

Б. В. ШАНДРОВ, А. А. ШАПАРИН, А. Д. ЧУДАКОВ

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА (МЕТАЛЛООБРАБОТКА)

**УЧЕБНИК**

*Допущено Экспертным советом по начальному  
профессиональному образованию Минобрнауки России  
в качестве учебника для учреждений начального  
профессионального образования*

5-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2008

УДК 65.011.56  
ББК 32.965 (34.5)  
Ш20

Рецензент —  
преподаватель ПЛ № 313 г. Зеленограда,  
канд. техн. наук, доц. *В. М. Прошина*

### **Шандров Б. В.**

Ш20 Автоматизация производства (металлообработка) : учебник для нач. проф. образования / Б. В. Шандров, А. А. Шапарин, А. Д. Чудаков. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 256 с.

ISBN 978-5-7695-5661-6

Рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с автоматизацией производства на предприятиях, имеющих металлообрабатывающие процессы. Изложены основные направления и возможности автоматизации в современных условиях.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 65.011.56  
ББК 32.965 (34.5)

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Шандров Б. В., Шапарин А. А., Чудаков А. Д., 2002  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008  
ISBN 978-5-7695-5661-6 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное машиностроение отличается интенсивным расширением многообразия выпускаемой продукции. Одновременно происходит сокращение продолжительности цикла выпуска изделий одного вида. Объемы выпуска продукции, как и прежде, изменяются в широком диапазоне — от единичных образцов до массового производства. Однако преобладающим начинает становиться мелко- и среднесерийное производство.

Развитие объектов машиностроительного производства (автомобилей, тракторов, станков, локомотивов и пр.) характеризуется интенсивным ростом сложности машин и ужесточением требований к их качеству. За последние 25—30 лет сложность машин как объекта производства увеличилась в 4—6 раз. Повышение технических характеристик машин и увеличение числа их функций приводит к увеличению числа деталей и сборочных единиц, входящих в машину, усложнению их конструкции и повышению точности изготовления, замене традиционных материалов на новые, обладающие улучшенными физико-механическими свойствами. В этих условиях автоматизация основных и вспомогательных технологических процессов служит основным средством повышения эффективности производства.

В автоматизированном производстве резко повышаются требования к качеству каждого этапа производственного цикла, организации переналаживаемых, гибких технологических процессов и применению технологий с малым участием людей. Поэтому при внедрении автоматизации большое внимание уделяется использованию микропроцессоров и электронно-вычислительной техники, гибких производственных систем, автоматизации контроля и управления технологическими процессами, загрузки оборудования, транспортировки деталей и сборочных единиц.

Автоматизация способствует интенсификации технологических процессов и снижению себестоимости изготовления изделий машиностроения, в корне меняет условия работы в промышленности, сглаживая противоречия между трудом умственным и физическим.

Как учебная дисциплина автоматизация производства имеет большое значение в подготовке специалистов для машиностроения, поскольку ее изучение дает знания, необходимые для разработки и применения в производстве высокопроизводительных методов и средств автоматизации.

# ГЛАВА 1

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### 1.1. Изделие и его элементы

*Изделием* в машиностроении называется любой предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии. Изделием может быть машина, агрегат, сборный элемент агрегата (сборочная единица) и даже отдельная деталь.

*Деталь* изготавливается из одного материала без применения сборочных операций. Характерный признак детали — отсутствие в ней разъемных и неразъемных соединений (рис. 1.1).

*Сборочная единица* — это изделие, составные части которого соединены в процессе производства. Различают составные части первого, второго и более высокого порядка. Составная часть первого порядка входит непосредственно в конструкцию изделия. Она состоит из отдельных деталей и частей второго порядка. Составная часть наивысшего порядка разделяется только на детали.

*Агрегат* — это составная часть машины определенного функционального назначения, собранная из сборочных единиц и де-

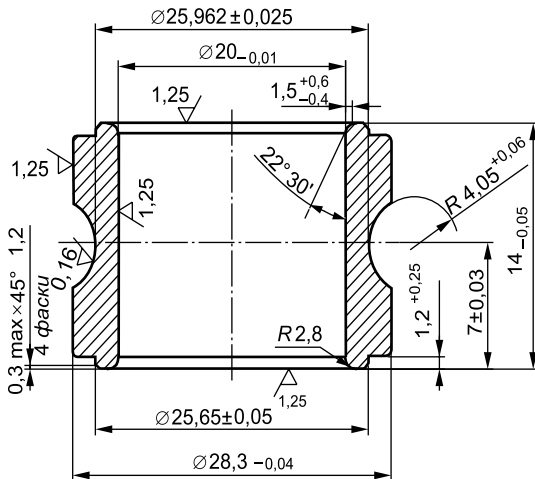


Рис. 1.1. Типовая машиностроительная деталь типа тела вращения

талей, которая выполняет определенные функции (например, двигатель автомобиля, шпиндель станка и др.).

## 1.2. Производственные и технологические процессы

*Производственным процессом* называется совокупность всех этапов производства изделия. Производственный процесс включает в себя изготовление заготовок деталей, различные виды их обработки, контроль качества, сборку и испытание агрегатов и машин. На предприятиях производственный процесс делится на части, которые размещаются по отдельным цехам или корпусам: кузнечно-прессовое, литейное, механосборочное, инструментально-штамповое производства и др.

*Технологическим процессом* называется часть производственного процесса, которая непосредственно связана с механической и термической обработкой или со сборкой изделия. В процессе механической обработки происходит изменение формы и размеров обрабатываемой заготовки. Термическая обработка применяется для того, чтобы придать материалу детали необходимые эксплуатационные свойства (твердость, износостойкость) путем изменения его физических свойств. В процессе сборки (агрегата) машины устанавливаются необходимые взаимосвязи деталей и сборочных единиц.

## 1.3. Структура технологического процесса

Любой технологический процесс машиностроительного производства состоит из отдельных операций.

*Операцией* называется часть технологического процесса, выполняемая непрерывно над определенной деталью (объектом производства) одним рабочим (или группой рабочих) на одном рабочем месте. Таким образом, операция характеризуется неизменностью объекта производства, оборудования (рабочего места) и исполнителей. Операция является основной единицей производственного планирования. Загрузка оборудования, пропускная способность цеха (участка), число рабочих всегда рассчитываются исходя из длительности операции.

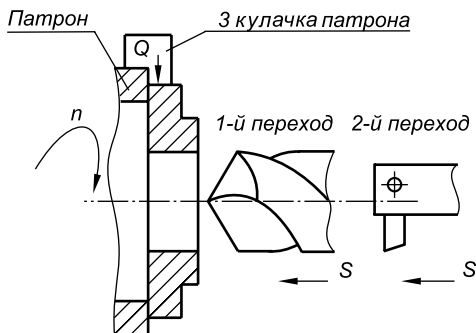


Рис. 1.2. Схема токарно-сверлильной обработки детали типа тела вращения:  $n$  — частота вращения патрона;  $S$  — подача инструмента;  $Q$  — сила закрепления детали

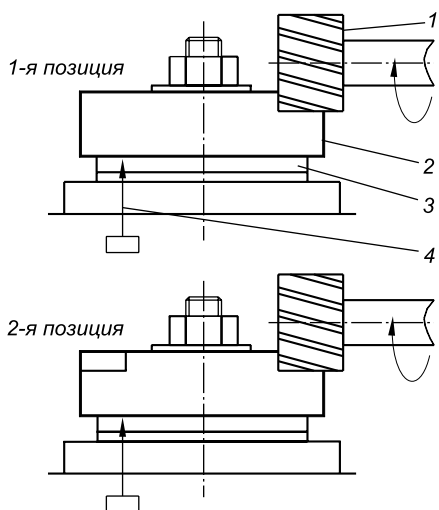


Рис. 1.3. Схема фрезерной обработки уступов заготовки:

1 — инструмент; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — поворотный стол; 4 — фиксатор поворотного стола

Введена схема обработки детали, при которой отверстие можно растачивать в два прохода.

В заводской практике часто используются понятия *установ* и *позиция*.

*Установом* называют часть операции, которая выполняется при одном закреплении детали на станке. Одному установу могут соответствовать различные положения детали относительно станка. Каждое такое положение называется *позицией*. На рис. 1.3 показана схема позиционной обработки двух уступов заготовки при одном установе с помощью поворотного стола станка.

#### 1.4. Трудоемкость и станкоемкость процесса

Время, затраченное рабочим на выполнение операции или технологического процесса обработки (сборки) детали, называется *трудоемкостью*. Трудоемкость процесса  $T$  определяется отношением

$$T = f/Q,$$

где  $f$  — число рабочих, занятых в процессе;  $Q$  — число деталей, обработанных всеми рабочими в единицу времени (производственного процесса).

Единица измерения трудоемкости процесса — человекочас. Трудоемкость служит основным технико-экономическим параметром процесса, определяющим требуемое количество рабочих.

Применительно к технологическим процессам механической обработки операция делится на переходы и проходы.

*Переходом* называется часть операции, которая характеризуется неизменностью обрабатываемой поверхности, режущего инструмента и режима обработки. На рис. 1.2 показана схема обработки отверстия в детали, закрепленной в самоцентрирующемся патроне токарного станка, которая осуществляется в два перехода: первый — сверление, второй — растачивание отверстия.

Переход может состоять из двух или нескольких проходов. *Проход* осуществляется за один рабочий ход режущего инструмента. На рис. 1.2

Трудоемкость операции складывается из отдельных рабочих приемов. *Приемом* называется определенное законченное действие рабочего при выполнении операции, т. е. действие, которое можно пронормировать временем его выполнения (например, пуск станка, включение подачи, снятие детали и т. д.).

Чтобы определить количество оборудования, необходимого для выполнения технологического процесса, применяется еще один технико-экономический параметр — станкоемкость. *Станкоемкость* определяется временем, в течение которого оборудование занято для выполнения операций технологического процесса. Единицей измерения станкоемкости является станкочас.

Станкоемкость процесса  $T_d$  вычисляется в соответствии с зависимостью

$$T_d = \frac{C}{Q} \eta_{\text{загр}},$$

где  $C$  — количество оборудования (станков), занятого в процессе;  $Q$  — число деталей, обработанных в процессе за единицу времени (час, смену);  $\eta_{\text{загр}}$  — коэффициент загрузки оборудования.

Если в технологическом процессе на каждом станке работает один рабочий ( $f = n$ ), то трудоемкость и станкоемкость различаются только коэффициентом загрузки оборудования  $\eta_{\text{загр}}$ . Чем выше уровень автоматизации процесса, тем выше  $\eta_{\text{загр}}$  за счет снижения трудоемкости.

## 1.5. Классификация технологических процессов

Классификацию технологических процессов проводят по определенным признакам, важнейшими из которых являются:

- технологический признак;
- программа выпуска и номенклатура (разнообразие) изделий;
- метод организации производства;
- степень концентрации операций.

### 1.5.1. Технологические процессы и типы производства

По технологическому признаку производство машин различается технологическими процессами: механообработки, сборки, литья, штамповки, сварки, окраски и т. д. Наиболее высокий уровень автоматизации достигается в механообрабатывающих процессах (до 80 %), самый низкий — в сборочных процессах (15... 20 %). Сборку технологически трудно (и дорого) автоматизировать, так как для соединений деталей требуется выполнять сложные движения. Поэтому сборочные цеха наиболее многолюдные.

По признаку «номенклатура изделий» различают три типа производства: единичное, серийное и массовое.

*Единичным* называется производство, при котором изделия разнообразной конструкции изготавливают в единичных экземплярах, причем повторяемость этих изделий заранее не планируется. Поэтому этот тип производства должен быть технологически гибким, для чего необходимо его оснащение универсальным оборудованием и инструментом. Технологические процессы в единичном производстве строятся таким образом, что на одном станке выполняется последовательно большое число переходов и часто — полная обработка деталей. Это обуславливает относительно высокую себестоимость изделий.

К единичному производству относятся изготовление экспериментальных образцов машин, крупных станков, мощных гидротурбин и электрогенераторов и т. д.

*Серийным* называется производство, в котором выпуск изделий осуществляется сериями (партиями). В зависимости от величины и повторяемости серий производство может быть мелкосерийным и крупносерийным.

В серийном производстве отдельные операции технологического процесса закреплены за определенным оборудованием. В основном используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), специализированные по методу обработки (токарные, зубообрабатывающие, шлифовальные), а также агрегатные и специальные станки. Переналадка станочного парка позволяет переходить от изготовления одной серии изделий к другой. Номенклатура изделий в серийном производстве ограничена.

В настоящее время существуют следующие рекомендации по выбору производственных структур серийного производства (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Число видов деталей	Серийность выпуска	Рекомендуемая структура
2... 8	1500... 15000	Переналаживаемые (гибкие) автоматические линии
4... 100	40... 2000	Участки станков с ЧПУ
40... 500	25... 600	Группы станков с ЧПУ
500 и более	До 30	Отдельные станки с ЧПУ

Серийное производство значительно экономичнее единичного, так как позволяет повысить производительность труда за счет специализации рабочих. Этот тип производства является наиболее распространенным в машиностроении, поскольку он лучше других отвечает требованиям рыночной экономики. В нем оптималь-



ным образом сочетаются высокая производительность и гибкость (рис. 1.4).

К серийному типу производств относятся станкостроение, авиастроение, приборостроение и др.

*Массовым* называют такое производство, в котором изделия одного вида изготавливают непрерывно в течение продолжительного времени (обычно несколько лет).

К этому типу производства относятся автомобилестроение, производство предметов массового спроса и др. Для массового производства характерно выполнение на большинстве рабочих мест постоянно повторяющихся операций, что экономически оправдано при большой программе выпуска. Отсюда следует, что массовое производство объективно создает благоприятные условия для автоматизации технологических процессов. Поэтому массовое производство — это, как правило, автоматизированное производство, в котором технологические процессы выполняются на автоматических линиях. Функции рабочих сводятся к контролю работы линии и ее обслуживанию.

### 1.5.2. Методы производств

В машиностроении различают два метода изготовления деталей и сборки машин: непоточный и поточный.

*Непоточным* называют метод, при котором детали изготавливают партиями на каждой операции. Оборудование расставляют группами по технологическому признаку (токарная, фрезерная, сверлильная, шлифовальная группы и т.д.), без определенной связи с последовательностью выполнения операций. Сборку машин осуществляют также партиями на постоянных рабочих местах.

На рис. 1.5 показан процесс обработки подшипниковых колец в непоточном производстве. Сначала партия колец проходит токарную обработку в группе токарных автоматов и затем поступает на термическую обработку. После нее кольца обрабатываются на шлифовальных станках и наконец поступают на сборку подшипников.

*Поточным* называется метод производства, при котором операции технологического процесса обработки или сборки закреплены за определенным оборудованием, которое расположено в порядке выполнения операций, а объект производства передается с одной операции на другую при помощи транспортировочных



Рис. 1.4. Соотношение гибкости и производительности для серийного производства

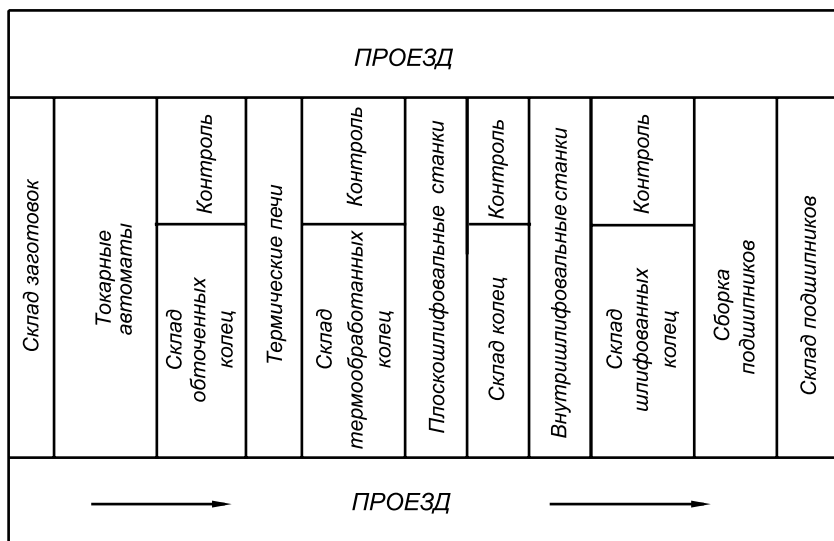


Рис. 1.5. Схема планировки оборудования в непоточном производстве

устройств. Такой метод позволяет производить обработку или сборку без заделов непрерывным потоком.

Основой поточного производства является поточная линия (рис. 1.6), на которой оборудование работает синхронно. Поточной линии свойственна ритмичность выпуска изделий, характер-

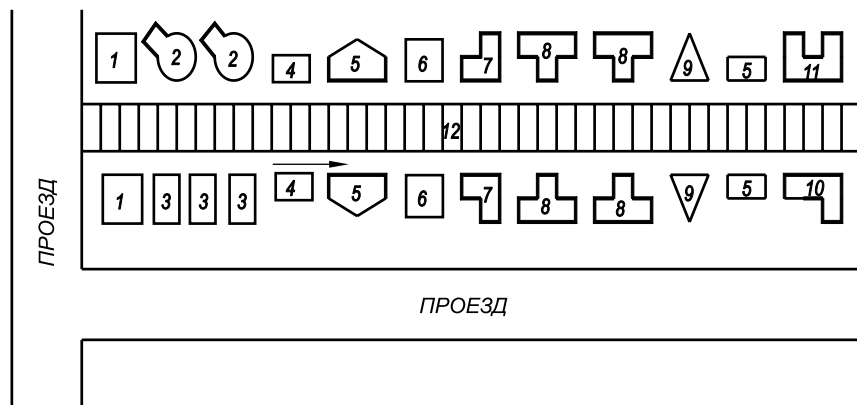


Рис. 1.6. Схема поточной линии для обработки подшипниковых колец: 1 — тара для заготовок; 2 — токарные станки для обработки внутренних колец; 3 — токарные станки для обработки наружных колец; 4 — технический контроль; 5 — термическая печь; 6 — плоскошлифовальный станок; 7 — бесцентрово-шлифовальный станок; 8 — внутршлифовальный станок; 9 — доводочный станок; 10 — сборка подшипников; 11 — установка; 12 — транспортёр

ризуемая определенным промежутком времени, называемым *тактом*. Расчетная величина такта  $\tau$  определяется отношением

$$\tau = \Phi / N,$$

где  $\Phi$  — фонд рабочего времени;  $N$  — число деталей, выпущенных изделий за тот же период времени  $\Phi$ .

Поточное производство экономически более эффективно, чем непоточное. Закрепление за оборудованием и рабочими одних и тех же операций позволяет использовать высокопроизводительное оборудование, а также снизить трудоемкость и себестоимость процесса. Характерные для непоточного производства дополнительные транспортные и складские операции, которые требуют рабочих, оборудования и площадей, в поточном производстве ликвидируются.

### **1.5.3. Концентрация и дифференциация технологического процесса**

Одну и ту же заготовку можно обрабатывать технологическими процессами с разным количеством и содержанием операций. Если процесс раздроблен на простейшие (элементарные) операции, состоящие из одного перехода или прохода, то он называется дифференцированным технологическим процессом. *Дифференциация* делает процесс более простым, надежным и менее дорогостоящим. Поэтому дифференцированные процессы иногда применяются при запуске (освоении) производства, недостаточном его оснащении и отсутствии квалифицированных рабочих.

*Концентрация* технологического процесса представляет собой совмещение на одном рабочем месте достаточно большого числа переходов или позиций. Концентрация в первую очередь направлена на уменьшение станкоемкости и сокращение числа рабочих. На практике применяют параллельную, последовательную и смешанную формы концентрации технологического процесса.

Параллельная форма концентрации имеет место, когда поверхность заготовки обрабатывается параллельно несколькими инструментами (рис. 1.7) или комбинированным инструментом. К параллельной форме концентрации также относится многопозиционная обработка на агрегатных станках и автоматических линиях. При последовательной форме концентрации одним инструментом последовательно обрабатывается совокупность поверхностей заготовки (рис. 1.8), например на станке с ЧПУ или на копировальном станке. Смешанная форма концентрации показана на примере обработки торца вала комбинированным инструментом (рис. 1.9), в котором вначале последовательно обрабатываются поверхности 2 и 3, а затем параллельно поверхности 1, 2, 3 и 4.

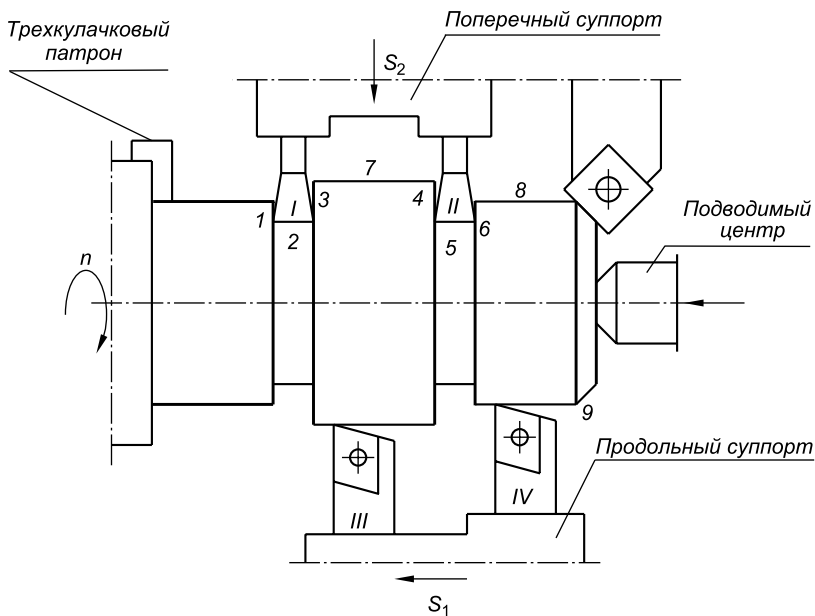


Рис. 1.7. Параллельная концентрация операции токарной обработки вала: 1—9 — параллельно обрабатываемые поверхности вала; I—IV — обрабатывающие инструменты;  $S_1$  и  $S_2$  — подача суппортов;  $n$  — вращение вала

Эффективность применения концентрации зависит от ее степени. Различают несколько степеней концентрации технологических процессов.

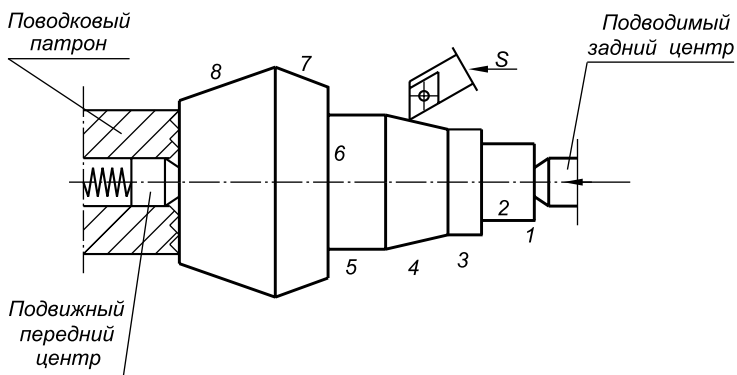


Рис. 1.8. Последовательная концентрация операций токарной обработки заготовки под коническую шестерню на станке с ЧПУ: 1—8 — последовательно обрабатываемые поверхности заготовки;  $S$  — подача инструмента