

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

К.И. Билибин, В.А. Соловьев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ**

*Рекомендовано редсоветом МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2007

УДК 650.15(075.8)
ББК 30.606
Б61

Рецензенты: *П.Б. Оганджян, Г.И. Ревунков*

Билибин К.И., Соловьев В.А.

Б61 Проектирование технологических процессов в производстве электронной аппаратуры: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 76 с.

ISBN 978-5-7038-2953-4

Рассмотрены теоретические и практические вопросы проектирования технологических процессов, как маршрутных, так и операционных. Даны методики расчетов технологичности изделий, производительности, технологической себестоимости. Представлены основные сборочно-монтажные операции при производстве модулей первого уровня РЭС и ЭВС.

Для студентов технических вузов, выполняющих домашние задания, курсовые и дипломные проекты по курсу «Технология производства электронной аппаратуры».

Ил. 30. Табл. 5. Библиогр. 2 назв.

УДК 650.15(075.8)
ББК 30.606

Учебное издание

**Константин Иванович Билибин
Владимир Анатольевич Соловьев**

**Проектирование технологических процессов
в производстве электронной аппаратуры**

Редактор *А.В. Сахарова*
Корректор *Л.И. Малюткина*
Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*

Подписано в печать 25.04.2007. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печ. л. 4,75. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,15.
Тираж 200 экз. Изд. № 37. Заказ 779

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5

ISBN 978-5-7038-2953-4

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования технологических процессов при производстве электронной аппаратуры (ЭА). Описаны виды и этапы проектирования технологических процессов. Даны основные понятия и исходные данные. Приведены методики построения операций, выбора оборудования, расчета трудоемкости и себестоимости операций, а также выбора наиболее выгодного варианта по себестоимости.

Описаны основные операции, которые являются характерными в серийном сборочно-монтажном производстве ЭА.

Особое внимание в пособии уделено проектированию маршрутного и операционного технологических процессов. Даны основные эскизы операций сборочно-монтажного производства печатных узлов.

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов, выполняющих домашние задания, курсовые и дипломные проекты по курсу «Технология производства электронной аппаратуры».

1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Основные понятия

Рассмотрим основные понятия, относящиеся к разработке технологии изготовления и организации производства ЭА.

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии, т. е. изделие – это продукт конечной стадии производства. Изделием может быть деталь, сборочная единица, комплекс и комплект. Применительно к ЭА под изделием понимается как сама электронная аппаратура, так и все составляющие ее элементы и детали.

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например: ось, клемма, рама и т. д.

Сборочная единица – изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе с применением сборочных операций (свинчивание, сварка, пайка, склеивание), например: ячейка, типовой элемент замены (ТЭЗ), разъем, узел, блок и т. д.

Комплекс – два или более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое изделие в комплексе имеет свое назначение, например: вычислительный комплекс, радиолокационный комплекс и т. д.

Комплект – два или более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие собой набор изделий, имеющих единое эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например: комплект измерительной аппаратуры, комплект запасных частей и т. д.

Производственный процесс – совокупность действий рабочих и орудий производства, в результате которых исходные материалы, полуфабрикаты и компоненты превращаются в готовую продукцию (платы, ячейки, блоки и т. п.), соответствующую своему назначению.

Производственный процесс делится на *основной* и *вспомогательный*. К *основному производственному процессу* относят изготовление продукции, предусмотренной заказчиком; к *вспомогательному* – складирование, транспортировку, ремонт, энерго- и водоснабжение и др.

Технологический процесс (ТП) – часть производственного процесса, непосредственно связанная с превращением предмета труда в готовую продукцию. Технологический процесс делится на операции, а операции – на установы, позиции, технологические переходы, ходы, приемы.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте одним или несколькими рабочими над одним или несколькими совместно обрабатываемыми или собираемыми изделиями.

Установ, или *установка*, – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки (заготовок) или собираемой сборочной единицы.

Технологический переход (переход) – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, которая не сопровождается изменением формы или состояния заготовки, но необходима для выполнения технологического перехода. Например, установка заготовки, ее закрепление и т. д.

Проход – часть перехода, заключающаяся в снятии одного слоя материала с обрабатываемой поверхности.

Рабочий ход – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки.

Вспомогательный ход – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки без изменения формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки.

Холостой ход – то же, что и вспомогательный ход для станков-автоматов.

Позиция – каждое новое положение заготовки относительно инструментов при неизменном ее закреплении в приспособлении например, несколько позиций имеет поворотное многопозиционное приспособление.

Прием – совокупность отдельных движений в процессе выполнения работы или подготовки к ней (пуск станка, выключение и т. п.).

Рабочее место – часть производственной площади, оснащенной основным технологическим и вспомогательным оборудованием и средствами, закрепленными за рабочим для выполнения операции.

Такт выпуска – интервал времени, через который производится выпуск изделий.

Ритм выпуска (производительность) – обратная величина по отношению к такту – количество изделий, выпускаемых в единицу времени.

Различают основные типы производства продукции: единичное, серийное и массовое. *Единичное производство* характеризуется единичным или малым объемом выпускаемых изделий, процесс изготовления которых не повторяется или повторяется через неопределенные промежутки времени. Для единичного производства характерно применение универсального, переналаживаемого оборудования и высококвалифицированного персонала. Себестоимость продукции высокая, производительность низкая.

Серийное производство характеризуется изготовлением изделий периодически повторяющимися партиями, сериями. В зависимости от количества изделий в партии различают мелкосерийное, среднесерийное (серийное), крупносерийное производство. Выпуск партий – еженедельный, ежемесячный, ежеквартальный. Для серийного производства характерно использование специализированного и автоматизированного оборудования и оснастки, особенно станков с числовым программным управлением (ЧПУ). В ряде случаев, особенно при крупносерийном производстве, используют специальное и автоматическое оборудование. Для многономенклатурного серийного производства экономически выгодным становится использование гибких производственных систем (ГПС), для которых используют автоматизированную систему технологической подготовки производства (АСТПП) и автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУТП). Производство электронной аппаратуры различного назначения имеет серийный характер. В серийном производстве рабочие имеют среднюю и высокую квалификацию, производительность труда выше, чем при единичном производстве.

Массовое производство – это производство одинаковых изделий в течение длительного периода времени. Характерным является закрепление за одним рабочим местом одной операции, требующей использования рабочих невысокой квалификации или исключения из процесса рабочих и замена их роботами и робо-

тотехническими комплексами. Для массового производства характерным является поточный принцип изготовления продукции с использованием автоматических линий, цехов и даже автоматических заводов. Оборудование и оснастка, как правило, специальное, дорогое и высокопроизводительное. Производство микросхем и электрорадиоэлементов следует отнести к массовому типу производства.

1.2. Виды технологических процессов

Технологические процессы (ТП) в зависимости от подробности их разработки, типизации, наличия оборудования и объема выпуска изделий делят на несколько видов:

- *проектный* ТП (на начальной стадии имеет много вариантов);
- *рабочий* ТП, выбираемый для реализации на производстве;
- *единичный* (ТП только на определенное изделие, как правило, используется при массовом производстве);
- *типовой* (ТП на конструктивно подобные изделия, например, на изготовление печатных плат);
- *групповой* (на технологически подобные изделия для мелкосерийного, многономенклатурного производства);
- *временный* (применяется при изготовлении пробных изделий на имеющемся на предприятии оборудовании);
- *стандартный* (обязательный для применения в отрасли, например, методики испытания электронно-вычислительной аппаратуры);
- *перспективный* (для производства изделия по новой технологии или при модернизации старых предприятий).

В зависимости от подробности разработки на конечной стадии выделяют три следующие разновидности ТП:

- *маршрутный*;
- *операционный*;
- *маршрутно-операционный*.

Маршрутный технологический процесс определяет порядок (маршрут) следования операций, их вид и наименование, оборудование и оснастку для выполнения операций, трудоемкость выполнения операций и квалификацию работников. Для мелкосерийного производства достаточно разработки *маршрутной технологии*, при этом все параметры разработки заносятся в маршрутные карты.

Для средне- и крупносерийного, а также массового производства после маршрутной технологии следует разработка *операционного* ТП. При этом каждая операция разрабатывается подробно. Окончательно выбирают оборудование и оснастку, выбирают или рассчитывают технологические режимы. Операцию дробят на технологические переходы — используют принцип дифференциации и концентрации технологических переходов при выполнении операции. Дают эскиз операции с установочными базами и настройочными размерами. Рассчитывают *операционное время* $t_{оп}$ и окончательно устанавливают *норму штучного времени* $T_{шт}$. Данные разработки заносят в операционные карты.

Маршрутно-операционные ТП применяют, когда на отдельные наиболее сложные операции маршрутной технологии разрабатывают операционную технологию.

1.3. Исходные данные для проектирования технологических процессов

Исходными данными для проектирования ТП являются:

- конструкторская документация на изделие (сборочные чертежи, рабочие чертежи, электрические схемы, монтажные схемы);
- технические условия на изделие, где указываются дополнительные требования к изделию, например, необходимость защиты, проведения испытаний;
- спецификация на входящие в изделие элементы;
- объем выпуска продукции N ;
- сроки выпуска партии изделий (еженедельно, ежемесячно, ежеквартально);
- информация о наличии технологического оборудования, оснастки (инструмент, приспособления, мерительный инструмент);
- справочная, нормативная литература, программы.

1.4. Основные принципы проектирования технологических процессов

Проектирование ТП изготовления, сборки и наладки ЭА должно базироваться на двух основных принципах: техническом и экономическом. Технический принцип состоит в том, что проектируемый ТП должен обеспечивать необходимое качество получаемых изделий ЭА; экономический принцип — проектируемый ТП должен обеспечивать выпуск изделий с высокой производительностью, низкой трудоемкостью и себестоимостью.

Под *качеством* при этом понимают совокупность свойств ЭА, удовлетворяющих требованиям заказчика, государственным или мировым стандартам: назначение и область применения, надежность и долговечность, технологичность, точность, эргономичность (дизайн, удобство обслуживания), патентно-правовые показатели, стандартизация и унификация, экономические показатели, экологические показатели. Показатели качества могут быть *базовыми, частными и комплексными*.

На качество изделия большое влияние оказывает *точность* входящих в него деталей, компонентов, узлов и т. п.

Точность — это соответствие действительного (полученного) параметра качества заданному номинальному L . Для нее приняты следующие обозначения:

$L^{+δ}$ — параметр с плюсовым допуском;

$L^{-δ}$ — параметр с минусовым допуском;

$L + δ/2$ — параметр с равносторонним допуском.

Все параметры качества делятся на группы:

геометрические — линейные размеры, микронеровности (шероховатость), макронеровности (непараллельность, овальность, перпендикулярность и т. д.);

физические — индуктивность, сопротивление, емкость, магнитная проницаемость, проводимость и т. п.;

химические — растворимость, концентрация, скорость травления, скорость диффузии и т. п.

Для задания точности линейных размеров элементов деталей используют единую систему допусков и посадок (ЕСДП), опирающуюся на международную систему стандартов ИСО. В ЕСДП приняты 19 *квалитетов точности* (вместо ранее применявшихся классов точности), перечисляемые в порядке понижения точности: 01, 0, 1, 2, 3, ..., 17. Квалитеты 01, 0 и 1 предназначены для концевых мер длины; квалитеты со 2-го по 4-й — для калибров и особо точных изделий. В квалитетах с 5-го по 13-й даются допуски для сопрягаемых размеров деталей, а в квалитетах с 14-го по 17-й — для несопрягаемых размеров деталей. Допуски обозначают буквами IT с порядковым номером квалитета, например IT12.

Обработку металлических и неметаллических деталей для ЭА производят на различных металлорежущих станках, которые подразделяются по степени автоматизации их работы на универсальные станки, полуавтоматические, станки-автоматы, станки с ЧПУ, станки типа «обрабатывающий центр». Универсальные

станки используют для опытного, ремонтного и мелкосерийного производства, станки-автоматы – для крупносерийного и массового. В серийном производстве широко применяются станки с ЧПУ, которые составляют основу гибких автоматизированных производственных систем.

К методам обработки деталей резанием относят: *точение, фрезерование, шлифование, сверление, строгание, развертывание, протягивание*. Каждый вид обработки характеризуется достигнутой точностью (табл. 1.1).

Для физических параметров допуск может быть проставлен в процентах, например, электрическое сопротивление $R_n \pm 5\%$, $R_n \pm 10\%$, $R_n \pm 20\%$.

При любом производстве отдельный параметр будет иметь разброс из-за производственных погрешностей $\Sigma\Delta$, которые бывают трех видов: постоянные (систематические), закономерно изменяющиеся, случайные.

Таблица 1.1

Точность деталей при обработке резанием

Вид обработки резанием	Класс точности	Качество точности
Точение:		
на токарных станках	2–5	6–12
на токарно-револьверных станках	3–4	8–11
Точение на станках-автоматах:		
токарно-револьверных	3–4	8–11
продольного точения	2–3	6–8
многошпиндельных	4–5	11–12
Фрезерование и строгание	2–5	6–13
Шлифование	1–3	5–8
Сверление	4–5	11–13
Зенкерование и растачивание	2–5	6–12
Развертывание	1–3	5–9
Протягивание	2	6

Погрешность обработки партии деталей называют *постоянной (систематической)*, если погрешности всех деталей, входящих в партию, одинаковые. Такая погрешность, получаемая под действием факторов, не меняющихся (постоянных) в течение всего периода обработки партии деталей. Пример постоянной погрешности – неточность оборудования.

Погрешность обработки партии деталей называют *закономерно изменяющейся*, если при переходе от одной детали к другой изменяется величина погрешности по тому или иному закону. Например, износ инструмента закономерно приводит к росту внешних размеров и уменьшению внутренних диаметров.

Погрешность обработки партии деталей называют *случайной*, если закономерность изменения отсутствует, и предугадать время появления и направление действия погрешности невозможно. Пример случайной погрешности – температурные колебания, погрешности базирования и т. д. Случайная погрешность подчиняется закону нормального распределения (закон Гаусса).

На практике ни одна из этих погрешностей в чистом виде не проявляется, а общая погрешность представляет собой комбинацию указанных видов погрешностей. На рис. 1.1 показаны примеры кривых распределения погрешностей.

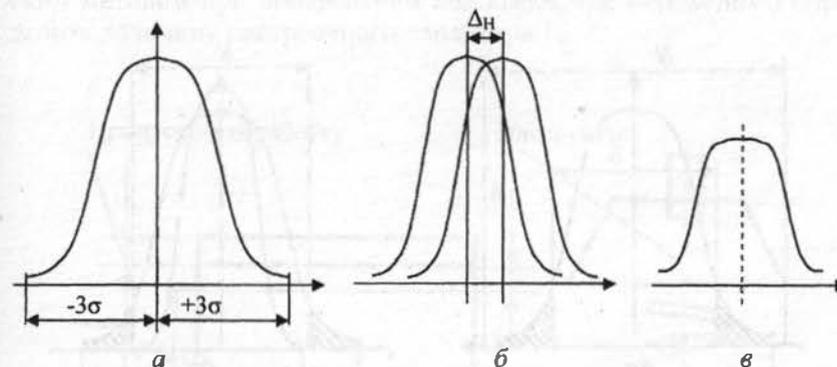


Рис. 1.1. Виды кривых распределения:

a – кривая нормального распределения, где σ – среднеквадратическое отклонение погрешностей; *b* – смещение кривой после поднастройки оборудования, где Δn – погрешность от поднастройки; *в* – вариант случайно и закономерно изменяющейся погрешности

Необходимое условие получения заданной точности имеет вид

$$\delta \geq \Sigma\Delta,$$

где δ – допуск на размер (параметр); $\Sigma\Delta$ – производственные погрешности, присущие данному ТП, для закона нормального распределения $\Sigma\Delta = 6\sigma$.

Достаточное условие – вид

$$L_{\min} \leq L \leq L_{\max}$$

где $L_{\max} - L_{\min} = \delta$; L – номинальное значение получаемого параметра; L_{\max} – максимальное значение получаемого параметра; L_{\min} – минимальное значение получаемого параметра.

Если значение погрешностей будет больше заданного конструктором допуска, то часть параметров выйдет за поле допуска и будет забракована. Чтобы этого не произошло, необходимо изменить точность технологического процесса, подобрать более точное оборудование, стабилизировать режимы, изменить метод обработки, монтажа и т. п. На рис. 1.2 показаны примеры обеспечения работы без брака. Чтобы не было брака, следует либо увеличить допуск δ , чтобы обеспечить выполнение условия $\delta' > 6\sigma$ (рис. 1.2, а), либо изменить технологический процесс и уменьшить разброс погрешностей до $6\sigma'$ (рис. 1.2, б).

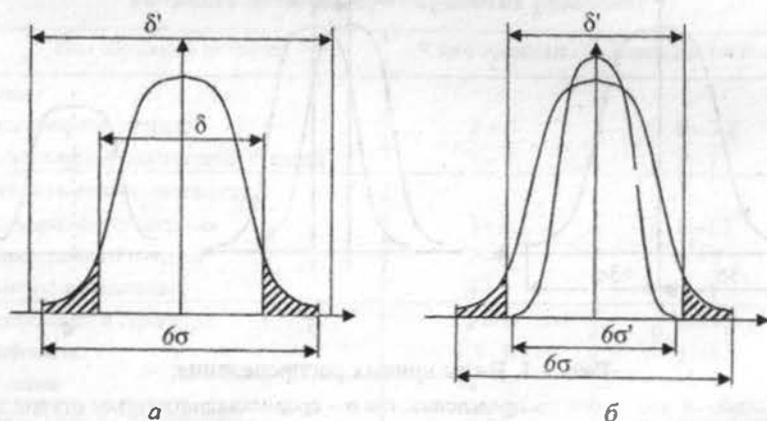


Рис. 1.2. Обеспечение работы без брака:

а – увеличение поля допуска; б – улучшение качества техпроцесса

Среди методов получения заданной точности при изготовлении деталей и узлов отметим два: *метод пробных проходов и промеров и метод автоматического получения параметров (размеров)*.

Метод пробных проходов и промеров используется в единичном и мелкосерийном производствах для универсального оборудования.

Суть метода рассмотрим на примере получения катушки определенного сопротивления. Пусть по расчету необходимо намотать на каркас количество витков W , чтобы получить сопротивление $R \pm 5\%$. На намоточном станке после намотки W витков измеряют сопротивление, и, допустим, получили сопротивление больше указанного. Отмотав n витков, снова измеряют сопротивление и так продолжают до тех пор, пока не получат необходимое по заданию сопротивление, т. е. желаемый результат постепенно методом проб и промеров достигается. Метод довольно точный, но мало производительный. Для серийного и массового производства этот метод применять не рекомендуется.

Метод автоматического получения параметра заключается в том, что оборудование предварительно настраивают на настроечный параметр L_n , который получается в течение определенного времени (до поднастройки) автоматически с необходимым допуском.

На рис. 1.3 приведен пример получения размера L автоматическим методом при шлифовании подложки, где необходимо определить величину настроечного параметра L_n .

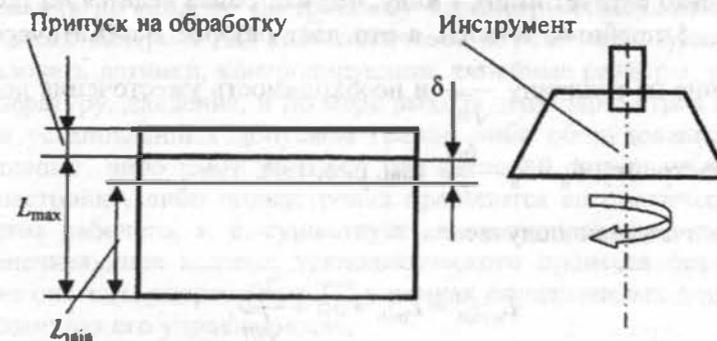


Рис. 1.3. Пример получения размера L автоматическим методом

Если принять за настроечный размер L_{\min} (рис. 1.4), то при обработке партии 3σ деталей уйдут в брак (заштрихованная часть). Следовательно, минимальный настроечный размер необходимо увеличить на количество 3σ :

$$L'_{\min} = L_{\min} + 3\sigma$$

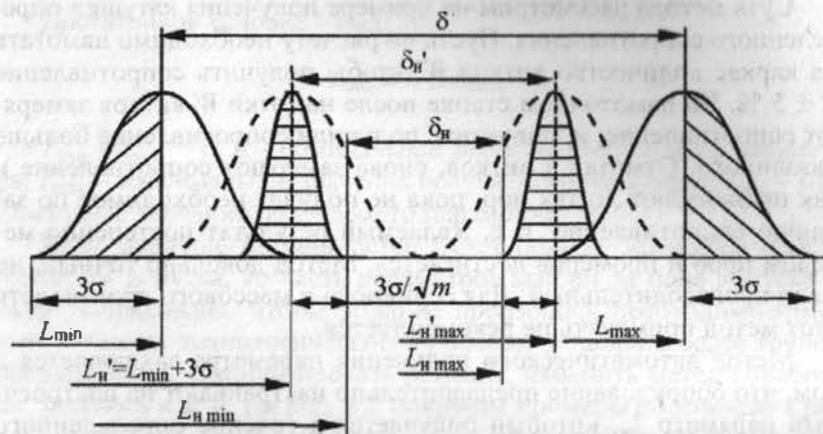


Рис. 1.4. Расчет настроечного размера

Аналогично для определения максимальной границы настроечного размера будем иметь $L_{n \max} = L_{\max} - 3\sigma$ (см. рис. 1.2). В этом случае допуск на настройку $\delta'_n = \delta - 6\sigma$.

Однако следует иметь в виду, что настройка ведется по замеру $m = 3 \dots 5$ пробных деталей, а это дает разброс математического

ожидания на величину $\frac{6\sigma}{\sqrt{m}}$ и необходимость ужесточения допуска

на настройку $\delta_n = \delta'_n - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}}$ (см. рис. 1.4).

Окончательно получаем

$$L_{n \min} = L_{\min} + 3\sigma + \frac{3\sigma}{\sqrt{m}},$$

$$L_{n \max} = L_{\max} - 3\sigma - \frac{3\sigma}{\sqrt{m}},$$

$$\delta_n = \delta - 6\sigma - \frac{6\sigma}{\sqrt{m}}.$$

В общем виде получаем

$$L_n = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} \pm 0,5\delta_n.$$

При обработке внешних размеров следует настраивать инструмент на значение $L_{n \min}$, так как по мере обработки инструмент будет изнашиваться, а получаемый размер – увеличиваться. Таким образом, процесс поднастройки – это восстановление первоначально установленного настроечного размера.

Процесс поднастройки может проводиться вручную. В этом случае настроечный параметр L_n устанавливаются методом пробных проходов и промеров. Оборудование считается настроенным к работе, если после трех–пяти пробных операций параметр L_n будет находиться в пределах допуска на настройку δ_n .

Поднастройка может проводиться автоматически с помощью автоподналадчиков. В этом случае и время для поднастройки оборудования выбирают на основе статистических диаграмм. Однако этот метод может иметь погрешность в ту или иную сторону: поднастройка проведена раньше – экономически не выгодно, позже – возможен брак. Оптимальным следует считать поднастройку оборудования по реально измеряемому параметру с использованием активного контроля над технологическими режимами. Можно использовать датчики, контролирующие линейные размеры, усилия, температуру, давление, и по мере выхода этих параметров за пределы установленных допуском границ либо оборудование останавливают, либо дают звуковой или световой сигнал на ручную поднастройку, либо поднастройка проводится автоматически без участия рабочего, т. е. существует автоматизированная система, обеспечивающая ведение технологического процесса без брака. Такие системы удерживают ТП в рамках определенных допусков, обеспечивая его управляемость.

Качество поверхности деталей, полупроводниковых пластин и дисков оценивают с геометрической и физической точек зрения. С геометрической точки зрения качество определяется неровностями, выступами и впадинами реальной поверхности. С физической точки зрения качество определяется отклонением свойств верхних слоев материала от свойств материала сердцевины.

Если рассмотреть реальную деталь в разрезе, то можно выделить *рельефный* слой, который определяет геометрические отклонения от идеального поверхностного слоя; *трещиноватый* слой, нарушенная целостность поверхности; *пластически дефор-*

мированный слой; напряженный, упругодеформированный слой (рис. 1.5).

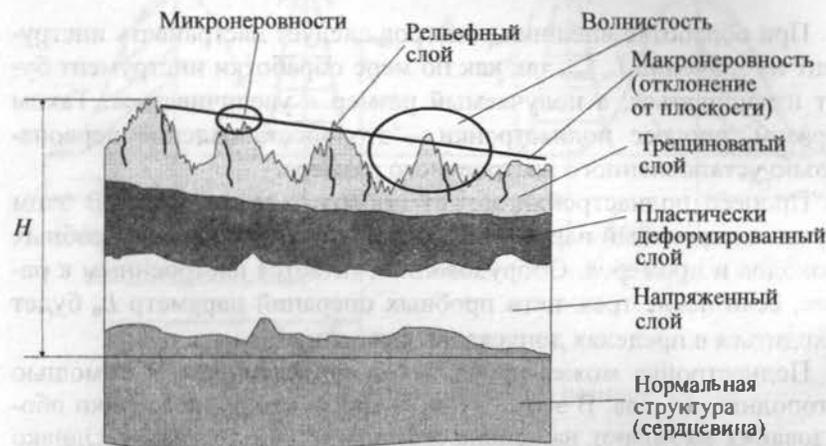


Рис. 1.5. Схема сечения детали после обработки

Высота дефектного слоя H зависит от способа обработки: чем грубее обработка, тем дефектный слой больше. К причинам появления дефектного слоя следует отнести упругие, пластические деформации и деформации разрушения, которые имеют место в процессе обработки; а также нагрев поверхностного слоя; химические явления (окисление и образование других химических соединений).

На поверхности образуется более прочный наклепанный слой. Этот слой отличается от материала сердцевины и, чтобы уменьшить различие, часто используют термообработку (отжиг).

Рассмотрим рельефный слой, который состоит из *макронеровностей, волнистости и микронеровностей (шероховатостей)* (см. рис. 1.5). Макронеровности – единичные, неповторяющиеся отклонения поверхности (конусность, непараллельность, овальность). Волнистость – периодически повторяющиеся выступы и впадины на поверхности заготовки или детали. Микронеровности – выступы и впадины на небольших участках поверхности.

Допуски формы и расположения поверхностей (макронеровности) указывают на чертежах условными обозначениями в виде знаков (графических символов), показанных в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Условные обозначения допусков форм и расположения поверхностей

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуск формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	▭
	Допуск круглости	○
	Допуск цилиндричности	⊘
	Допуск профиля продольного сечения	≡
Допуск расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск наклона	∠
	Допуск соосности	◎
	Допуск симметричности	≡
	Позиционный допуск	⊕
	Допуск пересечения осей	⊗
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения Допуск торцового биения Допуск биения в заданном направлении	↗
	Допуск полного радиального биения Допуск полного торцового биения	↗↘
	Допуск формы заданного профиля	⌒
	Допуск формы заданной поверхности	⌒

Состав допусков формы и расположения поверхностей, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками входящих в них допусков в такой последовательности: знак допуска расположения, знак допуска формы, например $\parallel \square$ – знак суммарного допуска параллельности и плоскостности; $\perp \square$ – знак суммарного допуска перпендикулярности и плоскостности.

При условном обозначении допуски формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на части; в первой помещают знак допуска в соответствии с табл. 1.2; во второй – числовое значение допуска; в последующих – буквенные обозначения базы (или баз). Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют при помощи соединительной линии с рамкой. При выполнении чертежей с помощью ЭВМ допускается треугольник, обозначающий базу, не зачернять.

На рис. 1.6 показаны примеры условных обозначений отклонений формы и расположения поверхностей.

Оценка шероховатости (качества поверхности) ведется на основе микронеровностей, которые в ГОСТе 23.09–73 определяются четырнадцатью классами шероховатостей, где класс 1 – грубый; класс 14 – наиболее точный (для поверхностей обработанных полупроводниковых пластин).

Оценка шероховатости делается по высоте микронеровностей Rz или по среднеарифметическому размеру микронеровностей Ra .

Для обозначения шероховатости на чертежах используют следующие символы:

- ✓ – обозначение шероховатости в общем виде;
- ✓ – обозначение шероховатости при обработке со снятием стружки;
- ✓ – обозначение шероховатости без снятия стружки в состоянии поставки.

Значения Ra и Rz указывают на чертежах с использованием соответствующих символов, например $\sqrt{Ra1,25}$, $\sqrt{Rz3,2}$ (изменение № 3 в ГОСТ 2309–73 принято 28.05.2002).

Параметр и способ обработки указывают, если необходимо, над полкой, например $\sqrt{Ra0,025}$ ^{полировать}.

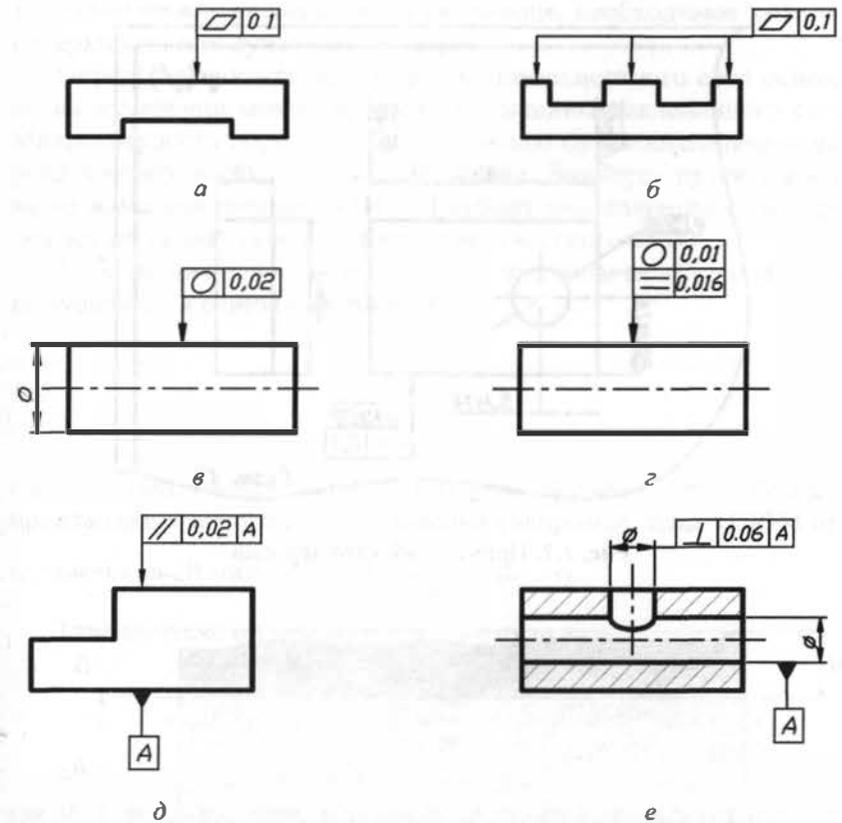


Рис. 1.6. Примеры условных обозначений отклонений формы и расположения поверхностей:

a – допуск плоскостности поверхности 0,1 мм; *б* – допуск плоскостности каждой поверхности 0,1 мм; *в* – допуск круглости вала 0,02 мм; *г* – допуск круглости вала 0,01 мм, допуск профиля продольного сечения вала 0,016 мм; *д* – допуск параллельности поверхностей относительно базовой поверхности А 0,02 мм; *е* – допуск перпендикулярности оси отверстия относительно оси отверстия А 0,06 мм

На рис. 1.7 показан пример рабочего чертежа с указанием допусковых обозначений.

Припуск Δ (рис. 1.8) на обработку – это слой материала, подлежащий удалению в процессе обработки. Минимальное значение припуска должно обеспечивать удаление микронеровностей и дефектного слоя, получаемого при предшествующей обработке. Припуск бывает промежуточным и общим.

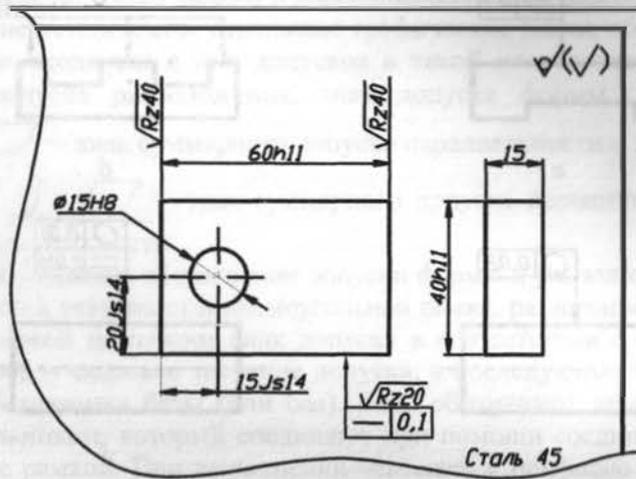


Рис. 1.7. Пример рабочего чертежа

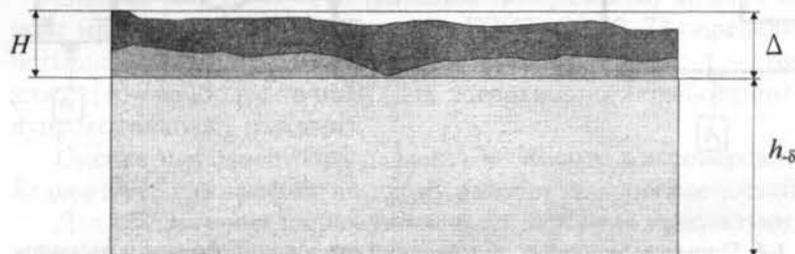


Рис. 1.8. Припуск Δ на обработку детали

После удаления общего припуска получаем необходимый размер детали h_s . Если припуск Δ удаляют не сразу, а постепенно, т. е. происходит предварительная (черновая) обработка, затем окончательная (чистовая) обработка, то общий припуск разбивают на несколько промежуточных. При этом предварительный припуск должен быть как можно большим, чтобы можно было удалить дефектный слой H , но после предварительной обработки появляется новый дефектный слой меньшего размера. Если этот размер дефектного слоя удовлетворителен, на этом обработке заканчивается, если нет, следует применять более точные методы обработки и

технологические режимы, обеспечивающие необходимое качество поверхности и получаемого размера.

Определение качества материала поверхностного слоя основано на измерении микротвердости и толщины наклепанного слоя. Микротвердость определяют по Бринеллю путем вдавливания шарика в поверхностный слой (НВ) или по Виккерсу путем вдавливания алмазной пирамиды (НV). Глубину наклепанного слоя определяют по шлифу (косому срезу поверхностного слоя).

Производительность труда Q – это количество продукции, выпущенной в единицу времени T :

$$Q = \frac{1}{T},$$

где T – такт (темп) выпуска, интервал времени, через который производится выпуск одного изделия (например, одна ПЭВМ выпускается за 30 мин, тогда $Q = \frac{1}{0,5} = 2$ шт./ч).

Такт выпуска определяется по формуле

$$T = \frac{\Phi}{N},$$

где Φ – фонд времени, в течение которого выпускается изделие; N – программа (объем) выпуска изделий, шт.

Например, требуется определить такт T при выпуске $N = 10\,000$ шт. в течение года, при односменной работе. Тогда

$$T = \frac{253 \cdot 8 \cdot 60}{10000} \cong 12 \text{ мин.}$$

где 253 – число рабочих дней в году; 8 – количество часов односменной работы; 60 – перевод часов в минуты.

При массовом производстве на одном рабочем месте выполняется, как правило, одна операция. Следовательно, время выполнения одной операции $T_{шт}$ не должно превышать время такта выпуска T и не должно быть слишком мало, иначе загрузка рабочего места будет не полной. Величина $T_{шт}$ определяет степень загрузки

рабочего места. Через нее вычисляют коэффициент загрузки рабочего места

$$n_{з.р} = \frac{T_{шт}}{T}$$

Рациональным значением следует считать $n_{з.р} = 0,9 \dots 0,95$.

При массовом производстве операции должны быть простыми, тогда их легко автоматизировать и повышать производительность.

При единичном (опытном) производстве на одном рабочем месте выполняется большое количество операций высококвалифицированными рабочими с использованием универсального оборудования. Серийное производство располагается между массовым и единичным: мелкосерийное ближе к единичному, а крупносерийное – к массовому. Типичным серийным является среднесерийное производство. Для него характерным является запуск изделий сериями (партиями), с использованием легко переналаживаемого оборудования: станков с ЧПУ, гибких переналаживаемых модулей, линий, которые можно быстро перенастроить на изготовление следующей партии изделий. При мелкосерийном производстве в ТП могут быть использованы как элементы единичного, так и серийного производства, в зависимости от размера партии, а при крупносерийном – элементы серийного и массового производства. При серийном производстве на одном рабочем месте выполняется, как правило, несколько операций.

Трудоемкость операции $T_{шт}$ называется также нормой штучного времени. Технически обоснованная норма штучного времени определяется по формуле

$$T_{шт} = T_0 + T_a + T_{орг} + T_{тех} + T_{пер},$$

где T_0 – время, затрачиваемое на выполнение основных технологических переходов (операций), на формообразование детали, сборочной единицы (деформирование, снятие стружки, нанесение материала, установка электродиодов (ЭРЭ), пайка). Если есть один основной переход, то T_0 равно времени этого перехода t_0 , если несколько (n), то $T_0 = \sum_{i=1}^n t_{0,i}$;

T_b – время вспомогательное, т. е. время, затрачиваемое на выполнение вспомогательных и технологических переходов (установка и закрепление заготовки, подвод и отвод инструмента, раскрепление и снятие заготовки, смена инструмента);

$T_{орг}$ – время организационного обслуживания рабочего места, т. е. время, затрачиваемое на снабжение рабочего места заготовками, комплектующими, инструментом; время – на удаление готовой продукции и т. п.;

$T_{тех}$ – время технического обслуживания рабочего места, т. е. время, затрачиваемое на подготовку рабочего места к работе: включение аппаратуры, прогрев, установление «0» на приборах; включение оборудования и его уборку и т. п.;

$T_{пер}$ – время регламентированных перерывов в работе, на отдых и личные надобности.

Время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций, называется *операционным временем* $T_{оп}$, и определяется как $T_{оп} = T_0 + T_b$.

Время на обслуживание рабочего места $T_{обс} = T_{орг} + T_{тех}$.

Для серийного производства следует рассчитывать штучно-калькуляционное время

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{N},$$

где $T_{п.з}$ – время подготовительно-заключительное т. е. время, затрачиваемое на переналадку оборудования, оснастки на изготовление новой партии изделий. Если производство оснащено гибкими автоматизированными системами, это время равно нескольким часам.

Основное время T_0 , затрачиваемое непосредственно на формирование изделия, рассчитывают или выбирают по справочным данным.

Расчет основного времени поясним для случая сверления отверстия $\varnothing 1$ мм в пакете печатных плат толщиной 3 мм (рис. 1.9). Полная глубина сверления с учетом подхода Δ_1 к плате и выходу сверла Δ_2 из пакета составит $L = \Delta_1 + l + \Delta_2$.

Обычно зазор Δ между инструментом на подход и выход задается в диапазоне от 0,1 до 0,5 мм. Тогда $L = 0,3 + 3 + 0,3 = 3,6$ мм.

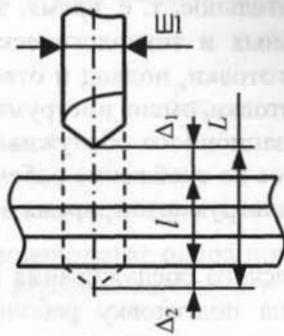


Рис. 1.9. Схема расчета глубины сверления

Время на прохождение сверлом этого расстояния при подаче $S = 0,05$ мм/об и скорости резания $V = 50$ м/мин составит

$$T_0 = \frac{L\pi d}{SV \cdot 1000} = \frac{3,6 \cdot 3,14 \cdot 3}{0,05 \cdot 50 \cdot 1000} \approx 0,014 \text{ мин.}$$

Если рассматривается операция пайки, то следует по справочнику определить, какое время дается для принятого припоя на пайку. Например, для припоя ПОС-61, при пайке выводов $\varnothing 0,5 \dots 0,8$ мм, время пайки составляет 5...10 с. Принимаем 3 с на прогрев соединения и 5 с на оплавление, тогда время пайки составит 8 с. В расчетах

$$T_0 = \sum_{i=1}^n t_{oi} = 3 + 5 = 8 \text{ с.}$$

При штамповке, формовке и других операциях, где в прессе рабочий ползун совершает возвратно-поступательное движение, расчет T_0 проводят, исходя из выбранных двойных ходов в минуту n_0 . Например, при пробивке базовых отверстий на печатной плате, по характеристикам прессы выбирают $n = 100$, тогда

$$T_0 = \frac{60}{100} = 0,6 \text{ с.}$$

Время T_b — выбирают по отраслевым нормативным справочникам или, если данных нет, на основании хронометража выполняемой операции. Хронометраж — это многократный замер времени всех приемов выполнения конкретной операции рабочим (например, закрепление заготовки — 10 с, подводка инструмента к заго-

товке и включение механической подачи — 15 с и т. д). При этом может быть замерено время T_0 , что дает возможность сопоставить с расчетными данными. Из полученных данных определяют среднее значение величин T_b и T_0 . В дальнейшем эти данные, собранные для изготовления определенных изделий, заносят в отраслевые справочники, пересмотр которых необходим каждые 5 лет. Для рабочих разных квалификаций (разрядов) эти нормативы могут быть разными. В справочниках также может быть приведено время на выполнение операций $T_{об}$.

Время на обслуживание рабочего места $T_{обс}$ определяют фотографией рабочего дня: фиксируют время всех действий рабочего с начала и до окончания смены. Например, приход на рабочее место — 8⁰⁰ включение станка 8¹⁵, простой с 10¹⁵ до 11³⁰ (указывают причину простоя, допустим, отсутствие заготовок) и т. д. Также фиксируют время обеда, перекуров, наладки, уборки станка и т. п. Эти замеры выполняют для нескольких смен и в разные периоды года. После обработки полученных данных выявляются непроизводительные потери на техническое и организационное обслуживание рабочего места. Полученные данные дают наглядную картину непроизводительных затрат времени рабочим и пути повышения производительности, позволяют устранить узкие места производства. Для упрощенных расчетов можно воспользоваться формулой $T_{обс} = 0,2 \dots 0,4 T_{об}$, где коэффициент принимают равным 0,4 для мелкосерийного производства и 0,2 — для крупносерийного производства.

Время перерывов для различных типов производств устанавливают исходя из санитарных норм. Так, для работы на поточном конвейере после 1 ч работы предусмотрен перерыв в 10 мин. Для ориентировочных расчетов при серийном производстве $T_{пер} = 0,1 T_{об}$.

Для автоматического оборудования время одной операции определяют по формуле $T_u = t_{р.х} + t_{х.х}$, где T_u — время цикла автомата на одну операцию; $t_{р.х}$ — время на выполнение рабочих ходов, аналог времени T_0 ; $t_{х.х}$ — время на выполнение холостых ходов, аналог времени T_b .

Производительность автомата составит $Q = 1/T_u$.

Обычно производительность автоматов и другого оборудования определяют по техническим характеристикам, указываемым в справочниках или паспортных данных. Например, известно, что

установка микросхем на печатную плату на автомате такой-то марки выполняется со скоростью 2000 шт./ч, тогда одна микросхема устанавливается за 1,8 с. Если на плате требуется установить 120 микросхем, то операция по их установке будет выполнена за 216 с.

Штучно-калькуляционное время $T_{шт.к}$

$$T_{шт.к} = T_0 + T_3 + T_{орг} + T_{тех} + T_{пер} + \frac{T_{п.з}}{N}$$

Если бы время $T_{шт.к}$ было равно T_0 , производство было бы идеальным, т. е. не имеющим непроизводительных затрат.

Для уменьшения времени T_0 применяют параллельную обработку, например, многошпиндельное сверление печатных плат, одновременное сверление не одной, а нескольких плат в пакете (рис. 1.10), а при пайке погружением печатных плат сразу все соединения подвергают пайке.



Рис. 1.10. Параллельная обработка печатных плат несколькими параллельными инструментами

Для уменьшения времени T_3 используют быстрозажимные устройства, многоместную обработку, когда в одном приспособлении закрепляются несколько заготовок, применяют механизированные приводы вместо ручных и др.

Для уменьшения времени $T_{орг}$ следует использовать программируемые комплектовщики, обеспечивающие быстрое снабжение рабочих мест комплектующими изделиями, инструментом, заготовками.

Чтобы было невелико значение $T_{тех}$, оборудование должно быть надежным, обеспечивающим устойчивое сохранение установленных технологических режимов работы.

Время перерывов $T_{пер}$ устанавливают в соответствии с санитарными нормами и не уменьшают произвольно.

Для того чтобы было невелико $T_{п.з}$, используют станки с ЧПУ, где достаточно поменять программы, чтобы начать производство следующей партии изделий.

Особенно перспективными с точки зрения уменьшения производственных затрат являются гибкие производственные комплексы, состоящие из гибких производственных модулей, управление которыми производится от централизованной АСУТП.

Когда существующий ТП уже не дает роста производительности труда, следует его изменять. В противном случае производство станет неконкурентноспособным, морально устаревшим, например, обработка отверстий в трудно обрабатываемых материалах путем снятия стружки занимает часы, с помощью лазера – минуты. Контроль характеристик печатных узлов ручным способом (прозвонкой) занимает много времени, в то же время использование тестового контроля аппаратуры снижает время контрольных операций во много раз.

Повышение производительности производства и снижение трудоемкости выполнения операций, однако, могут вызвать и увеличение стоимости готовой продукции. Поэтому основным критерием должна оставаться себестоимость выполнения технологической операции.

Технологическая себестоимость (затраты на изготовление продукции) рассчитывается по выражению

$$C = A + \frac{B}{N},$$

где A – текущие (переменные) затраты; B – единовременные (постоянные) затраты; N – программа выпуска изделий, шт.

Рассмотрим составляющие технологической себестоимости подробнее.

Затраты текущие

$$A = C_m + C_3 + C_{н.р.},$$

где $C_m = m_1 q - m_0 q_0$ – затраты на материал; m_1 – норма расхода материала на изделие (кг, м, dm^3); q – стоимость единицы материала;

m_0 – утилизированный остаток материала; q_0 – стоимость единицы утилизированного остатка материала; $C_3 = \sum_{i=1}^n \frac{T_{i \text{ шт}} e_i}{60} \left(1 + \frac{12}{100}\right)$ – за-

траты на зарплату основных рабочих; $T_{i \text{ шт}}$ – норма штучного времени на операцию; e_i – тарифная ставка рабочего в единицу времени; $C_{\text{нр}}$ – накладные расходы: на электроэнергию, воду, ремонт и т. п. Ориентировочно они вычисляются как процент от зарплаты основных рабочих (от 70 до 300 %).

Затраты единовременные

$$B = C_{\text{н}} + C_0,$$

где $C_{\text{н}} = \frac{T_{\text{н}} e}{60} \left(1 + \frac{12}{100}\right)$ – зарплата наладчиков оборудования; C_0 – стоимость запускаемого оборудования (оснастки) для производства новой серии (партии) изделий; $T_{\text{н}}$ – время наладки оборудования; e – тарифная ставка наладчика в единицу времени.

Разработка ТП – задача многовариантная, например, операция пайки может выполняться с помощью паяльника, путем окунания в расплавленный припой, пайкой волной, а может быть заменена на механическое соединение накруткой. Основным критерием выбора варианта является себестоимость ТП.

На рис. 1.11 приведены графики зависимостей (объема) выпуска изделий двух вариантов технологического процесса. Себестоимость первого варианта $C_1 = A_1 + B_1/N$. Себестоимость второго варианта $C_2 = A_2 + B_2/N$.

Найдем объем выпуска, при котором оба варианта могут быть равноценны. Приравняем $A_1 + B_1/N = A_2 + B_2/N$. Решая это равенство относительно N , получим $N = (B_2 - B_1)/(A_1 - A_2)$.

Обозначим это значение N как $N_{\text{кр}}$. Тогда при программе $N < N_{\text{кр}}$ выгоден первый вариант, а при $N > N_{\text{кр}}$ выгоден второй вариант. Первый вариант имеет дешевую оснастку B_1 , но менее производительную, чем у второго варианта, у которого оснастка B_2 дороже, но и более производительная.

При малых объемах выпуска дорогая оснастка резко повысит себестоимость изделия, поэтому ее более выгодно использовать

только при большей программе выпуска. Однако в этом случае, возможно, придется больше платить рабочему, так как это будет рабочий с более высоким разрядом, но производительность, т. е. трудоемкость, будет меньше, чем в первом случае.

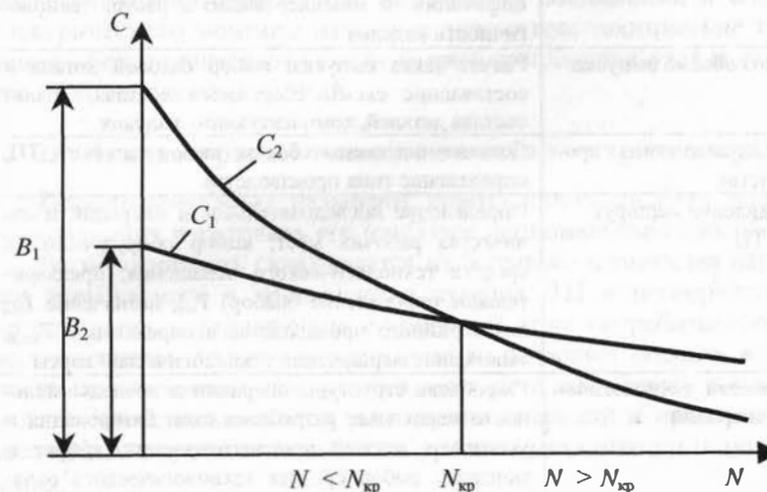


Рис. 1.11. Графики выбора наиболее экономичного технологического процесса по себестоимости

Чтобы снизить технологическую себестоимость, необходимо уменьшать входящие в нее составляющие: уменьшать количество отходов за счет правильного раскрытия материала, покупать менее дорогие материалы, применять труд роботов-манипуляторов вместо человеческого, использовать энергосберегающие ТП и др.

2. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Правила разработки ТП регламентированы. В соответствии с ними разработка ТП состоит из этапов, набор и характер которых зависит от типа запускаемого в производство изделия, вида технологического процесса, типа производства. В табл. 2.1 в качестве примера даны этапы разработки ТП монтажа и сборки электронных узлов (модулей первого уровня).

Таблица 2.1

Этапы проектирования ТП сборки и монтажа электронных узлов

Этап	Основные задачи этапа
Анализ исходных данных	Изучение конструкторской документации и спецификации на изделие; анализ и расчет технологичности изделия
Анализ объема выпуска	Расчет такта выпуска; выбор базовой детали и составление схемы сборочного состава; анализ состава деталей, комплектующих изделия
Определение типа производства	Составление схемы сборки; выбор типового ТП; определение типа производства
Составление маршрутного ТП	Определение последовательности операций и количества рабочих мест; выбор оборудования и средств технологического оснащения; предварительное определение (выбор) $T_{шт}$; назначение $T_{пз}$ для серийного производства и определение $T_{шт.к}$; заполнение маршрутной технологической карты
Разработка технологических операций	Разработка структуры операции и последовательности переходов; разработка схем базирования и установки деталей при изготовлении, сборке и монтаже; выбор средств технологического оснащения (окончательный); расчет точности операции (собираемости) и наладочных размеров; расчет или выбор технологических режимов; расчет операционного времени $T_{оп}$; окончательный расчет $T_{шт}$ ($T_{шт.к}$); заполнение операционной карты
Расчет технико-экономической эффективности	Определение разряда работ по классификатору разрядов и профессий; выбор вариантов операций по технологической себестоимости
Анализ ТП с точки зрения техники безопасности	Выбор и анализ требований по шуму, вибрациям, радиации, воздействию вредных веществ; выбор методов и средств обеспечения сохранности и устойчивости экологической среды
Оформление технологической документации	Оформление эскизов технологических операций; оформление карт маршрутного и операционного ТП
Разработка технического задания (ТЗ) на специальную оснастку	Схема базирования заготовки (заготовок); определение погрешностей базирования и точности приспособления; определение количества заготовок и схемы их закрепления; определение настроечных размеров инструментов; составление схем привязки приспособления к оборудованию

Изучение конструкторской документации позволяет сделать выводы о конструктивной компоновке и особенностях изделия; используемые материалы; количественный состав навесных элементов и деталей пространственной компоновки; характер размещения и варианты установки электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и микросхем (МС) на плате; виды контактных соединений и способы электрического монтажа навесных элементов; технические требования обеспечения надежности функционирования узла и защиты его от внешних воздействий.

2.1. Анализ и расчет технологичности электронного узла

Технологичностью называют совокупность свойств изделия, позволяющих изготовить его наиболее рациональным способом.

Технологичность складывается из большого количества параметров запускаемого в производство изделия, ТП и непосредственно производства, определяющих в конечном итоге потребительские качества изделия. Анализ технологичности позволяет оценить возможность использования для изготовления деталей, сборки и монтажа изделия известных методов выполнения операций и процессов, выполняемых с достаточно высоким уровнем механизации и автоматизации.

Для обеспечения технологичности необходимы:

- правильный выбор конструкции изделия (она должна быть по возможности простой);
- правильное назначение материалов (не должно быть дефицитных материалов);
- оптимальное назначение допусков и посадок;
- по возможности включение в изделие унифицированных, стандартных узлов, элементов;
- возможность механизации и автоматизации при производстве и сборке изделия;
- возможность параллельной сборки входящих в изделие узлов.

Показатели технологичности делятся на две группы: основные и вспомогательные. Основные показатели оценивают технологичность по трудоемкости и себестоимости по формулам

$$K_T = \frac{T}{T_6}; K_C = \frac{C}{C_6},$$

где K_T – коэффициент технологичности по трудоемкости; T – трудоемкость разрабатываемого изделия; T_6 – трудоемкость ана-

логичного базового изделия; K_c – коэффициент технологичности по себестоимости; C – себестоимость разрабатываемого изделия; C_6 – себестоимость аналогичного базового изделия.

Коэффициенты K_T и K_c являются наиболее объективными показателями, и чем они меньше, тем лучше. Однако для их расчета требуется наличие уже разработанных ТП.

Вспомогательные коэффициенты оценки технологичности являются более субъективными, предварительными величинами, но они позволяют оценить технологичность изделия на стадии его проектирования.

Так, количественная оценка технологичности электронных узлов проводится по системе базовых показателей (табл. 2.2), включающих отработанные и достигнутые при доработке и совершенствовании изделия параметры. По базовым показателям рассчитывается комплексный показатель технологичности

$$K_T = \prod_{i=1}^7 K_i \varphi_i / \prod_{i=1}^7 \varphi_i,$$

где φ_i – коэффициент весовой значимости показателя, $\varphi_i = \frac{1}{2^{i-1}}$.

Часть данных для расчета берут из технической документации на изделие (H_{MC} , $H_{ЭРЭ}$, $H_{т.ЭРЭ}$, $H_{т.ор.ЭРЭ}$, Д). Количество контактных соединений на плате определяют подсчетом выводов навесных элементов, пегель объемного монтажа, проводов-перемычек. Так как на плате все контактные соединения получают пайкой, оценивают возможность механизации пайки $H_{в.м}$, с учетом конструкции соединения (планарный вывод, штыревой вывод, пегля провода и т. д.), известных способов пайки, наличия оборудования и серийности производства.

Механизация подготовки выводов навесных элементов к монтажу $H_{м.п.ЭРЭ}$ возможна при наличии стандартных форм выводов, зависит от типа и типоразмеров их корпусов. МС в корпусах четвертого типа имеют стандартную форму выводов. Для их формовки применяются приспособления с ручным приводом, штампы и механизированные устройства. Более трудоемка планарная формовка штыревых выводов конденсаторов. Формовку выводов небольшого количества диодов и резисторов следует осуществлять вручную.

Таблица 2.2

Базовые показатели технологичности электронных узлов

№ п/п	Наименование показателя	Формула расчета	Значение φ_i	Примечания
1	Коэффициент использования МС и микросборок	$K_{ис.мс} = \frac{H_{МС}}{H_{МС} + H_{ЭРЭ}}$	1,0	$H_{МС}$ – количество МС; $H_{ЭРЭ}$ – количество других навесных элементов
2	Коэффициент автоматизации и механизации монтажа	$K_{в.м} = \frac{H_{в.м}}{H_m}$	1,0	H_m – общее количество контактных соединений; $H_{в.м}$ – количество соединений, выполняемых механизированным способом
3	Коэффициент механизации подготовки к монтажу	$K_{м.п} = \frac{H_{м.п.ЭРЭ}}{H_{ЭРЭ}}$	0,8	$H_{м.п.ЭРЭ}$ – количество навесных элементов, поддающихся к монтажу механизированным способом; $H_{ЭРЭ}$ – общее количество навесных элементов, включая МС
4	Коэффициент механизации контроля и настройки	$K_{м.к.н} = \frac{H_{м.к.н}}{H_{к.н}}$	0,5	$H_{к.н}$, $H_{м.к.н}$ – общее и осуществляемое механизированным способом количество операций контроля
5	Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$K_{пов} = 1 - \frac{H_{т.ЭРЭ}}{H_{ЭРЭ}}$	0,3	$H_{т.ЭРЭ}$ – количество типоразмеров ЭРЭ
6	Коэффициент применяемости ЭРЭ	$K_{п.ЭРЭ} = 1 - \frac{H_{т.ЭРЭ}}{H_{т.ор.ЭРЭ}}$	0,2	$H_{т.ЭРЭ}$ – количество типоразмеров оригинальных ЭРЭ
7	Коэффициент прогрессивности формообразования деталей	$K_{\phi} = \frac{D_{пр}}{D}$	0,1	Д – общее количество деталей; $D_{пр}$ – количество деталей, изготавливаемых прогрессивными методами

Коэффициент механизации контроля и настройки $K_{м.к.н}$ относительно невелик, так как для сборки электронных узлов необходим ряд трудоемких и маломеханизированных операций контроля: проверки паяемости плат перед монтажом, качества отмычки и

лакировки плат, качества приклейки прокладок под корпуса навесных элементов, установки элементов и качества пайки их выводов. Функциональные параметры платы контролируются на специальных стендах. Расчетное значение K_T сравнивают с нормативным коэффициентом K_B , который для серийного производства электронных узлов изменяется в пределах 0,5...0,8, для установочной серии – 0,45...0,75, для опытного образца – 0,4...0,7.

2.2. Выбор технологического процесса сборки и монтажа электронного узла

Для техпроцесса сборки и монтажа конструктивных элементов первого уровня (модулей, ТЭЗов, узлов) типовые операции приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные операции ТП сборки

Основные этапы сборки	Объекты сборки	Основные типовые операции
Комплектование	Печатные платы, навесные элементы, детали	Распаковка из тары поставщика. Входной контроль параметров. Размещение в технологической таре
Подготовка к монтажу	Печатные платы	Промывка платы. Контроль печатного монтажа. Контроль паяемости платы. Маркировка платы
	Навесные элементы (ЭРЭ, МС)	Лакирование обозначений номиналов. Рихтовка и обрезка выводов. Флюсование и лужение выводов. Формовка выводов. Промывка и сушка ЭРЭ, МС. Комплектование. Кассетирование
Установка на печатную плату	Детали	Установка и закрепление соединителей (разъемов), контактов (штырей, лепестков), навесных шин, прокладок. Стопорение механических соединений
	Навесные элементы	Установка и фиксация резисторов, диодов, конденсаторов, транзисторов. Установка и фиксация микросхем. Контроль установки элементов
Получение контактных соединений	Плата с деталями, ЭРЭ, МС	Флюсование и пайка соединений. Промывка и сушка модуля. Контроль контактных соединений

Окончание табл. 2.3

Основные этапы сборки	Объекты сборки	Основные типовые операции
Контроль модуля и защита от внешних воздействий	Модуль	Контроль и регулировка функциональных параметров. Монтажные операции (дополнительные). Контроль параметров, защита модуля (лакирование), испытания и контроль. Сдача на соответствие ТУ

Этап комплектования навесных элементов и деталей, входящих в состав модулей первого уровня, трудоемок, операции выполняются в основном вручную. Тара, в которой поставляются ЭРЭ и МС, может иметь самые разные типоразмеры. МС в индивидуальной таре-спутнике распаковываются на автоматах с ориентацией по ключу и укладкой в технологические кассеты.

Этап подготовки к монтажу включает ТП подготовки печатных плат, ЭРЭ, МС и конструктивных деталей. Операции подготовки ЭРЭ и МС в мелкосерийном производстве выполняют вручную на рабочем месте монтажника с использованием простейших приспособлений и размещением элементов в технологической таре по номиналам. В крупносерийном производстве применяются автоматы рихтовки и обрезки выводов, флюсования и лужения, промывки и сушки подготовленных навесных элементов. В некоторых автоматах все эти операции объединены в одном цикле и выполняются в виде переходов. Автоматизированная подготовка требует специальных кассет для загрузки и выгрузки элементов. Для ЭРЭ с осевыми выводами, которые кассетируют путем вклеивания в ленту, формовку производят на автомате непосредственно перед установкой на плату.

Установку на плату начинают с простых деталей: штырей, лепестков, навесных шин, прокладок, – после подготовки (рихтовка, обезжиривание) их базовых поверхностей. Установка ЭРЭ и МС осуществляется несколькими способами в зависимости от типа производства: вручную, со световой индикацией, по шаблону, автоматически.

При установке вручную монтажник по схеме или маркировке на плате определяет место положения элемента, извлекает его из тары, устанавливает и, если необходимо, распаивает выводы. Первые два перехода занимают большую часть штучного времени. Для сокращения времени установки всех навесных элементов мои-

тажное поле платы делят на зоны, в каждой из которых работает один монтажник. В этом случае может быть организована конвейерная установка элементов.

Применение *метода световой индикации* требует оснащения рабочего места монтажника проекционной системой и транспортером подачи тары с элементами. С помощью светового луча индицируется место установки, а транспортер синхронно подает тару с элементами требуемого типономинала. Остальные переходы монтажник осуществляет вручную.

Установка по шаблону характеризуется еще более высоким уровнем механизации. Точное позиционирование монтажного стола осуществляют вручную с помощью шупа и координатных отверстий на шаблоне, а установку элементов – автоматически укладочной головкой. Элементы подаются из кассет в последовательности установки на плату. Этот способ более производительный, но менее универсальный, так как требует сменных или перенастраиваемых инструментов при изменении типоразмеров корпусов элементов.

Для *автоматизированной установки* применяют специализированное оборудование с ЧПУ или *робото-технологические комплексы* с подачей элементов из технологических кассет.

Получение контактных соединений в модулях первого уровня осуществляют преимущественно пайкой, с расплавленным или расплавляемым припоем под действием постоянного или импульсного нагрева зоны соединения. При одностороннем монтаже навесных элементов на плате и фиксации их положения (подгибка, зиг-формовка, подпружинивание, предварительная подпайка выводов, приклеивание корпуса элемента) применяют механизированную пайку волной припоя. Групповую пайку планарных выводов МС производят расплавленным припоем с постоянным нагревом паяльником или расплавляемым припоем с импульсным нагревом электродами, роликами, лучом лазера, струей газа. Импульсный нагрев локализует тепловое воздействие в зоне выводов, но требует дополнительной подачи припоя путем напрессовки, подачи трубчатого припоя в зону пайки, качественного лужения. Операции промывки и сушки модулей необходимы для удаления флюса, продуктов пайки, следов от рук, пыли. Они выполняются на механизированных конвейерных линиях. Качество контактных соединений оценивается визуально.

Этап контроля модулей наиболее ответственный и трудоемкий. Он выполняется в отладочном, диагностическом и контрольном режимах с помощью специальной аппаратуры, стендов и автоматических систем контроля. Замена неисправных МС тре-

бует дополнительных монтажных операций и повторного контроля параметров. Годные модули проходят операции лакирования и сушки и, если необходимо, испытания с контролем параметров.

2.3. Анализ объема выпуска изделия

Годовой объем выпуска электронного узла (в общем виде, изделия) N шт./год позволяет рассчитать такт выпуска T мин/шт.; определить количество изделий, выпускаемых в смену, в месяц, в квартал; сделать вывод о типе (серийности) производства; выбрать оборудование соответствующей производительности и оценить его загрузку; провести технико-экономическое обоснование операции и технологического процесса.

На этапе анализа исходных данных определяют такт $T = \Phi_d / N$ мин/шт., сменное задание и месячную партию изделий, где действительный годовой фонд времени Φ_d при односменной работе составляет около 2070 часов. Он определяется количеством рабочих дней в году (253) и продолжительностью смены (8,0 ч). Годовой фонд времени работы технологического оборудования $\Phi_{об}$ меньше Φ_d , что связано с техническим обслуживанием и принятием на предприятии коэффициентом использования оборудования. Так, для механического, сборочно-монтажного и регулировочного оборудования $\Phi_{об} = 2030$ ч, для конвейера – 1970 ч, автоматов и полуавтоматов – 1955 ч.

2.4. Разработка схемы сборки

После выбора типовых операций следует перейти к анализу сборочного состава изделия (рис. 2.1) и разработке схемы сборки.

Схема сборочного состава разрабатывается на базе сборочного (монтажного) чертежа печатного узла и спецификации к нему.

Ступени сборки ЭВМ, как правило, отражают модульное построение ее конструкции: ТЭЗ – первая ступень, блок – вторая и т. д. На схеме сборочного состава указывают состав и количество деталей, количество и уровень сборочных единиц, обозначают сами сборочные единицы, сборку которых можно вести параллельно и независимо друг от друга. Она, однако, не дает информации о последовательности сборки деталей, способах получения соединений и способах монтажа.

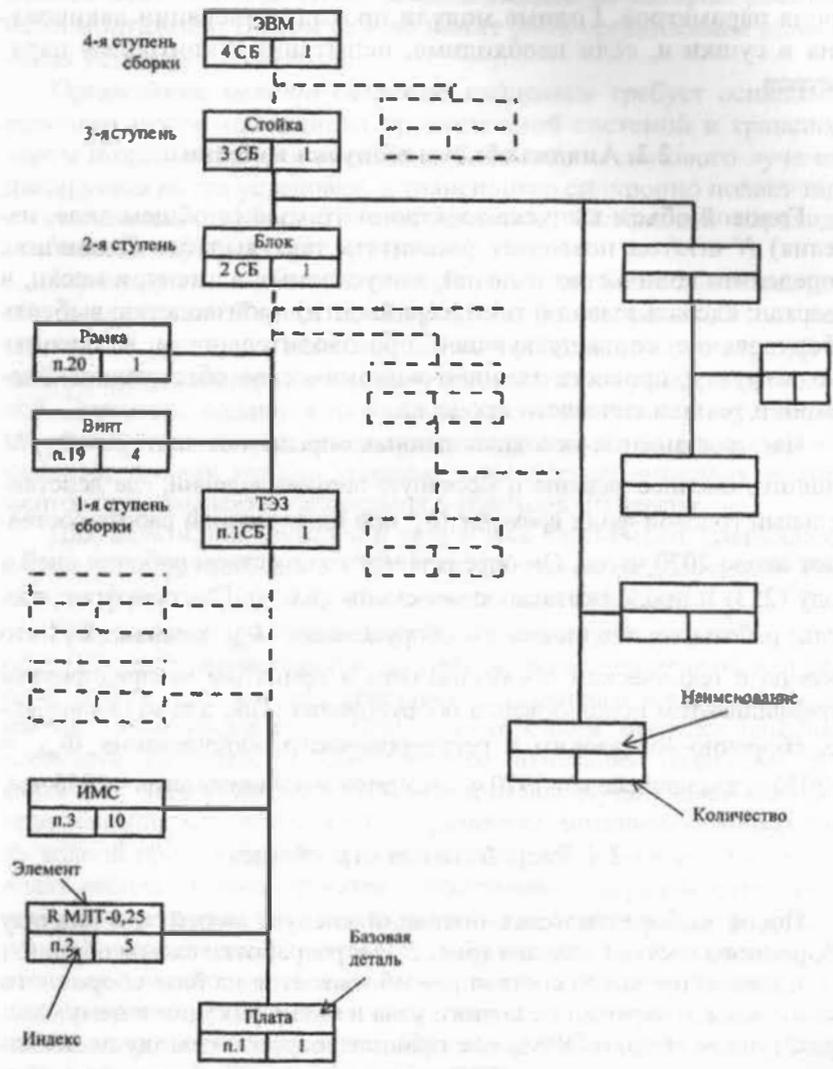


Рис. 2.1. Схема сборочного состава

Имея схему сборочного состава и такт выпуска, приступают к составлению схемы сборки и определению типа производства. Необходимо, чтобы все операции выполнялись за промежуток времени T . Комплектуемые, входящие в изделие, следует распре-

лить по операциям и рабочим местам таким образом, чтобы время их монтажа (на данном этапе – ориентировочно) тоже укладывалось в такт выпуска. Так получается цепочка (поток) рабочих мест, равномерно загруженных по времени (трудоемкости). Затем рассчитывают предварительно коэффициент закрепления операции $K_{з.о} = \frac{n_{о.п.}}{n_{р.м}}$, где $n_{о.п.}$ – количество операций; $n_{р.м}$ – количество рабочих мест.

При отсутствии типовых ТП следует ориентироваться на ТП предприятий, где и будет выпускаться изделие.

Технологическая схема сборки модуля для первого уровня (ТЭЗ), приведенная на рис. 2.2, определяет последовательность установки деталей и сборочных единиц на базовую деталь (или сборочную единицу). На схеме должны быть указаны операции получения механических соединений (свинчивание, расклепка, развальцовка, склеивание, сварка); операции электрического монтажа (пайка, сварка, накрутка); операция контроля и герметизации (промывка, сушка, лакирование, нанесение компаунда).

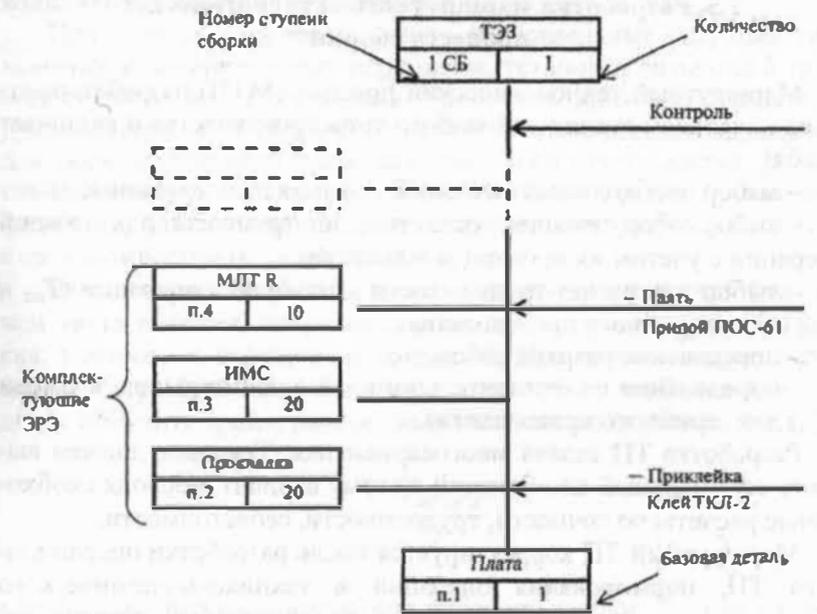


Рис. 2.2. Схема сборки ТЭЗ

При разработке схемы сборки необходимо выбрать базовую деталь. Для модулей первого уровня это печатная плата. Для модулей второго уровня базовой деталью может быть конструкционная рамка или каркас блока, представляющий собой сборочную единицу. Детали и сборочные единицы изображаются в виде прямоугольников (см. рис. 2.2), в которых указывается номер по спецификации, наименование и количество. От базовой детали к готовой сборочной единице проводят главную линию сборки, а от устанавливаемых деталей или сборочных единиц – линии до пересечения с ней.

Расположение этих точек пересечения на главной линии говорит о выбранной последовательности сборки. Операции сборки и монтажа указывают стрелкой и текстом в том месте, где они осуществляются. Для упорядочения схемы сборки по одну сторону от главной линии изображают устанавливаемые детали и сборочные единицы, по другую – крепежные детали и монтажные операции. Если текст занимает много места, то операции могут быть пронумерованы, а расшифровка их сделана вне схемы сборки.

2.5. Разработка маршрутного технологического процесса сборки

Маршрутный технологический процесс (МТП) разрабатывается на начальной стадии для любого типа производства и включает в себя:

- выбор необходимых операций, порядок их следования;
- выбор оборудования, оснастки, инструменты для каждой операции с учетом их производительности;
- выбор или расчет трудоемкости выполнения операции ($T_{шт}$ и $T_{шт.к}$ – для серийного производства);
- определение разряда рабочего;
- определение подготовительного – заключительного времени ($T_{пз}$) для серийного производства.

Разработка ТП задача многовариантная. Технолог должен выбрать оптимальный или близкий к этому вариант, проводя необходимые расчеты по точности, трудоемкости, себестоимости.

Маршрутный ТП корректируется после разработки операционного ТП, нормирования операций и технико-экономического обоснования структуры операций. По следующему образцу составляют маршрутную карту ТП сборки и монтажа:

№ п/п	Наименование операции	Оборудование, оснастка	$T_{шт.расч}$	Разряд рабочего	$T_{пз}$

Исходными данными для разработки маршрутного техпроцесса являются: схема сборки с базовой деталью, типовой ТП, объем выпуска N , шт./год, коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$ – отношение количества операций к количеству рабочих мест ($K_{з.о} = 1$ – массовое производство, $K_{з.о} = 2...10$ – крупносерийное, $K_{з.о} = 11...20$ – среднесерийное, $K_{з.о} = 21...40$ – мелкосерийное). Для заданных N и $K_{з.о}$ определяется среднее штучное время операции, $T_{шт.ср} = T / K_{з.о}$, где $T = 60Ф_d/N$. Расчетное значение $T_{шт.ср}$ обеспечивается дифференциацией или концентрацией операций, подбором оборудования определенной производительности, рекомендуемого в типовом ТП, справочной или технической литературе. Типовой ТП является исходным, определяющим предварительный порядок следования операций и применяемого оборудования. Его следует скорректировать с учетом реального изделия, объема и такта выпуска.

При этом следует иметь в виду, что отдельные операции типа монтажа коммутационных переключателей, установка разъемов в труднодоступные места, установка единичных комплектующих (индуктивностей, трансформаторов) могут выполняться вручную и для больших серий и даже для массового производства. В этих случаях следует максимально механизировать процесс установки, фиксации, пайки, заворачивания, применяя винтоверты, паяльники с автоматической подачей припоя и т. п.

Имеется ряд операций, время выполнения которых больше, чем такта выпуска, например, сушка после приклеивания, покраска, контрольно-наладочные операции. При сушке следует в термопечь загружать такое количество изделий n , чтобы на одно изделие получить время, равное такту выпуска по формуле

$$n = \frac{T_{шт.суш}}{T},$$

где $T_{шт.суш}$ – штучное время для операции сушки. В этом случае, если нельзя одновременно проводить операцию над несколькими

изделиями при $T_{шт} > T$, необходимо иметь несколько одинаковых рабочих мест m , определяемых по формуле

$$m = \frac{T_{шт}}{T}$$

Реальный коэффициент закрепления операций на одном рабочем месте определяется по формуле $K_{з.о} = \frac{T}{T_{шт. i}}$, где $T_{шт. i}$ – сред-

нестучное время выполнения одной операции (одного технологического перехода). При серийном производстве на одном месте выполняют несколько операций. Задача технолога – определить, какие именно.

Операции в типовом технологическом процессе могут быть одни и те же для различных типов производств, однако их выполняют с использованием различного по производительности и стоимости оборудования.

Например, операция пайки может выполняться паяльником вручную, волной, окунанием, в тернопечах, групповыми паяльными устройствами на полуавтоматах, автоматах. Какой метод и оборудование (оснастку) выбрать, определяют исходя из производительности и стоимости данной оснастки.

На рис. 2.3 показан пример расположения рабочих мест в технологической маршрутной цепочке (потоке). Каждое рабочее место показано в виде прямоугольника.

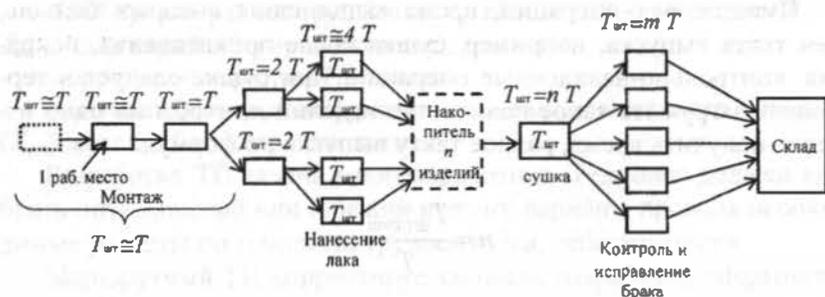


Рис. 2.3. Примерный технологический поток сборки ЭРЭ

Если вместо времени T указать реальные времена, то легко увидеть так называемые узкие места в потоке: незагруженные рабочие места, места расположения накопителя деталей перед наиболее трудоемкими операциями, требующими многочасовых затрат времени. Такие операции стараются выполнять в неурочное время, в ночную смену.

Малозагруженные рабочие места используют для выполнения аналогичных операций для изделий, собираемых параллельно с основным заказом.

2.6. Разработка операционного технологического процесса сборки

Цель этапа разработки операционного ТП – полная детализация выполнения операций. Этот этап включает в себя:

- определение структуры операции, последовательностей переходов и работы инструментов;
- изображение состояния объекта после выполнения операции и схем базирования или установки деталей, инструментов, направлений главных перемещений, геометрических размеров, достигнутых на данной операции. Эскиз сопровождается таблицей, содержащей переходы, условия и режимы их выполнения, основное T_0 и вспомогательное $T_в$ время, действительную и допустимую погрешность базирования;
- расчет режимов и условий сборки и монтажа, времени $T_{шт}$ с учетом технологических возможностей предварительно выбранного оборудования. Уточнение времени фактической загрузки оборудования;
- расчет точности операции, условий собираемости сопрягаемых деталей, действительных погрешностей; определение точностных требований к сборочно-монтажным приспособлениям;
- нормирование операций, выбор разряда рабочего, расчет технологической себестоимости операции, технико-экономическое обоснование вариантов операции;
- обоснование выбора технологической оснастки или разработка технического задания на ее проектирование.

Рассмотрим более подробно этапы разработки монтажной операции пайки МС с планарными выводами (рис. 2.4). Для упрощения эскиза на плате изображены девять МС с рядовой установкой. В соответствии с маршрутным техпроцессом пайку осуществляют на полуавтомате непрерывной пайки ПНП-5.

Наименование перехода	S, мм	V, м/мин	Припой и флюс	t, °C	T _{шт}	Δ	ε

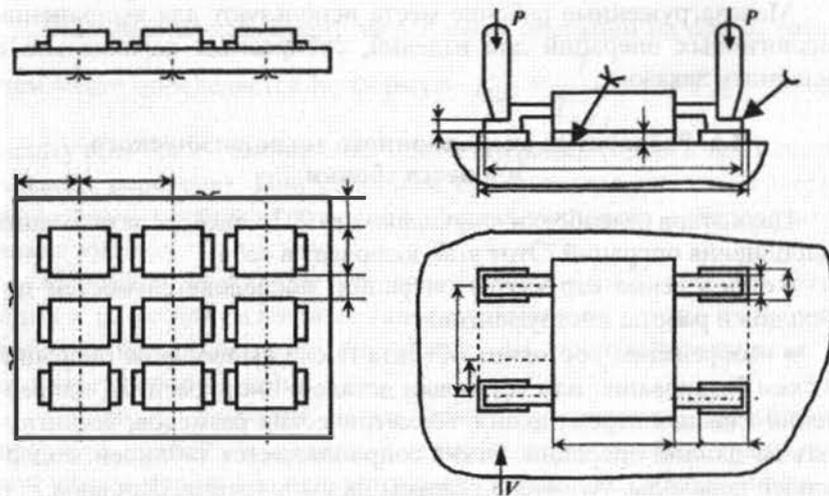


Рис. 2.4. Таблица параметров монтажной операции и эскиз монтажа

Структура операции – параллельно-последовательная. Пайки выполняют параллельно двумя наконечниками (жалами) одновременно двух противоположных выводов и последовательно остальных выводов микросхемы, а также МС, установленных в одном ряду. Необходимы три прохода (три ряда МС) с возвратом паяльной головки каждый раз в исходное положение (условие непрерывной пайки) и перемещением к координате следующего ряда.

Два наконечника паяльной головки показаны на рис. 2.4 в рабочем положении. Они прижаты к выводам усилием P и перемещаются с технологической скоростью V вдоль ряда МС, т. е. поперек планарных выводов. Указаны размеры корпусов, выводов МС и контактных площадок для настройки паяльной головки, а также шаг размещения МС на плате и расстояния между рядами для расчета режимов и времени пайки.

В составляемой таблице указывают количество проходов (три), рабочий путь перемещения головки S и скорость V , припой и температуру пайки t , допустимую Δ и действительную геометрическую погрешности ϵ расположения контактных соединений (см. рис. 2.4).

При расчете рабочего пути паяльной головки необходимо знать шаг установки и длину корпуса МС. Если шаг велик или в ряду отсутствует микросхема, то целесообразно на нерабочих участках перемещать головку ускоренно для увеличения производительности. Технологическую скорость V выбирают из условия ограничения времени контакта жала с выводом (не более 2...3 с), обеспечения качества пайки (скелетная форма соединения, растекание припоя вдоль вывода, отсутствие перемычек). Значит скорость V должна быть в диапазоне рабочих скоростей головки, обеспечиваемых полуавтоматом. Зная пути рабочих и холостых ходов головки, легко определить основное и вспомогательное время пайки. Время установки (снятия) платы определяют экспериментально или задают по нормативам на соответствующие виды монтажных работ. Таким образом, можно рассчитать время операции пайки МС $T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{в}}$. Температура пайки зависит от используемого припоя и допустимого нагрева корпуса МС.

Исходными данными для точностного расчета рассматриваемой операции являются размеры планарных выводов МС и контактных площадок платы, максимальная величина смещения выводов после установки и приклейки корпуса МС; точность настройки наконечников головки; точность позиционирования и рабочего перемещения головки. Размеры выводов и площадок определяются из конструкторской документации, точность установки МС – из анализа предыдущей монтажной операции, остальные данные – из документации на оборудование. Зная перечисленные погрешности, можно рассчитать допустимую суммарную погрешность на данной операции.

При нормировании операции пайки МС следует взять за основу T_0 и $T_{\text{в}}$, определить время технологического обслуживания $T_{\text{обс}}$ полуавтомата, подготовительно-заключительное $T_{\text{п.з}}$ время на его наладку и принять решение о выборе разряда рабочего. Эти данные можно взять из нормативной литературы.

Для технико-экономического обоснования рассматриваемой операции можно путем расчета технологической себестоимости пайки МС $C_T = A + B/N$ (A – текущие расходы; B – единовремен-

ные расходы) сравнить два варианта ее реализации. Например, возможен такой вариант – параллельная пайка на установке ППМ-5 двумя гребенчатыми наконечниками всех выводов одной МС и перемещение паяльной головки к следующей МС вручную по шаблону.

В качестве технологической оснастки для операции пайки МС в рассмотренном примере необходимо приспособление для установки и закрепления платы на столе полуавтомата. Исходными данными для его проектирования являются *схема базирования* (см. рис. 2.4); допустимая погрешность, определенная при точностном расчете операции; время на операцию $T_{оп}$. Кроме перечисленных данных в техническом задании приводят схему установки платы в приспособлении. Она позволяет выбрать конструкцию установочных элементов (опор) приспособления, их расположение и точки приложения усилий закрепления платы. Время T_v регламентирует быстроту смены плат в приспособлении и тип привода закрепления (ручной, пневматический, электромагнитный, механический).

Производительность труда во многом зависит от способа построения операции. Способы построения можно разделить на три группы.

1. *Способы, при которых операция состоит из следующих этапов:* а) установка заготовки (заготовок) в приспособление; б) выполнение собственно процесса обработки (сборки); в) снятие обработанной детали (деталей, сборочной единицы).

При этом можно обрабатывать детали по одной (одноместная обработка) или по несколько сразу (многоместная обработка).

Повышение производительности при односторонней обработке может быть достигнуто одновременной обработкой заготовки с помощью нескольких инструментов. При многоместной обработке заготовки можно обрабатывать последовательно, параллельно или последовательно-параллельно как одним, так и несколькими инструментами.

При последовательной обработке сокращается вспомогательное время вследствие уменьшения времени на установку заготовок и снятие обработанных (собранных) деталей и, кроме того, время врезания и перебега инструмента раскладывается на число установленных деталей.

При последовательной обработке необходимо стремиться к уменьшению расстояния между заготовками; если эти расстояния велики, их необходимо проходить на ускоренном холостом ходу.

При параллельной обработке производительность выше, чем при последовательной.

2. *Способы построения по принципу многопозиционной обработки (сборки).* В первой позиции устанавливают и снимают деталь, в последующих позициях происходит обработка (сборка). Обработка, установка и съем готовой детали происходят одновременно. Время операции при этом определяется наиболее длительным переходом (операцией) на позиции. Поэтому при многопозиционной обработке следует стремиться, чтобы время выполнения переходов на каждой позиции были одинаково или почти одинаково. После обработки или сборки инструмент отводят в исходное положение, а приспособление поворачивают (или перемещают – это зависит от конструкции), сдвигая все заготовки на следующую позицию.

3. *Способы построения по принципу непрерывной обработки.* При этом либо заготовки в процессе обработки (сборки) непрерывно движутся мимо неподвижных рабочих органов (инструментов) либо же рабочие органы перемещаются вместе с обрабатываемыми заготовками (детальями). Так проектируют роторные линии по сборке, штамповке, по разливу жидкостей в тару.

На рис. 2.5 показана схема роторной линии, работающей по второму варианту. Линия состоит из загрузочного и рабочего роторов (в табл. 2.4 показана развертка рабочего ротора).

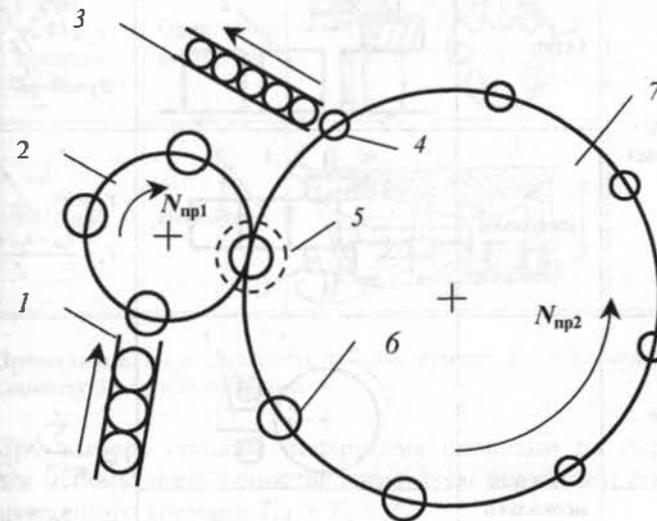


Рис. 2.5. Движение детали при роторной непрерывной обработке:

1 – подача заготовок; 2 – ротор загрузочный; 3 – выгрузка деталей; 4 – деталь; 5 – место перехвата; 6 – заготовка; 7 – рабочий ротор; $N_{рп1} > N_{рп2}$ – частоты вращения роторов, об/мин

Таблица 2.4

Окончание табл. 2.4

Схемы построения операций

Схема	Обработка	Количество инструментов	Эскиз обработки (сборки)	Структурные формулы T_o и T_b
Одноместная	Последовательная	Один		$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}$ $T_b = t_{yc} + t_{yn}$
		Несколько		$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}$ $T_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{cn}$
	Параллельная	Один или несколько		$T_o = t_{oe}$ $T_b = t_{yc} + t_{yn}$
Многоместная	Последовательная	Один		$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} / Z$ $T_b = \frac{t_{yc} + t_{yn}}{Z}$
		Несколько		$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} / Z$ $T_b = \frac{t_{yc} + t_{yn} + t_{cn}}{Z}$
	Параллельная	Один или несколько		$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} / Z$ $T_b = \frac{t_{yc} + t_{yn}}{Z}$

Схема	Обработка	Количество инструментов	Эскиз обработки (сборки)	Структурные формулы T_o и T_b
Многопозиционная	Последовательная или параллельно-последовательная	Один или несколько		$T_o = t_{oe}$ $T_b = t_{yn} + t_{мд}$
Непрерывная	Последовательная	Один или несколько		$T_o = \frac{T_{об}}{Z}$ $T_b \approx 0$
	Параллельно-последовательная	Один или несколько		
	Роторная	Несколько		

Примечание. На всех эскизах 1 – инструмент; 2 – обрабатываемая деталь (сб. единица); 3 – приспособление.

При выборе способа построения операции на первом этапе можно использовать сопоставление схем обработки по структуре операционного времени $T_{оп} = T_o + T_b$.

Технологические схемы обработки, поясняющие принцип построения операций, приведены в табл. 2.4. В ней использованы следующие обозначения: t_{oi} – основное время технологического перехода; t_{oe} – основное время лимитирующего перехода; Z – количество

Коды технологических операций, используемых при сборке и монтаже ячеек, указаны в типовом ТП. Некоторые примеры кодов специальностей приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Содержание кодов специальностей

Код специальности	Наименование специальности	Номера выполняемых операций
016	Вязальщик жгутов	95, 100
068	Контролер	65, 120, 160
118	Маркировщик	125
126	Монтажник ЭА	25, 30, 35, 55, 60, 70, 80, 90, 105, 115, 155
192	Пропитчик деталей ЭА	45, 135
239	Слесарь-сборщик ЭА	10, 20, 40, 45, 75, 110, 145
500	Регулировщик ЭА	150

В типовых ТП сборки ячеек операциям дают коды, кратные пяти (05–10–15–20–...), что дает возможность при необходимости ввести дополнительные операции не нарушая общую структуру и последовательность этапов ТП. Так, в мелкосерийном производстве номерам 05–15 соответствует этап подготовки ПП к монтажу; 20–35 – подготовка ЭРЭ и МС к монтажу; 40–45 – установка ЭРЭ на ПП; 60–85 – получение контактных соединений пайкой волной припоя; 90 – пайка вручную; 150–160 – регулировка и контроль.

Примеры кодов обозначения оборудования приведены в табл. 2.7.

Табл. 2.7

Примеры кодов обозначения оборудования

Код	Оборудование (оснастка)
СРМ	Стол радиомонтажника
ПФВ	Пресс для формовки выводов ЭРЭ
УПВ	Установка пайки волной
УЛВ	Установка лужения выводов
УСПП	Установка сушки ПП
УППП	Установка промывки ПП
СКМ	Стол контроля монтажа
ШВЖ	Шаблон для вязки жгутов
ВШ	Вытяжной шкаф
СКЭП	Стенд контроля электрических параметров ячейки

2.7. Разработка технического задания на проектирование специальной технологической оснастки

Техническое задание разрабатывают с учетом полученного ТП на изготовление печатного узла и трудоемкости выполнения операции, для которой проектируется оснастка. В ТЗ на оснастку указывают:

- наименование оснастки;
- производительность;
- точность получаемых параметров;
- количество одновременно обрабатываемых заготовок, собираемых изделий;
- степень автоматизации (ручная, автоматическая и т. д.);
- материалы, из которых изготавливается оснастка;
- требования безопасности и экономические требования;
- дополнительные специфические требования: стоимость, дизайн, удобство обслуживания и т. д.

3. СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

3.1. Сборочно-монтажные операции

Трудоемкость сборочно-монтажных работ составляет 40–75 % от общей трудоемкости изготовления электронной аппаратуры. Она обусловлена разнообразием номенклатуры выпускаемой продукции, преобладанием малых по размеру и массе деталей и сборочных единиц, значительным объемом в общей трудоемкости сборки проверочных и регулировочных работ, многообразием технических процессов сборки и электрического монтажа.

Основное количество сборочных операций выполняют вручную с использованием простой оснастки. Однако для повышения производительности, снижения трудоемкости и повышения качества ЭА передовые предприятия применяют средства механизации и автоматизации сборочно-монтажного процесса, используют гибкие производственные системы.

Основными сборочно-монтажными операциями при производстве ЭА являются: *свинчивание (завинчивание), соединение методом пластического деформирования, сварка, пайка, склеивание, намотка, накрутка*. Соединение свинчиванием обеспечивает высокие прочностные характеристики аппаратуры и возможность быстрой разборки.

При единичном и мелкосерийном производстве сборка резьбовых соединений производится в основном вручную при помощи ключей, отверток и других инструментов. В серийном производстве применяют механизированный инструмент (электроотвертки, гайковерты, шпильковерты и т. д.) для сборки резьбовых соединений, при этом винты, гайки и шпильки подаются, как правило, вручную. В последнее время начали применять механизированные инструменты с автоматической подачей крепежа. При крупносерийном и массовом производстве резьбовые соединения следует выполнять на специальных автоматах и автоматизированных робототехнологических комплексах.

Соединение методом *пластического деформирования* имеет несколько разновидностей: *склепывание (клепка, расклепка), запрессовка, развальцовка*. Соединение *склепыванием* применяют для изделий, работающих при высоких температурах и давлениях, и для соединения неметаллических деталей с металлическими. Основной деталью соединения является заклепка с полукруглой головкой. В последнее время получают распространение более технологичные конструкции заклепок, в частности, трубчатые и полутрубчатые, расклепка и развальцовка которых менее трудоемка.

Основные технологические переходы при склепывании – сверление или пробивка отверстий, соединение склепываемых деталей, развертывание соединяемых деталей для обеспечения соосности, установка заклепки, склепывание давлением или ударом.

Для выполнения соединения склепыванием применяют механические эксцентриковые, пневматические, электромагнитные, вибрационные и другие прессы. При крупносерийном и массовом производстве применяют клепальные полуавтоматы и автоматы, выполняющие пробивку отверстий, вставку заклепок и осадку.

Основными условиями высокого качества сборки при помощи запрессовки деталей с натягом являются точное направление запрессовываемой детали в приспособлении в процессе запрессовки, осевое приложение усилий запрессовки к базовым опорам, создание плавающих опор в приспособлениях для центрирования собираемых деталей, контроль собираемых деталей по погрешности формы, контроль за усилием запрессовки. Развальцовку применяют для сборки деталей из хрупких материалов. При развальцовке инструменту (вальцовке) помимо осевого перемещения сообщается и вращение.

Пайка представляет собой процесс соединения металлических деталей при помощи расплавленного или расплавляемого припоя, вводимого в зону соединения деталей. При монтаже ЭА применяют в основном мягкие оловянно-свинцовые припои. Флюсы для пайки необходимы, чтобы защитить основной металл и припой от окисления, растворить образовавшиеся окислы, смочить поверхность металлов и обеспечить лучшее растекание припоя. Используется трубчатый припой с флюсом, который можно дозированно подавать к месту пайки. Пайка твердым припоем обеспечивает высокую прочность швов и применяется для сборки, например, волноводов.

В настоящее время используют разнообразные способы пайки: *паяльником, погружением, волной припоя, с использованием паяльных муфт, избирательная пайка* и др. Пайка может проводиться в вакууме, в нейтральной или восстановительной среде, предохраняющей место пайки от окисления, с наложением ультразвуковых колебаний. Нагрев при пайке осуществляют жалом паяльника, в ваннах, в печах, с помощью горелок, токами высокой частоты, на электроконтактных машинах. Перед пайкой требуется совместить с определенной точностью соединяемые припоем поверхности.

Сварка – процесс получения неразъемного соединения за счет расплавления и совместной кристаллизации двух свариваемых материалов или без расплавления в результате электронного взаимодействия свариваемых материалов. В производстве ЭА применяют сварку электронным и световым лучом, диффузную сварку, термокомпрессионную, ультразвуковую, холодную сварку давлением. Важнейшим направлением совершенствования процессов сварки является механизация и автоматизация, использование сварочных роботов.

Склеивание как метод сборки находит все большее распространение при производстве ЭА. Клеящие вещества удерживают соединяемые детали силами адгезии. Склеивание – наиболее рентабельный, а нередко единственный метод соединения разнородных материалов: резины с металлом, пластмасс с металлом, стеклами, ситаллами, керамикой и др. Склеивание является основной операцией в производстве слоистых пластиков, фольгированных диэлектриков, многослойных печатных плат. С помощью клея можно надежно крепить на платах навесные элементы.

Соединения, получаемые склеиванием, обладают теплоизолирующими, звукопоглощающими, демпфирующими свойствами, герметичностью. Склеивание отличается простотой технологии; легко может быть реализовано в непрерывном поточном производстве, имеет низкую себестоимость.

Намотка – процесс механической или ручной укладки провода на каркас или оправку для получения катушек контуров, обмоток трансформаторов, дросселей, реле, резисторов и других элементов ЭА. Обмотка – конструктивная часть намоточного узла, состоящая из намотанного материала, выводов, отводов, внутренней, промежуточной и внешней изоляции.

Намотка является сложной и трудоемкой сборочной операцией, включающей в себя несколько технологических переходов. Для повышения производительности и снижения трудоемкости изготовления различных обмоток (особенно в крупносерийном и массовом производстве) в последнее время разрабатывают и внедряют автоматические намоточные станки, которые обеспечивают установку каркасов на оправку, намотку провода на каркас, крепление витков, производство выводов, их зачистку и лужение, съем готовой продукции.

Накрутка – метод получения контактных соединений между проводом и штырем с острыми кромками, объемными проводниками. Провод наматывают непосредственно на штырь с усилием, равным 70 % предела прочности провода на разрыв. При этом 4–6 витков провода механически закрепляют на кромках штыря, образуя газонепроницаемое соединение, надежность которого выше паяного. Для накрутки применяют специальные пистолеты и установки с ЧПУ.

Процесс сборки и монтажа с использованием рассмотренных сборочных операций состоит из следующих этапов:

- подача собираемых деталей (элементов) к месту сборки;
- взаимная ориентация (базирование) деталей перед их соединением;
- соединение сборочных элементов в сборочную единицу;
- закрепление сборочных элементов (сборочной операции);
- контроль.

Для выполнения каждого этапа может быть использована различная оснастка. Возможно выполнение всех этапов на многооперационном оборудовании. Важным этапом сборки является ориентация собираемых деталей (элементов) перед их соединением. Не-

обходимая точность взаимного положения деталей зависит от многих факторов и может быть заранее рассчитана.

Требования к оснастке по части концентрации операций, автоматизации, многоместности, быстродействия во многом определяются объемом выпуска изделий. Для мелкосерийного производства в основном применяют простую однооперационную технологическую оснастку (часто с ручным приводом), универсально переналаживаемую оснастку, универсальную оснастку с элементами гибкой переналадки.

При серийном производстве используют высокопроизводительную механизированную оснастку (с пневмоприводом, гидроприводом, электродвигателем), частично или полностью автоматизированную. Оснастка и технологические модули встраиваются в гибкое производство и предназначены для выполнения нескольких операций.

Для крупносерийного производства характерно использование сложной многооперационной, многоместной, как правило, стационарной оснастки, работающей в автоматизированном режиме.

3.2. Сборка и монтаж модулей первого уровня

Основным конструктивным элементом, образующим модули первого уровня (ТЭЗы, модули, ячейки), является односторонняя, двусторонняя или многослойная печатная плата, по одну или обе стороны которой размещены МС, ЭРЭ, элементы коммутации и пр. Число МС и ЭРЭ, устанавливаемых на плату, может достигать десятков и сотен штук. В зависимости от вида внешних выводов МС и ЭРЭ различают виды их монтажа на поверхность печатной платы: штыревой, планарный и поверхностный (рис. 3.1).

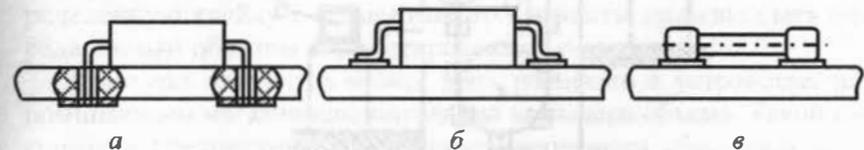


Рис. 3.1. Виды монтажа МС и ЭРЭ:

а – штыревой; б – планарный; в – поверхностный

Установка МС и ЭРЭ на печатную плату может быть ручной, механизированной, полуавтоматической и автоматической.

Однако вне зависимости от способа монтажа необходимо выполнять следующие операции: комплектация элементов, установка на плату, подготовка элементов к монтажу, установка элементов на плату и их фиксация, пайка, защита и контроль готового модуля.

Комплектация устанавливаемых на печатную плату элементов. Количество различных элементов по их номиналам и типоразмерам определяют на основе спецификации, исходя из объема выпуска в течение определенного периода. Закупаемые МС и ЭРЭ размещают на центральном заводском складе, откуда по заявкам они поступают на цеховой склад или участок комплектации и далее на рабочие места. Комплект элементов на рабочем месте должен обеспечивать односменную или двухсменную работу монтажников. Предприятие может иметь автоматизированные склады, оснащенные программируемыми устройствами по размещению на стеллажах элементов, их поиску и комплектованию для различных сборочных цехов. Современный сборочно-монтажный цех имеет, как правило, программируемый магазин-склад с накопителем / элеваторного типа (рис. 3.2), в котором компоненты 2 по программе и в необходимом количестве размещаются в ячейках. Количество ячеек на одной полке 3 может достигать десяти. Полки закрепляются в виде люльки на цепном конвейере 4.

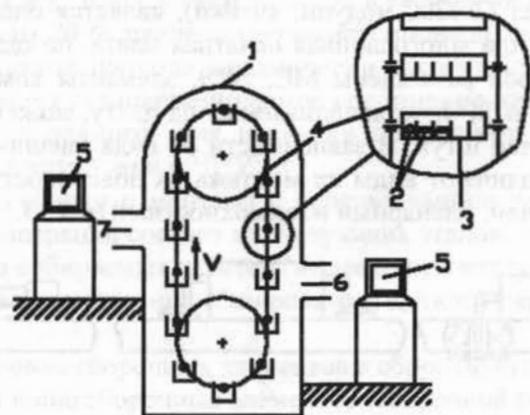


Рис. 3.2. Программируемый магазин-накопитель элеваторного типа:

1 - накопитель; 2 - компоненты; 3 - полки; 4 - конвейер; 5 - устройство управления; 6 - окно загрузки; 7 - окно выгрузки

Управление загрузкой накопителя и выгрузкой необходимых компонентов осуществляется по программе от устройства управления. Если сборочный цех получил задание на сборку различных печатных узлов, то склад-накопитель, имеющий до 1000 ячеек, заполняют по программе различными элементами, необходимыми для выпуска этих печатных узлов. Каждая ячейка имеет свой номер (код), и в нее загружается определенный элемент в необходимом для выпуска узлов количестве.

При поступлении на сборку конкретного печатного узла на устройстве управления набирают код платы, которая в данный момент будет монтироваться и для которой по программе будет произведена комплектация необходимых элементов. Накопитель имеет окно для загрузки элементов и окно для выгрузки при комплектации. Окна при необходимости располагают на разных уровнях (этажах) предприятия, однако можно использовать и одно окно для загрузки и выгрузки элементов.

При выгрузке полка останавливается перед окном и над ячейкой (ячейками), из которой следует забрать элемент (элементы), загорается сигнальная лампа. Конвейер, последовательно перемещаясь и останавливаясь по программе, дает возможность упорядоченно подобрать комплект элементов на собираемую плату. Размещение и оформление комплекта в зависимости от типа производства осуществляется по-разному.

Комплект элементов 3, размещаемых в ячейках 2 тары 1 матричного типа, представлен на рис. 3.3. Такая тара обеспечивает удобство нахождения конкретного элемента при установке его на плату как рабочим-монтажником, так и манипулятором при автоматизированной сборке. Если тару устанавливают на программируемый стол, который перемещает тару по плоскости по двум координатам и подводит под захват манипулятора определенную ячейку с элементом, то элементы должны быть определенным образом сориентированы в ячейке тары.

Комплект элементов может быть размещен в устройстве, напоминающем магазин-накопитель, но меньшего объема. Такой накопитель предназначен для автоматизированных сборочных монтажных устройств и программно с ними совместим.

Для рабочих мест монтажников применяют различные варианты комплектовщиков (рис. 3.4) в виде различных конвейеров 1 с ячейками 2 для размещения элементов (рис. 3.4, а) или в виде многоярусных устройств карусельного типа 3 (рис. 3.4, б).

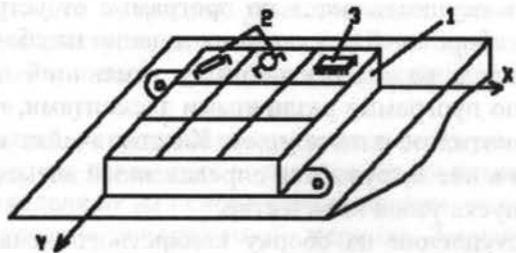


Рис. 3.3. Тара матричного типа:
1 – тара; 2 – ячейки; 3 – комплект элементов

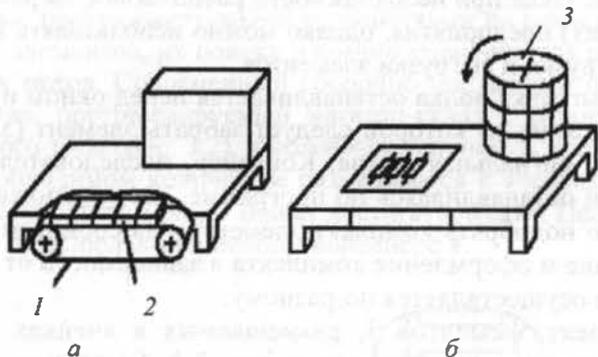


Рис. 3.4. Комплектовщики для столов монтажника:

a – конвейерного типа; *б* – карусельного типа; 1 – конвейер; 2 – ячейки; 3 – устройство карусельного типа

Для сборочных автоматов комплектацию элементов осуществляют установкой их в ленту или в кассеты с определенным шагом (рис. 3.5).

В таком упорядоченном виде элементы в лентах наматывают на бобины и хранят в таком виде или поставляют заказчику. Возможен вариант размещения элементов в ленты в порядке их установки на печатную плату, в этом случае при монтаже потребуется одна лента. В противном случае необходимо иметь столько лент (кассет), сколько типоразмеров элементов будет установлено на плату. Размещение МС и ЭРЭ в ленты и кассеты упрощает хранение, транспортировку и заправку их в сборочные и заготовительные устройства.

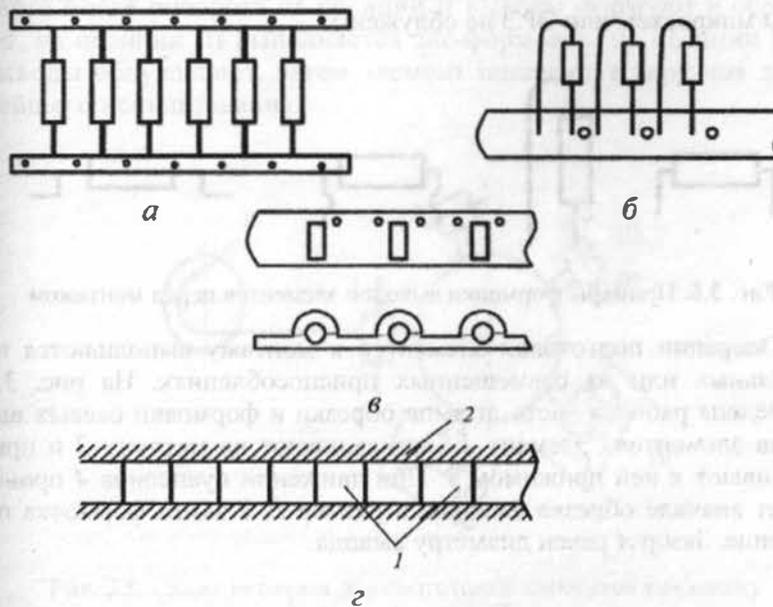


Рис. 3.5. Размещение ЭРЭ:

a, б – с осевыми выводами в ленте; *в* – элементы для поверхностного монтажа в ленте; *г* – корпусные 1 (в кассете 2)

Для штучных ЭРЭ применяют загрузочные вибробункеры, которые обеспечивают упорядоченную подачу элементов к сборочным автоматам или к устройствам предварительной подготовки их к монтажу. В чашу вибробункера засыпаются ЭРЭ в произвольном виде. В результате виброкрутильных колебаний чаши определенной частоты и амплитуды ЭРЭ движутся по винтовой дорожке в упорядоченном виде и поступают в подающий лоток механизма формовки и обрезки выводов, затем их размещают в ленту, кассету. Вибробункеры широко используются для ориентированной поштучной подачи дискретных элементов в станки-автоматы и автоматические линии.

Подготовка элементов к монтажу. Подготовка элементов к монтажу включает в себя рихтовку, формовку, обрезку и лужение выводов. Рихтовка – исправление (выравнивание) формы выводов; применяется в основном для осевых выводов. Формовка – придание определенной формы выводам (рис. 3.6). Обрезка – удаление

излишков выводов. Лужение выполняется в том случае, если выходы микросхем или ЭРЭ не облужены.

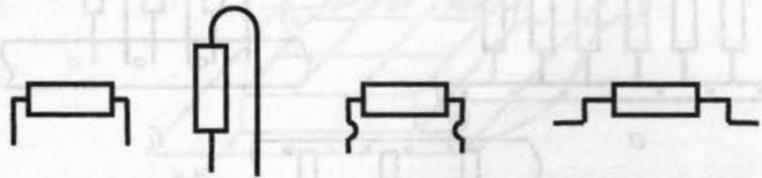


Рис. 3.6. Примеры формовки выводов элементов перед монтажом

Операции подготовки элементов к монтажу выполняются на отдельных или на совмещенных приспособлениях. На рис. 3.7 приведена рабочая часть штампа обрезки и формовки осевых выводов элементов. Элемент 1 устанавливают на матрицу 2 и прижимают к ней прижимом 3. При движении пуансонов 4 происходит вначале обрезка выводов в размер L , а затем формовка по матрице. Зазор A равен диаметру вывода.

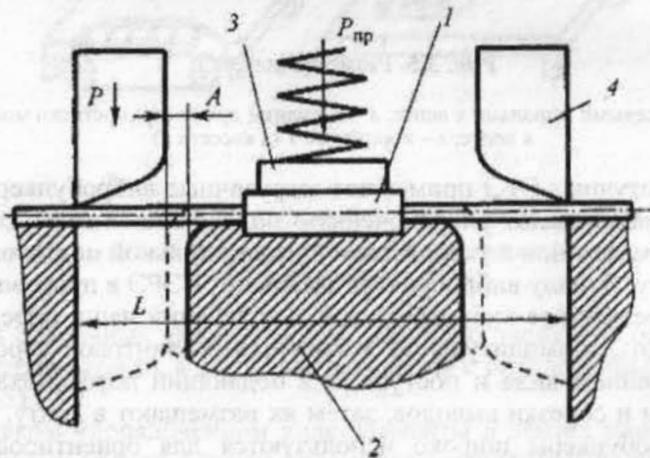


Рис. 3.7. Схема обрезки и П-образной формовки осевых выводов в штампе:
1 — элемент; 2 — матрица; 3 — прижим; 4 — пуансоны

На рис. 3.8 приведена схема автомата для подготовки элементов к монтажу. Элементы загружаются в вибробункер (или в кассету) и поштучно поступают к многопозиционной установке

карусельного типа. В позиции I происходит загрузка элемента, далее после поворота на позиции II выходы формуют и обрезают, на позиции III выполняется зиг-формовка, на позиции IV — выходы облуживают, затем элемент попадает в тару для дальнейшего использования.

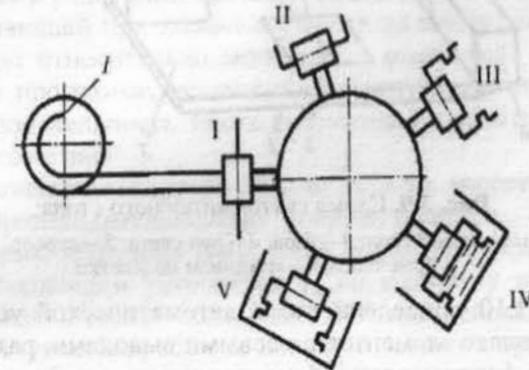


Рис. 3.8. Схема автомата для подготовки элементов к монтажу

Установка элементов на печатную плату и их фиксация. В опытном производстве и при ремонте ЭВМ установку элементов и пайку, как правило, выполняют на одном рабочем месте. При серийном производстве установку, или, как говорят на производстве, набивку элементов выполняют отдельно перед групповой пайкой.

При неплотном монтаже и небольшой партии печатных узлов установку ЭРЭ можно осуществлять вручную по монтажному чертежу. Во всех других случаях используют средства автоматизации и механизации. Примером такого полуавтоматизированного метода установки элементов может служить светомонтажный стол, схема которого приведена на рис. 3.9. Печатную плату 1 устанавливают на монтажный стол 2, на котором размещают комплект ЭРЭ в ячейках тары 3. Место установки ЭРЭ на плате обозначено лучом света 4, который перемещается по плате по программе от устройства управления 6 механизмом подсветки 7 и, останавливаясь, указывает место 5 установки элемента. При этом загорается лампочка подсветки ячейки, из которой следует взять и установить элемент на плату.

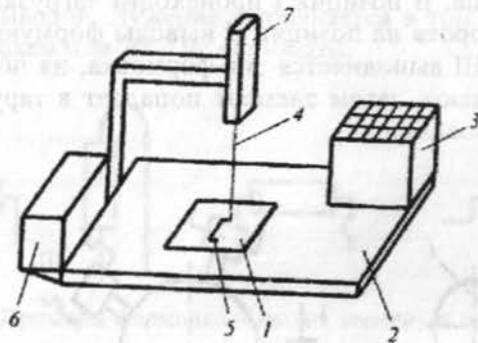


Рис. 3.9. Схема светомонтажного стола:

1 – плата; 2 – монтажный стол; 3 – тара; 4 – луч света; 5 – курсор; 6 – устройство управления; 7 – механизм подсветки

На рис. 3.10 приведена схема автоматической установки для монтажа на плате элементов с осевыми выводами, размещенных в ленте. Плата 1 установлена на монтажном столе 2 в определенном положении, чтобы фиксировать нулевую отметку для собираемых плат. С бобины 3 лента 4 с элементами 5 по направляющим поступает в рабочую зону, где располагается рабочая головка 6.

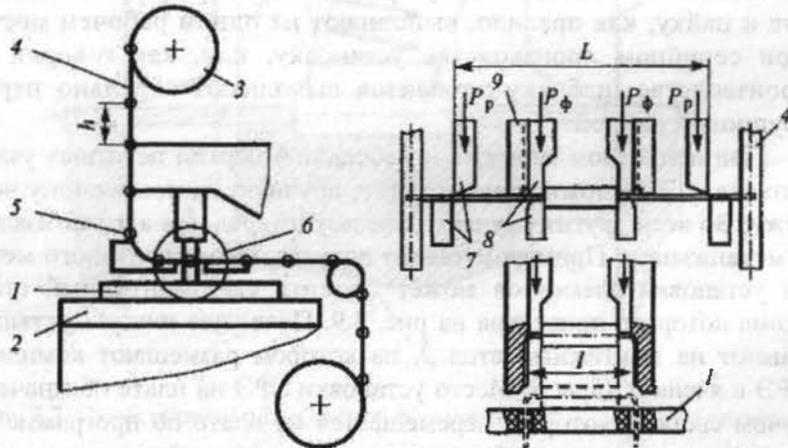


Рис. 3.10. Схема установки для автоматизированного монтажа элементов с осевыми выводами:

1 – плата; 2 – монтажный стол; 3 – бобина; 4 – лента; 5 – элементы; 6 – рабочая головка; 7 – механизм вырезания ЭРЭ из ленты; 8 – опорная матрица; 9 – пуансон

В рабочей головке имеется механизм вырезания ЭРЭ 7 из ленты 4 в размер L , механизм удержания ЭРЭ 8 от выпадения после резки, который после формовки выводов в размер l подает и устанавливает элемент на плату. Формовку осуществляют при движении пуансона 9 вниз относительно опорной матрицы 8. Выводы удерживаются в радиусных канавках пуансонов. Эта канавка является направляющей при подаче элемента на плату, строго ориентируя выводы относительно монтажных отверстий. Плата перемещается по программе, устанавливая следующие отверстия под ЭРЭ. Производительность таких автоматов (полуавтоматов) до – 2000 элементов в час.

Автоматическая установка МС и ЭРЭ из кассет на плату с большой производительностью осуществляется на станке-автомате фирмы «Amistar» (рис. 3.11). Кассеты 1 установлены на наклонном подающем устройстве 2, по которому выпавший из кассеты элемент 3 (микросхема или ЭРЭ) под действием собственного веса поступает на рабочую позицию 4, где он ориентируется, захватывается установочной головкой 5 и подается на подведенное по программе место на печатной плате 6. Все действия автомата заданы программой управляющего компьютера 7.

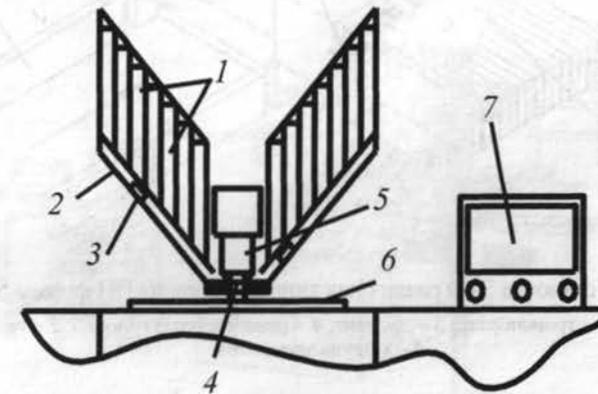


Рис. 3.11. Схема станка-автомата «Amistar» для монтажа МС и ЭРЭ на печатную плату из кассет:

1 – кассеты; 2 – наклонное подающее устройство; 3 – элементы; 4 – рабочая позиция; 5 – установочная головка; 6 – печатная плата; 7 – управляющий компьютер

Для монтажа печатных плат широко используют автоматические поточные линии, состоящие из нескольких установочных го-

ловок с элементами в бобиных. По мере продвижения печатной платы от одной головки к другой на нее устанавливаются последовательно все необходимые ЭРЭ.

На рис. 3.12 показан принцип установки ЭРЭ различных типоразмеров на печатные платы фирмы Siemens. Плата 1 перемещается по транспортеру 2 от позиции к позиции (показана позиция установки различных ЭРЭ в автоматическом режиме по программе).

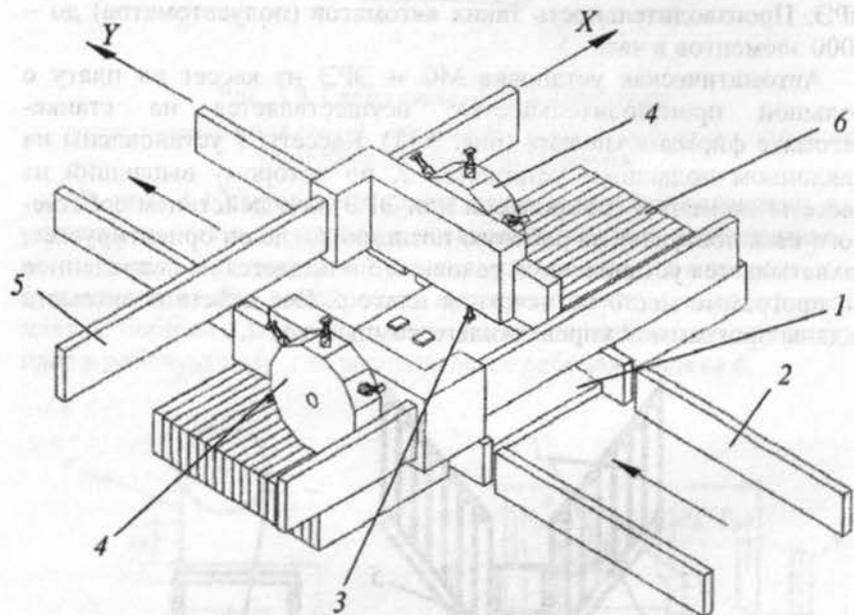


Рис. 3.12. Установка ЭРЭ различных типоразмеров на ПП фирмы Siemens:
1 – плата; 2 – транспортер; 3 – элемент; 4 – револьверные головки; 5 – траверсы;
6 – модуль элементов

Плата на период установки элемента 3 неподвижна. Захват ЭРЭ и их установка производится двумя рабочими револьверными головками 4, которые могут перемещаться по координатам X и Y по траверсам 5 и 6. Револьверные головки имеют по шесть пневмозахватов, каждый предназначен под определенный типоразмер ЭРЭ 3. Пневмозахват может перемещаться в вертикальном направлении для захвата и установки ЭРЭ. Револьверная головка поворачивается при захвате и установке определенного

ЭРЭ. Левая револьверная головка набирает ЭРЭ с левого стационарного модуля элементов, правая – с правого 6. Такая компоновка автомата позволяет уменьшить время перемещения головки для захвата каждого элемента. Револьверная головка, переместившись к модулю подачи ЭРЭ, захватывает шесть элементов, затем перемещается на позицию установки, и, пока идет установка этих элементов на плату, другая головка захватывает шесть элементов на модуле подачи ЭРЭ.

ЭРЭ устанавливают на автоматах в кассетах и/или лентах. Автомат может иметь разные компоновки, например иметь одну головку револьверную, другую – одиночную (под один типоразмер ЭРЭ). Производительность таких автоматов – от 17 000 до 25 000 компонентов в час.

Автоматы для монтажа печатных узлов имеют различную компоновку, но у всех имеется магазин-накопитель для размещения печатных плат, магазины-накопители устанавливаемых (набиваемых) на плату элементов, систему программного управления процессом монтажа. На рис. 3.13 приведен общий вид станка-автомата фирмы Fuji (Япония) для установки на печатные платы элементов с осевыми (штыревыми) выводами.

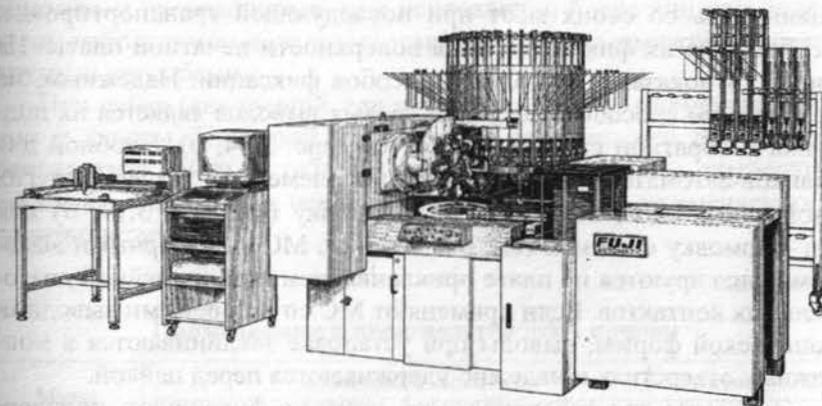


Рис. 3.13. Общий вид станка-автомата фирмы Fuji для установки на плату элементов с осевыми выводами

Автомат имеет поворотную планшайбу, на которой смонтировано восемь рабочих головок, они поочередно осуществляют захват подготовленного элемента и устанавливают его на подве-

денное по программе место на печатной плате. Печатные платы размещены в магазине-накопителе горизонтально по 25 штук, откуда они подаются на рабочий стол автомата и базируются на два штифта и опорные поверхности. Рабочий стол по программе перемещается по двум координатам и имеет угловой поворот. Бобины и пеналы-кассеты с лентами элементов установлены в сменные накопители. Каждый накопитель предназначен под определенный типоразмер элемента и определенный вид формовки. Лента заправлена в подающее и формующее устройство в накопителе, который установлен на поворотную карусель. Количество накопителей определяется количеством типоразмеров элементов, устанавливаемых на плату. При работе автомата обеспечивается определенная последовательность поиска необходимого элемента (накопителя), шаговая подача ленты, извлечение элемента из ленты, формовка его выводов и передача элемента на перегрузочный механизм, откуда он будет захвачен рабочей головкой и установлен на плату. При повороте карусели происходит подготовка следующего элемента, к которому подойдет следующая рабочая головка. Вся работа станка-автомата обеспечивается устройством управления.

Чтобы установленные на плату МС и ЭРЭ не выпали или не сдвинулись со своих мест при последующей транспортировке, необходимо их фиксировать на поверхности печатной платы. На рис. 3.14 показаны несколько способов фиксации. Надежным, но трудоемким способом фиксации осевых выводов является их подгибка с обратной стороны платы (см. рис. 3.14, а). Удобной для станков-автоматов является фиксация элементов за счет упругих свойств выводов, имеющих зиг-формовку (см. рис. 3.14, б) или зиг-формовку с замком (см. рис. 3.14, в). МС с планарными выводами фиксируются на плате приклеиванием или припайкой диагональных контактов. Если применяют МС со штыревыми выводами конической формы, выводы при установке заклиниваются в монтажных отверстиях и надежно удерживаются перед пайкой.

Элементы для поверхностного монтажа фиксируют, приклеивая на предварительно нанесенную паяльную пасту, на которой элементы устанавливаются и удерживаются.

Пайка элементов на плате. В зависимости от способа производства и объема выпуска ЭА пайку элементов осуществляют вручную паяльником, групповыми и автоматизированными методами.

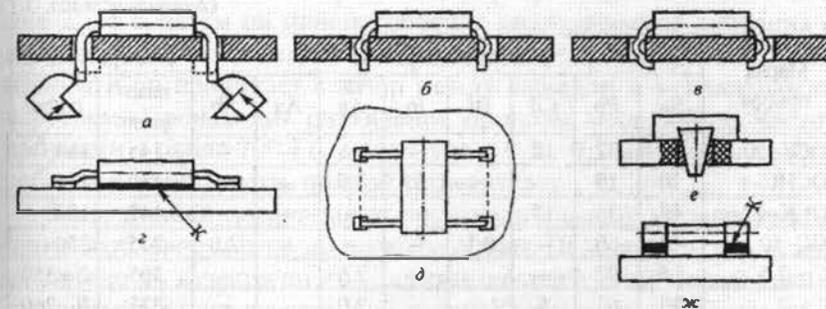


Рис. 3.14. Способы фиксации элементов на печатной плате:

а – подгибкой; б – зиг-формовкой; в – зиг-формовкой с замком; з – приклеиванием; д – припайкой диагональных выводов; е – коническим выводом; ж – паяльной пастой

Ручную пайку выполняют паяльником на монтажном столе, снабженным системой локального удаления газов. Требования к паяльникам следующие: наличие терморегулирования, дозированная подача припоя в зону пайки нажатием кнопки (рычага), отсос газов из зоны пайки. Оператор должен иметь браслет для снятия электростатического поля. Паяльник используют при опытно-ремонтном производстве, при исправлении брака или при постановке небольшого числа элементов, которые невозможно припаять другими способами.

При пайке (как ручной, так и автоматической) применяют припой и флюсы. Критерий их выбора – максимально допустимая температура пайки. В табл. 3.1 представлены составы, температуры плавления и пайки некоторых марок припоев, применяемых в производстве ЭА.

Таблица 3.1

Применяемые в производстве ЭВМ припой

Марка припоя	Химический состав								Температура, °С	
	Sn	Pb	Cd	Bi	In	Ag	An	Sb	плав-ления	пайки
ПОС-61	59-61	39-40	–	0,1	–	–	–	0,8	183	До240
ПОС-61 + 3% Ag	57-59	36-38	–	–	–	3	–	0,1	190	До280
ПОС-61 + 3% An	57-59	36-38	–	–	–	–	3	0,1	190	До280

Марка припоя	Химический состав								Температура, °С	
	Sn	Pb	Cd	Bi	In	Ag	An	Sb	плав-ления	пайки
ПОСК-50	50	32	18	—	—	—	—	—	145	180
ПОСИС-1	30	19	—	—	50	1,0	—	—	130	170
ПОСК-47	47	36	17	—	—	—	—	—	142	180
ПОС-40	40	60	—	0,1	—	—	—	2,0	235	250
ПСр-2,5	5,5	92	—	—	—	2,5	—	—	305	До 350
ПСр-2	30	63	5	—	—	2,0	—	—	235	До 260
ПОСВ-33	33	34	—	33	—	—	—	—	130	170

При серийном производстве рекомендуется использовать более производительные способы пайки, когда все соединения подвергаются пайке одновременно. Примером такой пайки является погружение (рис. 3.15). Плату 1 с установленными элементами размещают в приспособление 2. Места, не подлежащие пайке, закрываются термостойкой эпоксидной маской 3, наносимой через сетчатый трафарет или путем приклеивания отштампованных пленочных масок. На места пайки наносят спирто-канифольевый флюс.

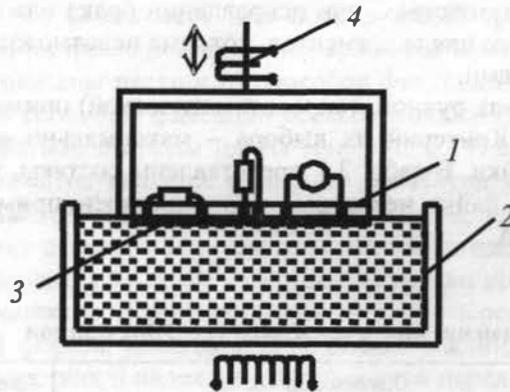


Рис. 3.15. Пайка погружением:

1 – плата; 2 – приспособление; 3 – термостойкая эпоксидная маска; 4 – вибратор

Перед погружением платы в ванну с расплавленным припоем с его поверхности следует удалить оксидную (шлаковую) пленку. Существуют механические, химические способы удаления пленки и очистки поверхности. Цикл пайки следующий: плату опускают

на поверхность припоя, происходит прогрев мест пайки – в течение 2...4 с, затем на приспособление накладывается вибрация от вибратора 4 в течение 3...5 с. При этом улучшается растекаемость припоя и он проникает в зазор между выводом и монтажным отверстием. Происходит оплавление припоем мест пайки. Частота вибрации – около 100 Гц, амплитуда – 0,1...0,3 мм. Когда приспособление поднимается, припой затвердевает.

Метод пайки погружением производительный: устанавливать в приспособление можно по несколько плат. Недостатком его является сложность качественного удаления пленки с поверхности припоя, что приводит к некачественной пайке. Кроме того, возможен и термоудар, несмотря на защитную маску. Существуют другие варианты пайки погружением: применение керамической маски, пайка в нейтральной среде и т. д., где сделаны попытки устранить присущие пайке погружением недостатки.

Широкое распространение нашел групповой метод пайки, называемый *пайка волной припоя*. На рис. 3.16 приведена схема пайки обычной волной припоя, которая образуется различными способами: электромагнитным, механическим, гидродинамическим. В показанной на рис. 3.16 установке волна припоя 8 образуется вращением крыльчатки 1, которая нагнетает расплавленный припой через отверстие 2 из глубины ванны и гонит его под давлением через сопло патрубка 4, образуя волну.

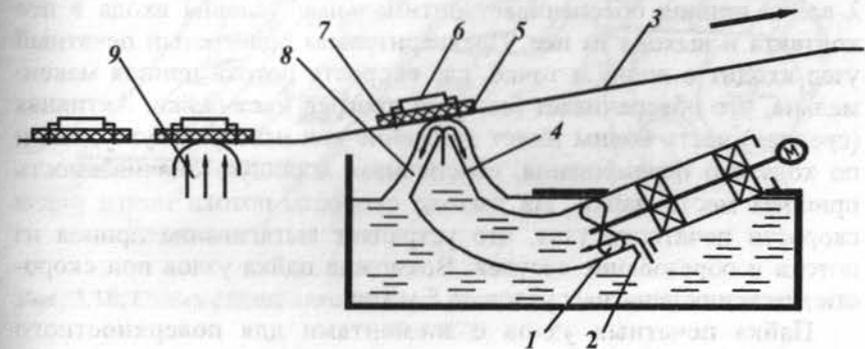


Рис. 3.16. Пайка волной припоя:

1 – крыльчатка; 2 – отверстие; 3 – транспортер; 4 – сопло патрубка; 5 – защитная маска; 6 – элемент; 7 – печатная плата; 8 – волна припоя; 9 – пена спирто-канифольевого флюса

Печатные платы с установленными на них элементами *б* проходят последовательно над волной припоя, при этом обеспечивается пайка выводов к контактным площадкам. Скорость перемещения платы должна быть такой, чтобы от соприкосновения соединения с волной и выхода из нее обеспечивалась качественная пайка; чтобы припой хорошо растекался в зазор между выводом и монтажным отверстием и не образовывались наплывы и сосульки на поверхности пайки. Платы устанавливаются и крепятся в специальные рамки, которые перемещаются с помощью транспортера *7*. Места, не подлежащие пайке, закрываются защитной маской *8*.

Наклон движения плат устраняет выброс припоя на обратную сторону через зазоры в монтажных отверстиях и уменьшает вероятность образования припойных сосулек. Перед пайкой поверхность плат обрабатывается пеной спирто-канифольного флюса *9*. После пайки остатки флюса удаляются органическим растворителем и вращающимися щетками. После очистки производится сушка плат. Чтобы устранить окисление припоя и поверхности пайки, пайка производится в нейтральной среде (аргон, азот).

Рабочая часть патрубков *4* выполняется сменной, в виде различных сопловых насадок, обеспечивающих различную форму волны и скорость истечения припоя. На рис. 3.17 показана насадка, обеспечивающая так называемую λ -волну припоя, с помощью которой получают бездефектную пайку плат с повышенной плотностью монтажа без образования сосулек, мостиков и натеков припоя; λ -волна припоя обеспечивает оптимальные условия входа в нее контакта и выхода из нее. Предварительно подогретый печатный узел входит в волну в точке, где скорость потока припоя максимальна, что обеспечивает быстрый прогрев мест пайки. Активная (средняя) часть волны имеет движение как навстречу узлу, так и по ходу его перемещения, обеспечивая хорошую смачиваемость припоем места пайки. На выходе скорость потока почти равна скорости печатного узла, что устраняет вытягивание припоя из потока и образование сосулек. Возможна пайка узлов при скорости движения печатных узлов до 5 м/мин.

Пайка печатных узлов с элементами для поверхностного монтажа (рис. 3.18) осуществляется с использованием припойных (паяльных) паст. Паста продавливается ракелем через трафарет на контактные площадки платы. Элементы по программе устанавливаются на пасту, которая их фиксирует и удерживает от смещения.

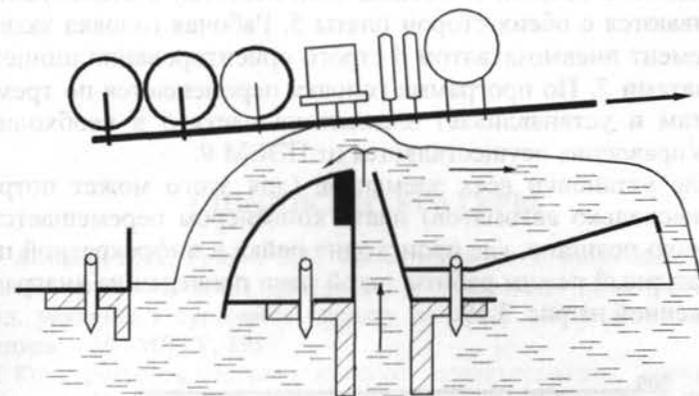


Рис. 3.17. Схема пайки λ -волной припоя

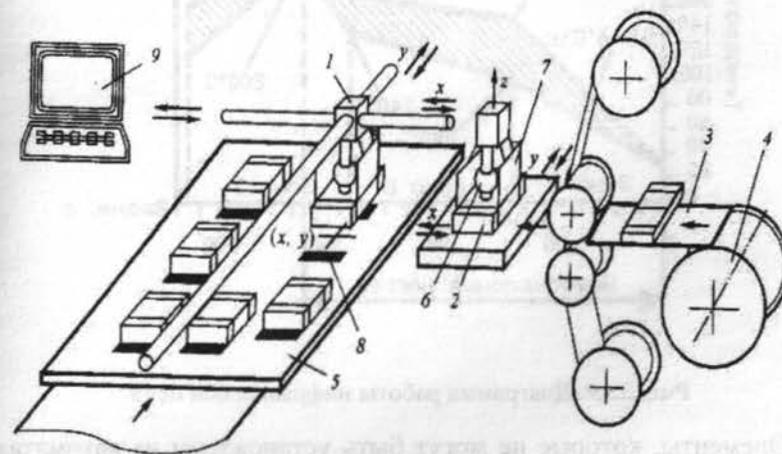


Рис. 3.18. Схема станка-автомата для поверхностного монтажа элементов на плату:

1 – рабочая головка; 2 – элемент; 3 – лента; 4 – бобина; 5 – плата; 6 – пневмозахват; 7 – пинцетный захват; 8 – паста; 9 – ПЭВМ

В приведенной на рис. 3.18 схеме станка-автомата установка элементов поверхностного монтажа осуществляется рабочей головкой *1*, которая захватывает элемент *2*, освобожденный из ленты *3*,

смазываемой с бобины 4. Бобины (или кассеты) с элементами устанавливаются с обеих сторон платы 5. Рабочая головка захватывает элемент пневмозахватом 6 строго ориентированно пинцетными захватами 7. По программе головка перемещается по трем координатам и устанавливает элемент на пасту 8 в необходимом месте. Управление осуществляется от ПЭВМ 9.

После установки всех элементов (для этого может потребоваться несколько автоматов) плата конвейером перемещается на последнюю позицию, где происходит пайка в инфракрасной печи. Температурный режим работы такой печи приведен на диаграмме, изображенной на рис. 3.19.

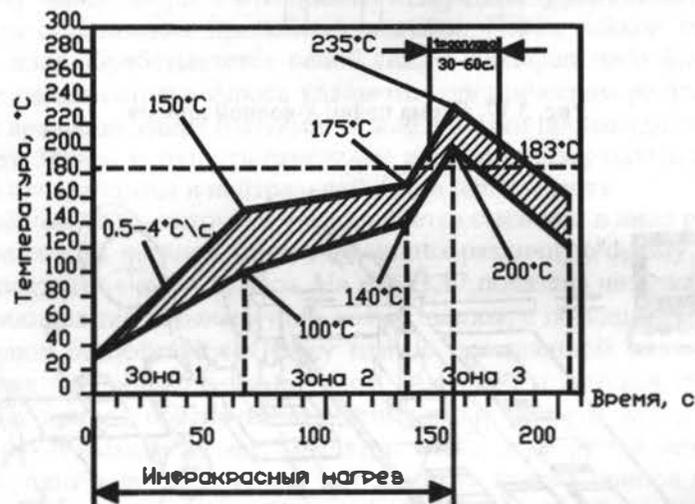


Рис. 3.19. Диаграмма работы инфракрасной печи

Элементы, которые не могут быть установлены на автоматах, устанавливают вручную с использованием светомонтажных столов. По завершении монтажных работ печатный узел проходит тестовую проверку на функционирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибин К.И., Гринев В.Н. Проектирование маршрутных и операционных технологических процессов в технологии приборостроения: Метод. указания к курсовому проекту по курсу «Технология приборостроения». – М.: МВТУ, 1987.

2. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учеб. для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. – 2-е изд., доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. (Сер. Информатика в техническом университете).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основы проектирования технологических процессов	4
1.1. Основные понятия	4
1.2. Виды технологических процессов	7
1.3. Исходные данные для проектирования технологических процессов	8
1.4. Основные принципы проектирования технологических процессов	8
2. Этапы проектирования технологических процессов электронной аппаратуры	29
2.1. Анализ и расчет технологичности электронного узла	31
2.2. Выбор технологического процесса сборки и монтажа электронного узла	34
2.3. Анализ объема выпуска изделия	37
2.4. Разработка схемы сборки	37
2.5. Разработка маршрутного технологического процесса сборки	40
2.6. Разработка операционного технологического процесса сборки	43
2.7. Разработка технического задания на проектирование специальной технологической оснастки	53
3. Сборка и монтаж электронной аппаратуры	53
3.1. Сборочно-монтажные операции	53
3.2. Сборка и монтаж модулей первого уровня	57
Список литературы	75

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основы проектирования технологических процессов	4
1.1. Основные понятия	4
1.2. Виды технологических процессов	7
1.3. Исходные данные для проектирования технологических процессов	8
1.4. Основные принципы проектирования технологических процессов	8
2. Этапы проектирования технологических процессов электронной аппаратуры	29
2.1. Анализ и расчет технологичности электронного узла	31
2.2. Выбор технологического процесса сборки и монтажа электронного узла	34
2.3. Анализ объема выпуска изделия	37
2.4. Разработка схемы сборки	37
2.5. Разработка маршрутного технологического процесса сборки	40
2.6. Разработка операционного технологического процесса сборки	43
2.7. Разработка технического задания на проектирование специальной технологической оснастки	53
3. Сборка и монтаж электронной аппаратуры	53
3.1. Сборочно-монтажные операции	53
3.2. Сборка и монтаж модулей первого уровня	57
Список литературы	75



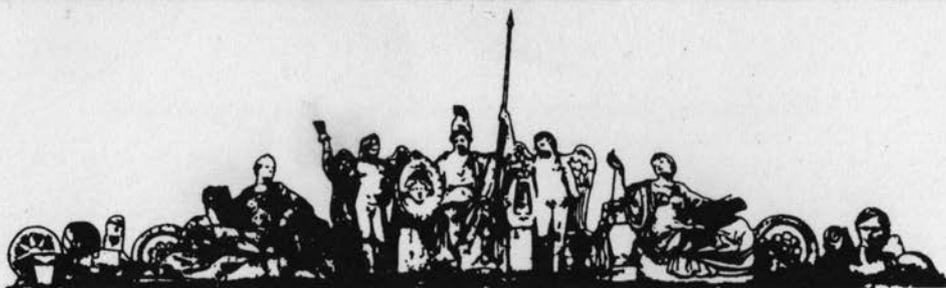
Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Учебное пособие

К.И. Билибин, В.А. Соловьев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ**

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана



Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Учебное пособие

К.И. Билибин, В.А. Соловьев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ**

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана