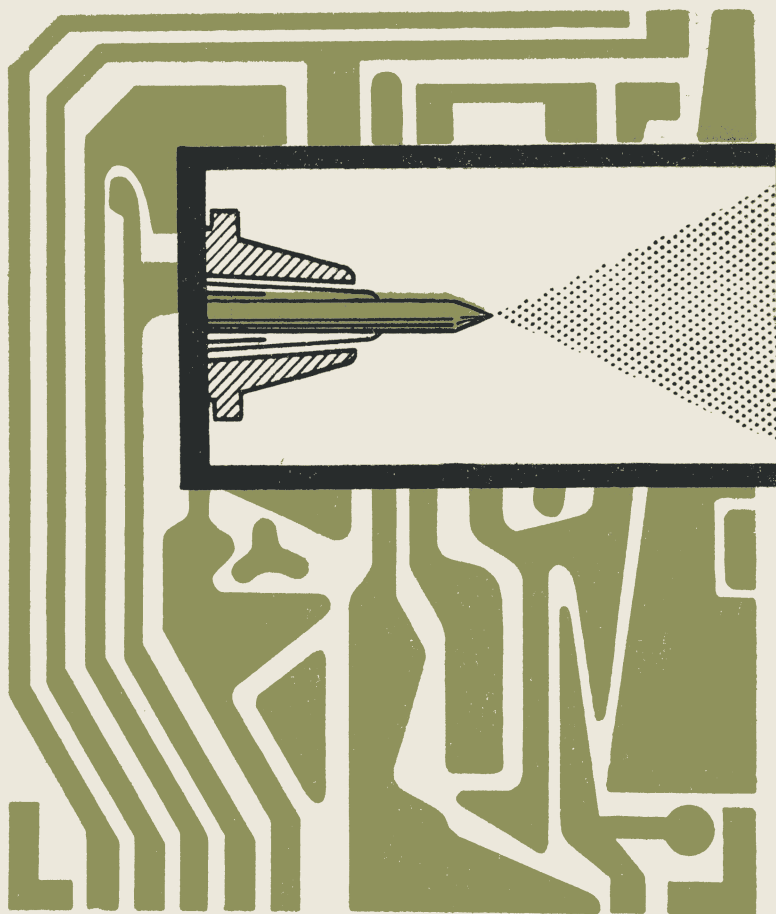


24



IV серия Техника 1965



**А.Н. ГАВРИЛОВ**

# ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

**Доктор технических наук  
А. Н. ГАВРИЛОВ**

# **ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ**

**Издательство  
«Знание»  
Москва  
1 9 6 5**

## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Технологические основы конструирования приборов и средств автоматики . . . . .	3
Надежность и точность производства . . . . .	7
Новые материалы и новые технологические процессы	17
Новые принципы проектирования процессов производства . . . . .	29
Технологические пути повышения производительности труда . . . . .	37
Проблемы дальнейшей автоматизации приборостроительного производства . . . . .	39
Приложение . . . . .	47

### **Анатолий Николаевич Гаврилов**

Редактор А. А. Красновский  
Художественный редактор Е. Е. Соколов  
Технический редактор Л. А. Дороднова  
Корректор Р. С. Колокольчикова  
Обложка Л. И. Конвиссера

---

Сдано в набор 14/X 1965 г. Подписано к печати 25/XI 1965 г.  
Изд. № 120. Формат бум. 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0.  
Уч.-изд. л. 2,64. А 01590. Цена 9 коп. Тираж. 45 900 экз.  
Заказ 3549.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

---

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4

**П**ревращение промышленности СССР в самую передовую и самую мощную промышленность мира требует опережающего развития производства приборов и средств автоматики. Успешное решение этой задачи возможно лишь при всемерном использовании резервов науки и техники, в частности при постоянном повышении качества приборов и средств автоматики, их надежности, точности, долговечности. Особая роль в этом большом деле отводится постоянному совершенствованию технологии производства приборов и средств автоматики.

В этой брошюре мы остановимся на основных вопросах, касающихся современного уровня и научно-технических проблем технологии производства приборов и средств автоматики.

### **Технологические основы конструирования приборов и средств автоматики**

**Т**ехнологические основы конструирования охватывают широкий круг конструкторско-технологических вопросов: в него входят проблемы конструктивной и технологической преемственности, технологических предпосылок конструирования, выбора оптимальных материалов и заготовок, а также проблемы выбора тех или иных процессов обработки и сборки, наилучших для данных условий.

Конечная цель решения всех этих вопросов — создание технологичных конструкций, т. е. таких, которые, полностью отвечая предъявляемым к изделию требованиям, могут быть изготовлены наиболее экономично.

Высокая степень технологичности изделий достигается в тех случаях, когда эта задача решается последовательно на всех стадиях создания новых приборов и средств автоматики.

Основные направления в решении задачи — это кинематический анализ с целью уменьшения многозвенности, протяженности цепей и выбора оптимальных (по сложности) элементов, включаемых в цепи (системы); конструктивный анализ не только по элементам и деталям, но и по изделию в целом; технологический анализ, имеющий целью внедрение прогрессивных, высокопроизводительных технологических процессов; организационно-технические мероприятия, обеспечивающие широкое использование унифицированных, нормализованных и стандартных деталей и элементов.

Таким образом, вопросы обеспечения технологичности должны решаться с момента выбора принципиальной схемы. Далее, при эскизном и техническом проектировании выбирают конфигурацию приборов и средств автоматики, габариты отдельных элементов, заготовки; при создании конструкции приборов обосновывается выбор материалов, определяется применение унифицированных и преемственных деталей; на стадии выпуска рабочих чертежей решаются вопросы выбора баз, простановки размеров, выбора допусков и т. п. При выпуске сборочных чертежей осуществляют оптимальное расчленение изделия на узлы, чтобы обеспечить проектирование рациональных процессов сборки.

Многообразие путей повышения технологичности и эффективности от их осуществления можно проиллюстрировать несколькими примерами.

**Элементарные задачи, ежедневно решаемые заводскими инженерами:** проектирование для деталей унифицированных размеров элементов (отверстий, пазов, выступов, радиусов, сопряжений и т. п.); выбор заготовок, снижающих вес деталей и трудоемкость обработки (иллюстрацией к последнему может служить изменение заготовки для изготовления крышки, например, когда ее получают не фрезерованием и сверлением, а штамповкой из листа).

**Введение в конструкции изделий унифицированных или преемственных деталей вместо специальных.** В условиях приборостроения это дает экономию лишь на одной детали средней сложности в 400—500 трудо-часов, связанных с технологической подготовкой (разработкой технологической документации, изготовлением оснастки и т. п.).

**Блочно-модульный принцип построения приборов и средств автоматики.** Применение этого принципа в датчиках тепло-энергетических систем позволяет из деталей 513 наименований собрать приборы 891 типоразмера, тогда как без внедрения этого принципа требуются детали 18 000 наименований. Пример осуществления этого принципа — создание УСЭППА (универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики). Авторы УСЭППА, ученые Института автоматики и телемеханики АН СССР и инженеры завода «Тизприбор»,

удостоены в 1964 г. Ленинской премии. УСЭППА основана на применении печатных сборных схем в конструкциях приборов пневмогидроавтоматики (рис. 1).

Повышение технологичности конструкции прибора дости-

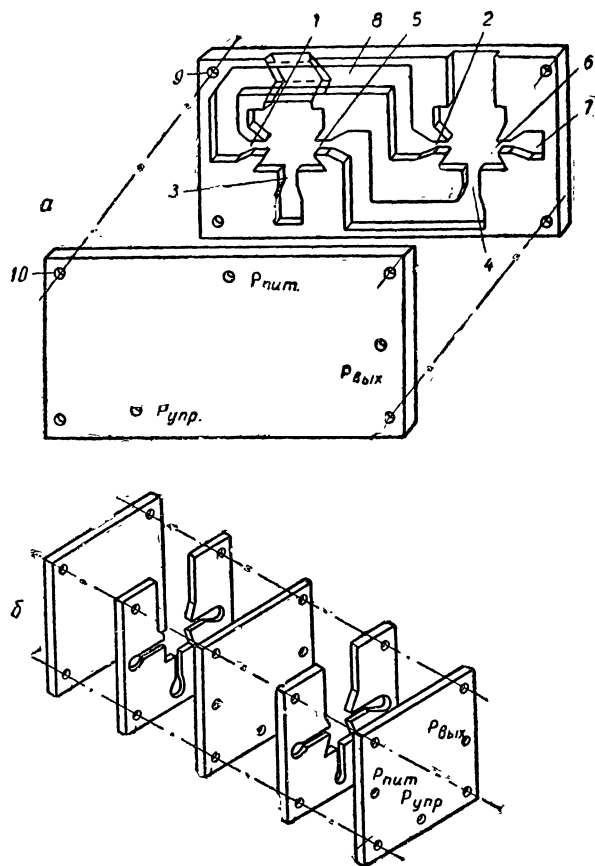


Рис. 1. Схемы, поясняющие методику изготовления приборов пневмогидроавтоматики способом печатных (сборных) схем: а — однослойная конструкция (с одной рабочей пластиной); б — многослойная конструкция; 1—8, 8 — каналы в пластине; 7 — камера; 9 — рабочая пластина; 10 — крышка.

гается в этом случае путем уменьшения количества деталей и звеньев. Чувствительные элементы, множительно-передаточные механизмы и т. п. заменяются одной или несколькими рабочими пластинами 9 и одной или двумя крышками 10. Роль

всех структурных элементов прибора играют каналы 1—6 и 8 и камера 7 в пластине, размеры, расположение и конфигурация которых определяют характеристики прибора. Изготовление пластин осуществляется посредством простых технологических приемов. Это изготовление отдельных элементов в виде «букв», собираемых наподобие типографских матриц, индивидуальная штамповка элементов с последующей прорезкой коммуникационных каналов, точное травление по контуру, полученному фотопечатью, и т. д. Изготовление элементов приборов по этому способу характеризуется также однотипностью технологических процессов для производства приборов различного вида и назначения, так как они отличаются только конфигурацией и расположением просечек, углублений и количеством пластин. Этот способ позволяет осуществить миниатюризацию приборов.

Блочно-модульный принцип положен в основу ГСПиСА (единой государственной системы приборов и средств автоматизации). Внедрение этой системы позволит повысить степень унификации деталей и элементов, применяемых в производстве приборов и средств автоматики, с 25 до 90% и, таким образом, организовать их массовое и крупносерийное изготовление в условиях специализированного производства.

Здесь приведены лишь отдельные примеры, иллюстрирующие пути повышения технологичности конструкции. Более детально основные направления и пути повышения технологичности конструкций приборов и средств автоматики представлены в специально разработанном классификаторе, где это рассмотрено для отдельно взятых деталей (см. приложение).

Весьма важный вопрос в общей проблеме технологических основ конструирования — оценка технологичности конструкции конкретных приборов и средств автоматики. В настоящее время вряд ли можно установить единый показатель технологичности, характеризующий всякую конструкцию, хотя в принципе такими универсальными показателями могли бы служить трудоемкость или себестоимость изделий. Однако уже имеется вполне реальная возможность установить систему тех или иных показателей, которые в известной мере могут быть объективными критериями для оценки качества конструкции изделия.

Различают абсолютные и относительные критерии технологичности конструкции. Первые используются в основном в том случае, когда производство изделия организуется впервые и его конструкцию нельзя сравнить с точки зрения технологичности с конструкцией другого аналогичного изделия. Вторые применяют, когда имеется несколько однотипных конструкций, которые необходимо сравнить с точки зрения технологичности.

Относительные критерии технологичности выражаются в

виде численных характеристик, оптимальных значений которых и следует добиваться.

Следует указать, например, на систему показателей, разработанную Б. М. Барановым применительно к приборостроению<sup>1</sup>. Здесь в основу системы показателей положено снижение трудоемкости изделий.

В более широком плане этим вопросам посвящена одна из работ Н. А. Бородачева. Предложенные им показатели, построенные на базе технико-экономического анализа качества конструкций, позволяют внести достаточную объективность в оценку технологичности изделий. К основным из них относятся показатели, характеризующие собой степень повторяемости деталей и изделий, нормализации, конструктивной преемственности, использования материалов, сборочной сложности, точности изготовления деталей и т. д.

Конечно, в этой методике представлены далеко не все показатели, характеризующие степень технологичности конструкций приборов и средств автоматики. В них, например, не нашли отражения показатели, характеризующие степень технологичности приборов и средств автоматики, в которых преобладают электрические элементы. Особенности отдельных отраслей приборостроения требуют специального уточнения и пополнения этих показателей.

### **Надежность и точность производства**

Одна из важнейших проблем развития отечественного приборостроения, его технического прогресса — повышение надежности. Это основной показатель качества приборов и средств автоматики.

Наряду с общенаучными, а также расчетно-конструкторскими решениями проблемы надежности большая роль должна отводиться технологическим путям. Мы коснемся здесь лишь некоторых технологических путей и возможностей решения этой проблемы.

Из требования надежности к изделию в целом вытекает требование надежности к отдельным элементам, что зависит от технологического процесса, его качества (надежности и стабильности). Широкие возможности обеспечения заданной надежности, например по качеству поверхностного слоя деталей, лежат в выборе оптимального варианта технологического процесса, а варианты эти весьма многочисленны. К ним относятся: самые разнообразные процессы механической обработки, в том числе прогрессивные, основанные на методах пластиче-

---

<sup>1</sup> Б. М. Баранов. Показатели технологичности конструкций изделий. Сб. «Снижение трудоемкости изделий в приборостроении», под ред. проф. А. Н. Гаврилова, вып. II, изд. НТО. Приборпром, 1958.

ского деформирования (для наружной обработки деталей — прокатывание, редуцирование, обжатие, накатывание, наклеп шариками, дробеструйная обработка и др.), химико-термическая обработка, различные способы термической обработки (закалка контактным электронагревом, ТВЧ, пламенная поверхностная закалка, электроэрозионная закалка и др.); поверхностное легирование, покрытие поверхности твердыми сплавами и металлами, а также керамические покрытия и др.

Большое значение в решении проблемы надежности изделий в целом имеет проектирование прогрессивных процессов сборки, основанных на выборе оптимальных соединений (операций сборки) и точностных технологических расчетах. Не меньшую роль играют операции испытаний, отработка технологичности конструкций изделий и на ее основе рациональное расчленение изделия на узлы, что позволяет на всех этапах сборки осуществлять контроль. Совершенствование же последнего (повышение точности средств измерения и их автоматизация) — важнейший путь решения проблемы надежности.

Эффективное использование технологических путей повышения надежности в значительной мере зависит также от постановки и проведения научных исследований, имеющих целью определить влияние технологических факторов на критерии надежности, установить закономерности этого влияния и математически описать их.

В связи с высокими требованиями к техническим параметрам и технико-эксплуатационным данным современных приборов и средств автоматики исключительно важное значение приобретает **проблема теории и расчета точности производства**. Ведь точность изделия — один из основных критериев надежности.

Состоянию вопроса и некоторым направлениям решения этой проблемы за последние годы посвящен ряд опубликованных работ<sup>1</sup>. На основании этих трудов о состоянии проблемы теории и расчета точности производства можно сказать следующее.

Обеспечение точности — комплексная проблема. Ее успешное решение возможно лишь тогда, когда вопросы точности и экономичности (особенно производительности) рассматриваются во взаимной связи. Причем разрешать эту проблему надо поэтапно: при выборе принципиальных схем и выполнении расчетно-конструкторских работ, при проектировании тех-

---

<sup>1</sup> Основные вопросы точности, взаимозаменяемости и технических измерений. Труды ИМАШ АН СССР, под ред. проф. А. Н. Гаврилова. М., Машгиз, 1958.

Вопросы теории точности производства в приборостроении, под ред. проф. А. Н. Гаврилова. М., Оборонгиз, 1959.

Точность, взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении, под ред. акад. В. И. Дикушина. М., изд-во «Наука», 1964.

нологии на всех стадиях производства, при проектировании и создании средств измерения и контроля. Каждый из этих этапов имеет самостоятельное значение, но только решение полного комплекса проблем точности производства означает оптимальное решение вопросов, связанных с анализом точности отдельных технологических процессов, анализом точности изготовления отдельных деталей, а также точности изготовления изделий в целом и даже целых автоматических систем.

Касаясь всего комплекса проблем точности производства, важно отметить ту особенность, что исследования, как правило, велись лишь по отдельным составляющим суммарную погрешность (процесса, детали, изделия) или ограничивались качественным анализом — вскрытием «механизма» образования погрешностей. Они не завершались синтезом составляющих суммарную погрешность. Не были созданы и руководящие технические материалы, необходимые для инженерных расчетов точности технологических процессов.

Современные приборы и средства автоматики — это сложные устройства, включающие в себя механические, электрические, магнитные и другие элементы. Между тем до самого последнего времени основное внимание уделялось разработке вопросов расчета точности геометрических параметров, причем для достаточно простых устройств. Еще не созданы необходимые методы исследования и научно обоснованные методики расчета точности особенно сложных по своей структуре схем (цепей) изделий в приборостроении по негеометрическим параметрам, т. е. параметрам, качество которых определяется физическими свойствами.

Характеризуя состояние в области точности производства, важно отметить, что имеющиеся теоретические работы, а также отдельные методики расчета точности технологических процессов посвящены в основном действующему производству, они недостаточно учитывают особенности и возможности автоматизированного производства.

Анализ состояния теории и расчета точности производства дает основание поставить ряд важнейших проблем в этой области. К основным проблемам в первую очередь можно отнести следующие проблемы: синтеза (суммирования) погрешностей, анализа и расчета точности по физическим параметрам, исследование и расчет точности технологических процессов в условиях автоматизированного производства.

На этих трех проблемах мы и остановимся более подробно.

**Оптимальный синтез погрешностей** возможен лишь в том случае, когда раскрыт весь комплекс составляющих суммарную погрешность, их содержание, качественное и количественное значение.

Важнейшее условие успешных исследований и расчетов отдельных технологических процессов — глубокое изучение их

физической сущности, выявление важнейших закономерностей хода технологического процесса, математическое выражение этих закономерностей.

При исследовании и расчете составляющих суммарную погрешность по всей «технологической цепочке» изготовления деталей, а также изделий в целом накладываются дополнительные условия. Здесь уже недостаточно данных, характеризующих точностные возможности отдельных процессов (операций). Необходимо установление взаимосвязи между отдельными процессами (операциями). Эти взаимосвязи устанавливаются корреляционными методами.

Говоря о предпосылках для синтеза погрешностей изготовления по отдельным процессам, следует иметь в виду наличие специфических особенностей, присущих каждому процессу.

Все эти факторы существенно влияют на основные параметры точности. Например, в широко применяемом при изготовлении самых разнообразных электрических элементов процессе наматывания важным параметром точности является точность по электрическому сопротивлению. Колебание последнего существенно зависит от нестабильности удельного электрического сопротивления обмоточного провода, его геометрических характеристик, точности работы раскладывающего устройства, от натяжения и вибрации провода в процессе наматывания и от других факторов.

Наиболее хорошо изучены процессы обработки на металлорежущих станках. Но и по этим процессам вопросы синтеза составляющих суммарную погрешность во многих случаях еще не разрешены. Это объясняется отсутствием необходимых данных, позволяющих математически выразить такие, например, зависимости, как изменения действующих сил и температур, температурные деформации технологической системы, геометрические параметры рабочего инструмента и др.

Однако по отдельным процессам в результате теоретических и экспериментальных исследований уже накоплены необходимые данные, позволяющие подойти к синтезу составляющих суммарную погрешность. Так, нами проведены исследования и разработаны методики расчета суммарной погрешности обработки на одношпиндельных автоматах токарной группы. В результате проведенных исследований определена вся гамма составляющих суммарную погрешность, проведено их группирование, выявлены доминирующие погрешности, дана их качественная и количественная оценка. При помощи точностных диаграмм показано изменение последних. Получены необходимые формулы.

Когда определены основные составляющие суммарную погрешность детали или изделия, можно подойти к их синтезу. Так, например, для условий, при которых между выходными

параметрами изделия (или его элемента) и его характеристиками имеется аналитическая зависимость

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

погрешность выходного параметра может быть определена в общем виде по формуле

$$\Delta_y = \sqrt{\sum \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 K_i^2 \sigma_i^2},$$

где  $\frac{\partial y}{\partial x_i}$  — частные производные;

$K_i$  — коэффициент относительного рассеивания;

$\sigma_i$  — допуск (погрешность) на размеры или другие характеристики изделия (детали).

По результатам наших исследований для одношпиндельных автоматов токарной группы суммарная погрешность, включающая основные составляющие, может быть приближенно представлена формулой

$$6\sigma_\Sigma = 6 \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_n^2 + a_{\text{изн.р.и.}}^2},$$

где  $6\sigma_\Sigma$  — полигон рассеивания размеров партии деталей;

$\sigma_t$  — погрешность, определяющая мгновенное рассеивание;

$\sigma_n$  — погрешность, характеризующая качество настройки;

$a_{\text{изн.р.и.}}$  — погрешность, связанная с износом режущего инструмента.

В последней формуле выявлена одна доминирующая погрешность — износ режущего инструмента, значение которой в общем виде наглядно представлено на точностной диаграмме (рис. 2). На рис. 3 представлена совмещенная диаграмма, показывающая уменьшение суммарной погрешности изготовления за счет уменьшения  $a_{\text{изн.р.и.}}$ . Варианты точностной диаграммы при значительном смещении центра группирования отклонений, вызванных различными производственными погрешностями, показаны на рис. 4.

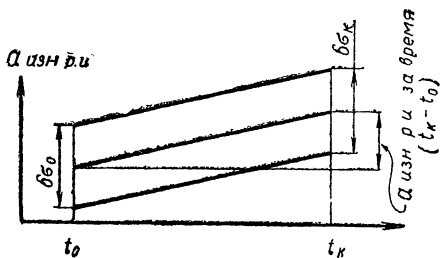


Рис 2. Точностная диаграмма хода технологического процесса при наличии значительного износа режущего инструмента.

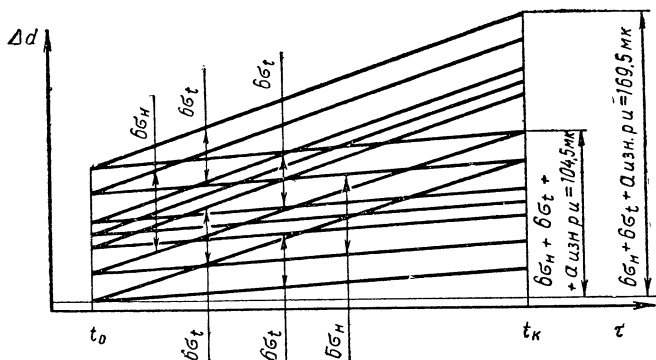


Рис. 3. Совмещенная точностная диаграмма хода технологического процесса, показывающая уменьшение суммарной погрешности изготовления за счет применения более стойкого режущего инструмента.

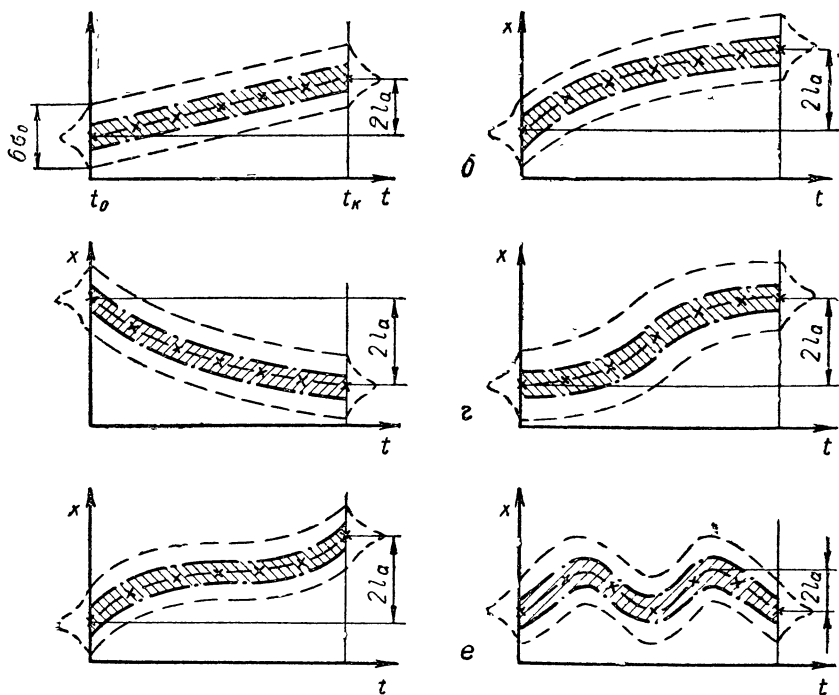


Рис. 4. Примеры схематизированных точностных диаграмм: а — при наличии равномерного износа режущего инструмента; б — при замедленном износе режущего инструмента; в — при замедленном нагреве режущего инструмента; г — при наличии сначала ускоренного, а затем замедленного износа режущего инструмента; д — при наличии сначала замедленного, а затем ускоренного износа режущего инструмента; е — при наличии значительных периодических колебаний в размерах деталей, вызываемых дефектами в кинематической цепи станка;  $2la$  — величина систематической погрешности,

допущения, несомненно, могут существенно повлиять на точность расчетов.

Н. А. Бородачев на основе теоретического анализа распределения случайных величин по схеме суммы предложил ряд функций распределения производственных погрешностей. Это прогрессивное направление в решении рассматриваемой проблемы. Однако функции эти весьма сложны, что затрудняет их практическое использование.

Таким образом, дальнейшие работы в области первой проблемы синтеза (суммирования) погрешностей важно вести как в направлении повышения точности и объективности методов расчета, так и в направлении упрощения их — в целях создания условий для более широкого внедрения точностных расчетов в инженерную практику.

Теперь перейдем ко второй из трех упомянутых выше проблем — **к анализу и расчету точности по физическим параметрам.**

Проблема точности по физическим параметрам в современном приборостроении обусловлена тенденциями к созданию изделий с достаточно сложными по своей структуре схемами (цепями). Помимо механических и электрических элементов, эти изделия имеют радиотехнические, пневматические, гидравлические, магнитные и др. Такие элементы, особенно в отношении негеометрических параметров, изучены еще мало.

В области решения этой проблемы проведены отдельные исследования<sup>1</sup>. Они использовались для инженерных расчетов точности изделия по некоторым параметрам. Например, при расчете точности по параметру постоянства осевого усилия ( $P$ ). Рассмотрим пример такого расчета более подробно.

Осевое усилие пружины может быть определено по формуле

$$P = \frac{Gd^4f}{8D_0^3n}.$$

Из формулы видно, что осевое усилие пружины является функцией следующих переменных: диаметра проволоки  $d$ , модуля упругости при кручении  $G$ , диаметра пружины  $D_0$ , числа рабочих витков  $n$ , деформации пружины  $f$ .

В общем виде эту зависимость можно представить так:

$$P = \psi(d; D_0; G; n; f).$$

Расчетные формулы определения суммарной погрешности

---

<sup>1</sup> П. И. Буловский. Основы построения технологических процессов сборки приборов. М., Оборонгиз, 1959.

М. А. Быховский. Основы динамической точности электрических и механических цепей. Изд. АН СССР, 1958.

А. Н. Гаврилов. Технология авиационного приборостроения. М., Оборонгиз, 1962.

осевого усилия винтовых пружин  $\Delta P_{\Sigma}^*$  дают возможность проанализировать пути повышения точности пружин по этому основному критерию качества. Это конструкторско-технологические пути.

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей пружины суммарную погрешность можно уменьшить различными способами. Например, для пружин сжатия погрешность лучше компенсировать за счет числа витков  $n$ , так как диаметр пружины  $D_0$  является посадочным размером. И наоборот, для пружин растяжения погрешность, как правило, следует компенсировать за счет диаметра пружины  $D_0$ .

Если компенсация систематической погрешности не приводит к снижению суммарной погрешности по заданной точности, то можно компенсировать и случайные погрешности — уменьшением диаметра проволоки  $d$  по всей ее длине путем электролитического полирования; уменьшением диаметра пружины  $D_0$  посредством шлифования наружной поверхности пружины (в этом случае снимается сегментная площадка с круглого сечения проволоки); уменьшением плотности намотки и др. Таким образом, для уменьшения суммарной погрешности могут быть использованы различные пути, но все они сводятся к двум основным направлениям: к ужесточению допусков на отдельные элементы пружины и к компенсации погрешностей без ужесточения допусков на размеры пружины.

Рассмотрим еще один пример — изготовление точных потенциометров с погрешностями в линейности сопротивления, не превышающими 0,1%.

Для доводки линейности сопротивления обмотки уже изготовленного потенциометра нужно сделать сопротивления витков одинаковыми. Это достигается уменьшением сечения. Один из возможных способов обработки витков потенциометра — обработка их абразивным диском. Доводка линейности сопротивления обмотки основывается на методе прямого сравнения доводимого (обрабатываемого) потенциометра с эталонным. Вот как протекает процесс доводки линейности потенциометров на специальной установке (рис. 5).

Проверяемый потенциометр  $r_0$  устанавливается в начальном исходном положении. Затем производится запись кривой рассогласования характеристик  $r_{\Sigma}$  (эталонного потенциометра) и  $r_0$ . Далее обрабатываемый и эталонный потенциометры возвращаются в исходное положение. Подводится обрабатывающий инструмент  $ШД$ , который снимает необходимое количество металла и приводит характеристику  $r_0$  в соответствие с характеристикой  $r_{\Sigma}$ .

\* А. Н. Гаврилов. Состояние и научно-технические проблемы точности производства в машиностроении и приборостроении. М., ЦИТИ-МАШ, 1960. Точность, взаимозаменяемость и технические измерения. Сб., под ред. акад. В. И. Дикишина. М., изд-во «Наука», 1964.

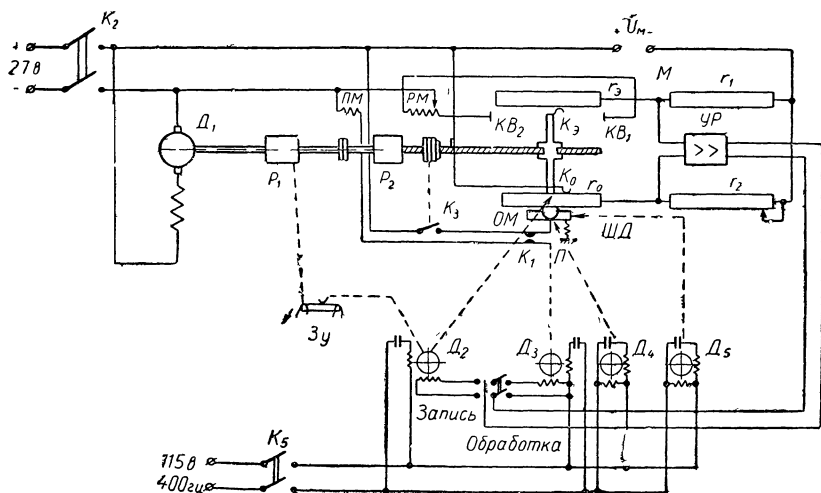


Рис. 5. Схема установки для доводки линейности потенциометров:  $r_0$  — проверяемый потенциометр;  $r_3$  — эталонный потенциометр;  $M$  — равновесный мост;  $УР$  — усилитель рассогласования;  $D_1$ — $D_5$  — двигатели;  $P_1$  и  $P_2$  — редукторы;  $r_1$  — образцовое сопротивление;  $r_2$  — компенсационное сопротивление;  $PM$  — реверсивная муфта;  $Зу$  — записывающее устройство;  $ОМ$  — обрабатывающий механизм;  $KB_1$  и  $KB_2$  — концевые выключатели.

Известно, что такие работы проводились в МВТУ им. Баумана.

Однако это лишь отдельные исследования и расчеты. В настоящее время возникла насущная необходимость создания научных основ исследования и инженерных методик по расчету точности и экономичности производства таких изделий. Важность проведения этих работ исключительно велика, особенно для тех отраслей приборостроения, которые связаны с созданием сложных изделий и систем автоматического управления и регулирования.

**Проблему точности в условиях автоматизированного производства** мы рассмотрим на примерах обработки деталей на металлорежущих станках, так как повышение степени автоматизации этих процессов в условиях приборостроительной промышленности сейчас весьма и весьма актуальная задача.

Здесь надо иметь в виду, что важнейшее условие нормального хода процесса обработки — его управляемость по обеспечению заданных параметров качества изделий, и в первую очередь точности. Ибо станок-автомат или автоматическая линия работают по циклической схеме и выполняют операции вне зависимости от состояния технологического процесса и других внешних факторов воздействия. Без автоматического регули-

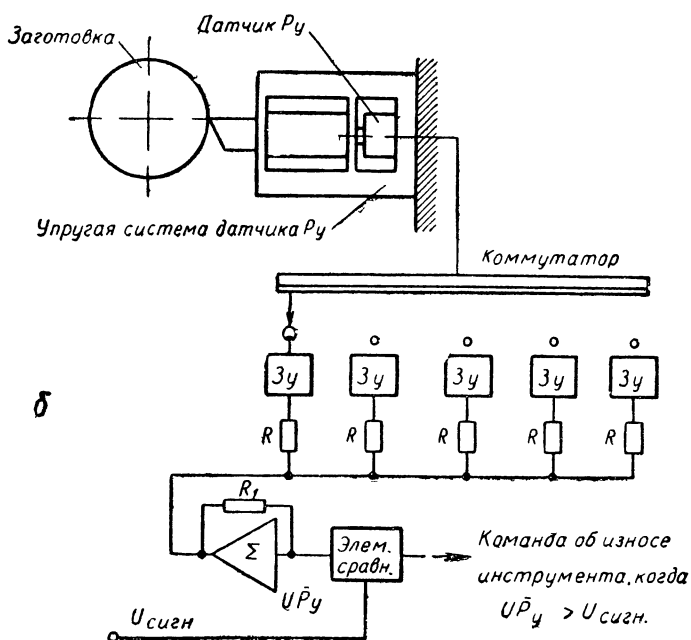
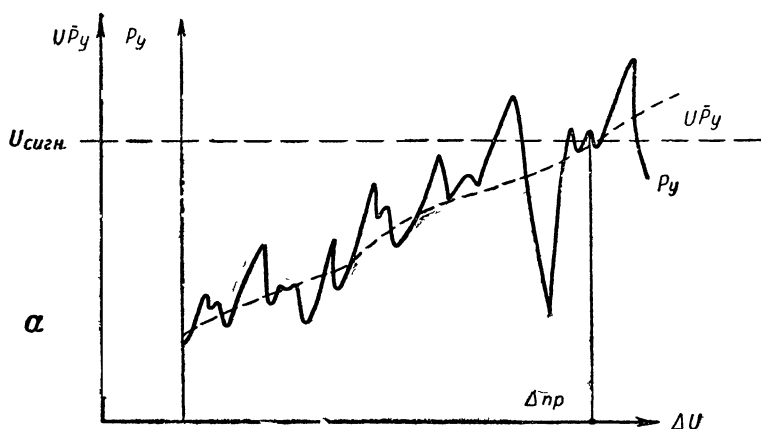


Рис. 6. Принцип и схема косвенного активного контроля: а — график исходной зависимости усилия резания от износа режущего инструмента; б — схема устройства активного контроля по износу инструмента.

рования такого оборудования возникает большая вероятность выпуска некондиционных изделий.

Анализ состояния работ в области средств автоматического регулирования дает основание сделать вывод, что в настоящее время они создаются, как правило, по схеме, основанной на прямом измерении изготавливаемых деталей, причем измерения производятся или во время обработки или после ее окончания на измерительной позиции. Наилучший из этих вариантов — конечно, вариант измерения детали во время ее обработки, так как процесс измерения в этом случае не требует дополнительного времени.

Второе направление разработки средств автоматического регулирования — создание систем, основанных на измерении косвенных параметров — подачи, глубины резания, усилия резания (рис. 6).

Зависимость между текущим средним значением силы  $P_y$  за время обработки пяти-шести деталей и размерным износом инструмента  $\Delta U$  (рис. 6, а) может быть использована для построения простой схемы активного косвенного предупреждающего контроля, предотвращающей брак вследствие чрезмерного износа режущего инструмента. Сигнал высокочувствительного датчика  $P_y$  (рис. 6, б) во время обработки очередной детали подается через коммутатор в запоминающие электронные устройства конденсаторного типа. Переключение коммутатора происходит во время паузы между обработкой деталей. На выходе сумматора возникает напряжение  $Up_y$ , равное сумме всех «запомненных» напряжений. Если напряжение  $Up_y$  больше сигнального напряжения  $U_{\text{сигн}}$ , соответствующего предельному износу инструмента, система дает сигнал о замене инструмента.

Такие системы в приборостроении перспективны. Они, как правило, лишены недостатков систем, основанных на прямом измерении обрабатываемого размера.

## **Новые материалы и новые технологические процессы**

**И**зыскание новых материалов и исследование их обрабатываемости — важные научно-технические проблемы. Решение этих проблем весьма существенно влияет на развитие производства приборов и средств автоматики.

Подводя итоги и рассматривая перспективы развития советской науки в канун 46-й годовщины Великой Октябрьской социалистической революции, президент Академии наук СССР академик М. В. Келдыш подчеркнул: «Технический прогресс в

настоящее время невозможен без создания новых высококачественных материалов»<sup>1</sup>.

Большая номенклатура приборов и средств автоматики, широкий диапазон требований по многочисленным параметрам качества обуславливают необходимость применения материалов, обладающих повышенными физическими, механическими и целым рядом специальных свойств. Это коррозионная устойчивость против агрессивных сред, износоустойчивость, термостойкость, электрическая прочность, сверхпроводимость, минимальный коэффициент линейного расширения и т. д. Кроме того, требования к материалам становятся еще более жесткими в связи с условиями их эксплуатации (температура, окружающая среда, вибрации и др.).

В конструкциях современных приборов и средств автоматики все более широкое применение начинают получать новые материалы: титан, высокопрочные стали, магнитомягкие и магнито жесткие сплавы, легкие сплавы с коэффициентами линейного расширения, близкими к соответствующей характеристике стали, а также фторопласты, пресспорошки, стекловолокнит, эпоксидные компаунды, лаки, керамика, стекло, ферриты и др. Широкое применение в приборостроении должны найти пластмассы для изготовления таких, например, деталей, как корпуса приборов, панели, циферблаты, зубчатые колеса, каркасы и т. д.

В качестве примеров новых материалов, представляющих интерес для приборостроительной промышленности, можно привести: миканит на аммофосе с высокой теплостойкостью — до 700°; пенопласты для изготовления электронных моноблоков, обладающие хорошими электроизоляционными качествами, теплостойкостью и свойствами обеспечивать требуемый коэффициент линейного расширения; новые цементы (например, астрокерам), способные выдерживать температуру выше 3600° и обеспечивать соединение между собой таких материалов, как керамика, металлы, стекло, кварц и т. д.; сверхпроводящие материалы (представляющие собой сплав ниобия и циркония) для специальных сверхмощных магнитов; кварцевое стекло для изготовления прецизионных пружин, с гистерезисом в 1000 раз меньшим, чем у самых лучших сплавов и др.

Новое направление — микроминиатюризация на основе молекулярной электроники, предусматривающая создание так называемых «твердых схем». Изготовление таких схем основано на точном введении в полупроводниковый кристалл электроактивных примесей бора, галлия, алюминия, фосфора, сурьмы, мышьяка и др.

---

<sup>1</sup> М. В. Келдыш. Наука открывает пути в будущее. «Правда» № 311 (16 532) от 7.XI 1963 г.

Очень перспективно применение манганинового провода в стеклянной изоляции для изготовления микроэлементов.

Большие возможности для уменьшения отдельных элементов (особенно в вычислительных приборах) открываются в связи с освоением производства ферритовых сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса.

Уменьшение габаритов ряда элементов может быть получено за счет применения текстурованной стали и пермаллоя.

Весьма технологичными материалами являются дисперсионно-твердеющие сплавы. Применение их для изготовления упругих чувствительных элементов повышает качество и значительно упрощает технологический процесс. В этом случае степень нагартовки не оказывает непосредственного влияния на упругие свойства чувствительного элемента (мембрана, сиффон и др.).

Применение металлокерамики позволяет получить изделия с заранее заданными свойствами.

Многие магниты делают сейчас из оксидных материалов, состоящих из смеси окислов бария и железа. Они обладают высоким удельным электрическим сопротивлением. Таковы феррит бария, феррооксидюр или козрокс. Но наиболее перспективны для изготовления магнитов микропорошки железа и кобальта. Магнитная энергия таких магнитов более чем в 55 раз выше, чем у сделанных из обычных хромистых сталей.

Использование новых материалов очень часто вызывает необходимость в различных дополнительных методах их обработки. Так, чтобы устранить недостатки, присущие титановым сплавам (низкую электро- и теплопроводность, плохую спаиваемость, трудность механической обработки, образование задиров), на них наносят различные покрытия — лакокрасочные или металлические (гальваническим путем). Например, меднение обеспечивает хорошую пайку, улучшает электропроводность; анодирование уменьшает наволакивание при трении и т. д.

В ряде случаев использование новых материалов требует разработки и внедрения новых технологических процессов. Чтобы обеспечить, например, применение тугоплавких материалов, в качестве источника тепла с высокой температурой (более  $15\,000^{\circ}$ ) была применена плазма. Пламенная струя может использоваться для резки, сварки и осуществления других технологических процессов с тугоплавкими материалами, а также для напыления тугоплавких покрытий, что исключительно важно для приборостроительной промышленности.

Рассматривая вопрос о новых технологических процессах, важно сказать как об основных тенденциях, так и об отдельных конкретных процессах, представляющих интерес для приборостроительной промышленности.

## Покрытия из тугоплавких материалов и области их применения

Материалы покрытия	Температура плавления в °С	Цели применения
Оксид алюминия	2038	Обеспечение теплостойкости, повышение износостойкости
Цирконат кальция	2345	Повышение износо- и теплостойкости; защита от воздействия расплавленного металла
Карбид хрома	1890	Повышение износостойкости
Оксид церия	2600	Повышение теплостойкости; катализатор горения
Оксид гафния	2777	Повышение теплостойкости
Цирконат магния	2110	Повышение теплостойкости, повышение стойкости к действию расплавленного металла (взамен графитовых покрытий)
Молибден	2627	Повышение износостойкости
Никель	1455	Повышение теплостойкости; катализатор горения
Оксиды редких земель	2205	Повышение теплостойкости; катализатор горения
Вольфрам	3299	Обеспечение износостойкости при высоких температурах
Оксид титана	1920	Обеспечение износостойкости при низкой пористости (применяется в смеси с огнеупорами)
Карбид вольфрама (кристалл)	2780	Обеспечение износостойкости при высоких температурах
Карбид вольфрама + кобальт	1490	Обеспечение износостойкости
Оксид циркония	2594	Повышение теплостойкости
Силикат циркония	2420	Повышение теплостойкости

Изыскание и внедрение новых технологических процессов наряду с применением новых материалов обуславливается все повышающимися требованиями к точности и надежности приборов и средств автоматики, к снижению их габаритных размеров и весов.

Упомянем наиболее интересные и перспективные для приборо- и агрегатостроения новые технологические процессы.

**Новые методы литья** (взамен литья с ручной формовкой, широко распространенного в приборостроении) **под низким давлением** (0,5—1,2 атм). Они позволяют получать стенки толщиной менее 2 мм с высокой точностью, без газовой пористости.

**Методы штамповки с помощью взрыва.** Этот метод наряду с повышением производительности (уменьшается количество переходов) и резким снижением стоимости изготовления (в 10

и более раз, главным образом за счет снижения стоимости штампов) позволяет значительно повысить качество (увеличить прочность, предел текучести).

В различных установках для штамповки с помощью взрыва для воздействия на заготовку используются: давление газов, образующихся при взрыве (рис. 7), давление жидкой среды, в которой производится взрыв, воздействие взрывной волны.

**Штамповка обратным выдавливанием;** обработка методами пластического деформирования, абразивно-жидкостная обработка с применением сверхвысоких давлений; процессы порошковой металлургии.

**Нанесение покрытий из тугоплавких материалов** (см. таблицу на стр. 20) осуществляется различными методами. Рассмотрим некоторые из них.

При стержневом методе (рис. 8) спрессованный из порошков керамический стержень 1 механически подается в корпус форсунки 4, плавится в кислородно-ацетиленовом пламени 5, расплывается и сжатым воздухом под давлением наносится на обрабатываемую деталь 7.

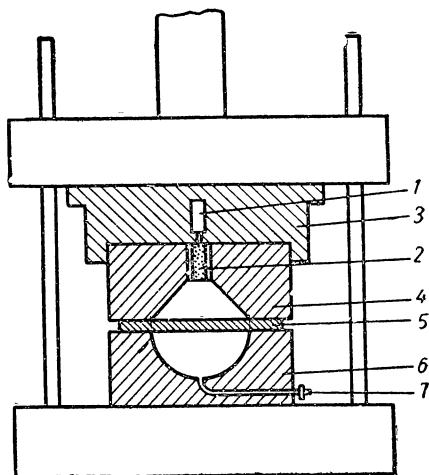


Рис. 7. Схема формообразования заготовки из листового материала давлением газов, образующихся при взрыве: 1 — запальный механизм; 2 — взрывчатое вещество; 3 — верхняя плита пресса; 4 — верхняя часть штампа; 5 — листовая заготовка; 6 — матрица; 7 — канал для выхода воздуха.

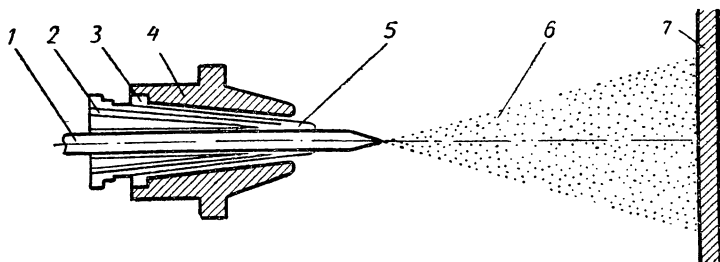


Рис. 8. Напыление стержневым методом: 1 — спрессованный керамический стержень; 2 — канал подачи кислородно-ацетиленовой смеси; 3 — канал подачи сжатого воздуха; 4 — корпус форсунки; 5 — кислородно-ацетиленовое пламя; 6 — конус распыления наполненного материала; 7 — обрабатываемая деталь.

Порошковый метод нанесения покрытия заключается в том, что нагретый и расплавленный кислородно-ацетиленовым пламенем порошок с помощью струи газа напыляется на поверхность детали.

Более сложен метод нанесения покрытия взрывом (рис. 9). Рассчитанное количество азота через штуцер 2, кислорода и ацетилена через штуцер 3 и применяющегося для покрытия порошка 1 подается в смесительную камеру 4, где смесь газов взрывается от воспламенителя 6, выделяя тепло, которое нагревает частицы порошка до пластического состояния. Струя

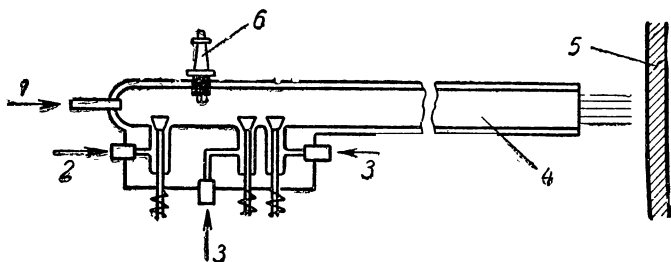


Рис. 9. Напыление взрывом: 1 — порошок; 2 и 3 — штуцеры; 4 — смесительная камера; 5 — обрабатываемая деталь; 6 — воспламенитель.

сжатого воздуха, подаваемая вместе с порошком, распыляет порошок, устремляя его с большой скоростью на покрываемую деталь 5. Для безопасности работы камера 4 делается с двойной стенкой.

При плазменных способах между вольфрамовым катодом и медным анодом возбуждается электрическая дуга. Материал катода плавится, распыляется под действием струи газа (обычно аргона) и, проходя через плазменное пламя, переносится с большой скоростью на поверхность покрываемой детали.

**Технологические процессы, основанные на применении вакуума.** Весьма эффективно, например, внедрение в приборостроении нового способа сварки — диффузионной сварки в вакууме, разработанной Н. Ф. Казаковым. По этому методу сварка производится без расплавления при высоком вакууме ( $10^{-3}$ — $10^{-6}$  мм рт. ст.), благодаря чему на свариваемых поверхностях не образуется окисной пленки. Процесс не вносит никаких физико-механических изменений, обеспечивая при этом прочность. С другой стороны, процесс экономичен, так как не требует расхода специальных материалов (флюсов, электродов), выполняется на простом оборудовании и легко поддается автоматизации.

Диффузионная сварка в вакууме имеет большие перспективы в приборостроении, особенно для соединения разнород-

ных материалов, которые обычными способами сварить нельзя.

Говоря об использовании методов, основанных на применении вакуума, надо иметь в виду и тот факт, что высокий и сверхвысокий вакуум способствует улучшению технологических свойств обрабатываемого материала и тем самым создает благоприятные условия для их обработки, а также для интенсификации технологических процессов.

Исключительно эффективное направление современной технологии связано с **внедрением ультразвука для интенсификации различных технологических процессов**: очистки деталей, ударной электрозвуковой притирки, резания крупногабаритных изделий, пайки, сварки и др. Применение ультразвука почти во всех случаях значительно расширяет технологические и точностные возможности процессов обработки, повышает качество и надежность обрабатываемых изделий.

Одним из наиболее прогрессивных технических направлений, способных революционизировать развитие многих отраслей промышленности, является **широкое применение для обработки материалов радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники**.

До сих пор электроника находила широкое применение в промышленности только как средство автоматизации, управления и контроля технологическими процессами. Теперь стоит вопрос об ее использовании для непосредственного выполнения весьма сложных технологических операций в целях, порой недоступных обычным способам обработки.

Электронные методы обработки материалов основываются на использовании электронных и ионных пучков, электрических и электромагнитных полей.

Наиболее перспективно при выполнении технологических операций применение светового луча, излучаемого квантовым генератором, и пучка электронов, излучаемых катодом электронной пушки.

Важным этапом развития квантовой электроники явилось создание в 1960 году квантовых оптических генераторов света (или, как их часто называют, «лазеров» и «мазеров»). Это принципиально новый тип источников мощного (до нескольких миллионов ватт) электромагнитного излучения в оптическом диапазоне волн. Можно с полным основанием утверждать, что в ближайшем будущем их использование приведет к революции во многих областях науки, техники и производства.

Излучаемая квантовыми генераторами энергия распространяется в виде узкого луча. Если излучения «лазера» сфокусировать с помощью линзы, то можно получить плотности энергии, которые в миллиарды раз превосходят концентрацию энергии той же частоты на поверхности Солнца. Правда, столь высокие мощности генерируются в течение тысячных долей

секунды. Но и за такой короткий промежуток времени излучение «лазера» легко прожигает отверстия даже в особо твердых материалах.

Наиболее известен квантовый оптический генератор на рубине (рис. 10). Основные элементы этого генератора —

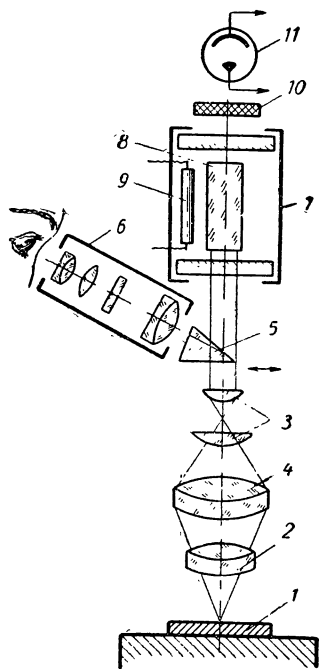


Рис. 10. Схема установки с оптическим квантовым генератором: 1 — деталь; 2 — квантовый генератор (на рубине); 3 — линза; 4 — линза; 5 — зеркало; 6 — оптическая система; 7 — квантовый генератор (на рубине); 8 — рубин; 9 — лампа; 10 — фильтр; 11 — фотоэлемент для регулирования световой энергии.

рубиновый стержень и лампа, дающая мощную вспышку света. Рубиновый стержень представляет собой кристалл корунда (окись алюминия), где часть атомов алюминия (около 0,05%) заменена атомами хрома. Торцы рубинового стержня шлифуются и полируются так, чтобы они были плоскими и параллельными друг другу. Оба торца серебрятся.

Когда свет проходит вдоль стержня рубина, он отражается от посеребренных торцов, как от зеркал, и, таким образом, многократно проходит по рубиновому стержню в прямом и обратном направлениях. Для возбуждения световых колебаний производится разряд конденсатора через лампу вспышки.

Проходя вдоль стержня и многократно отражаясь от зеркал, свет достигает большой интенсивности, которая определяется числом возбужденных атомов хрома. Для вывода света одно из зеркал делается частично прозрачным.

Исходящие из генератора света лучи обладают очень большой направленностью. Более того, все излучение от квантового оптического генератора можно сфокусировать в пучок, диаметр которого равен приблизительно 0,01 мм. При такой кон-

центрации энергии точка, в которую попадает световой луч, разогревается до десятков тысяч градусов, и материал испаряется.

Возможности применения рассматриваемого метода весьма многообразны. В качестве примера можно привести «сверление» отверстий диаметром 0,01—0,3 мм в материале толщиной 0,1—0,5 мм, при чистоте 5—6-го класса, за время в пределах 20 сек. Причем данный метод позволяет прошивать отверстия и щели в любом материале (алмаз, рубин, вольфрам, тантал и др.). В настоящее время ведутся работы по повышению чи-

стоты поверхности стенок отверстия, что даст увеличение толщины пробиваемого материала.

Мощный световой луч можно использовать также для сварки на расстоянии, для пайки тонких деталей в полупроводниковых и электровакуумных приборах и в других целях. Интересно отметить, что паять или сверлить с помощью «лазера» какие-либо тонкие детали можно в уже готовом приборе, например в электронной лампе, поскольку сфокусированный на расстоянии луч лазера легко проходит через прозрачную стеклянную оболочку, внутри которой монтируются детали.

В последнее десятилетие в различных технологических процессах, связанных с термическим воздействием на металл (плавка металла, сверление и фрезерование, сварка), используется и энергия электронного луча (пучка электронов).

Электронно-лучевые машины (для плавки металла, сверления, фрезерования, сварки) основаны на получении и концентрации пучка электронов в виде луча малого диаметра (порядка 0,01 мм). После резкого торможения о преграду хорошо сфокусированный пучок ускоренных электронов достигает высокой плотности энергии — до  $1000 \text{ Мвт/см}^2$ . Для сравнения: наивысшая плотность энергии в электрической дуге равна всего  $0,1 \text{ Мвт/см}^2$ . Электроны излучаются из нагретого вольфрамового катода в вакууме и ускоряются (электронная пушка). Источником напряжения для ускорения движения электронов служит генератор высокого напряжения мощностью от 25 до 150 кВт.

Процесс испарения металла под воздействием пучка электронов происходит в вакууме. Чтобы избежать перегрева детали во время обработки, луч к детали подается прерывисто — в очень малые отрезки времени. Величина импульса напряжения электронной пушки регулируется в зависимости от материала обрабатываемой детали. Генератор может работать с частотами в пределах от 1 до 3000 циклов в секунду с продолжительностью импульсов от 0,01 до 0,00005 сек.

Электронным лучом можно плавить любые материалы, в том числе и самые тугоплавкие, достигая любой температуры плавления и любой длительности выдержки расплавленного жидкого металла в вакууме. В электронно-плавильной установке (рис. 11) пучок электронов 6, излучаемый катодом 2 электронной пушки 3, ускоряется высоким напряжением (порядка 10 тыс. в, подаваемым между катодом 2 и анодом 4, фокусируется линзами 5 и направляется на слиток металла 9, помещенный в плавильной камере 7.

Плавка пучком электронов позволяет получить металл исключительно высокого качества и к тому же с новыми электрическими и механическими свойствами за счет наиболее полной очистки его от газов, отгонки летучих примесей и осуществления других физико-химических процессов.

Металл, переплавленный в вакууме, резко изменяет свои свойства. Например, тугоплавкий ниобий становится настолько пластичным, что из прутка диаметром 50 мм можно холодной прокаткой изготовить фольгу толщиной 10 мк.

Для получения особо чистых металлов, например, монокристаллов вольфрама, молибдена, тантала и других тугоплавких

материалов, применяется способ зонной очистки с электронным нагревом. Катоды и подогреватели электровакуумных приборов, сделанные из монокристаллических слитков, неизмеримо долговечнее деталей, изготовленных без применения электронной технологии.

Электронная плавка позволяет получать наиболее чистый металл (за счет вакуума  $10^{-4}$  мм рт. ст.); она отличается гибкостью и легкостью управления процессом. В настоящее время электронная плавка нашла применение и за рубежом — для выплавки таких металлов, как W, Ta, Nb, Mo, Zr, Hg, V, и сплавов на их основе, а также качественных сталей и др.

К недостаткам метода следует отнести некоторую сложность оборудования. «Электронные плавильные печи» созданы в Институте электросварки

им. Е. О. Патона, а также на других предприятиях (например, электронно-лучевые плавильные печи УЕВМ-03, ВЭУ-2 и др.).

Принципиально новые современные приборы и устройства в ряде случаев требуют получения в труднообрабатываемых материалах точных отверстий и пазов малых размеров. Общие-принятые методы обработки для этих целей непригодны. В последнее время для этих целей применяются электронно-лучевые машины для сверления и фрезерования, основанные на получении и концентрации пучка электронов в виде луча малого диаметра (рис. 12).

Нагретый вольфрамовый катод 1 в цилиндре 2 излучает электроны, которые ускоряются электродом 3. Пучок электронов с помощью электромагнитной линзы 4 фокусируется на обрабатываемой детали 5, помещенной в вакуумной камере.

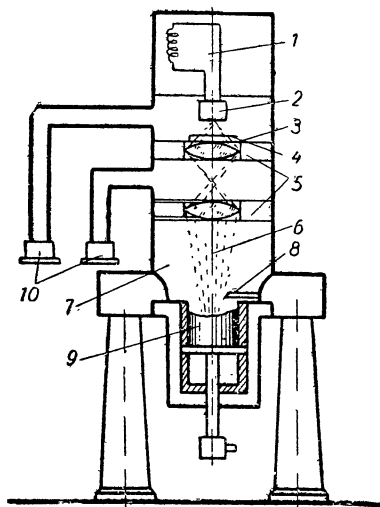


Рис. 11. Схема электронно-плавильной установки ВЭУ-2: 1 — подогреватель; 2 — катод; 3 — электронная пушка; 4 — анод; 5 — линзы; 6 — пучок электронов; 7 — плавильная камера; 8 — прутко-шихта; 9 — слиток металла; 10 — диффузионные насосы.

Достоинства электронно-лучевой обработки на этих станках можно показать на ряде примеров: текст с высотой букв 0,4 мм вырезается в листе фольги толщиной 0,1 мм; прорезы шириной 10 мк наносятся на хромоникелевом покрытии (толщина 0,25 м) керамической плиты. С ее помощью возможно обрабатывать детали из кварца, рубина, керамики.

Производительность электронно-лучевого метода обработки зависит от обрабатываемого материала и требуемого качества обработки. Так, пазы шириной 50 мк и длиной 3 мм в стальном листе толщиной 0,5 мм обрабатываются за 20—30 сек. При этом 90% материала удаляется за первые 5 сек. со скоростью около 0,1 мк/сек. Остальное же время затрачивается на достижение требуемой точности и чистоты поверхности.

Метод сварки электронным пучком был разработан в связи с необходимостью сварки тугоплавких и химически активных металлов (вольфрам, молибден, тантал, ниобий, титан, цирконий) и неметаллов (сварка графита с титаном, керамики с металлами), нашедших широкое применение в ядерной и ракетной технике. Сварка осуществляется в вакууме порядка  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  мм рт. ст.

На рис. 13 изображена схема сварки электронным лучом. Поток электронов 3, излучаемый катодом 2, отклоняемый и фокусируемый системой электронной пушки 1, направляется на свариваемое изделие 5, помещенное в вакуумной камере 4 (вакуум порядка  $10^{-5}$  мм рт. ст.).

Плотность энергии электронного луча может на несколько порядков превосходить плотность энергии других источников тепла. Сравните:

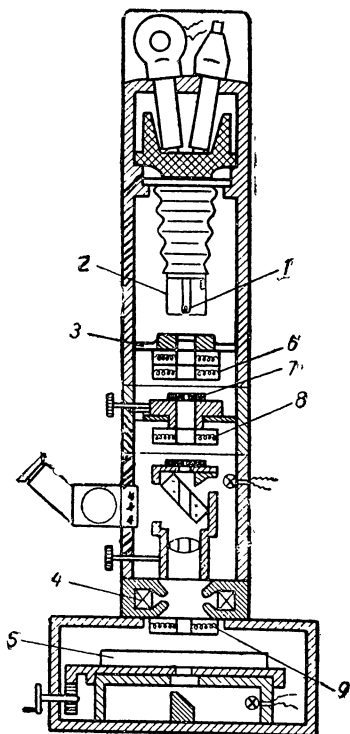


Рис. 12. Схематическое устройство с электронным пучком: 1—вольфрамовый катод; 2 — цилиндр; 3 — электрод-ускоритель; 4 — электромагнитная линза; 5 — обрабатываемая деталь; 6 — корректирующая катушка; 7 — бленда; 8 — корректор астигматизма; 9 — отклоняющие катушки.

Источник тепла	Минимальная плотность энергии <i>вт/см<sup>2</sup></i>
Ацетилено-кислородное пламя	$5 \cdot 10^4$
Сварочная дуга	$1 \cdot 10^5$
Электронный луч	$5 \cdot 10^8$

Этот источник тепла имеет более широкий диапазон регулирования интенсивности, чем дуга или ацетилено-кислородное пламя, что позволяет изменять температуру в широких пределах (вплоть до температуры плавления весьма тугоплавких металлов) и получать швы, имеющие значительную глубину проплавления (до 15 мм и более) при относительно малой их ширине (0,3—1,5 мм).

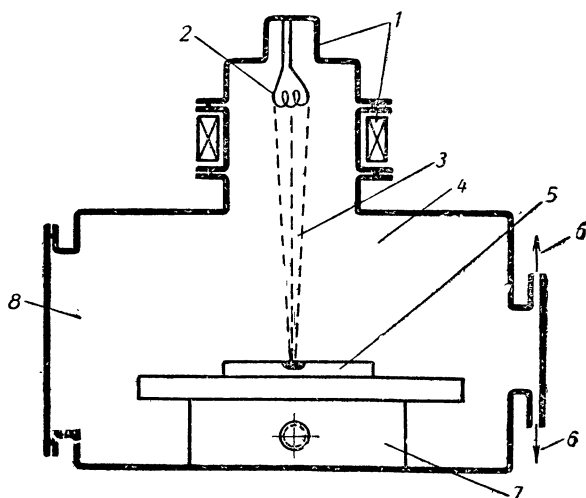


Рис. 13. Схема сварки электронным лучом: 1 — электронная пушка; 2 — катод; 3 — пучок электронов; 4 — вакуумная камера; 5 — обрабатываемая деталь; 6 — к вакуумным насосам; 7 — механизм перемещения детали; 8 — загрузочное и смотровое окно.

Сварка электронным лучом имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной сваркой: 1) можно сваривать металлы большой толщины с минимальной зоной проплавления без чрезмерного нагрева изделий; 2) во много раз уменьшается деформация изделия (в связи с меньшим нагревом изделия); 3) возможно сваривать детали, имеющие различную конструктивную форму (легко свариваются кольцевые соедине-

ния, прямолинейные швы); 4) возможен перенос энергии на значительные расстояния от катода (500 мм и более), что позволяет использовать электронный луч при сварке в узких целях (такой принцип может быть применен при сборке и сварке электровакуумных приборов непосредственно в вакуумных катодах с одновременной герметизацией приборов); 5) сваркой соединяются детали из пористых металлов, где зона шва должна быть минимальной.

Достоинства электронно-лучевой сварки металлов не вызывают сомнения. Однако для более широкого применения этого метода необходимы:

1. Глубокие теоретические и экспериментальные исследования процесса нагрева, расплавления металла электронным лучом и образования соединений применительно к различным металлам и сплавам, а также создание единой теории электронного нагрева металлов при сварке.

2. Повышение коэффициента использования сварочных установок. Дело в том, что вследствие значительных затрат времени на подготовку современных сварочных агрегатов под сварку и на откачку камеры этот коэффициент пока еще недостаточно высок. При сварке мелких изделий подобный эффект может быть достигнут путем использования загрузочных устройств, позволяющих загружать изделия в рабочие камеры без нарушения вакуума.

### **Новые принципы проектирования процессов производства**

**П**ри внедрении новых и совершенствовании известных технологических процессов большое значение имеет выбор рациональных методов их проектирования. Сейчас в проектировании технологических процессов приборостроения широко применяется метод индивидуальных разработок для каждой детали в отдельности. Но в условиях большой номенклатуры приборов и все возрастающих требований к дальнейшему увеличению номенклатуры и объема производства приборов и средств автоматики этот метод не оправдывает себя: он хотя и прост, но связан с большими затратами времени и средств и, как правило, тормозит совершенствование широко распространенных технологических процессов.

Методы же, основанные на типизации технологических процессов, позволяют создать принципиально иную систему разработки технологических процессов. Сущность типизации технологических процессов в машино- и приборостроении об-

щеизвестна. Значимость же ее в свете современных задач развития приборостроения особо возрастает потому, что она позволяет наиболее глубоко изучить, обобщить и широко использовать научные и технические достижения при разработке любых процессов, входящих в «технологические цепочки» изготовления того или иного класса изделий. Это, в свою очередь, дает возможность повысить точность и надежность этих процессов, а значит и качество изделий, снизить трудоемкость изготовления продукции, сократить сроки подготовки производства, создать единые обоснованные технические нормативы.

Говоря об оптимальных методах проектирования технологических процессов в приборостроении, особое место следует отвести методу групповой технологии, разработанному лауреатом Ленинской премии С. П. Митрофановым. Применение этого метода особенно эффективно в условиях серийного и мелкосерийного производства.

Групповой метод основан на классификации деталей по типам, по последовательности технологических операций, по видам применяемого оборудования, по способам наладки в пределах данной партии обрабатываемых деталей. Переналадка, например, станков на любую деталь группы должна сводиться главным образом к изменению положения линейных и диаметральных упоров. Основная часть инструментов и оснастки постоянна для любой детали группы.

В основу разработки кладется комплексная деталь, состоящая из определенного количества основных элементов (поверхностей).

Рассмотрим наиболее характерные направления внедрения группового метода.

**Обработка деталей групповым методом на револьверных станках** (рис. 14). Метод обработки по одному упору (рис. 14, б) заключается в том, что подача материала осуществляется не на одну, а на несколько деталей. Упоры на станке настроены на длину детали с разницей по линейным размерам. Первоначальная наладка осуществляется на комплексную деталь группы, а инструмент в револьверной головке располагается по линейным размерам обрабатываемой детали.

**Обработка деталей групповым методом на станках-автоматах** (рис. 15). Здесь необходимо отметить два основных момента.

Во-первых, объединение деталей в одну группу. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы геометрическая форма различных деталей была примерно одинаковой, т. е. количество элементарных объемных подобных тел было равно (позиция 1). При этом следует иметь в виду, что обработка группы деталей с различными линейными размерами одним комплектом кулачков требует автоматов с механизмами ускоренных ходов.

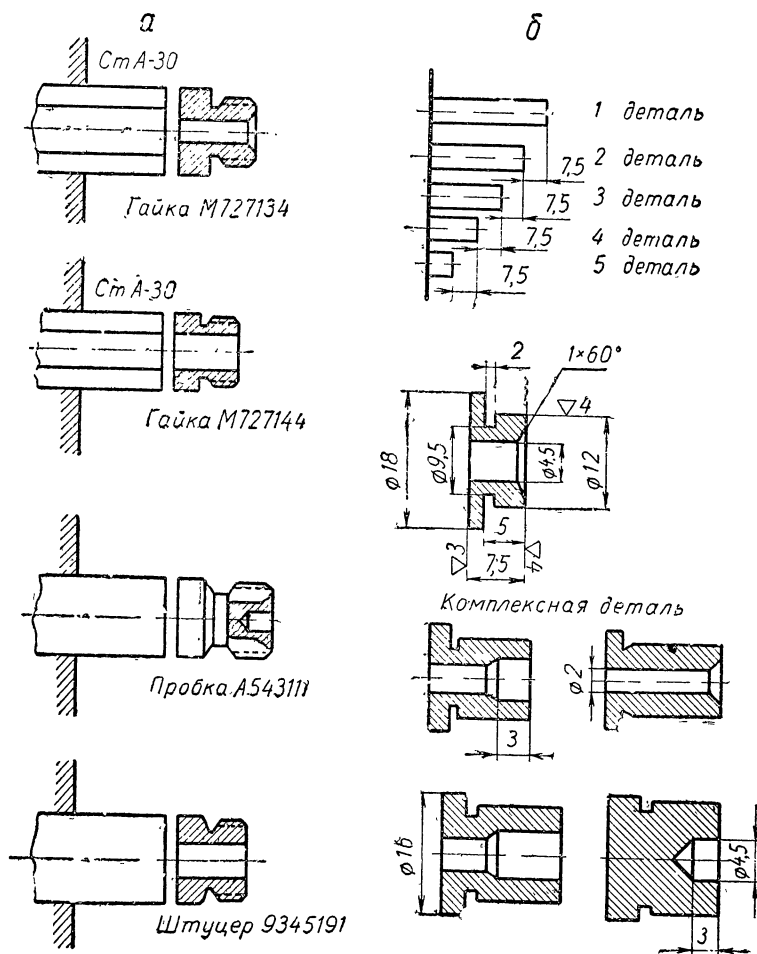


Рис. 14. Групповой метод обработки на револьверных станках: а — детали, обрабатываемые по групповому методу на револьверном станке 1336М (классификация по типу применяемого оборудования); б — метод обработки по одному упору.

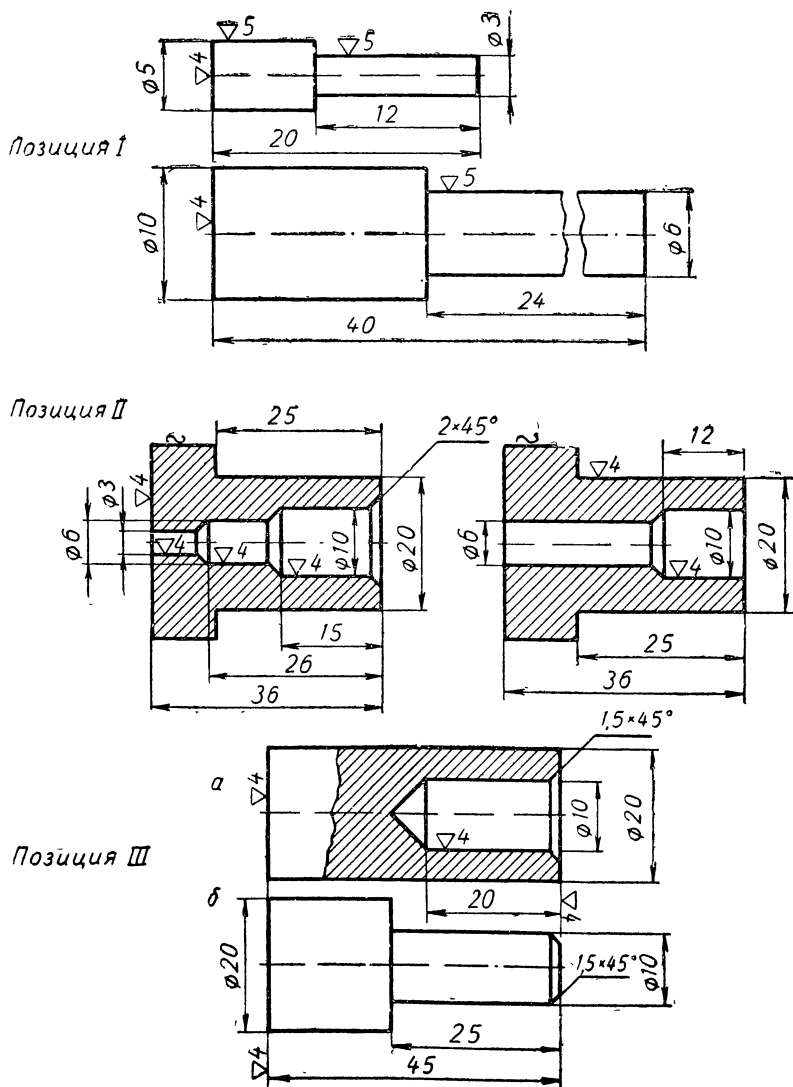


Рис. 15. Групповой метод обработки на станках-автоматах.

Во-вторых, большое значение при работе на автоматах по групповому принципу имеет общность технологических процессов. Рассмотрим группу деталей, изображенных на позиции II рис. 15. Групповая обработка этих деталей на револьверных станках целесообразна (потребуется перестановка сверла 6 и снятие сверла 3 и зенковки). На автомате же их групповая обработка потребует нового комплекта кулачков. В противном случае обработка будет связана с большими потерями машинного времени, поскольку кулачок предназначен для более трудоемкой детали.

Для деталей же, изображенных на позиции III рис. 15, дело обстоит как раз наоборот: общность технологических процессов их обработки на револьверных станках отсутствует, а на автоматах существует. Применяется один комплект кулачков; для детали а на подъемах кулачка — центрование и сверление, для детали б — снятие фаски и проточка.

#### **Обработка деталей групповым методом на фрезерных станках.**

К технологическим особенностям этой обработки относятся единство типоразмеров станка, оснастки, режущего инструмента, общность установочных баз и крепления.

С учетом конструктивных признаков и технологических особенностей детали подразделяются на: а) тела вращения сложной конфигурации, имеющие отдельные геометрические элементы (плоскости), получаемые фрезерованием; б) плоскостные (призматические), геометрическая форма которых получается фрезерованием.

На рис. 16 изображены четыре группы деталей, обрабатываемых групповым методом на фрезерных станках.

Для группы № 1 наиболее рентабельной будет обработка на горизонтально-фрезерном станке (возможность применения парных фрез, достаточная жесткость). Установочная база — цилиндрические поверхности различного размера. Применяя пневматическую делительную головку со сменными делительными дисками, имеющими вставки под различный размер, можно без перенастройки фрезеровать любую деталь.

Детали группы № 2 по конструктивным признакам требуют обработки на вертикально-фрезерном станке.

При фрезеровании деталей группы № 3 на горизонтально-фрезерном станке в многоместном приспособлении со сменными цангами времени на переналадку также потребуется немного.

В группу № 4 входят плоскостные детали, у которых фрезерованием получают геометрическую форму по наружному контуру. Переналадка станков производится за счет смены режущего инструмента, губок, тисков.

**Обработка деталей групповым методом на доделочных операциях.** На рис. 17 изображены четыре группы деталей.

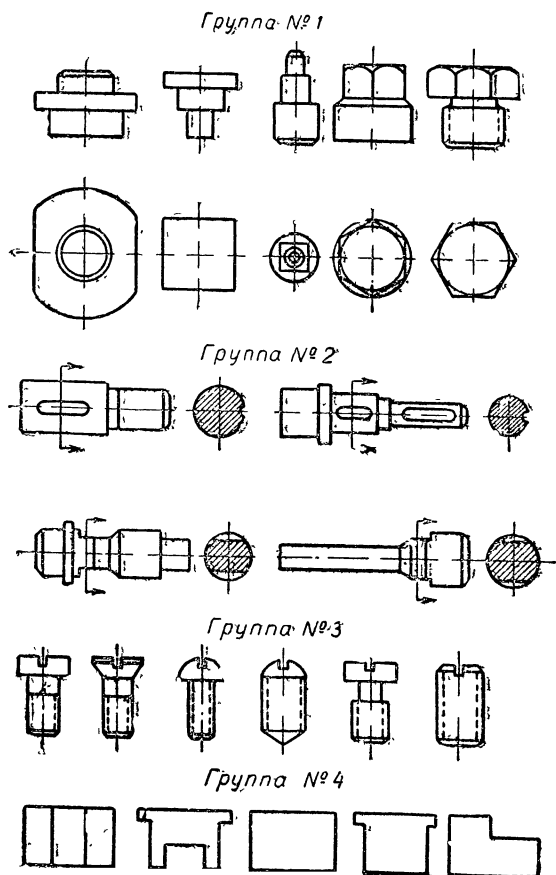


Рис. 16. Детали, проходящие групповую обработку на фрезерных станках.

Группа № 1. Подрезка торца и снятие фаски по наружным поверхностям: *а* — подрезка торца стандартным резцом; *б* — одновременная подрезка торца и снятие фаски фасонным резцом; *в* — проточка сферической поверхности фасонным резцом.

Группа № 2. Обточка и подрезка торца по наружным поверхностям: *а* — подрезка двух торцов с одновременной проточкой внешних поверхностей фасонным резцом; *б* — проточка внешних поверхностей и подрезка двух торцов стандартным резцом.

Группа № 3. Подрезка торца, снятие фаски или заусенцев у внутренних поверхностей: *а* — подрезка торца стандарт-

ным резцом и снятие заусенцев сверлом; б — подрезка торца стандартным резцом и снятие фаски зенковкой.

Группа № 4. Подрезка торца, центровка и сверление.

Опыт машино- и приборостроительных предприятий показывает, что групповая технология может найти эффективное применение на всех стадиях производства — начиная от заготовительных операций и кончая сборочными процессами.

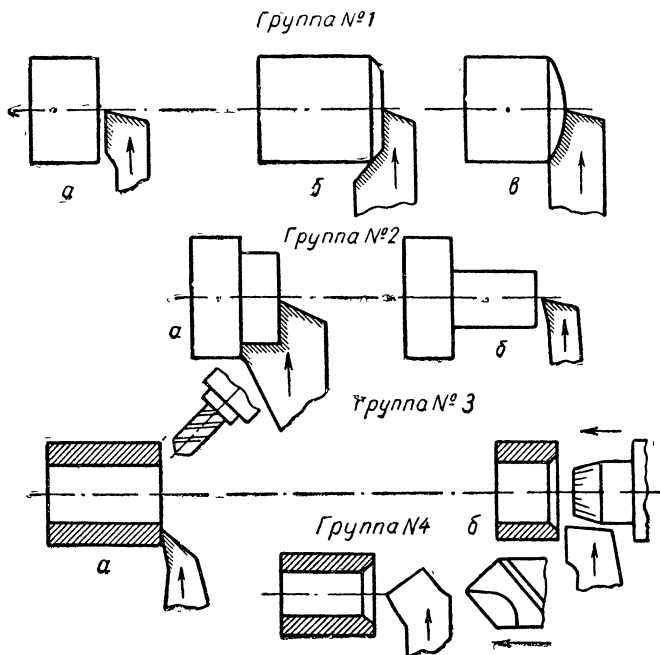


Рис. 17. Групповой метод обработки на доделочных операциях.

Будучи основан на объединении (группировании) изделий не только по общности конструктивного оформления, но и по общности операций независимо от назначения изделий, этот метод позволяет единичное и мелкосерийное производство приблизить к условиям крупносерийного и массового производства с применением высокопроизводительных процессов.

Иллюстрацией к этому служит, например, опыт внедрения группового метода для различных видов покрытий на одном из московских предприятий (см. таблицу на стр. 37).

Внедрение группового метода имеет существенное значение в решении проблем экономичности производства приборов и средств автоматики. Приведенные на рис. 18 графики характеризуют экономическую эффективность применения групповой обработки при различных объемах производства.

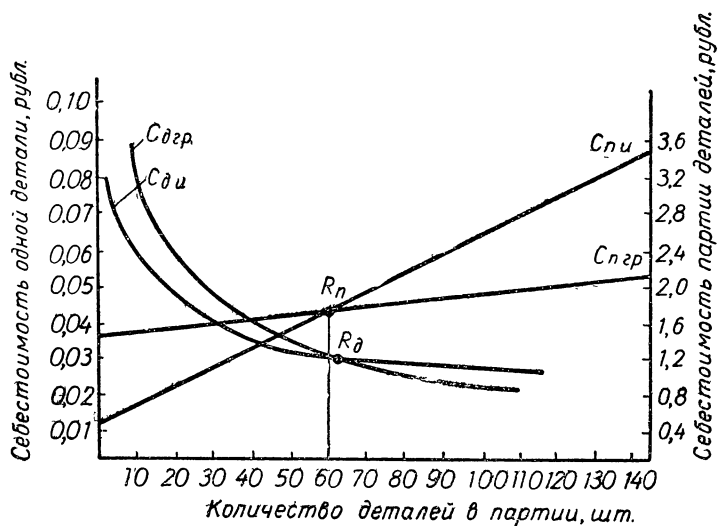
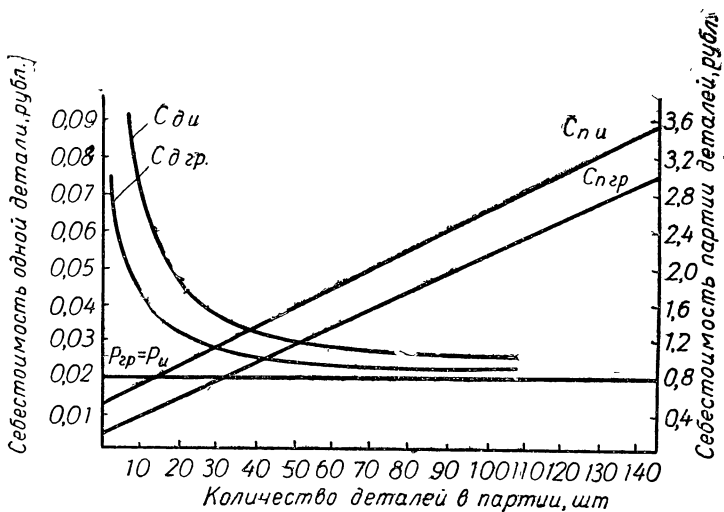


Рис. 18. Кривые сравнения группового ( $C_{п.гр.}$ ,  $C_{д.гр.}$ ) и индивидуального ( $C_{п.и.}$ ,  $C_{д.и.}$ ) методов обработки: *вверху* — при обработке на одном типе оборудования; *внизу* — при обработке на различных типах оборудования;  $P_{гр}$  — текущие затраты на деталь при групповом методе;  $P_{и}$  — текущие затраты на деталь при индивидуальном методе;  $R_{д}$  — себестоимость детали при одинаковых затратах по индивидуальному и групповому методам;  $R_{п}=R_{д}$ :  $n$ , где  $n$  — количество деталей критической партии, т. е. партии, где  $C_{д.и.} = C_{д.гр.}$ .

## Покрyтия, полученные групповым методом

Диапазон толщины деталей	Вид покрытия	Режимы сушки	
		Скорость конвейера, м/мин	Температура сушки, °С
0,8 — 1,5	Молотковая эмаль	0,65	100—120
0,8 — 1,5	Синтетическая автоэмаль	0,43	120—130
2 — 6	Молотковая эмаль	0,6	150—155
5 — 10	Синтетическая автоэмаль	0,43	150—160
6 — 10	Молотковая эмаль	0,6	150—155
10 — 80	Молотковая эмаль	0,32	100—170
10 — 80	Синтетическая автоэмаль	0,28	170—180

**Примечание.** Применить групповой метод на окрасочных работах позволило внедрение терморadiационной установки и непрерывного подвешного конвейера с переменной скоростью движения. Детали группы после покрытия подвергаются терморadiационному облучению. В среднем производительность на отдельных работах возросла в 2—3 раза без ущерба качеству.

### Технологические пути повышения производительности труда

**П**роблема повышения производительности труда — большая государственная проблема; задачи ее решения определены Программой КПСС, принятой XXII съездом партии.

Состояние, резервы и основные направления в решении этой проблемы, отражающие особенности приборостроительного производства, изложены достаточно полно<sup>1</sup>. Основными из этих направлений являются: конструкторское (повышение технологичности), технологические пути (главным образом за счет интенсификации технологических процессов), а также пути, связанные с совершенствованием организации производства и труда.

Важно особо отметить некоторые современные тенденции в решении этой проблемы технологическими путями.

**Изыскание оптимальных методов проектирования технологических процессов** (о них уже шла речь) в их разных проявлениях, собственно проектирования технологических процессов, технологического оборудования и технологической оснастки (например, УСП). Конечно, речь идет о процессах и оборудовании, наиболее эффективных для условий мелкосерийного и серийного производства, так как эти типы производства ха-

<sup>1</sup> А. Н. Гаврилов и В. Н. Мюйр. Резервы и пути повышения производительности труда в приборостроении. М., Машгиз, 1958.

ракетны для большинства отраслей, производящих приборы и средства автоматики.

Несколько подробнее надо сказать о работах по созданию обратимых конструкций высокопроизводительного автоматизированного оборудования применительно к тем отраслям промышленности, где преобладает мелкосерийное и серийное производство.

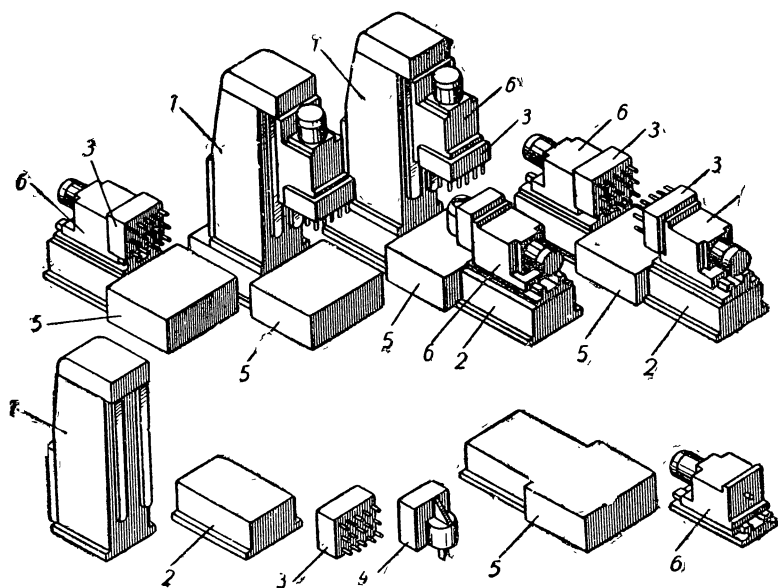


Рис. 19. Схема компоновки многопозиционных агрегатных станков: 1 — колонна; 2 — подставка; 3 — шпиндельная коробка; 4 — фрезерная насадка; 5 — станина; 6 — силовая головка.

Разработка конструкций такого оборудования основывается на нормализации их элементов. На рис. 19 приводится схема компоновки многопозиционных агрегатных станков.

Из рисунка видно, что конструкции разрабатываются так, чтобы было можно использовать нормализованные элементы — станины, силовые головки, шпиндельные коробки, системы управления и т. д. Это позволяет резко сократить сроки подготовки производства и снизить стоимость оборудования. Кроме того, такое расчленение конструкции оборудования на нормализованные элементы дает возможность использовать эти элементы в иных компоновках, для производства новых изделий. Уровень нормализации станков и других видов автоматизированного оборудования может быть доведен до 80—90%.

По этому принципу могут конструироваться и автоматические линии.

Нормализация элементов оборудования позволяет снизить

трудоемкость и сократить цикл подготовки производства новых изделий на 50—53 %, снизить трудоемкость изготовления специальной оснастки на 30—50 %; сократить расход металла на оснастку в 2—2,5 раза; централизовать изготовление до 75 % общего количества нормализованных узлов оснастки на специализированных предприятиях; повысить удельный вес высокопроизводительного специализированного оборудования до 40 % станочного парка механических цехов и снизить за счет этого трудоемкость механической обработки на 40—50 %.

**Повышение удельного веса прогрессивных, высокопроизводительных технологических процессов** (особенно процессов без снятия стружек, основанных на пластическом деформировании, внедрении точного литья и др.). Это дает возможность резкого сокращения удельного веса механической обработки на металлорежущих станках, а также сборочных процессов, удельный вес которых весьма велик (см. таблицу).

**Трудоемкость некоторых видов технологических процессов**

Виды технологических процессов	Трудоемкость в % к общей трудоемкости
Литье . . . . .	2,2
Обработка давлением . . . . .	9,0
Механообработка . . . . .	36,7
Сборка и испытание . . . . .	45,3
Окраска . . . . .	2,0
Гальванопроцессы . . . . .	3,9
Прочие . . . . .	0,9

**Совершенствование известных и изыскание новых технологических процессов на «заготовительной» стадии** с той направленностью, чтобы на первоначальной стадии получать детали, позволяющие сократить, а в ряде случаев исключить совсем механическую обработку.

Однако основным технологическим направлением в решении проблемы повышения производительности труда в настоящее время является автоматизация процессов производства.

### **Проблемы дальнейшей автоматизации приборостроительного производства**

**М**ожно с уверенностью сказать, что основная проблема, определяющая увеличение объема приборостроительного производства, его производительности, а также повышения надежности и точ-

ности — это проблема повышения степени автоматизации производства в приборостроении. Современное состояние этой проблемы достаточно полно рассмотрено в специальной литературе<sup>1</sup>.

Автоматизация может внедряться во все типы приборостроительного производства. Для массового производства, например, характерно эффективное применение специальных автоматов, автоматических линий и других средств автоматики, обеспечивающих внедрение комплексной автоматизации; в серийном широко применяются средства автоматики на станках общего назначения; в условиях мелкосерийного автоматизируются отдельные технологические приемы, при этом широко применяются универсальные устройства.

Во всех этих типах автоматических устройств используются элементы, которые могут быть унифицированы. Опыт эксплуатации позволил выявить отдельные элементы, простые по конструкции и надежные в работе, которые могут найти широкое применение во многих автоматических устройствах. Это, например, вибрационные загрузочные устройства, которые, благодаря надежности работы и универсальности применения, вытесняют другие типы загрузочных устройств. Наличие индивидуального привода превращает их в самостоятельное действующий агрегат. Это пневматические и пневмогидравлические приводы (цилиндры); вследствие своей простоты и универсальности они широко применяются в различных автоматизированных процессах. Сюда же могут быть отнесены электромагнитные клапаны и конечные выключатели для управления пневматическими приводами.

Стандартизованными могут быть также и системы управления, например, очень простая рефлекторная система последовательного путевого управления. Команды для работы последующих звеньев в этой системе подаются в момент окончания предыдущего действия. Команды могут подаваться как от конечных выключателей, так и от датчиков, реагирующих на изменение физических величин (давления, температуры и т. п.). Время работы каждого звена регулируется отдельно и не связано с изменением времени работы остальных звеньев. Каждое звено автомата снабжается индивидуальным приводом. Автоматы с рефлекторной системой управления не имеют управляющего вала и механического привода к нему, что значительно упрощает их конструкцию.

Устройства для управления автоматическим циклом — ко-

---

<sup>1</sup> Автоматизация и механизация процессов производства в приборостроении, под ред. проф. А. Н. Гаврилова. М., Машгиз, 1958.

Современное состояние и направление развития технологии машиностроения и приборостроения, под ред. проф. А. Н. Гаврилова. М., Машгиз, 1960.

нечные выключатели, клапаны, пневмодвигатели — универсальные. Это упрощает проектирование и изготовление автоматов, а в некоторых случаях автоматизация может быть сведена к монтажу стандартной аппаратуры на существующих станках и приспособлениях.

Рефлекторная система последовательного управления может быть широко использована для самых разнообразных технологических процессов. С ее помощью можно автоматизировать токарные, фрезерные, сверлильные и другие станки. Эта система управления может быть использована не только для самых разнообразных процессов обработки, но и для сборки, а также контроля. Она допускает смену отдельных агрегатов при перенастройке — для этого необходимо лишь переключить электрическую схему.

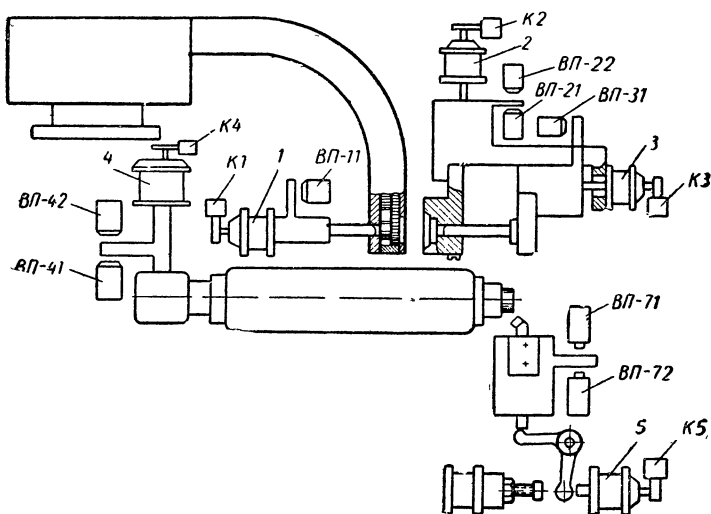


Рис. 20. Настольно-токарный станок с рефлекторной системой последовательного управления.

Рассмотрим для примера настольно-токарный станок, автоматизированный рефлекторной системой последовательного управления (рис. 20).

Станок оснащается универсальным загрузочным устройством, в котором чаша вибрационного бункера и толкатели сменные. Зажим цанги, перемещение толкателей и суппорта осуществляются пневмогидродвигателями 1, 2, 3, 4 и 5. Ими управляют электромагнитные клапаны К1, К2, К3, К4 и К5, команды на включение и выключение которых подаются от конечных выключателей ВП-11—ВП-72.

Вот как это происходит. Толкатель подает заготовку в захват и в конце хода нажимает на конечный выключатель

ВП-11. Тот подает команды — на обратный ход толкателя и опускание захвата. После опускания захвата срабатывает конечный выключатель ВП-21. Он дает команду на перемещение другого толкателя, который подает заготовку в цангу шпинделя станка. Далее происходит закрепление детали зажимом, рабочая подача суппорта, его обратный ход, освобождение зажима и выбрасывание обработанной детали пружинным выталкивателем. После освобождения срабатывает конечный выключатель ВП-42, и цикл повторяется.

Проблема автоматизации станочного парка в условиях мелкосерийного и серийного производства приборов и средств автоматики наиболее эффективно может решаться при использовании станков с программным управлением,

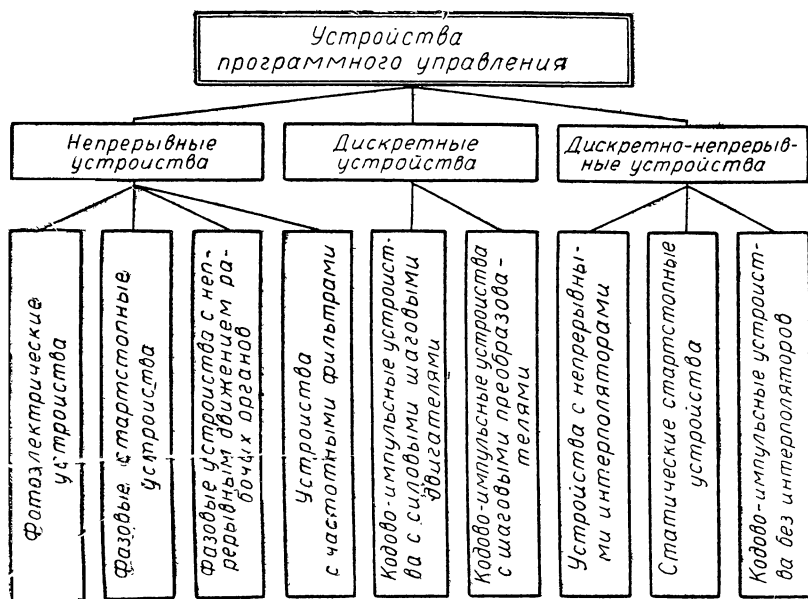


Рис. 21. Классификация устройств программного управления.

В настоящее время в заводских условиях пока используется ограниченное число устройств программного управления. В то же время разработано большое количество схем программного управления станками. На рис. 21 дана классификация таких устройств. В ее основу положен принцип действия функциональных узлов, входящих в систему программного управления; такую классификацию можно считать наиболее универсальной.

Наибольший интерес представляет устройство программного управления металлорежущими станками конструкции

ЭНИМС (рис. 22). Станки с таким управляющим устройством очень надежны в работе. Это определяет их успешное внедрение и эксплуатацию в заводских условиях. Схема работы этого устройства такова. Записанная на магнитную ленту 1, в унитарном коде информация снимается считывающим устройством 2, усиливается усилителем 3 и подается на шаговый преобразователь 4, который является датчиком угловых перемещений гидравлического усилителя крутящих моментов 5, а тот приводит в движение рабочий орган станка.

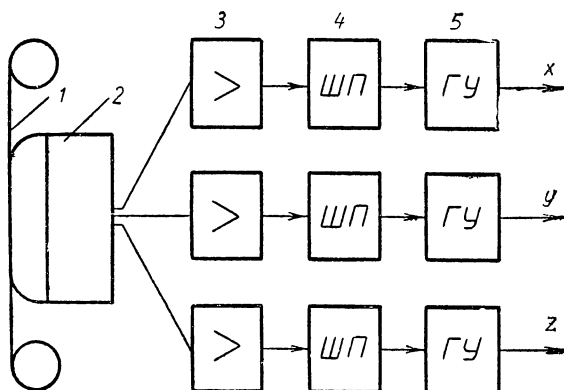


Рис. 22. Схема программного управления конструкцией ЭНИМС: 1—магнитная лента; 2—считывающее устройство; 3 — усилитель; 4 — шаговый преобразователь; 5 — гидравлический усилитель.

Примером системы, которая не только вызывает нужное перемещение, но с помощью следящих устройств управляет движениями исполнительных органов станка, является система программного управления фрезерным станком (рис. 23).

Программа работы станка записана на магнитной ленте 1, перемещаемой лентопротяжным механизмом вдоль головок 2 считывающего устройства. На магнитной ленте записаны программы перемещений стола в продольном и поперечном направлениях (по осям  $x$  и  $y$ ), а также подача вспомогательных команд (включение и выключение электродвигателя шпинделя 3, электродвигателя насосов смазки 4, электродвигателей охлаждения 5). Командные сигналы от головок считывающего устройства подаются в электронные устройства 10, где сравниваются с сигналами, поступающими от синусов обратной связи 6, расположенных на ходовых винтах станка. С выхода электронного устройства напряжение, определяемое разностью между положением, заданным программой, и фактическим положением стола 9, подается на усилитель 7 и исполнительный орган 8.

зуется для управления электродвигателями 8, перемещающими стол станка.

Достоинство таких систем заключается в том, что они позволяют автоматизировать находящиеся в эксплуатации неавтоматические станки без их коренного переустройства и без превращения их из станков универсального типа в станки специального назначения. Применение станков с программным управлением — один из наиболее эффективных путей решения задач автоматизации производственных процессов в условиях единичного и мелкосерийного производства.

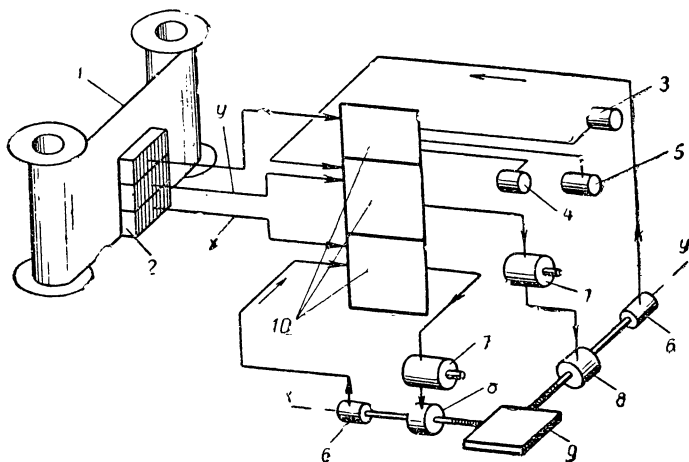


Рис. 23. Схема программного управления со следящей системой: 1 — магнитная лента; 2 — головки считывающего устройства; 3 — электродвигатель шпинделя; 4 — электродвигатель насосов смазки; 5 — электродвигатель охлаждения; 6 — сильсин обратной связи; 7 — усилители; 8 — электродвигатели для перемещения столов; 9 — стол фрезерного станка; 10 — электронное устройство.

В Советском Союзе, как и других странах с передовой техникой, есть крупнейшие предприятия массового производства. Но наряду с этим основная часть продукции машиностроения и приборостроения выпускается на заводах единичного и мелкосерийного производства. В США примерно три четверти наименований изделий машиностроительной и приборостроительной промышленности выпускается в количестве от 15 до 50 штук каждое.

Вот почему проблемы автоматизации единичного и мелкосерийного производства и, в частности, разработка совершенных конструкций станков с программным управлением и методов их рациональной эксплуатации приобретает в современных условиях огромное значение.

Многочисленные отрасли приборостроения, производящие изделия широкой номенклатуры и имеющие значительный диапазон по серийности, требуют различного подхода к выбору оптимальных средств и оптимальных методов автоматизации и механизации. В одних случаях наиболее эффективной оказывается частичная механизация и автоматизация, т. е. механизация и автоматизация отдельных технологических процессов, отдельных видов оборудования; в других — комплексная автоматизация производства в целом.

За последние годы на отечественных и зарубежных приборостроительных заводах частичная механизация и автоматизация осуществлялись весьма интенсивно и в широких масштабах.

Однако, несмотря на большую роль, которую она играет, эффект в данном случае достигается лишь по отдельным операциям или участкам производства. Между тем проблема резкого увеличения объема производства приборов и средств автоматики требует многократного увеличения производительности труда в целом по предприятию, отрасли и т. п. Решение этой задачи возможно лишь при условии широкого внедрения комплексной механизации и автоматизации, замены ручного труда работой машин, механизмов, устройств на всех основных и вспомогательных операциях.

Во многих случаях комплексная механизация связана с осуществлением поточного производства. Его эффективность велика не только в условиях массового и крупносерийного производства, но и в условиях серийного производства, когда предусматривается внедрение специфичных для приборостроения поточных линий, например многопредметных непрерывно-поточных и прерывно-поточных линий,

Внедрение в приборостроении комплексной автоматизации требует: увеличения станков-автоматов; модернизации существующего парка оборудования общего назначения путем оснащения его автоматическими устройствами; внедрения в мелкосерийное производство станков с программным управлением, оснащенных новыми быстроперенастраиваемыми средствами.

Особо надо отметить необходимость модернизации действующего парка оборудования. Это сейчас важнейшее направление внедрения комплексной автоматизации, так как ориентация только на установку нового оборудования не может обеспечить проведения комплексной автоматизации в массовых масштабах.

При проектировании и внедрении автоматических линий надо иметь в виду наличие различных вариантов их осуществления.

Наиболее общей из автоматических линий, приемлемой для широкого внедрения в приборостроение, можно считать систе-

му гибко связанных групп технологических агрегатов. В каждой из таких групп технологические агрегаты соединены между собой жесткой связью, гибкая же связь между группами (участками) представляет собой устройство для приема, хранения и выдачи в соответствующее время запасов полуфабрикатов.

Использование автоматических линий характеризует собой типичный пример комплексной автоматизации. Однако это направление, особенно в приборостроении, где мы имеем дело с большим количеством малогабаритных деталей, не всегда оправдывает себя. Очень часто весьма эффективным в приборостроении оказывается внедрение многопозиционного оборудования. Многопозиционные, многоинструментные и многшпиндельные станки могут применяться при выполнении самых разнообразных операций.

Прогрессивным направлением комплексной автоматизации может быть также внедрение роторных машин. Сейчас эти машины применяются главным образом в условиях массового и крупносерийного производства. Однако вполне реальны перспективы их использования и в условиях серийного производства. В этом случае возникает задача придания роторным машинам (линиям) необходимой «гибкости», которая бы позволила проектировать роторные устройства для многопредметной обработки.

Исключительно важное значение при решении проблемы дальнейшей автоматизации приборостроительного производства имеет выбор научных направлений осуществления автоматизации. Выбор тем научных исследований в области автоматизации технологических процессов должен базироваться не на произвольном осуществлении каких-либо идей, а на основе строгого и глубокого технико-экономического анализа приборостроительного производства. Прежде всего должны быть выявлены наиболее трудоемкие процессы и типовые операции, которые могут быть автоматизированы по одной общей схеме. При этом необходимо также наметить основные пути автоматизации с предварительным обоснованием ее технико-экономической эффективности.

В целях ускорения автоматизации приборостроительного производства необходимо обеспечить типовыми устройствами многочисленные конструкторские отделы на предприятиях, в проектных и научно-исследовательских институтах, занимающиеся автоматизацией производства. Важно прекратить их проектирование и изготовление индивидуальным малоэффективным способом, организовать серийное производство.

Ряд других вопросов, касающихся проблемы повышения степени автоматизации, рассмотрен в специальных работах, на которые сделаны ссылки выше.

Классификатор путей повышения технологичности конструкций

Показатели технологичности конструкций	Признаки, характеризующие сложность конструкций	Пути повышения степени технологичности конструкций	Индекс (класс)
Сложность конструктивного оформления отдельно взятых деталей изделия	Степень обрабатываемости, стоимость и дефицитность материала	Изыскание нового материала, более полно удовлетворяющего техническим и технологическим требованиям для данного изделия	K1-01
		Изыскание новых физико-механических свойств в имеющихся материалах в целях выявления дополнительных возможностей использования этих материалов для более широкого круга конструкций деталей	K1-02
		Изыскание новых способов обработки, позволяющих изготавливать детали из материалов, ранее считавшихся нетехнологичными	K1-03
		Изыскание новых конструкций деталей, позволяющих изготавливать детали из материалов, ранее считавшихся нетехнологичными	K1-04
		Изыскание новых конструкций деталей, позволяющих использовать другие, более технологичные материалы	K1-05
		Изыскание новых конструкций деталей, позволяющих выбирать наиболее выгодный раскрой готовой детали из заготовок	K1-06
		Изыскание новых конструкций деталей, позволяющих максимально использовать отходы материалов после раскроя	K1-07
		Изыскание новых конструкций деталей, позволяющих частично или полностью заменить дорогостоящие и дефицитные материалы материалами меньшей стоимости и дефицитности	K1-08
	Вес, объем и габаритные размеры детали	Выбор наиболее выгодной формы детали, обеспечивающей минимальные показатели веса, объема и габаритных размеров этой детали	K2-01
		Выбор для детали более легкого, более плотного и более прочного материала, позволяющего за счет этих качественных показателей уменьшить вес, объем и габаритные размеры детали	K2-02
		Создание более жестких конструкций (например, с ребрами жесткости), позволяющих уменьшить вес, объем и габаритные размеры детали	K2-03

Показатели технологичности конструкций	Признаки, характеризующие сложность конструкций	Пути повышения степени технологичности конструкций	Индекс (класс)
Сложность конструктивного оформления отдельно взятых деталей изделия	Вид заготовки детали	Выбор наиболее рационального способа получения заготовки	K3-01
		Выбор степени конструктивной сложности детали	K3-02
	Технологичность конструктивного оформления отдельно взятой поверхности детали	Выбор наиболее рационального способа обработки отдельно взятой поверхности детали	K4-01
		Ликвидация на чертеже детали ненужных размеров	K4-02
		Устранение дополнительной доработки отдельно взятой поверхности (например, отказ от ненужного дополнительного покрытия поверхности краской и т. д.).	K4-03
		Нормализация отдельных поверхностей (повторение одинаковых поверхностей, например: отверстий, ступенек на валке, резьбовых поверхностей и т. д.)	K4-04
		Уменьшение размеров отдельных поверхностей, подвергающихся дополнительной доработке	K4-05
		Назначение для данной поверхности оптимального технологически приемлемого показателя чистоты обработки	K4-06
		Назначение для данной поверхности оптимального технологически приемлемого показателя обработки	K4-07
		Обеспечение возможности свободной подачи рабочего инструмента к месту обработки	K4-08
		Правильная простановка размеров, обеспечивающая возможность производительно выполнять измерения обработанных поверхностей	K4-09
		Обеспечение возможностей выбора наиболее производительного и качественного способа обработки отдельных поверхностей заготовки	K4-10
		Обеспечение возможности наипростейшей и наиболее точной установки детали в положение, удобное для обработки	K4-11
		Обеспечение возможности обработки отдельно взятой поверхности выбранным способом с учетом всех его специфических особенностей	K4-12

*П о п р а в к а.* В брошюре М. С. Ческина «Борьба с шумом» была допущена опечатка. На стр. 12 20-ю строку снизу следует читать: «В США в 1957 году от инфекционных заболеваний погибло 24 тысячи человек, а в результате дорожных катастроф — более 38 тысяч».

*В 1965 ГОДУ В СЕРИИ «ТЕХНИКА»  
ВЫШЛИ СЛЕДУЮЩИЕ БРОШЮРЫ:*

*И. Г. Хорбенко. Ультразвук в действии*  
*Б. Васильев. Без резца и штампа*  
*Атомная энергетика наших дней. Сборник*  
*Ю. П. Сафронов. Инфракрасные лучи*  
*А. Н. Несмеянов. Изотопы служат людям*  
*В. Н. Пушкин. Эвристика и кибернетика*  
*Б. С. Малеванчик. Дорога сквозь плотину*  
*Ю. М. Галонен. Поезда над городом*  
*Е. В. Софронов. Оборудование самолета*  
*Г. Липман, Г. Тургенев. Снегоходы*  
*К. К. Казанжи. Статическое электричество*  
*Р. Бахتامов. СК: проблемы и решения*  
*Н. Д. Плехов. Жилые дома из блок-комнат*  
*В. С. Володин. Рассказы о сварке*  
*М. С. Ческин. Борьба с шумом*  
*П. К. Мицкевич. Жидкости и электроника*  
*А. И. Орлов. Главная машина полей*  
*Г. М. Щербо. Дома из готовых деталей*  
*П. В. Кондратьев. Вертолет в полете*  
*К. Левитин, А. Меламед. Горячий свет*  
*Е. Салимов. Техника охраняет человека*  
*В. А. Ломанович. Химотроника*  
*Н. А. Петров. Прогресс науки и техники в пищевой индустрии.*