

ПРЕДИСЛОВИЕ

Начиная со второй половины XX в. широкое распространение получила автоматизация различных процессов формообразования и сборки, включая обработку резанием. Переход с отдельных станков с ЧПУ и многоцелевых станков гибких участков к станочным автоматизированным системам, управляемых от ЭВМ, — сегодня это главное направление автоматизации современного машиностроительного производства.

Процессы обработки резанием по своей производительности, гибкости, экономичности, качеству и точности получаемой детали преобладают над другими способами обработки. Поэтому эффективность процесса резания является основой высокопроизводительной и качественной эксплуатации станочного оборудования.

Однако анализ работы станков с ЧПУ и гибких автоматизированных систем (ГПС) показывает, что их функциональное обеспечение организовано не лучшим образом. Опыт их эксплуатации свидетельствует, что имеются существенные резервы в повышении их производительности и надёжности работы за счёт научно обоснованных рекомендаций по оптимизации параметров режима обработки по минимуму расхода режущего инструмента, внедрению систем контроля состояния инструмента, оптимизации технологического процесса обработки заготовок, рациональной загрузки оборудования, уменьшения и исключения его простоев, автоматизации транспортно-накопительной системы и загрузки заготовок в приспособления, использования быстропереналаживаемых приспособлений, различных сменных палет и т. п.

При организационной и технологической подготовке механообрабатывающего производства необходимо четко решать вопросы с ритмичной загрузкой оборудования. Современное оборудование с ЧПУ стоит весьма дорого. Например, станки 3D могут стоить от 10 до 15 млн долларов, а иногда и более, 4D и 5D ещё дороже. То же касается и транспортно-накопительных систем, робототехнических комплексов и т. п.

Следует отметить, что станок окупает себя тогда (по времени), когда с него «сходит» стружка, т. е. это основное (машинное) время обработки. Когда станок не работает, заготовка устанавливается, закрепляется, снимается, контролируется, транспортируется и т. д. — это простой дорогостоящего оборудования, который необходимо свести до минимума.

Из изложенного следует, что режимы резания при обработке заготовок на разных операциях и разном оборудовании в соответствии с маршрутом обработки необходимо назначать рационально (или оптимально), чтобы «передача» заготовки от станка к станку осуществлялась непрерывно, без «пролёживания» заготовки у следующего станка.

Что касается времени работы оборудования (ЧПУ, ГПС, РТК, ГАЛ и др.), то самый оптимальный вариант — это 24 ч, но минимум — это двухсменная работа, если это подтверждается экономическими расчетами.

При организации процесса механической обработки заготовок резанием в автоматизированном производстве наиболее сложные задачи приходится решать при оценке не только производительности, но также надёжности обработки, точности и качества поверхности.

В настоящее время часто на станках с ЧПУ, ГПС и ГАЛ уровень режимов резания занижен на 30–40% относительно нормативных [9, 13, 17, 37] в предположении, что снижение скорости резания и подачи гарантирует более стабильную работу инструмента и, следовательно, оборудования. А при пониженных режимах резания и повышенном периоде стойкости инструмента наблюдается наибольший статический разброс значений стойкости — до 200% и более. Поэтому приходится уменьшать и расчетное значение периода стойкости, чтобы гарантировать заданный ресурс работы инструмента до его смены. При этом создаются предпосылки нерациональной работы инструмента и повышенного его расхода, так как типичной становится ситуация, при которой инструмент отправляется на заточку, хотя он ещё в работоспособном состоянии.

Теоретические и экспериментальные исследования, а также производственный опыт показывают, что у технолога имеется большой арсенал средств и методов оптимального управления обработкой резанием в автоматизированном производстве с целью повышения её производительности и надежности. В частности, принципиально возможно разработать такие технологические условия резания, когда при работе инструмента в режиме нормального изнашивания обеспечивается вероятность (близкая к 1) выполнения всех требований к обработке заготовки. При этом безотказность процесса резания регламентируется заданными требованиями по периоду стойкости инструмента, силе резания, точности и качеству партии обработанных заготовок. Повышение надежности процесса резания достигается стабилизацией условия его протекания на основе априорной оценки входных возмущающих факторов, имеющих случайный или систематический характер.

Рациональное построение технологических процессов резания в автоматизированном производстве как на уровне структурной оптимизации, так и на уровне внешней и внутренней параметрической оптимизации требует большого объема достоверной информации о возмущающих факторах обработки. Без наличия информации о возможных колебаниях припуска, физико-математических свойств инструментального и обрабатываемого материалов, статических и динамических характеристик применяемого оборудования и других случайных факторов производства практически невозможно обеспечить стабильность проектирования процесса формообразования и качество обрабатываемых деталей.

Обеспечение стабильности и качества технологического процесса в условиях автоматизированного производства необходимо реализовать путем создания управления процессом резания с учетом уровня неопределенности исходной информации, необходимой для управления. Уровень полной неопределенности — уровень, когда отсутствует информация о числовых значениях распределения возмущающих факторов, влияющих на процесс фор-

мообразования. Отсутствие информации вносит наибольшую неопределённость в управление обработкой резанием. Уровень частичной неопределенности, при которой известны числовые характеристики законов распределения исходных возмущающих факторов (например, математическое ожидание и дисперсия), даёт приближённую информацию о качественной стороне взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки. Уровень неполной определенности характеризуется наличием информации о количественных соотношениях, описывающих законы изменения возмущающих факторов в процессе резания, представленных в виде числовых характеристик случайных функций (процессов). Наиболее характерной ситуацией на производстве является полное отсутствие информации или её значительной части о возмущающих факторах обработки резанием.

Анализ надежности технологических процессов в условиях автоматизированных производств показывает [6, 8, 15, 22, 32], что среди элементов ТП: заготовительное производство; базирование заготовок (деталей); закрепление заготовок (деталей); функционирование станков; применение инструмента; наладка процессов обработки; производство измерений; использование приспособлений. Наименее надежным является инструмент.

Качественно оценку надежности инструмента можно проводить по вероятности безотказной работы ($P(t)$), интенсивности отказа (λ), среднему времени безотказной работы (периоды спокойности) (T). Для одноразового (неперетачиваемого) инструмента понятие безотказности совпадает с понятием долговечности, которая оценивается вероятностью недостижения предельного состояния ($Pq(t)$). Основной причиной отказа инструмента (резца) считаются износ по передней и задней поверхностям, а также поломка (выкрашивания) его режущего лезвия.

В задачи инженера-технолога автоматизированного производства входит (на основании учета всех факторов, влияющих на точность, качество и производительность процесса механической обработки заготовок деталей машин) обеспечение ритмичной работы имеющегося оборудования.

Большое значение в создании и развитии автоматизированного производства в нашей стране имеют труды отечественных учёных: Андреева Г. Н., Балакшина Б. С., Безъязычного В. Ф., Брюханова В. Н., Волчековича Л. И., Воронова В. Н., Гжирова Р. И., Егорова В. А., Звонцова И. Ф., Капустина Н. М., Кузнецова Ю. Н., Козырева Ю. Г., Маслова А. Р., Митрофанова С. П., Протасьева В. В., Рабиновича А. Н., Серебренецкого П. П., Соломенцева Ю. М., Сосонкина В. Л., Схиртладзе А. Г., Харченко А. О., Черпакова Б. И., Шишмарева В. Ю., Ямникова А. С. и др. Труды этих ученых использовались авторами при написании данного учебника.

Авторы выражают искреннюю признательность директору Высшей школы «Автоматизация и робототехника» СПбПУ Петра Великого, профессору, доктору технических наук Волкову А. Н. и профессору кафедры

«Автоматизации производственных процессов» Волг ГТУ, профессору, доктору технических наук Кристалию М. Г., которые взяли на себя большой труд по рецензированию рукописи данного учебника и сделали ряд ценных замечаний, которые были учтены авторами.

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. ТЕРМИНОЛОГИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ АПП

Одним из основных направлений деятельности человека является совершенствование процессов производства с целью облегчения тяжелого физического труда и повышение эффективности процесса. Это направление может реализоваться через автоматизацию производственных процессов (АПП).

Целями АПП являются:

- повышение производительности производства;
- повышение качества выпускаемой продукции и её надежности;
- улучшение условий труда.

Известно, что технологический процесс состоит из следующих основных частей: установки, выверки, закрепления и снятия заготовки; рабочего цикла — основной технологический процесс; холостых ходов, транспортно-накопительных операций, контрольных операций.

Технологический процесс тесно связан со всей технологической системой. Составляющие технологической системы:

- станок — это автоматизация рабочих и холостых ходов всех механизмов станка (автоматизация главного движения, подач и вспомогательных операций);
- приспособление (технологическая оснастка) — автоматизация установки и фиксации обрабатываемых заготовок на станке;
- инструмент-требования АПП к инструменту (износостойкость, надежность и пр.);
- заготовка — технологические и эксплуатационные требования к готовой детали. Кроме того, вспомогательные операции — это автоматизация загрузки, разгрузки, установки, ориентации, фиксации, транспортировки, накопления и контроля заготовок и готовых деталей.

Из всего вышеизложенного следует, что АПП требует комплексного подхода.

Автоматизация — направление развития производства, характеризуемое освобождением человека не только от мускульных усилий, для выполнения тех или иных операций, но и от постоянного операционного управления механизмами, выполняющими эти движения.

Автоматизация может быть частичной или полной.

Частичная автоматизация — автоматизация части операции по управлению производственным процессом при условии, что остальная часть всех операций выполняется не автоматически (управление и контроль человеком).

Примером может служить автоматическая линия (АЛ), состоящая из нескольких станков-автоматов и имеющая автоматическую межоперационную транспортную систему. Управление линией осуществляется одним оператором.

Полная автоматизация характеризуется автоматическим выполнением всех функций для осуществления производственного процесса без непосредственного вмешательства человека в работу оборудования. В обязанности человека входят настройка станка или группы станков, их включение и контроль.

Например: гибкий автоматизированный участок (ГАУ) или автоматизированная линия (ГАЛ).

1.2. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

1. Автоматизация рабочего цикла, создание машин-автоматов и полуавтоматов.
2. Автоматизация систем машин, создание АЛ, комплексов и модулей.
3. Комплексы и автоматизация производственных процессов с созданием автоматических цехов и заводов.
4. Создание гибкого автоматизированного производства (ГАП) с автоматизацией серийного и мелкосерийного производства, инженерного и управленического труда.

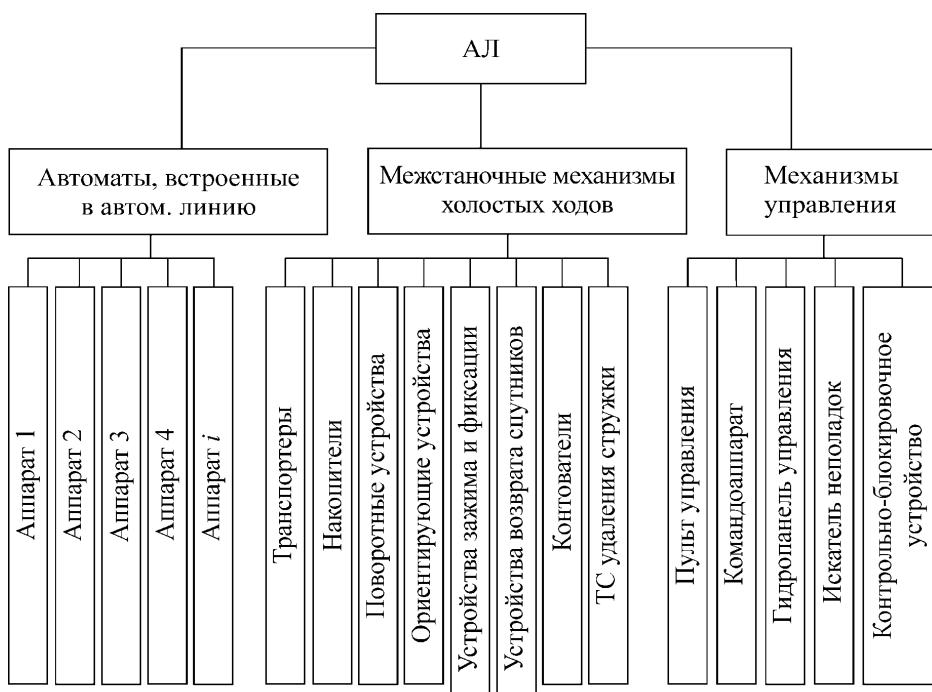
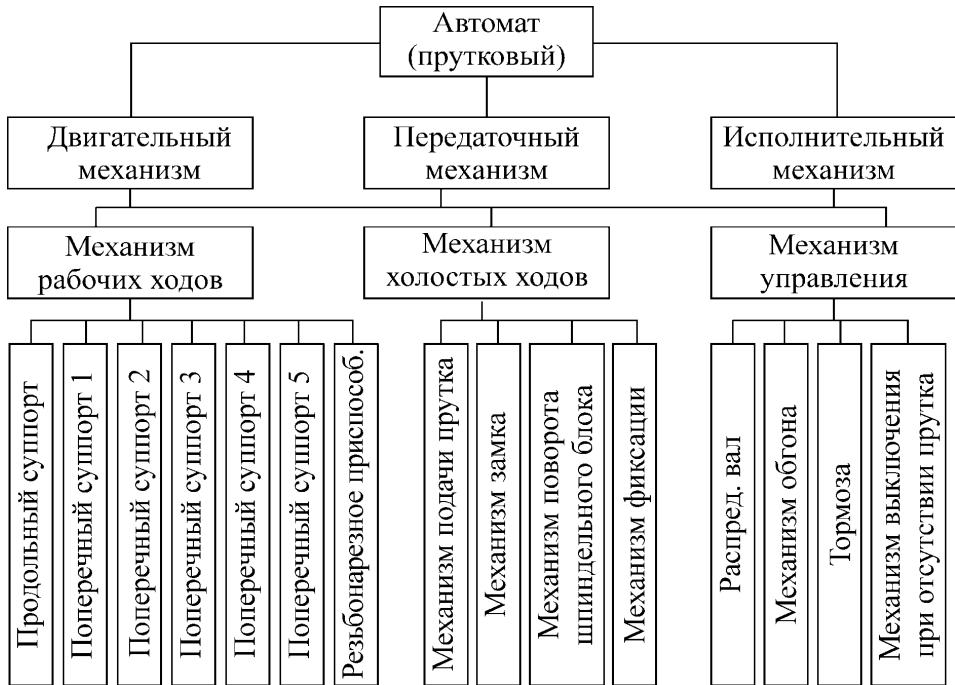
На первом этапе модернизировалось универсальное оборудование. Как известно, время обработки одного изделия определяется по формуле

$$T_{on} = T_o + T_e.$$

Таким образом, для повышения производительности работы оборудования сокращалось время T_o и T_e и совмещалось T_o и T_e , значит, если станок кроме рабочих ходов (T_o) может самостоятельно выполнять холостые ходы (T_e), то он представляет собой автомат.

Необходимо учитывать, что под холостыми ходами следует понимать не только перемещение отдельных узлов станка без обработки, но и загрузку, ориентацию заготовок и их фиксацию. Однако, как показала практика, автоматизация универсальных станков с точки зрения производительности имеет свои пределы, т. е. рост производительности труда может составить не более 60% при работе на данном станке. Поэтому в дальнейшем стали создавать специальные станки-автоматы с применением новых принципов: многоинструментальные и многопозиционные автоматы применялись в поточных линиях, что являлось высшей формой первого этапа автоматизации. Структурная схема автомата показана на рисунке 1.1.

На втором этапе создается АЛ (рис. 1.2).



АЛ называется автоматическая система станков, расположенных в технологической последовательности, объединённых средствами транспортировки, управления и автоматически выполняющих комплекс операций, за исключением контроля и наладки.

Создание АЛ потребовало решения более сложных задач. Одной из них является создание автоматической системы межстаночной транспортировки обрабатываемых заготовок с учётом неодинакового ритма работы станков (время на операции разное), а также несовпадения по времени их простоев из-за возникающих неполадок. Система межстаночной транспортировки должна включать не только транспортёры, но и автоматические магазины — накопители для создания расходования межоперационных заделов, устройств управления и блокировки системы машин. При этом необходимы согласование между собой не только рабочих циклов отдельных машин, а также транспортирующих механизмов, но и блокировок на случай всевозможных неполадок (поломок инструмента, «выход» размеров за пределы поля допуска и т. п.).

Следующая задача второго этапа автоматизации — создание средств автоматизированного контроля, в том числе активного контроля с корректировкой работы станка.

Экономический эффект достигается не только повышением производительности обработки заготовок на станках, но и значительным сокращением затрат ручного труда благодаря автоматизации межстаночной транспортировки, контроля, уборки стружки и пр.

Третьим этапом автоматизации является комплексная автоматизация производственных процессов — создание автоматических цехов и заводов.

Автоматическим цехом или заводом называется цех или завод, в котором основные производственные процессы осуществляются на АЛ.

Таким образом решаются задачи автоматизации межлинейной и межцеховой транспортировки, складирования, уборки и переработки стружки, диспетчерского контроля и управления производством. Структура автоматического цеха показана на рисунке 1.3.

Здесь элементами, выполняющими рабочие ходы, являются уже АЛ со своими технологическими роторными станками, механизмами транспортировки, управления и т. д. Примером могут служить ГПЗ (государственные подшипниковые заводы).

В автоматических цехах и заводах межлинейное транспортирование и накопление заделов являются холостыми ходами. Система управления цеха также выполняет новые, более сложные задачи.

Важнейшей особенностью комплексной автоматизации производственных процессов как нового этапа технического прогресса является широкое применение вычислительной техники, которая позволяет решать задачи не только управления производством, но и гибкого управления технологическими процессами.

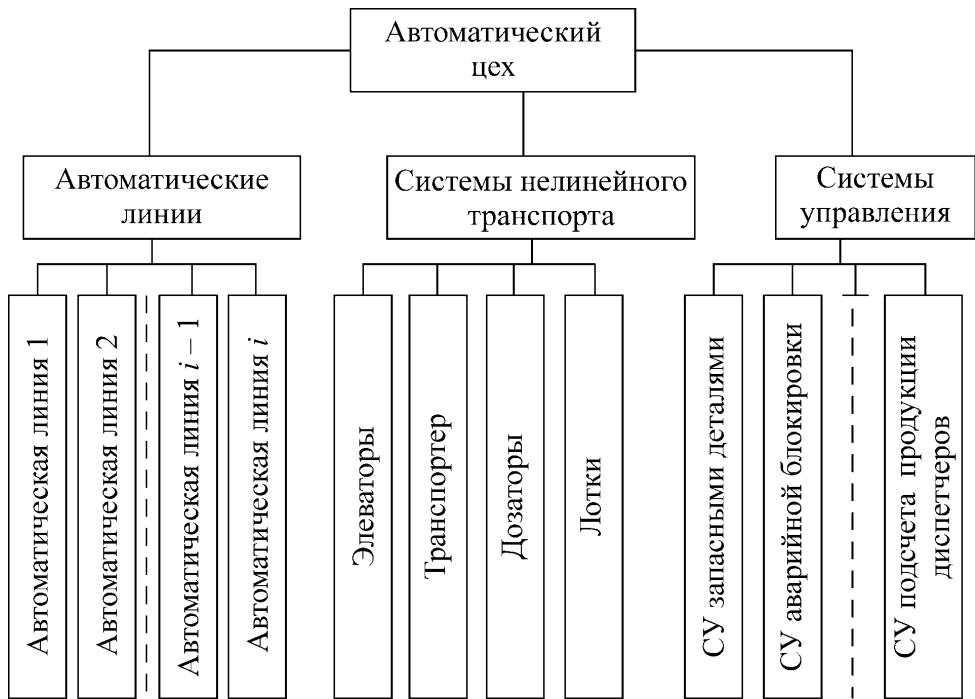


Рис. 1.3

Структурная схема автоматического цеха

Гибкие автоматические системы (ГАС) как четвертый этап автоматизации представляют собой наивысшую четвертую ступень развития автоматизации технологических процессов. ГАС предназначены для автоматизации технологических процессов со сменным объектом производства, в том числе для единичного и мелкосерийного производства.

Гибкое производство — сложное понятие, включающее в себя целый комплекс компонентов [14, 15]:

- гибкость оборудования — лёгкость перенастройки технологического оборудования ГАП для производства заданного множества типов деталей;
- гибкость процесса — способность производить заданное множество типов деталей определенной группы, в том числе из различных заготовок, разными способами;
- гибкость по продукту — способность быстрого и экономичного переключения на производство нового продукта в установленном диапазоне;
- маршрутная гибкость — способность продолжать обработку заданного множества типов деталей при отказах отдельных технологических элементов ГАП;
- гибкость по объёму — способность ГАП экономически выгодно работать при различных объёмах производства;
- гибкость по расширению — возможность расширения ГАП за счет введения новых технологических элементов;

- гибкость по продукции — всё разнообразие изделий, которое способно производить ГАП.

Определяющим является машинная и маршрутная гибкость.

Использование ГАП дает непосредственный экономический эффект за счет высвобождения персонала и увеличения сменности работы основного и управляющего оборудования.

1.3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ

При анализе производства бывает недостаточно знать, на какой стадии механизации или автоматизации находится тот или иной технологический процесс. И тогда степень автоматизации или механизации (С) определяется уровнем механизации (М) и автоматизации (А). Оценка уровня М и А осуществляется тремя основными показателями:

- степенью охвата рабочих механизацией труда (С);
- уровнем механизации труда в общих трудозатратах (Y_T);
- уровнем механизации и автоматизации производственных процессов (Y_{Π}).

Для механической обработки и сборки эти показатели:

$$C = \frac{P_A}{P_O} \cdot 100\%;$$

$$Y_T = \frac{\sum P_A \cdot k}{P_O} \cdot 100\%;$$

$$Y_{\Pi} = \frac{\sum P_O \cdot K \cdot \Pi \cdot M}{\sum P_O \cdot K \cdot \Pi \cdot M + P \left(1 - \frac{Y_T}{100} \right)} \cdot 100\%.$$

Процент увеличения производительности труда за счет его механизации или автоматизации:

$$\Pi_{M(A)} = \left[\frac{(100 - Y_{T2}) \cdot (100 - Y_{\Pi1})}{(100 - Y_{T1}) \cdot (100 - Y_{\Pi2})} \right] \cdot \frac{C_2}{C_1},$$

где индекс 1 соответствует показателям, полученным до проведения механизации и автоматизации; индекс 2 — после их проведения; P_A — число рабочих, выполняющих работу с использованием средств автоматизации; P_O — общее число рабочих на рассматриваемом участке, цехе; K — коэффициент механизации, выражающий отношение времени механизированного труда к общим затратам времени на данном рабочем участке; Π — коэффициент производительности оборудования, характеризующий отношение трудоёмкости обработки заготовки на универсальном оборудовании с наименьшей производительностью, принятом за базу, к трудоемкости обработки этой заготовки на действующем автоматизированном или механизированном оборудовании; M — коэффициент обслуживания, зависящий от количества единиц оборудо-

вания, обслуживаемого одним рабочим (при обслуживании оборудования несколькими рабочими $M < 1$).

— система трёх основных показателей уровня механизации и автоматизации производственных процессов позволяет:

— оценивать состояние автоматизации производства, вскрывать резервы для повышения производительности труда;

— сравнивать уровни M и A родственных производств и отраслей;

— сравнивать уровни M и A соответствующих объектов по периодам внедрения и тем самым определять направления дальнейшего совершенствования производственных процессов;

— планировать повышение уровня автоматизации.

Наряду с вышеприведенными показателями может применяться критерий уровня автоматизации производства, количественно характеризующий, в какой мере на данной стадии M и A используются возможности экономии затрат труда, т. е. роста производительности труда:

$$a_A = \frac{\Delta t_{\text{ЧА}}}{\Delta t_{\text{ПА}}} \cdot 100\% = \frac{t_{\text{ПМ}} - t_{\text{ЧА}}}{t_{\text{ПМ}} - t_{\text{ПА}}} \cdot 100\%,$$

где $t_{\text{ПМ}}$ — трудоемкость изготовления изделия при полной (комплексной) механизации; $t_{\text{ЧА}}$ и $t_{\text{ПА}}$ — трудоёмкость изготовления при частичной и полной автоматизации.

1.4. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Конструкция изделия должна обеспечивать его технологичность при изготовлении и сборке. Применение средств автоматизации предусматривает повышенное внимание к конструкции изделий с точки зрения облегчения ориентации, позиционирования, сопрягаемости при сборке.

Конструкция изделий (деталей) может быть технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление этого изделия. Большинство средств автоматизации для транспортировки и ориентации деталей действуют на ощупь, т. е. они используют геометрические характеристики деталей для осуществления ориентации и позиционирования.

Поэтому выбор того или иного средства автоматизации будет основан на анализе классификации объектов производства по геометрическим параметрам (по их назначению и их относительной величине).

Одной из геометрических характеристик является симметрия.

В некоторых случаях симметрия деталей способствует автоматизации, а в других — делает её невозможной. На рисунке 1.4 показано, что все детали, расположенные справа, — симметричны. Ориентирование не нужно.

Рисунок 1.5 иллюстрирует другую проблему. Если конструктивные особенности каждой детали трудно обнаружить механическим способом, то решение проблемы состоит в нарушении симметрии.

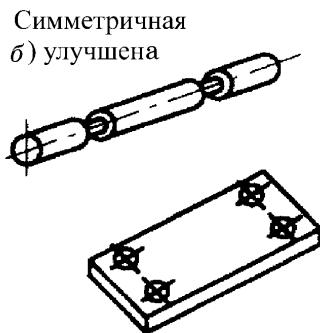
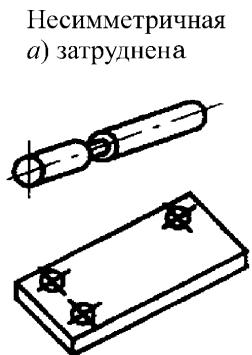


Рис. 1.4

Ориентация деталей за счет симметричности:

a — затруднена, б — улучшена.

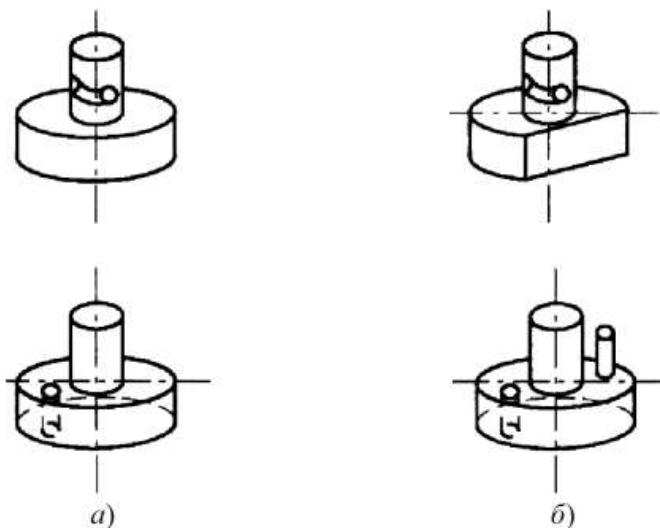


Рис. 1.5

Ориентация деталей за счет симметричности:

a — затруднена, б — улучшена.

Детали типа цилиндров и дисков являются наиболее вероятными кандидатами на внесение черт асимметрии, потому что без ориентирующих признаков они могут принимать неопределенное число положений.

Детали прямоугольной формы обычно выигрывают от симметрии, поскольку они могут иметь наибольшее число положений. При этом закон распределения суммы этих случайных величин будет иметь нормальное распределение.

Взаимное сцепление деталей. При загрузке деталей в накопитель или другое устройство навалом нередко возникает явление сцепления деталей. Типичный пример — пружины. Многие детали имеют отверстия и выступы, функционально не связанные друг с другом и не предназначенные для со-

пряжения. Соотношение размеров этих элементов деталей должно исключать возможность попадания выступа в отверстие и сцепления деталей (рис. 1.6.).

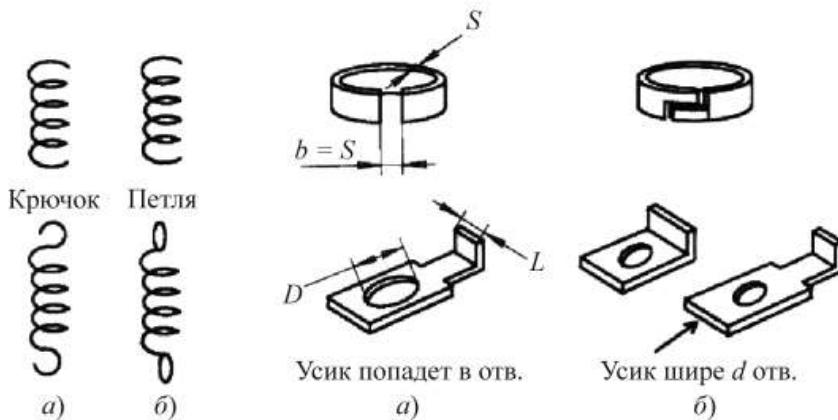


Рис. 1.6

Взаимное сцепление деталей:

a — неудачное, *б* — удачное.

Особенности конструкций изделий, обеспечивающих подачу и передвижения, следующие. Для транспортировки деталей используют устройства иногда очень простой конструкции на самотечном принципе перемещения деталей под действием сил тяжести или вибрации, и усилие передаётся от детали к детали, когда они подталкиваются сзади. Этот метод особенно хорошо применим для плоских деталей со стабильно заданной ориентацией, но если детали слишком тонкие или если их кромки имеют скосы, они будут наползать одна на другую (рис. 1.7.).

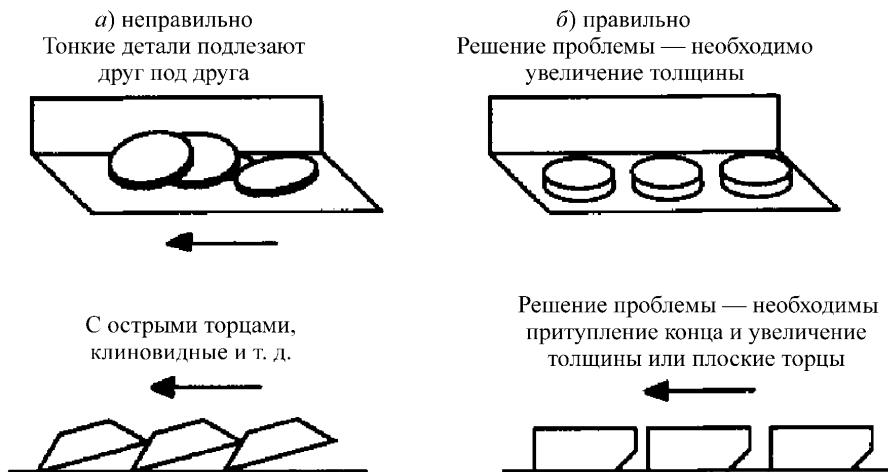


Рис. 1.7

Конструкции деталей, вызывающие их наползание друг на друга:

a — неправильно, *б* — правильно.

Аналогичной проблемой является проблема заклинивания деталей, когда соприкасающиеся кромки не перпендикулярны направлению перемещения.

1.5. СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССОВ

Несмотря на то, что гибкость современных автоматизированных устройств в производстве ослабило требование стабильности процесса, относительная стабильность изделия и процесса является необходимой предпосылкой автоматизации.

Для оценки стабильности изделия и процесса применяют, как правило, статические методы обработки данных. Основное предположение при этом — то, что отклонение, наблюдаемое в процессе производства, является результатом воздействия многих независимых случайных величин.

Нормально распределённые переменные могут изменяться в широком диапазоне, но любая переменная может быть вписана в данную кривую при соответствующем выборе масштаба горизонтальной оси (рис. 1.8.).

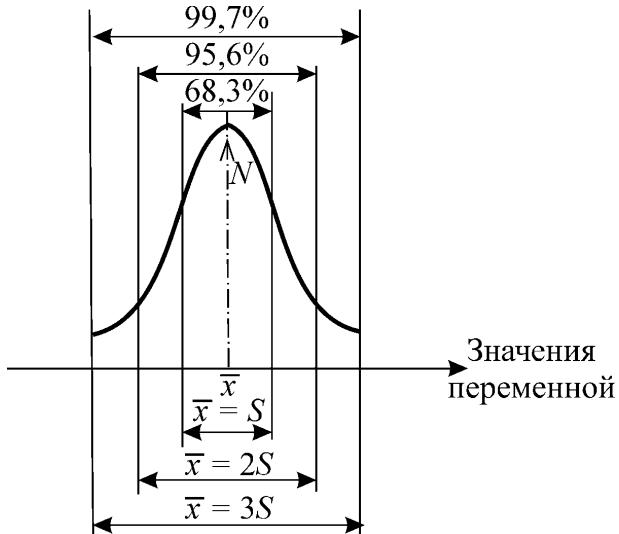


Рис. 1.8

Нормальное распределение переменных величин:

\bar{x} — среднее значение переменной, N — плотность вероятности.

Выбор масштаба производится вычленением стандартного отклонения для выборки данных по формуле

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)};$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n,$$

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru