оборудование и принципы построения автоматизированных производственных систем

В зависимости от отрасли и типа производства АПС создают на базе различного оборудования: универсального, агрегатного, специального и специализированного, автоматов, полуавтоматов, обрабатывающих центров, станков с ЧПУ, объединенного гибкими или жесткими транспортными устройствами. Для серийного и мелкосерийного производства характерно применение автоматизированных систем из универсальных и агрегатных станков, обрабатывающих центров, станков с ЧПУ с гибкой связью, предполагающей наличие межоперационных накопителей. Для крупносерийного и массового производства характерно создание АЛ из специальных и специализированных станков, объединенных жесткой связью, которая устанавливается при большой дифференциации технологического процесса, высокой надежности оборудования. Для этих типов производства характерно применение и роторных линий[^] которые состоят из вращающихся агрегатов (роторов), выполняющих рабочие и транспортные операции соответственно на рабочих и транспортных роторах. Роторные линии бывают с жесткой и с гибкой (с накопителями) связью между роторами. Разрабатываются конструкции переналаживаемых роторов и АЛ из них, что позволит использовать их в переналаживаемом производстве.

Переналадка оборудования в условиях многономенклатурного производства возможна за счет построения АПС по модульно-агрегатному принципу, когда и основное, и вспомогательное оборудование komponуют из типовых модулей, агрегатов, механизмов и пр. Примерами такого оборудования являются агрегатные станки, автоматизированные поточные линии из агрегатных станков, промышленные роботы блочно-модульных конструкций.

По межстаночному транспорту различают следующие АЛ:

- со сквозным транспортом без перестановки изделия;
- с транспортной системой с перестановкой изделия;
- с транспортной системой с накопителями.

По видам компоновки (агрегатирования) различают следующие АЛ:

- однопоточную;
- параллельного агрегатирования;
- многопоточную;
- скомпонованную из роботизированных ячеек.

Такие АЛ получили преимущественное развитие благодаря возможности создания переналаживаемых производств.

Число позиций в АП зависит от степени дифференциации и концентрации, его подсчитывают и выбирают оптимальным с точки зрения получения наибольшей производительности и надежности. Критерием выбора различных компоновок, структуры, состава АЛ с учетом характеристик и функциональной взаимосвязи является в конечном счете производительность и гибкость АЛ.

Высокие темпы технического прогресса требуют такого технического оснащения производства, которое могло бы успевать за техническим прогрессом, т. е. иметь высокую мобильность (возможность выпуска широкой номенклатуры и типов деталей и изделий). Эта характерная черта серийного производства приобретает важную роль в машиностроении и в других отраслях промышленности.

С этой целью создают переналаживаемые производственные системы с автоматизированной переналадкой при производстве изделий произвольной номенклатуры. Организационными уровнями таких систем являются производственный модуль, АЛ, автоматизированный участок (АУ), автоматизированный цех (АЦ).

Производственный модуль (ПМ) — система, состоящая из единицы технологического оборудования, оснащенная автоматизированным устройством программного управления (ПУ) и

средствами автоматизации технологического процесса, которая автономно функционирует, и ее можно встраивать в систему более высокого уровня. В модуль может входить станок с ЧПУ или обрабатывающий центр, контрольноизмерительная система, погрузочно-разгрузочная и транспортно-накопительная система с локальным управлением технологической единицы оборудования. Структурные компоненты производственного модуля изображены на рис. 6.1. Производственная ячейка (ПЯ) — частный случай ПМ — комбинация из элементарных модулей с единой системой измерения, инструментообеспечения, транспортно-накопительной и погрузочно-разгрузочной системами, с групповым управлением. ПЯ, как и ПМ, можно

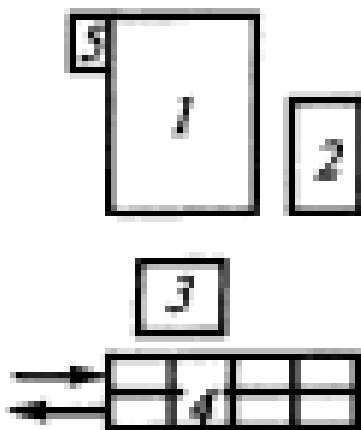


Рис. 6.1. Структурные компоненты ПМ: 1 — станок с ЧПУ; 2 — управляющее устройство; 3 — погрузочно-разгрузочное устройство; 4 — транспортно-накопительное устройство; 5 — контрольно-измерительное устройство

встраивать в систему более высокого уровня. Структурные компоненты ПЯ изображены на рис. 6.2.

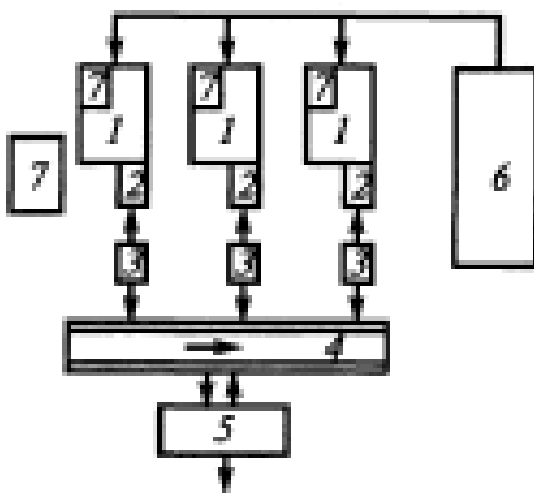


Рис. 6.2. Структурные компоненты гибкой ПЯ: 1 — станок с ЧПУ или обрабатывающий центр; 2 — приемный стол; 3 — погрузочно-разгрузочное устройство; 4, 5 — транспортно-накопительное устройство (4 — конвейер, 5 — накопитель); 6 — управляемая ЭВМ; 7 — контрольно-измерительная система

Автоматизированная линия (АЛ) — переналаживаемая система, состоящая из нескольких ПМ или (и) ПЯ, объединенных единой транспортно-складской системой и системой АСУ ТП. Оборудование АЛ размещают в принятой последовательности технологических операций.

Структурные компоненты АЛ изображены на рис. 6.3.

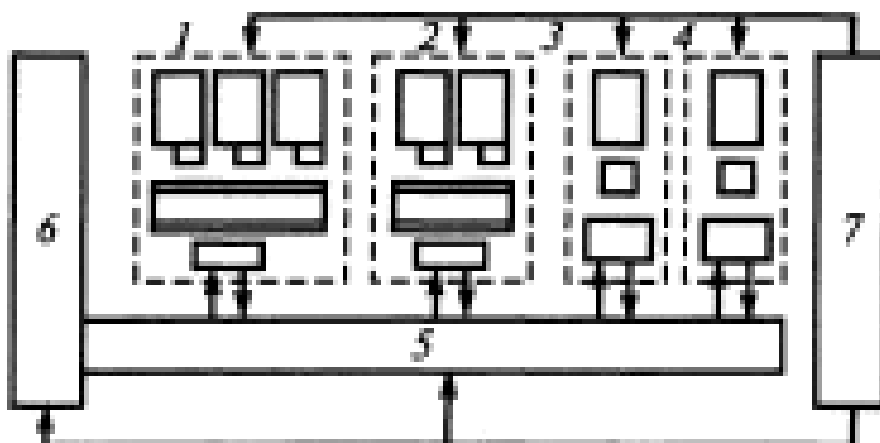


Рис. 6.3. Структурные компоненты гибкой АЛ: 1,2 — производственные ячейки; 3, 4 — производственные модули; 5 — транспортная система; 6 — склад; 7 — управляющая ЭВМ

В отличие от АЛ на переналаживаемом автоматизированном участке (АУ) предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования. Как АЛ, так и АУ могут содержать отдельно функционирующие единицы технологического оборудования. Структурные компоненты АУ изображены на рис. 6.4.

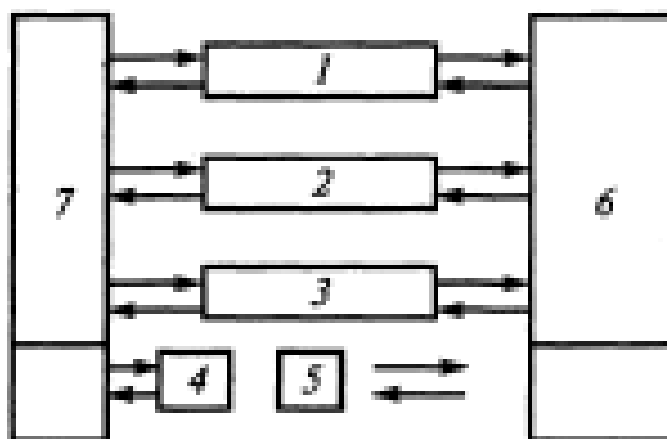


Рис. 6.4. Структурные компоненты АУ: 1 - 3 - АЛ; 4 - ПЯ; 5 - ПМ; 6 - склад; 7 — управляющая ЭВМ

Каждый структурный компонент гибких систем технически представляет собой законченное целое и имеет свою локальную систему управления, что позволяет ему эффективно функционировать как индивидуально, так и в составе переналаживаемого производства и прежде всего в составе автоматизированного цеха (АЦ), состоящее из ПМ, ПЯ, АЛ И АУ, объединенных единой автоматизированной системой управления (АСУ), предназначенной для изготовления изделий заданной номенклатуры. В состав АЦ могут входить отдельно функционирующие неавтоматизированные участки.

На базе крупных АУ и АЦ можно организовать комплексно-автоматизированное переналаживаемое производство с использованием САПР, автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП), автоматизированных систем управления производством (АСУП), автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), автоматических систем контроля и измерения (АСКИО) и других систем, функционирующих на

базе современных CALS-технологий.

Производительность автоматизированных систем

Эффективность автоматизации определяется прежде всего экономической эффективностью, а также взаимосвязью технических и экономических показателей производства. Технические показатели: t_{po} — общее время рабочих ходов; t_x — время холостых ходов цикла; q , n_y — число рабочих позиций и участков, на которые разделено автоматизированное производство; временные потери. Экономические показатели: стоимость, срок службы, экономический эффект и пр. Производительность труда и коэффициент его роста являются обобщенными показателями АП. На взаимосвязи технических и экономических показателей АП основана теория производительности труда и машин (ТПТ), на основе которой выбирают наиболее эффективный вариант проекта при необходимости модернизации производства.

Выбор технологического оборудования и промышленных роботов в автоматизированном производстве

Выбор технических средств для автоматизированного производства — один из важнейших этапов, определяющих структурно-компоновочные решения, организационные и технологические возможности, эксплуатационные расходы и другие показатели производства.

Исходной информацией для выбора оборудования и ПР являются сведения об изготавливаемых деталях и организационно-технологических условиях их изготовления. Подбор и группирование деталей для изготовления на автоматизированном участке производят с учетом следующих характеристик:

- 1) конструктивно-технологического подобия деталей, т. е. сходства по габаритным размерам, массе, конфигурации, характеру конструктивных элементов, требованиям к точности обработки и качеству обрабатываемых поверхностей, числу обрабатываемых поверхностей;
- 2) максимальной степени завершенности маршрута обработки деталей на автоматизированном участке — без прерывания маршрута обработки для выполнения каких-либо специфических операций (термообработки, доводки и др.);
- 3) подобия используемой оснастки и инструментов;
- 4) наличия у деталей четко выраженных признаков ориентации, однородных по форме и расположению поверхностей для базирования в приспособлениях-спутниках или захвата захватными устройствами ПР.

Подобранная группа деталей с учетом годовой программы выпуска, размера и частоты повторяемости каждого типоразмера, числа переналадок должна обеспечить загрузку оборудования при двух- или трехсменной работе.

На основе подобранной группы деталей с учетом видов обработки и трудоемкости выбирают типаж требуемого оборудования, приспособлений, ПР, характер и маршрут транспортирования деталей. На этом этапе определяют компоновку автоматизированного производственного участка, проводят расчет вместимости автоматизированного склада, числа спутников, оптимизацию пространственного расположения оборудования.

Ввиду многовариантности структурно-компоновочных решений проектируемого производственного участка многие его параметры целесообразно рассчитывать на ЭВМ. Автоматизированные производственные системы относятся к большим техническим системам, характеризующимся наличием взаимосвязанных объектов, сложной связью информационных и материальных потоков, возникновением в процессе работы различных случайных воздействий. Расчет на ЭВМ методом имитационного моделирования дает возможность получить основные характеристики различных компоновок производственных систем с учетом всех возможных случайных производственных ситуаций.

Для определения состава оборудования, включаемого в автоматизированные переналаживаемые системы, необходима показательная проработка ТП всех деталей,

обрабатываемых в системе. В первую очередь разрабатывают ТП на деталь, имеющую наибольшее число обрабатываемых поверхностей. При этом намечают первоначальную специализацию оборудования и выявляют необходимые технологические характеристики для оборудования с ЧПУ. Технологические процессы для остальных деталей группы строят в соответствии с принятым типовым маршрутом и с учетом намеченной специализации оборудования.

Исходя из разработанных ТП выявляют технологические характеристики станков, на основании которых производят подбор станков из имеющегося парка (в соответствии с каталогом станков с ЧПУ) или разрабатывают и используют специализированное оборудование.

В зависимости от методов изготовления изделий в качестве основного технологического оборудования можно использовать: литейные машины и установки (например, для литья под давлением); молоты и прессы дляковки и объемной штамповки; штампы и прессы для листовой штамповки; прокатные станы; металлорежущие станки; станки для электрофизической, электрохимической и лазерной обработки; оборудование для обработки поверхностным пластическим деформированием; оборудование для термообработки (печи, ванны, нагревательные и закалочные установки); оборудование для нанесения покрытий (например, гальванические ванны, окрасочные камеры); сборочное оборудование (например, сборочные автоматы и промышленные роботы). Так как наиболее распространенным методом изготовления изделий в машиностроении является обработка резанием, то наибольшее применение находят металлорежущие станки.

При подборе станков необходимо учитывать возможность их встройки в АПС. Для этого у них должны быть однотипные автоматические устройства для загрузки и закрепления спутников, одинаковые устройства ЧПУ и достаточная вместимость магазинов инструментов. Таким образом, в состав АПС включают станки с ЧПУ, параметры которых обеспечивают реализацию ТП обработки определенной группы деталей. Туда же могут встраиваться и универсальные станки или специализированное оборудование, не оснащенное ЧПУ, а также станки без устройств для автоматической загрузки деталей.

Необходимое количество основного оборудования проектируемого участка подсчитывают отдельно по номенклатуре и каждому типоразмеру с учетом затрат времени (Тшт) по отдельным операциям технологического процесса, выполняемого на данном оборудовании, программы и номенклатуры выпускаемых деталей или изделий.

Выбор основного технологического оборудования

Анализ многообразия деталей, подлежащих автоматизированной обработке, и известных АУ показывает, что можно выделить два основных типа производственных участков (отличающихся оборудованием, средствами автоматического транспортирования, структурнокомпоновочными решениями): автоматизированные участки для изготовления деталей типа тел вращения (валов, дисков, фланцев, шестерен) и корпусных деталей.

Технологический маршрут изготовления деталей типа тел вращения обычно состоит из предварительной или окончательной токарной обработки, сверлильно-фрезерных операций, термообработки и шлифования.

Для автоматизированного изготовления таких деталей неприемлем способ закрепления их в приспособлениях-спутниках. Это связано с тем, что детали типа тел вращения при обработке закрепляются в патронах и получают вращение вокруг оси. Поэтому основной путь автоматизации процесса изготовления деталей типа тел вращения—использование станков с ЧПУ и промышленных роботов. Заготовки располагают на призмах или пазах в накопителях без жесткого закрепления.

Выбор токарных станков с ЧПУ производят в зависимости от габаритных размеров и массы заготовок с корректировкой на точностные возможности оборудования (табл. 6.1 и 6.2).

Фрезерные, сверлильные, протяжные, зубообрабатывающие, шлифовальные станки дополняют токарные и их выбирают в зависимости от технологических маршрутов изготовления группы деталей.

Совместить токарную обработку с фрезерованием, сверлением, растачиванием деталей типа тел вращения позволяют токарные многоцелевые станки (табл. 6.3).

Автоматизированные участки для обработки корпусных деталей в основном состоят из многооперационных станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр», объединенных системой автоматической транспортировки деталей с автоматизированным складом. В автоматизированных участках также используют координатно-измерительные, моечные машины и другое дополнительное оборудование.

Таблица 6.1 Рекомендуемые модели станков с ЧПУ для автоматизированной обработки деталей типа валов

Максимальные параметры заготовки			Высота оси центров станка, мм		Модель станка
диаметр, мм	длина, мм	масса, кг	над станиной	над суппортом	
20	250	2	250	125	1Н611ПМФ3, 1П717Ф3
50	500	10	320	200	16Б16Т1, 1713Ф3, 16Б16Ф3
80	1000	40	400	250	16К20Т1, 1720ПФ3, 16К20Ф3
160	1400	160	630	400	16К30Ф3, 1740РФ3, 1Б732Ф3

Таблица 6.2 Рекомендуемые модели станков с ЧПУ для автоматизированной обработки деталей типа дисков

Максимальные параметры заготовки			Модель станка
диаметр, мм	длина, мм	масса, кг	
160	100	10	1П717Ф3, 1П420ПФ40, 11Б40ПФ4
250	200	40	16Б16Т1, 16К20Ф3, 1720ПФ30
320	250	80	16К20Т1, 16К20Ф3, 1740РФ3
400	320	160	1П752МФ3, 1П756ДФ3, 1П717Ф3

Таблица 6.3 Рекомендуемые модели токарных многоцелевых станков для автоматизированной обработки деталей типа тел вращения

Максимальные параметры заготовки			Модель станка
диаметр, мм	длина, мм	масса, кг	
200	160	40	ИРТ180ПМФ4
220	500	150	СТМ220К
320	450	300	СТМ320К
400	1500	1500	1740РФ4
450	630	800	СТМ450
560	1000	1900	1757Ф4

Конструктивно-технологические характеристики корпусных деталей и рекомендуемые модели серийно изготавливаемых многооперационных станков с ЧПУ приведены в табл. 6.4.

При большой программе выпуска деталей в АУ используют станки с ЧПУ со сменными многошпиндельными головками. Такие станки собирают из комплекта унифицированных узлов, включающего станину, силовой стол, привод главного движения, магазин сменных многошпиндельных головок. Многошпиндельные головки содержат несколько инструментов, которые за одну рабочую подачу одновременно производят обработку детали.

Корпусные детали в основном закрепляются в одноместных или многоместных приспособлениях-спутниках и транспортируются с помощью рольгангов или конвейеров между станками и автоматическим складом. Промышленные роботы для транспортирования корпусных деталей используют редко, только в случаях, когда корпусные детали имеют небольшие габаритные размеры и развитые базы.

Приспособления-спутники имеют форму прямоугольной плиты, на верхней части которой закрепляются обрабатываемые детали, а нижняя часть имеет специальные пазы и отверстия для базирования на накопителях, транспортных средствах или рабочих столах станков.

Таким образом, приспособления-спутники имеют функцию не только станочных приспособлений, но и приспособлений для транспортирования и хранения деталей на складе.

Лекция 7. Технический контроль

Контроль и диагностика качества продукции

Основой надежной работы автоматизированных технологических систем является непрерывный или периодический контроль за ходом ТП, реализуемых в этих системах. При этом решаются задачи по контролю точности деталей, точности работы оборудования, выявлению причин отклонения от заданной точности деталей и оборудования, к определению методов и средств контроля, а также вопросы защиты от аварийных ситуаций. Для реализации этих функций в современном производстве активно используют микропроцессоры, лазерные системы и другую технику.

Контроль — проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Под объектом технического контроля понимают подвергаемую контролю продукцию, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующую техническую документацию.

Следовательно, объектом, данные о состоянии и свойствах которого подлежат при контроле сопоставлению с установленными требованиями, может быть продукция или процесс.

Контроль в АП бывает межоперационный (промежуточный), операционный (непосредственно на станке), послеоперационный, окончательный. Автоматизированному контролю должны подвергаться все элементы технологической системы: деталь, режущий инструмент, приспособление, само оборудование. Предпочтительными являются методы прямого контроля, хотя методы косвенного контроля шире используют при контроле инструментов, диагностике состояния оборудования.

Контроль в процессе обработки является одним из наиболее эффективных методов технического контроля, так как позволяет повысить качество выпускаемой продукции при одновременном увеличении производительности труда. Однако на точность обработки с применением активного контроля оказывают влияние различного рода изменения, происходящие в системе активного контроля и технологической системе.

Изоляция станка и управляющего контрольного устройства от температурных влияний, вибраций и других внешних воздействий и стабилизация параметров технологической системы дают положительный эффект, но ограничены техническими возможностями. Поэтому разрабатываются самонастраивающиеся системы управляющего контроля. Контроль самонастраивающийся управляющий — управляющий контроль, при котором автоматически изменяются параметры настройки средства контроля на основе информации, получаемой при изменяющихся условиях работы, обеспечивая заданную точность при произвольно меняющихся внешних и внутренних возмущениях. Необходимо отметить, что степень влияния отдельных возмущений (возмущающих факторов) в различной мере сказывается не только на стабильности получения заданного уровня качества обрабатываемого изделия, но и на изменении контролируемого параметра в процессе обработки каждой детали. Поэтому основная трудность создания подобных систем заключается в выявлении доминирующих возмущающих факторов, воздействие на которые для управления точностью обработки наиболее эффективно. При этом главная задача — это нахождение алгоритма формирования корректирующего сигнала по изменяющемуся измеряемому возмущению.

Наиболее часто в промышленности, особенно в серийном производстве, применяют самонастраивающиеся управляющие системы контроля с коррекцией по отклонению измеряемого (контролируемого) параметра качества от заданного значения.

Для реализации функций контроля необходимы различные измерительные устройства с датчиками, устройства сбора и обработки информации, поступающей от измерительных устройств, а также устройства реализации выработанных решений. В качестве последнего используют либо саму систему ЧПУ оборудования, либо программируемый контроллер, входящий в систему управления автоматизированного комплекса.

Работа контрольных устройств в РТК является главным источником информации для программного управления, в частности в качестве сигналов обратной связи.

При выборе методов и средств контроля для конкретных автоматизированных систем необходимо предварительно определять экономический эффект от их применения с учетом реализуемых в системах функций, а также условий эксплуатации этих систем.

Для всех видов контроля в каждом отдельном случае должны быть выбраны наиболее надежные и допустимые по точности приборы и устройства. В силу этого требования контрольные устройства должны быть просты и иметь требуемую точность измерения.

Весьма важно увязать систему автоматизированного контроля (САК) с основными элементами технологической системы, что позволяет ставить вопрос о разработке технологического процесса измерений, сопровождающего процесс изготовления деталей (рис. 7.1).

Непосредственно на участке механической обработки осуществляют контроль трех видов: установки заготовки в приспособление; изделия непосредственно на станке; выходной контроль.

Контроль установки детали в приспособление можно осуществлять на конвейере перед станком или на станке непосредственно перед обработкой. В первом случае можно использовать датчики положения, расположенные на конвейере, или специальные измерительные установки с роботами. Бесконтактные датчики положения регистрируют отклонение действительного положения измеряемой поверхности от запрограммированного или разность условной базы и измеряемой поверхности (датчики касания).

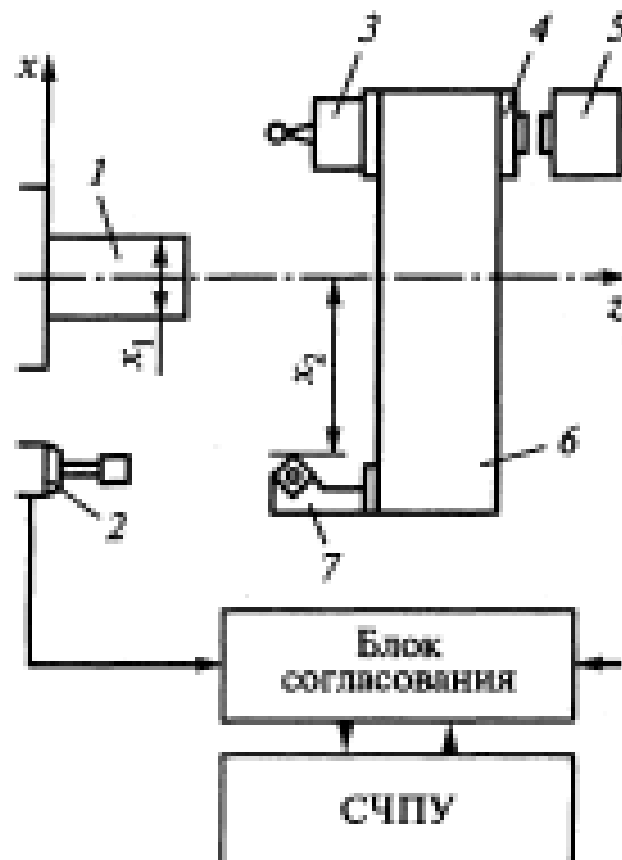


Рис. 3.35. Схема активного контроля: 1 — деталь; 2,3 — щуповые головки; 4 — передающее устройство; 5 — приемное устройство; 6 — револьверная головка; 7 — инструмент

К бесконтактным датчикам относят оптические измерители с погрешностью измерений $\pm 0,005$ мм; лазерные датчики с погрешностью измерений $\pm 0,001$ мм; датчики изображения (технического зрения) с погрешностью измерений $\pm 0,003$ мм. Датчики и принимающие камеры располагают на стойках у конвейеров или над конвейерами. Сигналы датчиков поступают в сравнивающее устройство, затем в АСУ, после чего

производится корректировка положения заготовки в приспособлении перед установкой его на стол станка. Датчики касания моделей 19000-19002, выпускаемые ЛИПО, с погрешностью измерений $\pm 0,002 \dots \pm 0,005$ мм также можно устанавливать на конвейере, однако в основном их применяют для контроля положения и состояния заготовки непосредственно перед обработкой на станке, т. е. в зоне обработки.

Измерительные устройства, устанавливаемые на стойках у конвейеров, позволяют контролировать не только положение заготовки в приспособлении до обработки на станке, но и параметры детали после обработки при перемещении ее в приспособлении на другую позицию. Такие установки разработаны и изготавливаются фирмой «ДЕА» (Италия). Точность их измерения составляет $\pm 0,005$ мм при скорости перемещения заготовки на конвейере до 33 м/мин.

Выходной контроль заготовок деталей в процессе их транспортирования не удлиняет производственного цикла, однако наиболее оперативным является контроль заготовок и деталей непосредственно на станке. При небольшом увеличении длительности обработки выходной контроль существенно повышает ее качество.

Для контроля в зоне обработки применяют датчики касания (измерительные головки), закрепляемые в шпинделе, суппорте, револьверной головке, как и режущий инструмент. К таким датчикам относят отечественные БВ-4281 с погрешностью измерений $\pm 0,002$ мм; МВ-1 фирмы «Ренишоу электрикал» с разрешающей способностью 1 мкм; электронные щупы TF-6, TF-30, TF-56 фирмы «ДЕА», приборы для активного контроля размеров при шлифовании фирмы «Марпос» с погрешностью измерения $\pm 0,0005$ мм.

На токарных и круглошлифовальных станках с ЧПУ применяют индикатор контакта БВ-4271. Индикатор предназначен для выдачи информации о контакте наконечника и его щуповой головки с поверхностью детали и инструмента, используемого для определения размеров деталей, положения или состояния инструмента. Индикатор состоит из щуповой головки для детали, щуповой головки для инструмента, передатчика, приемного устройства и электронного блока. Щуповая головка работает по принципу электроконтактного датчика, обеспечивающего выход двух сигналов «да» и «нет».

Щуповую головку для контроля положения и состояния инструмента устанавливают на неподвижной части станка и стыкуют с электронным блоком согласования. От системы ЧПУ в электронный блок согласования поступает сигнал, определяющий выбор одной из двух головок.

Щуповую головку для контроля размеров деталей, передающее устройство, связанное кабелем с датчиком, и приемное устройство устанавливают на револьверной головке станка. В соответствующем положении револьверной головки выполняется ощупывание измеряемой детали.

Прием информации от выбранной головки осуществляется с приходом сигнала «размещение» от СЧПУ. Далее выполняется формирование выходных сигналов и передача их в СЧПУ.

Контроль с помощью измерительных головок на станке можно рассматривать и как выходной контроль детали после конкретной (в том числе и после финишной) операции. Однако в ряде случаев целесообразнее и легче организовать специализированную контрольно-измерительную ячейку (КИЯ), обеспечивающую выносной контроль детали, чем контроль в зоне обработки. К таким случаям можно отнести контроль сложных корпусных деталей, например картера двигателя внутреннего сгорания.

Состав КИЯ определяется видом контролируемых изделий и может формироваться как на основе унифицированных измерительных систем отдельных параметров, так и на базе универсальных контрольно-измерительных машин (КИМ). Для механообработки характерен второй подход.

Наибольшую известность получили КИМ фирм «Маузерверке» (Германия), «Оптон» (Германия), «ДЕА» (Италия). На КИМ производят выходной контроль корпусных деталей, сложных штампов, зубчатых колес, червяков, кулачковых валов; управление процессом измерения осуществляют с помощью вычислительного устройства, связанного с АСУ автоматизированного участка. Контроль детали состоит в активном ощупывании ее по записанной в памяти управляющего вычислительного устройства программе. Записанную программу можно корректировать. При измерении в автоматическом режиме отсутствует необходимость в выравнивании или перезакреплении детали, поскольку ее положение распознается вычислительным устройством.

КИМ устанавливают за обрабатывающими центрами в конце участка или линии для осуществления выходного контроля деталей и изделий. Но КИМ можно устанавливать также непосредственно за участком выставки и закрепления детали на спутнике, что позволяет оценить фактические размеры и положение поступающей на обработку заготовки. Обработка информации, поступающей с КИМ на ЭВМ, дает возможность определить оптимальное число рабочих ходов и внести возможные коррективы в режимы резания.

МИНЕСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Кафедра «Электронные системы и устройства»

ТЕСТЫ

Технологические процессы автоматизированных производств

Сборник тестовых заданий по дисциплине “ Технологические процессы
автоматизированных производств”

ЗАДАНИЕ №1

Тесты к теме 1 ПРОЦЕССЫ И ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

ВОПРОС

1.1. Под **физическим процессом** понимают...

ОТВЕТ

1. процессы характеризующиеся наличием, движением и взаимодействием материальных и информационных потоков.
2. процесс физического взаимодействия тел в разных состояниях.
- 3.* последовательную смену состояний объектов физического мира, комбинацию связанных событий в системе, в результате которых изменяются, перемещаются или запасаются материя, энергия и информация.
4. процесс, физические переменные которого можно измерить и изменить техническими средствами, включая обработку информации для достижения заданной целевой функции.

ВОПРОС

1.2. Под **техническим процессом** понимают...

ОТВЕТ

1. последовательную смену состояний объектов физического мира, комбинацию связанных событий в системе, в результате которых изменяются, перемещаются или запасаются материя, энергия и информация.
- 2.* процесс, физические переменные которого можно измерить и изменить техническими средствами, включая обработку информации для достижения заданной целевой функции.
3. процессы характеризующиеся наличием, движением и взаимодействием материальных и информационных потоков.
4. процессы параметры которых измеряются и регулируются при отклонении от заданных значений.

ВОПРОС

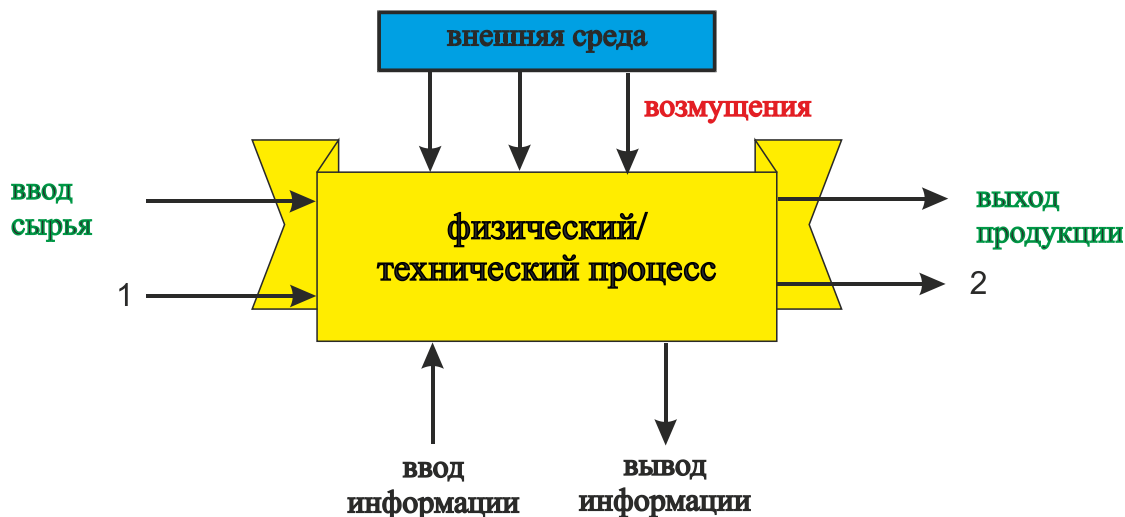
1.3. Входом физического процесса могут быть

ОТВЕТ

- 1.* материальные компоненты, энергия, информация.
2. заготовки, сырье, конечная продукция.
3. информация, документация, время.
4. возмущения, документация, время.

ВОПРОС

1.4. На рисунке представлена обобщенная модель физического/технического процесса добавьте недостающие термины у пустых стрелок



ОТВЕТ

- 1.*1- ввод энергии, 2 - выход энергии.
2. 1- выход энергии, 2 - ввод энергии
3. 1- вход заготовок, 2 - выход отходов.
4. 1- ввод энергии, 2 - выход отходов.

ВОПРОС

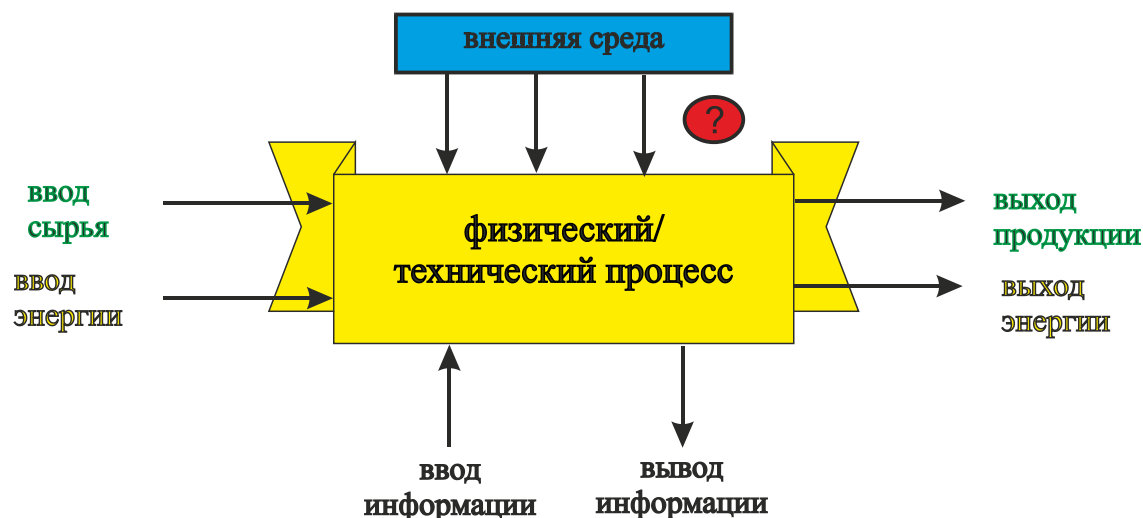
1.5. Выходом физического процесса могут быть

ОТВЕТ

1. информация, документация, время.
2. заготовки, сырье, конечная продукция.
3. * материальные компоненты, энергия, информация.
4. возмущения, документация, время.

ВОПРОС

1.6. На рисунке представлена обобщенная модель физического/технического процесса добавьте недостающий термин вместо вопросительного знака



ОТВЕТ

1. температура.

2. давление.
3. возмущения.
4. влажность.

ВОПРОС

1.7. Выходом физического процесса могут быть

ОТВЕТ

1. информация, документация, время.
2. заготовки, сырье, конечная продукция.
3. * материальные компоненты, энергия, информация.
4. возмущения, документация, время.

ВОПРОС

2.2. Перечислите методы формообразования поверхностей при обработке резанием деталей

ОТВЕТ

1. * 4 метода формообразования поверхностей: метод копирования, метод следов, метод касания, метод обкатки.
2. 4 метода формообразования поверхностей: метод копирования, метод следов, метод касания, метод обрезки.
3. 4 метода формообразования поверхностей: метод сканирования, метод следов, метод касания, метод обрезки.
4. 4 метода формообразования поверхностей: метод штамповки, методковки, метод литья, метод протяжки.

ВОПРОС

2.3. Укажите правильное выражение для основного технологического времени.

ОТВЕТ

1. $T_o = i / (nS_o) = h / (naS_o)$,
2. $T_o = Li / (nV_o) = Lh / (naV_o)$,
3. $T_o = Li / (aS_o) = Lh / (aS_o)$,
4. * $T_o = Li / (nS_o) = Lh / (naS_o)$,

2.8. Дать классификацию средств автоматизации металлорежущего станка.

ОТВЕТ

1. Средства автоматизации подразделяются на 4 группы: 1 - устройства, автоматизирующие кинематическую и технологическую настройку станка, установку, закрепление заготовок и съём обработанных деталей; 2 - устройства, автоматизирующие управление и обслуживание станка; 3 - приборы и механизмы активного контроля в процессе обработки; 4 - устройства, автоматизирующие циклы обработки (механического, электромеханического, гидравлического и комбинированного действия).

2. Средства автоматизации подразделяются на 3 группы: 1 - устройства, автоматизирующие кинематическую и технологическую настройку станка, установку, закрепление заготовок и съём обработанных деталей; 2 - устройства, автоматизирующие

управление и обслуживание станка; 3 - приборы и механизмы активного контроля в процессе обработки.

3. Средства автоматизации подразделяются на 2 группы: 1 - устройства, автоматизирующие механические действия при обработке детали; 2 - устройства, автоматизирующие контроль в процессе обработки.

4.* Средства автоматизации подразделяются на пять групп: 1 - устройства, автоматизирующие кинематическую и технологическую настройку станка; 2 - устройства, автоматизирующие установку, закрепление заготовок и съём обработанных деталей; 3 - устройства, автоматизирующие управление и обслуживание станка; 4 - приборы и механизмы активного контроля в процессе обработки; 5 - устройства, автоматизирующие циклы обработки (механического, электромеханического, гидравлического и комбинированного действия).

ВОПРОС

2.11. По способу задания информации СПУ подразделяются на четыре группы (рис. 2.16):

I — СПУ с распределительным валом, где УП задается в аналоговом виде — рабочие и командные кулачки устанавливают на распределительном валу в соответствии с разработанной циклограммой;

II — копировальные СПУ, где УП задается также в аналоговом виде — с помощью копира;

III — системы циклового программного управления (СПУ), в которых размерная информация задается в аналоговом виде с помощью путевых упоров, устанавливаемых на сменных линейках, а цикловая — в цифровом виде набором необходимых данных на пульте управления;

IV — системы ЧПУ (СПУ), в которых УП задается в цифровом виде либо вводится с пульта оператором, либо поступает от ЭВМ высокого уровня управления.

ОТВЕТ

ВОПРОС

2.10. На сколько подгрупп подразделяют замкнутые СПУ

ОТВЕТ

1. * Замкнутые СПУ подразделяют на три подгруппы: с обратной связью по положению рабочих органов станка; с обратной связью по положению рабочих органов и с компенсацией погрешностей станка; адаптивные, в которых кроме обратной связи по положению рабочих органов станка имеется обратная связь от соответствующих ИП по параметрам процесса обработки.

2. Замкнутые СПУ подразделяют на три подгруппы: СПУ с распределительным валом, где УП задается в аналоговом виде — рабочие и командные кулачки устанавливают на распределительном валу в соответствии с разработанной циклограммой; II — копировальные СПУ, где УП задается также в аналоговом виде — с помощью копира; III — системы циклового программного управления (СПУ), в которых размерная информация задается в аналоговом виде с помощью путевых упоров, устанавливаемых на сменных линейках, а цикловая — в цифровом виде набором необходимых данных на пульте управления.

3. Замкнутые СПУ подразделяют на 4 подгруппы: СПУ с распределительным валом, где УП задается в аналоговом виде — рабочие и

командные кулачки устанавливают на распределительном валу в соответствии с разработанной циклограммой; копировальные СПУ, где УП задается также в аналоговом виде — с помощью копира; системы циклового программного управления (СЦПУ), в которых размерная информация задается в аналоговом виде с помощью путевых упоров, устанавливаемых на сменных линейках, а цикловая — в цифровом виде набором необходимых данных на пульте управления; системы ЧПУ (СЧПУ), в которых УП задается в цифровом виде либо вводится с пульта оператором, либо поступает от ЭВМ высокого уровня управления.

4. Замкнутые СПУ подразделяют на 4 подгруппы: 1 - автоматизирующие кинематическую и технологическую настройку станка, установку, закрепление заготовок и съём обработанных деталей; 2 - автоматизирующие управление и обслуживание станка; 3 - автоматизирующие контроль в процессе обработки; 4 - автоматизирующие циклы обработки (механического, электромеханического, гидравлического и комбинированного действия).

41. Чистовое точение обеспечивает точность:

- а) 13-14 квалитет;
- б) 10-11 квалитет;
- в) 7- 9 квалитет.

42. Тонкое точение обеспечивает точность:

- а) 13-14 квалитет;
- б) 10-11 квалитет;
- в) 7- 9 квалитет

43. Сверление обеспечивает точность:

- а) 14 квалитет;
- б) 13 квалитет;
- в) 12 квалитет
- г) 10 квалитет

44. Зенкерование обеспечивает точность:

- а) 13-14 квалитет;
- б) 10-11 квалитет;
- в) 7- 9 квалитет

45. Развертывание обеспечивает точность:

- а) 13-14 квалитет;
- б) 10-11 квалитет;
- в) 7- 9 квалитет

46. Фрезерование обеспечивает точность:

- а) 13-14 квалитет;
- б) 10-11 квалитет;

в) 7- 9 квалитет

47. На строгальных станках обрабатывают:

- а) цилиндрические поверхности;
- б) фасонные поверхности;
- в) плоские поверхности;
- г) все вышеперечисленные.

48. Какой способ нарезания зубчатых колес используют в серийном и массовом производствах:

- а) метод обкатки;
- б) метод копирования;
- в) оба метода.

49. Какой процесс нарезания зубчатых колес более производительный:

- а) метод обкатки;
- б) метод копирования;
- в) оба метода равнозначны.

50. Какой способ нарезания зубчатых колес обеспечивает более высокую точность:

- а) круговая протяжка;
- б) нарезание зубчатых колес зуборезной головкой;
- в) нарезание зубчатых колес пальцевой или модульной фрезой.

51. Шлифование обеспечивает точность:

- а) 11-12 квалитет;
- б) 6- 8 квалитет;
- в) 9- 10 квалитет.

52. Какой процесс нарезания зубчатых колес более производительный:

- а) модульной и пальцевой фрезой;
- б) зуборезными головками;
- в) долбяком.

53. Нарезание зубчатых колес с круговыми зубьями производится:

- а) нарезание зубчатых колес модульной и пальцевой фрезой;
- б) нарезание зубчатых колес резцовыми головками;
- в) нарезание зубчатых колес долбяком.

54. Область применения карбида кремния зеленого:

- а) обдирочное шлифование;
- б) отделочное шлифование, заточка режущего инструмента;
- в) чистовое шлифование.

55. Область применения карбида кремния черного:

- а) обдирочное шлифование;
- б) отделочное шлифование, заточка режущего инструмента;
- в) чистовое шлифование.

56. Область применения электрокорунда нормального:

- а) обдирочное шлифование;
- б) отделочное шлифование, заточка режущего инструмента;
- в) чистовое шлифование;
- в) шлифование углеродистых и легированных сталей с большими припусками.

57. Область применения электрокорунда белого:

- а) обдирочное шлифование;
- б) отделочное шлифование, заточка режущего инструмента;
- в) чистовое шлифование.

58. Шлифовальные круги с зернистостью 63, 50 применяются для :

- а) плоского шлифования торцом круга, поперечного шлифования незакаленной стали;
- б) отделочного шлифования, заточки режущего инструмента;
- в) обдирочного шлифования;
- г) поперечного шлифования незакаленной стали.

59. Шлифовальные круги с зернистостью 40, 32, 25 - применяются для :

- а) плоского шлифование торцом круга, поперечного шлифования незакаленной стали;
- б) отделочного шлифования, заточки режущего инструмента;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) поперечного шлифования незакаленной стали.

60. Шлифовальные круги с зернистостью 20,16 применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) отделочного шлифования, заточки режущего инструмента;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) поперечного шлифования незакаленной стали;

61. Шлифовальные круги с твердостью M1, M2- применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) отделочного шлифования, заточки режущего инструмента;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) плоского шлифования торцом круга;
- д) поперечного шлифования незакаленной стали.

63. Шлифовальные круги с твердостью СТ1, СТ2, СТ3 - применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) круглого наружного, внутреннего шлифования незакаленных углеродистых и легированных сталей;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) плоского шлифования торцом круга;
- д) поперечного шлифования незакаленной стали.

63. Шлифовальные круги с твердостью Т1, Т2, Т3 - применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) круглого наружного, внутреннего шлифования незакаленных углеродистых и легированных сталей;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) обдирочного шлифования, правки абразивных кругов;
- д) поперечного шлифования незакаленной стали.

64. Шлифовальные круги с бакелитовой связкой - применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) круглого наружного, внутреннего шлифования незакаленных углеродистых и легированных сталей;
- в) предварительного и окончательного шлифования закаленной стали ;
- г) обдирочного, плоского и внутреннего шлифования;
- д) поперечного шлифования незакаленной стали.

65. Шлифовальные круги с вулканитовой связкой - применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) круглого наружного, внутреннего шлифования незакаленных углеродистых и легированных сталей;
- в) бесцентрового и профильного шлифования;
- г) обдирочного плоского и внутреннего шлифования;
- д) поперечного шлифования незакаленной стали.

66. Шлифовальные круги на гифталевой связке - применяются для :

- а) чистового шлифования;
- б) круглого наружного, внутреннего шлифования незакаленных углеродистых и легированных сталей;
- в) бесцентрового и профильного шлифования;
- г) обдирочного плоского и внутреннего шлифования;
- д) доводочных и полировальных работ.

67. Сборка по принципу индивидуальной подгонки применяется:

- а) в единичном и мелкосерийном производстве;
- б) в массовом производстве;

в) в крупносерийном производстве.

68. Основными преимуществами принципа дифференциации операций являются:

- а) высокая производительность;
- б) повышение точности обработки;
- в) простота наладки оборудования;
- г) использование оптимальных режимов резания на каждом переходе.

69. Сборочной единицей называется:

- а) изделие, составные части которого необходимо соединять между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями;
- б) два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями;
- в) два и больше изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, представляют набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера

70. Комплексом называется:

- а) изделие, составные части которого необходимо соединять между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями;
- б) два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями;
- в) два и больше изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, представляют набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера

71. Комплектом называется:

- а) изделие, составные части которого необходимо соединять между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями;
- б) два и больше изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, представляют набор изделий, которые имеют общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера;
- в) два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями;

72. Операция в сборочном процессе - это :

- а) придание определенного положения собираемым изделиям и соединениям ;
- б) часть сборочного процесса, выполняемая на каком-либо узле или машине одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте;
- в) часть перехода, состоящая из ряда простейших рабочих движений, выполняемых одним рабочим.

73. Переход в сборочном процессе - это :

а) придание определенного положения собираемым изделиям и соединениям ;

б) часть сборочного процесса, выполняемая на каком-либо узле или машине одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте;

в) часть операции, которая может быть разделена на другие переходы и выполняется без смены инструмента одним или несколькими рабочими одновременно.

74. Прием в сборочном процессе - это :

а) часть перехода, состоящая из ряда простейших рабочих движений, выполняемых одним рабочим;

б) часть сборочного процесса, выполняемая на каком-либо узле или машине одним или несколькими рабочими на одном рабочем месте;

в) часть операции, которая может быть разделена на другие переходы и выполняется без смены инструмента одним или несколькими рабочими одновременно.

75. Сборка по принципу полной взаимозаменяемости применяется:

а) в единичном и мелкосерийном производстве;

б) в массовом производстве;

в) в крупносерийном производстве.

76. В чем заключается суть сборки по принципу неполной взаимозаменяемости :

а) детали обрабатываются в цехах по предельным калибрам;

б) необходимая посадка соединяемых деталей получается путем предварительного подбора их по размерам ;

в) перед направлением деталей на общую сборку их подвергают окончательной ручной отделочной обработке.

77. В чем заключается суть сборки по принципу полной взаимозаменяемости :

а) детали обрабатываются в цехах по предельным калибрам;

б) необходимая посадка соединяемых деталей получается путем предварительного подбора их по размерам ;

в) перед направлением деталей на общую сборку их подвергают окончательной ручной отделочной обработке.

78. В чем заключается суть сборки по принципу индивидуальной пригонки :

а) детали обрабатываются в цехах по предельным калибрам;

б) необходимая посадка соединяемых деталей получается путем предварительного подбора их по размерам ;

в) перед направлением деталей на общую сборку их подвергают окончательной ручной отделочной обработке.

79. В чем заключается суть поточной сборки :

а) изделие перемещается от одного рабочего места к другому, на которых рабочими, находящимися постоянно на этих местах, выполняется одна и та же сборочная операция;

б) сборка, при которой работа идет непрерывно, и собранные готовые изделия выходят периодически через определенный промежуток времени ;

в) машина полностью собирается из отдельных деталей и узлов одной бригадой сборщиков на одном сборочном месте.

80. В чем заключается суть подвижной сборки :

а) изделие перемещается от одного рабочего места к другому, на которых рабочими, находящимися постоянно на этих местах, выполняется одна и та же сборочная операция;

б) сборка, при которой работа идет непрерывно, и собранные готовые изделия выходят периодически через определенный промежуток времени ;

в) машина полностью собирается из отдельных деталей и узлов одной бригадой сборщиков на одном сборочном месте.

ТЕМА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛУРГИИ АВИАЦИОННЫХ СПЛАВОВ. Основные технологии. Автоматизация технологических процессов в литейном и прокатном производствах. (интерактивные)

Какова классификация литых заготовок?
По группам сложности 8 групп.
Непрочные, прочные, особо прочные
Общего назначения, ответственного назначения, особо ответственного назначения, по группам сложности – 6, и, по классам точности -22.
По 22 классам точности – 10 классов.

43. В единичном производстве используется:

- а) универсальное оборудование;
- б) специализированное оборудование;
- в) специальное оборудование.

44. В серийном производстве используется:

- а) универсальное оборудование;
- б) специализированное оборудование;
- в) специальное оборудование;
- г) все перечисленные виды оборудования.

45. В массовом производстве используется:

- а) универсальное оборудование;
- б) специализированное оборудование;

- в) специальное оборудование;
- г) гибкие производственные модули, автоматические линии;
- д) все перечисленные виды оборудования.

46. Технологическим переходом называют:

- а) законченную часть технологического процесса, выполняемого на одном рабочем месте;
- б) законченную часть операции, характеризуемую постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке;
- в) часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением готовых деталей в узлы;

47. Технологический процесс - это

- а) законченная часть производственного процесса, выполняемого на одном рабочем месте;
- б) часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением готовых деталей в узлы;
- в) часть производственного процесса, содержащая действия по изменению состояния предмета производства.

48. Производственный процесс - это

- а) законченная часть производственного процесса, выполняемого на одном рабочем месте;
- б) часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением готовых деталей в узлы;
- в) совокупность отдельных процессов, которая выполняется для получения из материалов и полуфабрикатов готовых машин.

49. Какой тип производства обеспечивает наиболее низкую себестоимость обработки:

- а) единичное производство;
- б) серийное производство;
- в) массовое производство.

50. Каковы достоинства метода литья в песчаные формы:

- а) высокая точность отливки;
- б) низкая шероховатость;
- в) возможность получения заготовок сложной формы;
- г) возможность получения крупногабаритных заготовок.

51. Какой процесс обеспечивает наиболее высокую точность заготовки:

- а) литье в оболочковые формы;
- б) литье в песчаные формы;

- в) литье под давлением;
- г) центробежное литье.

52. Какой из способов литья используют в серийном и массовом производствах:

- а) литье в песчаные формы;
- б) кокильное литье;
- в) литье по выплавляемым моделям.

53. Какие недостатки метода центробежного литья:

- а) низкая точность отливки;
- б) высокая шероховатость;
- в) возможность появления трещин.

54. Какие недостатки метода литья в песчаные формы:

- а) низкая точность отливки;
- б) высокая шероховатость;
- в) большие припуски на обработку;
- г) возможность появления трещин.

55. Какой процесс более производительный:

- а) свободная ковка;
- б) штамповка;
- в) ковка в подкладных штампах.

56. Какой процесс целесообразно использовать для изготовления крепежных деталей:

- а) свободная ковка;
- б) холодная высадка;
- в) ковка в подкладных штампах;
- г) штамповка.

57. Какой процесс обеспечивает изготовление заготовки с минимальным припуском:

- а) свободная ковка;
- б) штамповка;
- в) ковка в подкладных штампах;
- г) холодная объемная штамповка.

58. Для обработки труднообрабатываемых материалов используют:

- а) быстрорежущие стали высокой теплостойкости;
- б) легированные стали;
- в) углеродистые стали.

59. Какие углы измеряют в главной секущей плоскости:

- а) главный угол в плане;
- б) главный задний угол;
- в) передний угол;
- г) угол резания;
- д) угол заострения.

60. Какие углы измеряют в основной плоскости:

- а) главный угол в плане;
- б) вспомогательный угол в плане;
- в) передний угол;
- г) угол резания;
- д) угол при вершине.

61. Что входит в понятие подачи:

- а) расстояние, пройденное режущей кромкой инструмента за единицу времени относительно заготовки в направлении главного движения ;
- б) расстояние, пройденное режущей кромкой относительно заготовки в направлении подачи за единицу элементарного перемещения в направлении главного движения или за единицу времени ;
- в) расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, которое измеряется перпендикулярно к последней;

62. В какой плоскости измеряют передний угол:

- а) в основной плоскости ;
- б) в главной секущей плоскости ;
- в) в плоскости резания;

63. Как влияет повышение содержания ванадия на свойства быстрорежущих сталей:

- а) повышает теплостойкость;
- б) повышает прочность;
- в) повышает твердость.

64. Какие инструменты изготавливают из легированных инструментальных сталей:

- а) резцы;
- б) развертки;
- в) плашки, метчики;
- г) напильники.
- д) зубила.

65. Какие инструменты изготавливают из углеродистых инструментальных сталей:

- а) резцы;

- б) развертки, протяжки;
- в) плашки, метчики;
- г) напильники.
- д) зубила.

66. Теплостойкость легированных инструментальных сталей:

- а) 100-200 °С;
- б) 500-850 °С;
- в) 250-260 °С.

67. Теплостойкость быстрорежущих инструментальных сталей:

- а) 100-200 °С;
- б) 500-600 °С;
- в) 250-260 °С.

68. Какие инструменты изготавливают из быстрорежущих инструментальных сталей:

- а) резцы;
- б) развертки, протяжки;
- в) плашки, метчики;
- г) напильники.
- д) зубила.

69. Какие инструменты изготавливают из твердых сплавов:

- а) резцы;
- б) развертки, протяжки;
- в) плашки, метчики;
- г) напильники.
- д) зубила.

70. Теплостойкость твердых сплавов:

- а) 100-200 °С;
- б) 500-850 °С;
- в) 800-1000 °С.

71. Область применения однокарбидных твердых сплавов :

- а) углеродистые стали;
- б) коррозионно-стойкие стали;
- в) чугуны;
- г) цветные металлы и сплавы.

72. Область применения двукарбидных твердых сплавов :

- а) углеродистые стали;
- б) коррозионно-стойкие стали;
- в) чугуны;

г) цветные металлы и сплавы.

73. Область применения трех и четырех-карбидных твердых сплавов :

- а) работа при корке и ударах;
- б) чистовое точение;
- в) получистовое точение.

74. Область применения безвольфрамовых твердых сплавов :

- а) работа при корке и ударах;
- б) чистовое точение;
- в) получистовое точение.

75. Область применения минералокерамических твердых сплавов :

- а) работа при корке и ударах;
- б) чистовое точение отбеленных чугунов;
- в) получистовое точение;
- г) точение закаленных и цементируемых сталей.

76. Теплостойкость сверхтвердых материалов:

- а) 100-200 °С;
- б) 500-850 °С;
- в) 1300-1400 °С.

77. Область применения сверхтвердых материалов композит 01 и 02 :

- а) работа при корке и ударах;
- б) чистовое точение отбеленных чугунов;
- в) фрезерование без ударов закаленных и цементируемых сталей;

78. Область применения сверхтвердых материалов композит 10:

- а) работа при корке и ударах;
- б) чистовое точение отбеленных чугунов;
- в) фрезерование без ударов закаленных и цементируемых сталей;

79. Назначение лунок и уступов на передней поверхности резца:

- а) для повышения прочности ;
- б) для уменьшения шероховатости обработанной поверхности;
- в) для улучшения стружкодробления.

60. Какие потери времени относятся к ненормируемым :

- а) потери связанные с простым оборудованием;
- б) потери связанные с отсутствием электроэнергии, инструмента, заготовок ;
- в) потери связанные с поломкой станка;
- г) потери связанные с наладкой станка на операцию.

81. Норма основного времени:

а) это норма времени, которое затрачивается на различные дополнительные действия работника, непосредственно связанные с основной работой;

б) это норма времени на выполнение операции или перехода при непосредственном изготовлении детали;

в) это норма времени, которое расходуется работником на поддержание оборудования в работоспособном состоянии.

82. Норма вспомогательного времени:

а) это норма времени, которое затрачивается на различные дополнительные действия работника, непосредственно связанные с основной работой;

б) это норма времени на выполнение операции или перехода при непосредственном изготовлении детали;

в) это норма времени на поддержание оборудования в работоспособном состоянии.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дать определение процесса.
2. Дать определения физического и технологического процесса, в чем отличие этих понятий?
3. Нарисовать и объяснить обобщенную модель физического/технического процесса.
4. Дать определения механизации и автоматизации производственного процесса.
5. Дать понятия автоматизации управления, автоматизированной системы и технической системы управления.
6. Разъяснить в чем разница между автоматизированной системой управления (АСУ) и автоматической системой управления.
7. Что такое непрерывные системы (аналоговые) и дискретные (импульсные) системы.
8. Дополнить таблицу 1.1 примерами из технологических процессов микроэлектроники (термическое напыление, плазмохимическое травление, литография, и т.д.).
9. Нарисуйте и объясните обобщенную структуру АСУ ТП.
10. Назовите основные функции управления ТП.
11. Перечислите виды обеспечения автоматических систем управления технологическими процессами.
12. Дайте понятие централизованной и распределенной архитектура АСУ ТП?
13. Как классифицируются промышленные объекты управления?
14. Как классифицируются параметры ТП?
15. По каким признакам классифицируются технических средств регулирования?
16. Сколько уровней АПП вы знаете?
17. Дайте определение эксплуатационной степени автоматизации.
18. Запишите выражение для цикловой степени автоматизации.
19. Запишите выражение для рабочей степени автоматизации.
20. Назовите условные цифровые обозначения трубопроводов для жидкостей и газов: вода, воздух, кислород, аргон, масло, фреон, вакуум.
21. Дайте определение ГСП?
22. Воспроизведите основные условные обозначения приборов и средств автоматизации
23. Назовите буквенные условные обозначения приборов на схемах по разным функциональным признакам и измеряемым величинам.
24. Что такое схема автоматизации ТП?
25. Дать классификацию ГПС.
26. Нарисуйте и объясните типовую функциональную схему АСУ ТП.
27. Что входит в понятие гибкости?

Вопросы для самоконтроля:

1. Дать определение формообразующих технологий.
2. Запишите выражение для скорости главного движения резания.
3. Дайте определение силы резания.
4. Запишите выражение для минимального машинного времени (T_m , мин) при обработке деталей и объясните его.
5. Как характеризуются точность и качество обработки резанием?
6. Какие группы размерных связей существуют при автоматическом процессе изготовления деталей?
7. Дать классификацию средств автоматизации металлорежущего станка.
8. Какие вы знаете устройства, автоматизирующие остановку станка.
9. Что вы знаете об автоматизации расчета кинематической настройки станка?
10. Назовите примеры механизмов, автоматизирующих остановку суппорта токарного станка с ручным управлением.
11. Какие вы знаете автоматизирующие устройства, применяемые на фрезерных станках?
12. Можно ли контролировать размеры обрабатываемой детали в процессе шлифования?
13. Назовите, какие бывают зажимные механизмы.
14. Перечислите, какие существуют механизмы для автоматической установки заготовок.
15. Как классифицируются устройства автоматической загрузки-выгрузки?
16. Для чего существуют контрольно-блокировочные устройства?
17. Что понимается под управлением металлорежущим станком?
18. Расскажите об управлении станком от системы ЧПУ. Какие виды УЧПУ применяются в промышленности?
19. Расскажите о средствах ручного управления металлорежущим станком. Приведите пример.
20. Для чего служит пульт управления в металлорежущем станке (автоматической линии)?
21. Что понимается под термином «автоматическое» управление станком?
22. Какие вы знаете системы управления станками? Назовите области применения систем управления каждого вида.
23. Расскажите о работе системы управления станком с распределительным валом. Приведите пример.
24. Расскажите о работе копировальных систем управления станками.
25. Расскажите о работе системы циклового программного управления станками. Приведите пример.
26. Что такое следящие системы? Для чего применяются следящие системы в станках? Приведите пример.
27. Что такое обратная связь в следящей системе?
28. Что такое адаптивная система? Приведите пример.
29. Расскажите об адаптивных системах управления точностью обработки и режимами резания.
30. Что такое система контроля качества обработки применительно к выполнению операций на металлорежущих станках?
31. Нарисуйте принципиальную схему работы прибора активного контроля на металлорежущем станке.
32. Для чего применяется профилограф-профилометр?
33. В каких случаях применяют системы машинного зрения?
34. Расскажите о координатно-измерительных машинах (КИМ).
35. Что такое система автоматического контроля и управления качеством продукции? Для чего такая система создается?
36. Как оценить эффективность различных вариантов систем автоматического контроля?
- Какие параметры определяют условие применения автоматической сборки?
37. В чем заключается условие применения автоматической сборки?
38. Дайте характеристику типовым ТП сборки.
37. Дайте характеристику групповых ТП сборки.
39. Из чего складываются общие затраты труда на сборку?
40. Как зависит себестоимость автоматической сборки от программы выпуска?

Контрольные вопросы

1. Какие материалы используют для изготовления литейной формы?
2. В чем заключается сущность процесса литья фасонных отливок? Какова при этом роль формы?
3. Укажите преимущества литья как метода получения заготовок машиностроительных деталей.
4. По каким признакам классифицируют отливки? Перечислите требования, предъявляемые к отливкам в современных условиях машиностроительного производства.
5. Укажите методы получения фасонных отливок. Каковы преимущества специальных способов литья?
6. Из каких элементов состоит разовая песчаная форма, укажите их роль в процессе получения отливки?
7. Назовите этапы технологического процесса литья в разовые песчаные формы.
8. Перечислите отделения литейного цеха и укажите их задачи.
9. Назовите типы литейного производства и приведите их краткую характеристику.
10. Что такое коэффициент использования металла (КИМ)?
11. В чем заключается преимущество машинной формовки перед ручными способами изготовления форм?
12. По каким признакам классифицируют формовочные машины?
13. Какие существуют методы уплотнения смесей при машинной формовке?
14. Дайте сравнительную характеристику способам уплотнения смесей при машинной формовке.
15. Назовите способы извлечения моделей из полуформ и укажите область их применения.
16. Дайте сравнительную характеристику способам извлечения моделей из полуформ.
17. В чем заключаются специфические особенности технологического процесса машинного изготовления опочных и безопочных форм?
18. Назовите преимущества машинной формовки с использованием самотвердеющих смесей.

Контрольные вопросы

1. Что происходит на первом этапе изготовления печатных плат?
2. Как создается электропроводящий слой?
3. Как происходит процесс нанесения фоторезиста?
4. Что такое процесс травления и как он осуществляется?
5. Каковы достоинства инфракрасной сушки?
6. Что называют качеством изделий и какими показателями оно характеризуется?
7. Каковы основные направления интенсификации производства?
8. В чем заключается автоматизация производственных процессов?
9. Каково назначение роботов в современных производствах ИС?
10. К чему могут привести неполное удаление загрязнений с подложек?
11. Как подготавливают поверхность диэлектрика для химического осаждения меди?
12. Химическая обработка ПП.
13. Что используют в качестве модификаторов средств химической очистки?
14. Каким образом достигается глубокая очистка подложек?
15. Какие методы используются для получения рисунка схемы?
16. Основные этапы массового и крупносерийного производства офсетной печати.
17. Достоинства и недостатки офсетной печати.
18. В какой последовательности проводится обработка излучением ультрафиолетового лазера?
19. Этапы формирования проводящего рисунка ПП лазером.
20. В чем заключается сеткографический способ нанесения защитного рельефа?
21. От чего зависят защитные свойства трафаретных красок?
22. Что представляют собой сетчатые трафареты?
23. Из чего изготавливают сетчатые трафареты?
24. Прямой и косвенный методы сеткографии.
25. Приготовление сеткотрафаретных форм.
26. Маркировочные краски - ФПК-М и СКУМ.
27. Какие требования предъявляются к сеткографическим краскам?
28. Гальваностойкие полимерные материалы?
29. Какие возможности открывает комплекс сеткографических фотополимеризуемых композиций?
30. Назовите потенциальные источники загрязнений ИС?
31. Какие параметры контролируются в чистых помещениях?
32. Почему статическое электричество является одним из главных параметров, контролируемых при производстве ИС?
33. Какие технологические процессы используются при производстве электронных схем? Как можно их классифицировать?
34. Перечислите области, где применяются те или иные технологии.
35. Что называется эпитаксией?
36. Какой процесс называется газофазной эпитаксией?
37. Какие реагенты используются для получения Si из парогазовой смеси? Запишите реакцию восстановления Si из тетрахлорида кремния и из силана.
38. Опишите хлоридный процесс получения кремния.
39. Как очищается подложка перед эпитаксией?
40. Каковы преимущества метода эпитаксиального наращивания?
41. Опишите получение поликристаллического аморфного кремния.
42. Опишите получение оксида и нитрида кремния.
43. Опишите процесс получения тонких слоев металлов методом газофазной эпитаксии. Для чего они используются в ИС?

44. В чем заключается метод жидкофазной эпитаксии?
45. Рассмотрите методы равновесной и неравновесной жидкофазной эпитаксии.
46. Что представляет собой вакуум-термическое испарение? Где оно используется?
47. Рассмотрите процесс вакуум-термического нанесения тонких пленок. Каковы основные параметры этого процесса?
48. Что называется критической плотностью молекулярного потока?
49. В чем заключается метод МЛЭ? В чем преимущество этого метода?
50. Сравните между собой диодное, магнетронное и триодное распыление вещества.
51. Рассмотрите методы получения гидрогенизированного и аморфного кремния.
52. Каков механизм образования пленок методом ПХО?
53. Чем отличаются между собой установки для ПХО?
54. Каковы особенности различных методов литографии?
55. Какие операции и в какой последовательности выполняются при фотолитографии?
56. Какой процесс называется литографией, на чем он основан?
57. Что такое фотошаблон?
58. Что такое электролитография? Какие у нее преимущества и недостатки?
59. Какие типы электронно-лучевых литографических установок вы знаете?
60. Что представляют собой система формирования пучка и система сканирования пучка?
61. Что такое рентгенолитография? Какие у нее преимущества и недостатки?
62. Что представляет собой голографическая литография? Нанопечатная литография?
63. Перечислите основные процессы сборки ИС. Охарактеризуйте каждый из них.
64. Что такое термокомпрессия?
65. Каков принцип ультразвуковой сварки? Микроконтактной сварки?
66. Какими свойствами должен обладать инструмент для присоединения контактов?
67. Что такое герметизация?
68. Что представляет собой корпусная и бескорпусная герметизация?
69. Как герметизируют корпуса пайкой?