

В

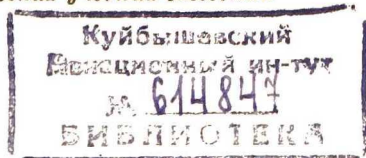
ДЛЯ ВУЗОВ

И.А.Иващенко Г.В.Иванов
В.А.Мартынов

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

2-е издание,
переработанное и дополненное

*Рекомендовано Комитетом по высшей школе
Министерства науки, высшей школы
и технической политики Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
высших технических учебных заведений*



Москва
• Машиностроение •
1992

ББК 39.55-07я73
И24
УДК 629.7.36(075.8)

Рецензент кафедры Ленинградского механического института

Иващенко И. А. и др.

124 Автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей двигателей летательных аппаратов: Учеб. пособие для студентов высших технических учебных заведений/ И. А. Иващенко, Г. В. Иванов, В. А. Мартынов. — М.: Машиностроение, 1992. — 336 с.: ил.

ISBN 5-217-01333-8

Изложены теоретические и методические основы систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) с использованием современных средств вычислительной техники.

Второе издание (1-е изд. 1981 г.) переработано и дополнено рассмотрением функциональных моделей САПР ТП, вопросами оптимизации отдельных операций и технологических процессов в целом.

И $\frac{2705140400-410}{038(01)-92}$ 108-91

ББК 39.55-07я73

ISBN 5-217-01333-8

© Издательство "Машиностроение", 1981
© И. А. Иващенко, Г. В. Иванов,
В. А. Мартынов, 1992

Автоматизация технологической подготовки производства в авиационной промышленности характеризуется, с одной стороны, большой сложностью изделий, высокими требованиями к качеству их изготовления, надежности и долговечности, а с другой — высокими темпами совершенствования летательных аппаратов (ЛА) и двигателей, частой сменой объектов производства, сжатыми сроками на технологическую подготовку производства. Еще одной особенностью конструкторской и технологической подготовок производства двигателей ЛА (ДЛА) является то, что в опытном производстве осуществляется не только доводка конструкции двигателя до заданных параметров, но и отработка технологии производства, поиск структуры и параметров процессов обработки. Это связано с тем, что такие важнейшие эксплуатационные характеристики деталей и узлов двигателя, как износостойкость, статическая, динамическая и циклическая прочность, зависят от используемых методов и параметров обработки. Технологический процесс (ТП) опытного производства должен быть спроектирован в сжатые сроки и на высоком техническом уровне, с применением современных прогрессивных технологических методов и средств производства, характерных для серийного производства. Эти задачи можно решить путем автоматизации проектирования ТП изготовления деталей двигателей.

В машиностроении, в частности в авиационной отрасли промышленности, накоплен опыт разработки и внедрения систем автоматизированного проектирования ТП (САПР ТП) механической обработки заготовок, холодной штамповки и т.д. В САПР ТП, выполненных под руководством Г. К. Горанского, Н. М. Капустина, С. П. Митрофанова, В. В. Павлова, В. И. Комиссарова, В. Д. Цветкова и других, успешно решаются задачи поиска рациональной структуры САПР ТП, разработки формализованных языков для кодирования информации о деталях и ТП, поиска путей формализации решений технологических задач и выбора оптимальных проектных решений и т.д. Разрабатываются комплексные автоматизированные системы технологической подготовки производства, интегрированные с конструкторскими системами и направленные на проектирование и создание отдельных деталей, агрегатов и двигателя в целом.

Внедрение созданных систем в производство требует того, чтобы выпускники вузов наряду с традиционными курсами получили подготовку по основам САПР и автоматизированному проектированию ТП.

В учебном пособии использован многолетний опыт преподавания курса САПР ТП в САИ.

При определении содержания пособия предпочтение было отдано прикладным вопросам. Это связано не только с ограниченным временем подготовки по САПР ТП, но и с целевой установкой этого курса – готовить пользователей САПР ТП.

Первое издание книги "Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов" вышло в свет в 1981 г. Во втором издании основное внимание уделено автоматизированному проектированию ТП.

Авторы выражают благодарность разработчикам САПР ТП за представленные материалы: заведующему сектором Самарского филиала НИИД Г. А. Шукину (гл. 6), научному руководителю отраслевой лаборатории комплексных САПР лопаток двигателей д-ру техн. наук Б. М. Аронову (гл. 8) и доценту кафедры производства двигателей САИ И. М. Трухману (гл. 6).

1.1. ТИПЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Основными типами ДЛА являются турбореактивные (ТРД), турбовинтовые (ТВД), винтовентиляторные и турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД). Все типы подразделяются на одновальные и многовальные ГТД.

Наиболее простую конструкцию имеет одновальный (однокаскадный) ТРД. Более сложной конструктивной схемой отличается двухвальный двухкаскадный ТРД (рис. 1.1), который состоит из компрессора низкого давления (КНД) 1, компрессора высокого давления (КВД) 2, камеры сгорания 3, многоступенчатой турбины и выходного устройства (сопла) 5 для преобразования энергии газа в энергию тяги двигателя. Ротор КНД получает привод от второй ступени турбины через вал 8, а ротор компрессора высокого давления — от первой ступени турбины через вал 9. Переход от однокаскадной к двухкаскадной схеме обеспечивает более высокие технико-экономические характеристики двигателя и силовой установки в целом, хотя и приводит к усложнению конструкции двигателя.

Различные конструктивные схемы имеют также турбовинтовые двигатели. Схема одновального однокаскадного ТВД (или просто ТВД) отличается наличием редуктора в передней части двигателя, на вал которого крепится воздушный винт. В двухвальном ТВД вал винта и осевой многоступенчатый компрессор имеют приводы от разных ступеней турбины.

Конструктивная схема двухвального двухконтурного турбореактивного двигателя включает КНД, получающий вращение от двух-четырех ступеней турбины, и КВД, приводимый в движение ротором 1-й ступени турбины. Следует отметить, что КНД выполняет функцию воздушного винта. Такая схема обеспечивает получение высоких технико-экономических характеристик, присущих ТВД, без заметного увеличения массы двигателя (так как редуктор отсутствует).

Наиболее совершенный рабочий процесс имеют трехвальные (трехкаскадные) ТРДД, у которых каждый из трех каскадов компрессора

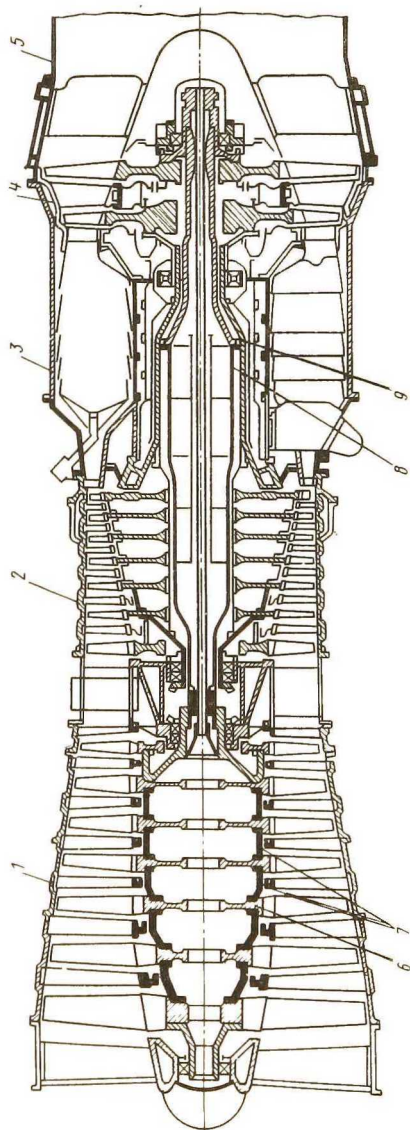


Рис. 1.1. Конструктивная схема двухвального ТРД:

1 — компрессор низкого давления; 2 — компрессор высокого давления;
3 — камера сгорания; 4 — турбина; 5 — сопло; 6 — короткий диск
ротора КНД; 7 — длинный диск (проставка); 8 — вал привода ротора
КНД; 9 — вал привода ротора КВД

(КНД, компрессор среднего давления и КВД) имеет самостоятельный привод от отдельной ступени турбины.

Для некоторых типов ЛА используются двигатели с форсажной камерой: турбореактивные (ТРДФ) и двухконтурные турбореактивные (ТРДДФ). Форсажная камера устанавливается за турбиной в передней части сопла.

Переход от одновальной к многовальной многокаскадной конструктивной схеме неизбежно влечет за собой усложнение конструкции двигателя и, как следствие, снижение его производственной и эксплуатационной технологичности.

1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

Современный авиационный двигатель состоит из многих тысяч деталей, отличающихся как функциональным назначением, так и разнообразием конструктивно-технологических признаков, таких как материал детали, конфигурация и размеры, вид заготовки, требуемая точность изготовления и качество поверхностного слоя и т.д. Чтобы обеспечить эффективное изготовление всего многообразия деталей с минимальными затратами, детали подвергают классификации на основе различных признаков с последующим их группированием, т.е. объединяют в группы детали, обладающие одинаковыми или сходными значениями классификационных признаков. Классификация и группирование необходимы для проектирования оптимальных технологических процессов изготовления деталей и для рациональной организации производства (организация цехов, участков).

С учетом опыта отечественного и зарубежного авиадвигателестроения можно выделить следующие группы деталей ДЛА: валы, диски, лопатки, крыльчатки, зубчатые колеса, кольцевые детали, корпусные детали, камеры сгорания, втулки подшипников, фланцы, детали арматуры (кронштейны, хомуты, штуцера, угольники и т.д.) трубопроводы, крепежные детали.

По условиям технологии и организации производства группы разделяют на подгруппы и виды деталей. Применительно к производству лопаток целесообразно выделить в отдельные подгруппы рабочие лопатки турбины, лопатки соплового аппарата турбины, рабочие лопатки компрессора, направляющие лопатки компрессора.

По особенностям технологии изготовления лопатки разделяют на длинные (с антивибрационной полкой) и короткие. Внутри подгрупп в

ряде случаев выделяют классификационные группировки в зависимости от материала и способа получения заготовки. Так, для рабочих лопаток турбины целесообразно выделить в отдельные подгруппы лопатки, получаемые из штампованных заготовок и получаемые из литых заготовок, а также сплошные и полые (охлаждаемые) лопатки.

На основе классификации и группирования деталей можно осуществлять поддетальную специализацию производственных подразделений (участков, цехов, предприятий), что позволяет более эффективно использовать возможности металлообрабатывающего оборудования и совершенствовать технологическую подготовку производства.

1.3. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

Необходимость выдерживать высокие силовые и тепловые нагрузки в течение длительного времени при выполнении требований минимальной массы деталей, узлов и двигателя в целом определяют особенности их конструкции и технологии производства. Из особенностей общего характера следует отметить следующие.

1. *Ажурность и малая жесткость*, характерная для кольцевых деталей (проставки, наружные и внутренние кольца направляющего аппарата компрессора и соплового аппарата турбины и др.), деталей из листового материала (кожухи, корпус и оболочка жаровой трубы и др.) и крупногабаритных лопаток. Малая жесткость обуславливает особенности изготовления, контроля и сборки таких деталей: повышаются требования к приспособлениям и установке заготовок, возрастает число ступеней обработки, ограничиваются режимы резания, требуются специальные мероприятия по предупреждению тепловых деформаций в процессе обработки и т.д. Малая жесткость ряда деталей при их больших габаритных размерах приводит к необходимости разработки специальных методов контроля точности размеров, формы и расположения поверхностей.

2. *Большая номенклатура материалов* (несколько сотен марок) с необычайно широким диапазоном механических и физических свойств. Высокие (экстремальные) энергетические, весовые и удельные характеристики авиационных двигателей достигаются путем задания высоких тепловых и динамических параметров рабочего процесса в двигателе, которые могут быть обеспечены только при использовании металлических и неметаллических материалов с особыми свойствами и высокой

удельной прочностью (отношение прочности к плотности). Такую удельную прочность имеют алюминиевые, магниевые, титановые сплавы, легированные конструкционные стали и сплавы, а также некоторые неметаллические материалы.

Из особых свойств материалов, используемых для изготовления деталей двигателей, наиболее важную роль играет их жаропрочность. Для деталей, работающих при температуре до 700°C (диски и лопатки высоконапорных ступеней компрессора и т.п.), применяют жаропрочные стали типа 13X12H2MФ; для деталей, работающих при температурах до 1100°C (лопатки и диски последних ступеней турбины, камеры сгорания и т.п.), используют жаропрочные сплавы на никелевой основе типа ХН70МВТЮ, ХН77ТЮР и т.д. Для рабочих лопаток первых ступеней турбины применяют жаропрочные литейные сплавы на никелевой и хромовой основах типа ЖС6-К, ХН67ВМТЮЛ. Используются также жаропрочные сплавы на молибденовой и ниобиевой основах для рабочих температур до 1500°C и на вольфрамовой основе для рабочих температур до 2000°C .

С технологической точки зрения жаропрочные стали и сплавы, а также титановые сплавы имеют существенный недостаток — они являются труднообрабатываемыми. Для примера укажем, что если обрабатываемость углеродистой стали 45 принять за 1,0, то обрабатываемость жаропрочной стали 37X12HГ8МФБ составляет 0,23, обрабатываемость жаропрочного сплава ХН70МВТЮ — 0,1, а жаропрочного сплава ЖС6-К — всего 0,05. При механической обработке следует также учитывать, что для заготовок из жаропрочных сталей силы резания в 1,2–1,5 раза больше, чем для заготовок из стали 45, а для заготовок из жаропрочных сплавов они в 2 раза больше.

При обработке заготовок из титановых сплавов вследствие низкой пластичности и низкой теплопроводности в зоне резания развиваются высокие контактные давления и температура.

3. Высокая сложность формы деталей и формы поверхностей, образующих конфигурацию деталей. Для полной характеристики таких деталей (лопатки компрессора и турбины, диски компрессоров и турбин и т.п.) требуется задавать большое число геометрических и других параметров. Поэтому такие сложные детали и поверхности (профиль пера, профиль замка лопатки и т.п.) можно называть многопараметрическими.

В качестве примера на рис. 1.2 приведен упрощенный чертеж рабочей лопатки турбины сравнительно простой конструкции (она неохлаждаемая, не имеет полок). Форма, размеры и расположение

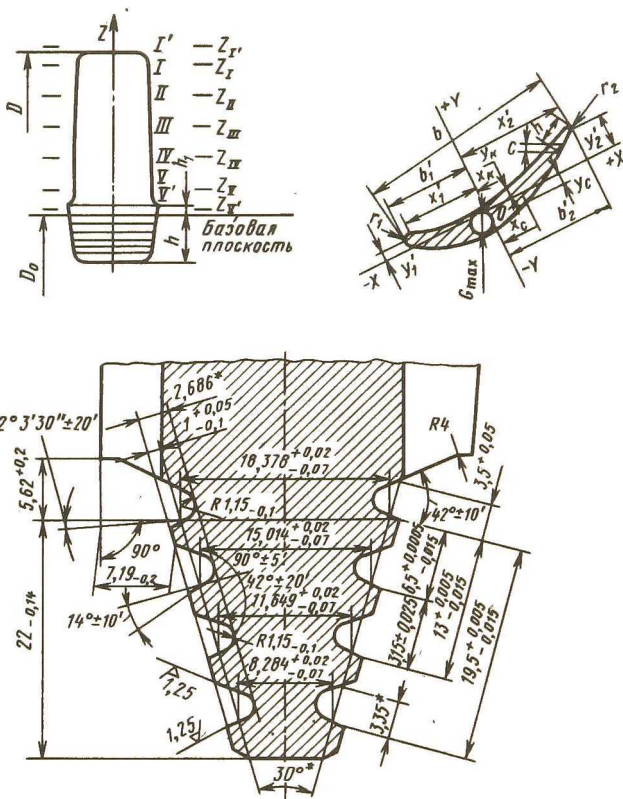


Рис. 1.2. Рабочая лопатка турбины ГТД (фрагмент)

рабочих поверхностей пера лопатки регламентируются 12 параметрами ($r_1, r_2, \dots, b'_1, b'_2$), значения которых задаются в семи сечениях по высоте пера (от $I'-I'$ до $V'-V'$). Также большое число параметров (угловых и линейных размеров) требуется для регламентации формы, размеров и расположения поверхностей хвостовика лопатки.

К числу сложных (многопараметрических) деталей можно отнести также зубчатые колеса (цилиндрические, конические, прямозубые, косозубые), а также валы и втулки, имеющие шлицевые поверхности.

4. Низкая технологичность конструкции многих деталей ДЛА. На рис. 1.3 показана часть ротора осевого компрессора ГТД. Ротор собирается из узких и широких дисков, соединяемых призонными болтами. Конфигурация широких дисков может служить примером низкой технологичности конструкции. Исходной заготовкой является поковка

простой конфигурации. Около 90 % дорогостоящего материала (жаро-прочная сталь) превращается в стружку, при этом больших значений достигают трудоемкость и станкоемкость обработки, затраты на амортизацию оборудования и инструмента, расходы на электроэнергию. Низкая технологичность конструкции в подобных случаях объясняется стремлением уменьшить массу деталей и всего двигателя при обеспечении высокой прочности и виброустойчивости. В то же время анализ конструкций отечественных и зарубежных ДЛА показывает, что эту задачу можно решить и при удовлетворении требований технологичности конструкции (см. диски 6 и 7 компрессора 1 на рис. 1.1).

Следует также отметить много случаев нарушения требований технологичности конструкции в направлении нормализации и унификации деталей и элементов деталей (поверхностей), особенно при передаче двигателя из опытного в серийное производство. Специалисты-технологи возлагают большие надежды на автоматизированное конструирование деталей ДЛА, в основе которого будет лежать модульное конструирование конфигурации деталей из набора модулей (типовых элементов).

5. *Высокие требования к точности формы*, размеров и расположения поверхностей основных деталей авиационных двигателей (лопаток, дисков, валов, зубчатых колес и т.д.). Так, допуск на толщину зуба елочного замка у лопаток составляет 0,03–0,05 мм (см.

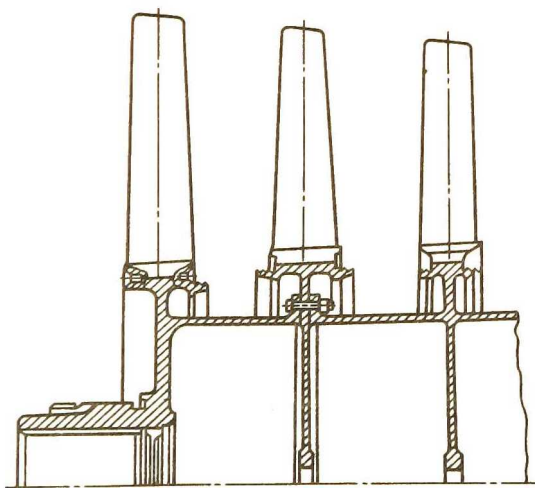


Рис. 1.3. Конструктивная схема ротора осевого компрессора ГТД

рис. 1.2), а допуск на ширину паза замка в диске — 0,03 — 0,04 мм. Допуск на шаг зубцов елочного замка, в том числе и на накопленный шаг, — 0,02 мм.

К категории высокоточных деталей ДЛА следует отнести также зубчатые колеса.

В качестве примера приведем значения допусков на некоторые параметры прямозубого цилиндрического зацепления для колес с модулем $m = 5$ мм, $D_{\text{д.о}} = 80 \dots 125$ мм 5-й степени точности:

допуск радиального биения $F_r = 19$ мкм;

допуск накопленной погрешности шага $F_p = 30$ мкм;

допуск на погрешность профиля $f_f = 6$ мкм.

6. *Повышение ресурса и надежности изделий* является одной из важнейших задач в проектировании и производстве ДЛА. С целью ее решения непрерывно повышаются требования к износостойкости, коррозионной стойкости, статической и динамической прочности и выносливости деталей и всего двигателя в целом. Улучшение отмеченных и других характеристик путем увеличения площади сечения нагруженных элементов деталей неприемлемо, так как ведет к увеличению массы двигателя. Поэтому основной путь повышения долговечности и надежности двигателей — технологический. Учитывая зависимости прочности, износостойкости и выносливости деталей от структуры металла, характера и степени пластической деформации (упрочения), значения, знака и глубины залегания остаточных напряжений, а также зависимости перечисленных характеристик поверхностного слоя от методов обработки, их последовательности и режимов, необходимо спроектировать такой (по структуре, применяемым методам и режимам) технологический процесс обработки деталей ДЛА, который бы обеспечивал оптимальные значения эксплуатационных характеристик деталей, в первую очередь, при минимуме приведенных затрат на производство.

Обеспечение высокой точности деталей ДЛА и повышение эксплуатационных характеристик деталей, влияющих на ресурс и надежность двигателя, обуславливают многие особенности технологии производства ДЛА, основные из которых приводятся ниже.

7. *Применение в производстве деталей ДЛА* способов получения заготовок, обеспечивающих оптимальные значения структуры металла и механических свойств даже в тех случаях, когда экономически целесообразными были бы другие способы, более простые и дешевые.

Например, с целью получения литых заготовок для рабочих лопаток турбины используется литье с направленной кристаллизацией, хотя имеются другие, более экономичные способы отливки заготовок лопаток, но они не обеспечивают высокие механические свойства.

8. *Многоступенчатость обработки основных поверхностей и многоэтапность ТП* также являются особенностью авиационного двигателестроения. В этом производстве четко соблюдается движение по ступеням точности: черновое точение → чистовое точение → предварительное шлифование → чистовое шлифование → тонкое шлифование и т.д., без перешагивания через некоторые ступени, что часто допускается в других отраслях машиностроения. Также более четко выделяются и более строго соблюдаются этапы технологического процесса (этап черновой обработки, этап чистовой обработки и т.д.). Многоступенчатость и многоэтапность технологического процесса являются необходимыми условиями для достижения высокой точности всех геометрических параметров и требуемого качества поверхностного слоя деталей ДЛА.

9. *Комплексность ТП изготовления многих деталей двигателей.* Конструкция, точность и габаритные размеры деталей таковы, что технологический процесс их изготовления должен содержать не один метод обработки поверхности (например, обработка резанием), а несколько методов. На рис. 1.4 приведена схема наружного корпуса камеры сгорания. По конструкции он неразъемно-сборный. Ряд деталей (фланцы 1, 3 и 5, втулки, малые фланцы) изготавливаются путем механической обработки. Другие детали (передний корпус 2 и задний 4) изготавливаются из листа методами холодной штамповки (вырезка, сварка, формовка, отбортовка). Затем производится сборка, прихватка и аргоно-дуговая сварка деталей, термообработка для снятия внутренних напряжений после сварки. На заключительном этапе осуществляется механическая обработка в узле (точение посадочных поверхностей фланцев, сверление отверстий и т.д.). Таким образом, ТП

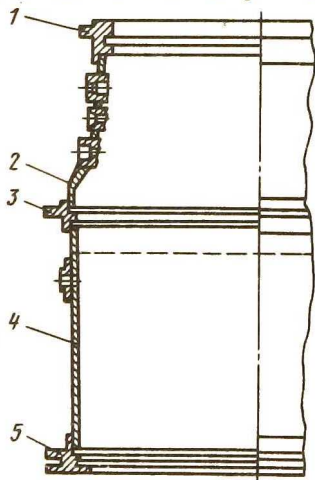


Рис. 1.4. Наружный корпус камеры сгорания ГТД

изготовления корпуса камеры сгорания является комплексным, включающим ТП изготовления отдельных деталей, сборки, сварки и окончательной механической обработки в узле. Комплексные ТП в большой мере усложняют и затрудняют планирование и организацию производства, требуют участия в разработке таких ТП технологов-специалистов разного профиля.

10. *Жесткая регламентация режимов обработки* наиболее ответственных деталей двигателя (лопаток, дисков компрессора и турбины, зубчатых колес, валов и т.д.). На стадии доводки новой модели двигателя (до передачи на серийное производство) проводятся исследования с целью определения методов и режимов обработки оптимальных для обеспечения заданных эксплуатационных характеристик деталей (износостойкости, прочности, долговечности, выносливости). Установленные методы обработки и значения режимов обработки включаются в технологический процесс серийного производства. Они контролируются так же жестко, как и точность получаемых при обработке геометрических и других параметров деталей. Необходимость такой регламентации и контроля обусловлена значительным влиянием методов и режимов обработки на структуру металла, шероховатость поверхности, деформационное упрочнение (наклеп) и остаточные напряжения в поверхностном слое. Влияние же состояния поверхностного слоя на прочность, износостойкость, выносливость деталей хорошо известно.

11. *Отделочные и упрочняющие методы обработки* широко применяются для получения высоких эксплуатационных свойств. Выше отмечалось, что необходимость формирования оптимальных структуры металла и характеристик поверхностного слоя для обеспечения износостойкости, прочности, выносливости и т.д. учитывается при решении всех задач проектирования ТП: выборе вида, способа получения и формы исходной заготовки; установлении числа ступеней обработки основных поверхностей деталей; выборе методов обработки, структуры ТП и установлении режимов обработки. Однако в ряде случаев одних мер регулирования структуры металла и состояния поверхностного слоя оказывается недостаточно и приходится вводить в ТП *упрочняющие операции*.

Современное машиностроение располагает значительным числом технологических методов повышения надежности и долговечности деталей ДЛА. В производстве двигателей применяются:

а) деформационное упрочнение поверхностного слоя, включающее пневмодробеструйную и

гидродробеструйную обработку (для шестерен, пружин, рессор, лопаток и других деталей сложной конструкции); гидрогалтовку смесью стальной дробин $\varnothing 0,6-0,8$ мм с маслом (для лопаток ротора компрессора из сплава ВТЗ-1 и т.п.); виброгалтовку в камерах со стальными шариками, совершающих колебательные движения в двух-трех направлениях с разной амплитудой (для лопаток из стали ЭП961 и т.п.); ультразвуковое деформационное упрочнение стальными шариками $\varnothing 1-3$ мм (для лопаток и других малогабаритных деталей сложной формы); деформационное упрочнение микрошариками размером 25–250 мкм (для маложестких деталей сложной геометрической формы с тонкими кромками, малыми радиусами переходов, галтелями — для лопаток и дисков компрессоров и турбин, эвольвентных поверхностей зубчатых колес и т.п.); обкатку роликами и шариками, алмазное выравнивание (для валов компрессоров и турбин, шестерен и т.п.);

б) термopластическое упрочнение с целью формирования в поверхностном слое остаточных напряжений сжимающего знака, не сопровождающегося деформационным упрочнением (наклепом). Этот вид обработки эффективен для деталей ДЛА, работающих при высоких температурах (лопатки турбины и т.п.);

в) поверхностно-термическое деформирование — закалка с нагревом токами высокой частоты и закалка с нагревом внешними источниками тепла (для упрочнения деталей из углеродистых и легированных сталей);

г) диффузионные покрытия — диффузионное насыщение металлов и сплавов различными элементами с целью формирования в поверхностном слое новых свойств (повышенной твердости, прочности и т.д.). Наиболее часто применяются такие виды диффузионных покрытий, как цементация (с последующей закалкой), азотирование, нитроцементация (цианирование) с последующей закалкой, борирование. Для повышения жаростойкости, теплостойкости, сопротивления износу и коррозии применяют интерметаллидные покрытия — диффузионное насыщение деталей алюминием, хромом, титаном, бериллием и другими металлами.

Для повышения окислостойкости деталей, работающих при 700–900 °С и выше, и сопротивления атмосферной коррозии применяют алитирование — насыщение поверхностного слоя деталей из стали и жаропрочных сплавов алюминием. Алитируют лопатки турбины ГТД из жаропрочных сплавов на никелевой основе ХН62ВМКЮР, ЖС6К, ЖС6КП и др.;

д) покрытия напылением применяются для нанесения теплостойких, теплоизоляционных, износостойких, коррозионностойких, электроизоляционных и других покрытий;

е) электрические покрытия (хромирование, никелирование, оксидирование, эматалирование, фосфатирование) применяются для образования защитных пленок на поверхности деталей с целью повышения износостойкости, сопротивления коррозии, кавитации и т.д.

1.4. ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АВИАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

При определении путей автоматизации проектирования ТП изготовления деталей ДЛА целесообразно использовать опыт отечественного машиностроения поэтапной автоматизации производственных процессов. На самом раннем этапе ставились и решались задачи автоматизации отдельных технологических операций путем оснащения специальных и универсальных станков электромеханическими устройствами механизации и автоматизации.

Следующий этап – автоматизация ТП изготовления деталей – связан с созданием и освоением автоматических линий (АЛ) станков. В настоящее время на заводах всех отраслей машиностроения с массовым и крупносерийным типом производства действует несколько тысяч АЛ.

В последнее время ведутся интенсивные работы по созданию гибких производственных систем (ГПС), предназначенных для серийного (включая и мелкосерийное) производства. Эти системы (гибкие производственные модули, гибкие производственные линии или участки) строятся на новой технической базе, в них используется оборудование с программным управлением – станки с ЧПУ, роботы и т.п.

Поэтапная автоматизация ТП в машиностроении является достаточно эффективной. Такой же должна быть и автоматизация проектирования ТП в машиностроении, в том числе и в авиадвигателестроении. Можно выделить следующие этапы уже начавшегося процесса автоматизации технологического проектирования.

1. Автоматизация решения отдельных задач проектирования ТП: расчета режимов резания, расчета припусков на обработку и операционных размеров, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ и т.д. Такая работа проводится в настоящее время на всех заводах авиационного двигателестроения.

2. Создание и внедрение САПР ТП, которые ниже, в гл. 4, характеризуются как параметрические. Особенностью параметрической САПР ТП является то, что здесь наиболее трудноформализуемая и творческая по характеру задача проектирования структуры ТП (разработка технологического маршрута, структуры технологической операций) выполняется технологом вручную, а решение менее творческих, а иногда и просто механических, но трудоемких задач проектирования передается на ЭВМ. Сюда относится определение параметров ТП, выбор оборудования и средств технологического оснащения, расчет припусков, операционных размеров, режимов резания и норм времени, оформление технологической документации. Опыт внедрения параметрических САПР ТП на предприятиях отрасли свидетельствует об их достаточно высокой экономической эффективности.

При внедрении параметрической САПР ТП на предприятии необходимо создать информационные массивы, необходимые для функционирования любой САПР ТП (данные по станочному и другому оборудованию, приспособлениям, режущим и мерительным инструментам, нормативы режимов резания, норм времени, общих и операционных припусков и т.д.).

3. Переход к использованию полностью автоматизированных САПР ТП. В настоящее время разработаны и используются САПР ТП двух видов: на основе типизации ТП и на основе метода синтеза структуры ТП. Можно еще отметить, что в начале этого этапа будут развиваться и использоваться САПР ТП с диалоговым режимом функционирования.

По мере совершенствования математического обеспечения САПР ТП будут формализованы большинство или все задачи автоматизированного проектирования ТП, т.е. созреют условия для перехода к использованию САПР ТП с автоматическим режимом работы, которые можно назвать САПР ТП высшего уровня. В настоящее время проводятся работы, относящиеся ко всем этапам автоматизации проектирования. И сроки перехода от одного этапа к другому, в том числе к использованию САПР ТП с наиболее высоким уровнем автоматизации, определяются не столько разработчиками, сколько пользователями САПР ТП.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите и охарактеризуйте конструктивные схемы ДЛА.
2. Перечислите основные группы деталей ДЛА.
3. Назовите особенности конструкции деталей и узлов деталей.
4. Объясните необходимость жесткой регламентации и контроля режимов обработки.
5. Перечислите основные методы упрочнения деталей ДЛА, укажите назначение и область применения упрочняющих операций.
6. Проанализируйте схему поэтапной автоматизации технологического проектирования, укажите ее достоинства и недостатки.

Г Л А В А 2

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

2.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Сложность современных изделий машиностроения обуславливает необходимость выполнить большой объем работы по технической подготовке производства до начала их промышленного выпуска.

Техническая подготовка производства включает в себя в качестве основных этапов конструкторскую, технологическую и организационную подготовку.

Конструкторская подготовка изделия имеет своей целью разработку конструкции изделия и создание чертежей общей сборки изделия, сборочных элементов и отдельных деталей изделия, запускаемых в производство с оформлением соответствующих спецификаций и другой конструкторской документации.

Технологическая подготовка производства (ТПП) по ГОСТ 14.004-83 – это совокупность взаимосвязанных процессов, обеспе-

чивающих технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах. Основными функциями (задачами) технологической подготовки производства являются: обеспечение технологичности конструкции, разработка ТП, проектирование и изготовление средств технологического оснащения.

Организационная подготовка производства включает в себя календарное и технико-экономическое планирование и организацию производства изделия в установленные сроки в заданном объеме выпуска.

Технологическая подготовка производства базируется на Единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП). Согласно ГОСТ 14.001-73 ЕСТПП – это установленная государственными стандартами система организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых ТП, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ.

Технологическая подготовка является самой трудоемкой частью технической подготовки производства. Трудоемкость технологического проектирования составляет (в процентах от общего объема технической подготовки) около 30–40 % для условий мелкосерийного производства и до 150–60 % в массовом производстве. Как показывает практика, трудоемкость технологического проектирования в 2–3 раза превышает трудоемкость конструирования машин.

2.2. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

По ГОСТ 14.004-83 *машиностроительное производство* – это производство с преимущественным применением методов технологии машиностроения при выпуске изделий.

Важной классификационной категорией производства, выделяемой по признаку применяемого метода изготовления изделия, является вид производства, например литейное, сварочное, сборочное, кузнечное и другие производства.

Производство подразделяется на основное и вспомогательное. *Основное* производство занято выпуском товарной продукции. Функцией

вспомогательного производства является производство средств, необходимых для обеспечения функционирования основного производства. Примером вспомогательного производства является **инструментальное** производство, задачей которого является изготовление технологической оснастки (станочных приспособлений, режущих и мерительных инструментов и т.п.).

Различают также опытное и установившееся производства. **Опытное** производство – это производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработки конструкторской и технологической документации. Производство изделий по окончательно отработанной конструкторской и технологической документации является **установившимся** производством.

Важными характеристиками машиностроительного производства являются объем и программа выпуска продукции. **Объем выпуска** – это число изделий определенных наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени. **Программа выпуска** – это установленный для данного предприятия перечень (номенклатура) изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени.

Следует четко различать понятия серия изделия и производственная партия. **Серия изделия** включает все изделия, изготовленные по конструкторской и технологической документации без изменения их обозначения. Каждая серия имеет свое обозначение (например, серии самолетов ТУ-134А и ТУ-134Б). **Производственная партия** в общем случае – это предметы труда (например, заготовки) одного наименования и типоразмера, запускаемые в обработку в течение определенного интервала времени при одном и том же подготовительно-заключительном времени на операцию.

Отметим еще понятие “**коэффициент закрепления операций**” – отношение числа всех различных технологических операций O , выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест P :

$$K_{з.о} = O/P. \quad (2.1)$$

Машиностроительное производство по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объему выпуска продукции подразделяется на три типа: единичное, серийное и массовое. В

ГОСТ 14.004–83 дано следующее определение типов машиностроительного производства:

единичное – производство, характеризуемое малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматривается;

серийное – производство, определяемое изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство;

массовое – производство, характеризуемое большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна технологическая операция.

Основным признаком для отнесения производства к тому или иному типу является коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$: при $K_{з.о} \leq 1,0$ – массовое производство; при $1 < K_{з.о} < 10$ – крупносерийное; при $10 < K_{з.о} < 20$ – среднесерийное; при $20 < K_{з.о} < 40$ – мелкосерийное; производство, для которого $K_{з.о} > 40$, относится к единичному типу.

На заводах авиационного двигателестроения основным типом производства является серийное производство.

2.3. ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВИДЫ ОПЕРАЦИЙ

Согласно ГОСТ 3.1109–82 *технологический процесс* – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. К предметам труда в данном случае относятся заготовки и изделия. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части или к методам обработки, формообразования и сборки.

Объектом нашего подробного изучения будут в основном технологические процессы механической обработки. *Технологический процесс механической обработки* – это часть производственного процесса, включающая последовательное преобразование исходной заготовки в готовую деталь путем изменения формы, размеров и состояния ее поверхностей обработкой металлообрабатывающими инструментами.

По ГОСТ 3.1109-82 в зависимости от числа наименований изделий, охватываемых процессом, устанавливаются три вида ТП: единичный, типовой, групповой.

Единичный ТП разрабатывается и применяется для изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. Разработка единичных ТП характерна для оригинальных изделий (деталей, сборочных единиц), не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, которые ранее изготавливались на предприятии.

Типовой ТП – это ТП изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовой ТП характеризуется общностью содержания и последовательности выполнения большинства технологических операций и переходов для совокупности (типа) деталей с общими конструктивными и технологическими признаками.

Групповой ТП – это процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Групповой ТП разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства (обработка по методу автоматического достижения заданных параметров) в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства (ГОСТ 14.316-82).

Типовые и групповые технологические процессы имеют общее название унифицированных ТП. **Унифицированный** ТП – это процесс, относящийся к совокупности (группе) изделий (деталей, сборочных единиц), характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков.

При создании автоматических линий и гибких автоматизированных производственных систем проектируются комплексные ТП. **Комплексный** ТП – это процесс, в состав которого включаются не только технологические операции, но и операции перемещения, контроля и очистки обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса.

По степени детализации ТП подразделяются на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные. **Маршрутный** ТП (маршрутное описание ТП) содержит сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Маршрутное описание ТП используется обычно в единичном, мелкосерийном и опытном производствах.

Операционный ТП (операционное описание ТП) содержит полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов. Операционное описание ТП применяется в серийном и массовом производствах, а для сложных деталей – в мелкосерийном и даже единичном.

Маршрутно-операционный ТП (маршрутно-операционное описание ТП) – это процесс, в котором дается сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах. Маршрутно-операционное описание ТП рекомендуется для применения в серийном, мелкосерийном и опытном производствах, когда изготавливаемое изделие имеет отдельные сложные и точные детали.

Рассмотрим теперь виды операций. В зависимости от величины снимаемого при обработке слоя металла (припуска), целевого назначения и условий (режимов), при которых они выполняются, операции распределяются на грубые, черновые, получистовые, чистовые, тонкие, отделочные и упрочняющие. В табл. 2.1 представлены перечис-

Таблица 2.1

Характеристики операций

Вид операции	Метод обработки	Назначение	Точность, квалитеты (классы)	Шероховатость, мкм
Грубая	Обдирочное точение, фрезерование, строгание заготовок, полученных свободной ковкой, литьем в земляные формы, черного проката	Снятие с заготовки напусков и основной части припусков	14(7)	320–80
Черновая	Черновое точение, фрезерование, растачивание, строгание со снятием больших припусков, сверление, рас-сверливание, черновое зенкерование отверстий в отливках и штамповках	Снятие с заготовки основной части припусков	13–12(5)	80–20

Вид операции	Метод обработки	Назначение	Точность, квалитеты (классы)	Шероховатость, мкм
Получистовая	Точение, фрезерование, растачивание со снятием небольших припусков, а также зенкерование отверстий после сверления	Повышение точности формы, размеров и взаимного расположения поверхностей	11—10 (4—3а)	40—10
Чистовая	Однократное или предварительное развертывание, шлифование, тонкое обтачивание, растачивание и фрезерование, протягивание отверстий и плоскостей	То же	9—8 (3—2а)	2,50—0,63
Тонкая	Окончательное (второе) развертывание, шлифование, тонкое (алмазное) точение, растачивание и фрезерование	Достижение заданной по чертежу точности формы, размеров и положения поверхностей	7—5 (2—1)	0,63—0,16
Отделочная	Полирование, притирка, хонингование, суперфиниш	Уменьшение шероховатости поверхностей на 1—3 класса	Не изменяется	1,25—0,02
Финишная	Обкатывание поверхностей роликами, алмазное выглаживание, обработка отверстий шариками и раскатками, дробеструйная обработка, виброгалтовка	Повышение поверхностной твердости и создание остаточных напряжений	То же	Изменяется незначительно

ленные виды операций. Следует отметить, что часто используемое на практике разделение операций на предварительные и окончательные может быть целесообразно в том случае, если в ТП для обработки одной или группы поверхностей заготовки один и тот же метод используется несколько раз. Например, при двухкратной токарной обработке целесообразно первую из таких операций назвать предварительной токарной обработкой поверхностей, а вторую – окончательной. Также целесообразным является выделение операций предварительного и окончательного шлифования, предварительного и окончательного развертывания и т.п. В то же время следует иметь в виду, что термины "предварительная обработка" и "окончательная обработка" не характеризуют операции с точки зрения точности обработки. Так, в качестве окончательной может использоваться операция полустачного обтачивания, выполняемая по 11–10 качеству (4–3а классу) точности, а в качестве предварительной обработки – однократное шлифование по 9–8 качеству (3–2а классу) точности.

2.4. СОСТАВ (ЭЛЕМЕНТЫ) ОПЕРАЦИИ

Как уже отмечалось, ТП механической обработки заготовок делится на части, называемые операциями. *Технологическая операция* по ГОСТ 3.1109–82 – это законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте. Непременными признаками операции являются неизменность объекта обработки (заготовки или заготовок), неизменность рабочего места (оборудования), неизменность исполнителей или исполнителя и непрерывность.

Операция может выполняться в один или несколько установов заготовки. *Установ* – это часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Во многих случаях операции и установы делятся на позиции. *Позиция* – это фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Между установом и позицией имеются сходство и различие. Сходство состоит в том, что при каждом новом установе и в каждой новой позиции достигается новое взаимное положение заготовки и инструмента (инструментов), а разница – в том, каким путем получается это новое положение: в каждом новом установе – перезакреп-

лением заготовки, в каждой новой позиции — без открепления заготовки, перемещением либо поворотом заготовки или инструмента в новое положение. Замена установов позициями всегда сокращает время на обработку.

Технологический переход является законченной частью технологической операции (установа), выполняемой одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах. Это определение в полной мере применимо только для операций, выполняемых на обычном оборудовании. При обработке заготовок на станках с ЧПУ и на станках с адаптивным управлением режимы обработки на протяжении одного перехода могут изменяться (регулироваться).

Технологические переходы подразделяются на простые и сложные. *Сложным* называют переход, когда в работе участвуют одновременно несколько режущих инструментов или когда сложным инструментом одновременно параллельно обрабатываются несколько поверхностей заготовки. Следует заметить, что замена простых переходов сложным всегда сокращает время на обработку.

В ГОСТ 3.1109-82 предусмотрено понятие вспомогательного перехода. *Вспомогательный* переход — это законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойства предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов является установка и закрепление заготовки, смена инструмента и т.п.

2.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УНИФИКАЦИЯ

2.5.1. Принципы, формы и цели технологической унификации

Научно-технический прогресс в машиностроении обуславливает ускорение темпов создания все более совершенных машин, увеличивается число их типов и типоразмеров, усложняется их конструкция. Это вызывает возрастание затрат времени и средств на технологическую подготовку. В связи с этим становится особенно актуальной задача широкого использования технологической унификации как прогрессивного направления совершенствования не только методов проектирования ТП, но и организации производства. Основными формами технологической унификации в машиностроении являются типизация ТП

и групповой метод обработки заготовок. Они не исключают, а дополняют друг друга, так как имеют общую методологическую основу, направлены на решение одних и тех же задач – на совершенствование и повышение эффективности производства. В подтверждение указанного приводим табл. 2.2, где можно сравнить типизацию ТП и групповой метод обработки по основным характеристикам [13].

Технологическая унификация позволяет:

- а) сократить сроки и затраты времени и средств на технологическую подготовку производства;
- б) повысить степень серийности при обработке заготовок и создать тем самым предпосылки для внедрения высокопроизводительных

Таблица 2.2

Методы типизации технологических процессов и групповой обработки

Сопоставимые категории	Технологический процесс	
	типовой	групповой
Определение по ГОСТ 3.1109–82	Процесс изготовления группы изделий (деталей) с общими конструктивными и технологическими признаками	Процесс изготовления группы изделий (деталей) с различными или общими конструктивными признаками, но обязательно с общими технологическими признаками
Форма организации ТП	Общий (типовой) технологический маршрут, общность технологических операций	Одна, несколько или все общие групповые деталь-операции процесса для группы деталей. Деталь-операция для всех заготовок группы выполняется на одном рабочем месте, одной оснасткой и при одной (групповой) наладке станка

Сопоставимые категории	Технологический процесс	
	типовой	групповой
Эффективность применения	Сокращение затрат времени и средств на технологическую подготовку производства, сокращение ее сроков, повышение качества ТП	Возможность использования высокопроизводительных методов массового производства в условиях серийного и мелкосерийного производства Повышение производительности труда рабочих на 30–35 % и загрузки оборудования на 30 %, сокращение цикла производства на 70 %
Область рационального применения	Крупносерийное производство небольшого числа наименований конструктивно подобных заготовок (шестерни, ступенчатые валики, кольца, втулки); изготовление нормализованных и стандартизованных крепежных деталей и режущего инструмента	Мелкосерийное и серийное производства различных изделий (деталей) машинно- и приборостроения; заготовительные операции (штамповка, прессование, литье под давлением) в мелкосерийном производстве

ТП, оборудования и оснастки *массового* производства в условиях *серийного* и *мелкосерийного* производств;

в) повысить качество (уровень) технологических разработок;

г) уменьшить затраты времени на технологическую подготовку путем сокращения объема рутинных работ и, следовательно, высвободить технологов для решения более сложных технологических задач, требующих творческого подхода;

д) создать предпосылки (основы) для автоматизированного проектирования ТП.

2.5.2. Типизация технологических процессов и их элементов

В настоящее время при проектировании ТП используются три уровня технологической унификации:

1) типизация ТП обработки отдельных (элементарных) поверхностей;

2) типизация ТП обработки сочетаний поверхностей;

3) комплексная типизация ТП обработки заготовок.

Важно отметить, что типизация ТП является краеугольным камнем всех методов и САПР ТП. Так, многоуровневый (многошаговый) метод синтеза ТП [14] базируется на типизации первого и отчасти второго уровня; САПР ТП на основе типовых технологических решений базируются на типизации ТП третьего уровня.

Работа по типизации ТП на любом уровне должна начинаться с проведения классификации деталей, сочетаний поверхностей и элементарных поверхностей. Подробно вопросы классификации и группирования изложены в гл. 3. Здесь же отметим, что основной задачей классификации является приведение всего многообразия заготовок, поверхностей, их сочетаний и деталей к минимальному числу типов, для которых можно разработать единые (типовые) ТП.

Типизация маршрутов обработки элементарных поверхностей. В машиностроении накоплен большой опыт разработки и использования типовых схем (планов) обработки различных поверхностей. Многие из них зафиксированы в руководящих и справочных материалах; для реализации таких систем изготавливаются наборы (комплексы) режущего инструмента.

В технологической литературе нет установившейся терминологии для рассматриваемого понятия. Поэтому в последующем будем использовать термин "типовой план обработки поверхности", как это

принято в работах Г. К. Горанского. Для примера приведем этапы (переходы) и коды типового плана обработки наружной цилиндрической поверхности 6-го квалитета (2-й класс точности) из заготовки черного проката:

Точение:

черновое	100
чистовое	101

Шлифование наружное:

черновое	500
чистовое	501

Типизация маршрутов обработки сочетаний поверхностей. Под сочетанием понимают обычно набор (комплекс) элементарных поверхностей, образующих конструктивный элемент детали определенного функционального назначения, например набор поверхностей, образующих шпоночный паз, шлицы и т.д. Более полно задачам автоматизированного проектирования будет отвечать термин "конструктивно-технологический элемент детали" (КТЭ). Признаками классификации КТЭ на подгруппы, типы и т.д. являются: функциональное назначение, конфигурация (конструкция) КТЭ (замок типа "ласточкин хвост", "двузубая елка" и т.п.), форма и размеры поверхностей, материал детали, требуемая точность.

При типизации для каждой классификационной группировки КТЭ разрабатывают типовой план обработки, типовые операции или переходы. Для примера приведем типовой план обработки КТЭ — шлицевой поверхности (табл. 2.3).

Комплексная типизация ТП обработки заготовок базируется на классификации деталей (не поверхностей и не конструктивно-технологических элементов, а деталей) по конструктивно-технологическим признакам. Типизация ТП включает в себя анализ и упорядочение отдельных деталей и узлов с целью объединения конструктивно и технологически сходных деталей (узлов) в соответствующие классы, группы, типы деталей. Под *типом* подразумевается совокупность близких по форме и размерам деталей одного класса, которые можно обрабатывать по общему типовому ТП.

Типовой ТП, таким образом, является унифицированным процессом обработки всех деталей совокупности (типа, группы). Он является как бы объединением большого числа единичных процессов изготовления. Достигаемое при этом уменьшение всей совокупности ТП, нуждающихся в разработке, ведет к значительному со-

Типовой план обработки шлищевой поверхности [3]

Типовой план обработки КТЭ	Код метода обработки	Обработка	Условие применения плана обработки
W 27	3001	Точение черновое	Квалитет 6-7 (класс точности 2-2a)
	3003	Точение чистовое	
	2143	Шлифование по окружности	
	2013	Шлицефрезерование	
	2113	Шлицешлифование	
	0243	Слесарная	

крашению затрат на проектирование ТП. Поэтому типовые ТП должны разрабатываться очень тщательно с использованием новейших достижений науки и передового производственного опыта в масштабах предприятия, отрасли промышленности и всего машиностроения в целом.

Кроме использования типового процесса в качестве рабочего ТП для непосредственного изготовления деталей типовой технологический процесс может использоваться как информационная основа при разработке рабочих (единичных) ТП.

В практике машиностроения используются различные формы представления типового ТП, различающиеся степенью детализации и возможностью варьирования характером и содержанием операций. Наименее детализируемой формой является *укрупненный типовой маршрут*.

В основу укрупненного типового маршрута положена унифицированная последовательность операций, в которой все 100 % операций являются варьируемыми. Операции располагаются в рациональной последовательности. Описание операций ограничивается указанием метода обработки с уточнением или без уточнения.

Более детализированной формой типового ТП является типовой маршрут для детали-представителя. Он разрабатывается для наиболее сложной из совокупности (типа) детали-представителя. В типовом маршруте область допустимого варьирования последовательности опе-

раций сужается и соответственно увеличивается доля постоянных операций. Описание операций здесь дается более детально, в нем содержатся все постоянные данные, необходимые для заполнения операционных карт.

2.5.3. Групповой метод обработки заготовок

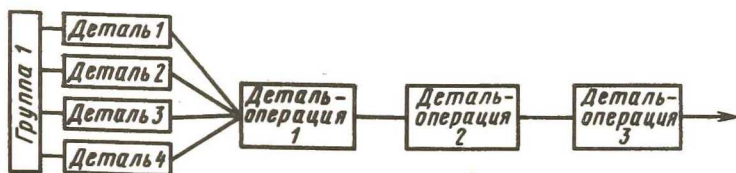
В машиностроении применяются различные варианты группового метода обработки заготовок. Самый эффективный вариант с экономической и организационной точек зрения – обработки заготовок по *групповому* ТП, состоящему из общих для всей группы заготовок деталь-операций (рис. 2.1, а).

Групповая деталь-операция – это технологическая операция совместного изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. Групповая операция характеризуется общностью используемого оборудования, технологической оснастки и *наладки* (при допущении только незначительной подналадки станка).

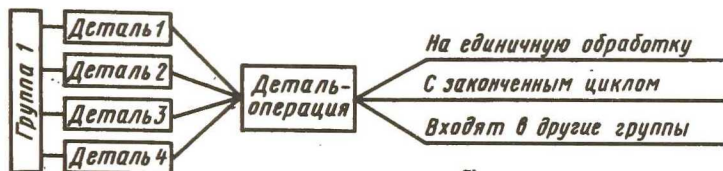
На практике еще используются более сложные (чем приведенные на рис. 2.1, а) в организационном отношении варианты применения метода групповой обработки – с переменным составом групп, т.е. когда группы комплектуются для отдельных деталь-операций. Один из таких вариантов показан на рис. 2.1, б. Здесь групповая обработка представлена одной операцией. Детали с незаконченным циклом обработки, совместно обработанные на одной групповой операции, на остальных операциях входят в другие группы или обрабатываются далее по единичным процессам. Этот вариант групповой обработки охватывает наибольшее число деталей из номенклатуры цеха (участка) и может быть особенно эффективен, если ТП у всех деталей группы будет однооперационным (заготовительные процессы, отделочные процессы, изготовление крепежных деталей и т.п.).

Сложным в организационном плане, но эффективным является вариант применения группового метода обработки, приведенный на рис. 2.1, в. Группы 1, 2 и 3 деталей¹ следует назвать начальными или исходными, поскольку в последующем происходит неоднократное

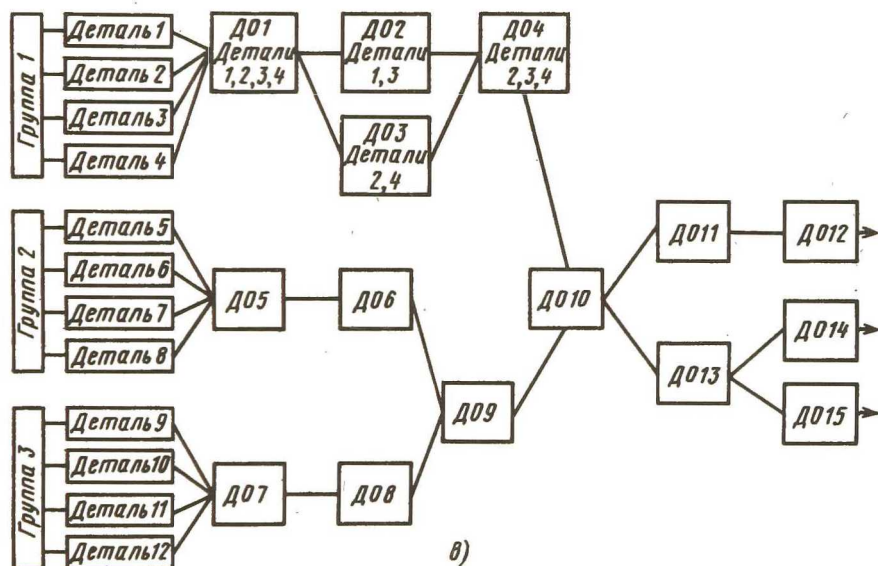
¹ На практике число деталей в группе может составлять нескольких десятков или сотен штук.



а)



б)



в)

Рис. 2.1. Варианты групповой обработки:

ДО – групповая деталь-операция

перестроение групп. Так, в состав группы, которая будет проходить обработку на деталь-операции ДО 9, включены детали 2-й и 3-й исходных групп, а в состав группы для деталь-операции ДО 10 включены детали всех трех исходных групп. Более наглядно состав групп на отдельных деталь-операциях удобно проследить по матрице движения деталей по деталь-операциям группового ТП, приведенной в табл. 2.4. Из таблицы видно, что в группу для обработки на деталь-

**Матрица маршрута деталей
по групповым деталь-операциям**

Исход- ная группа	Номер детали	Деталь - операция														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1			1						1	1	1			
	2	1		1	1						1	1	1			
	3	1	1		1						1	1	1			
	4	1		1	1						1	1	1			
2	5					1	1			1	1	1	1			
	6					1	1			1	1	1	1			
	7					1	1			1	1			1	1	
	8					1	1			1	1			1		1
3	9							1	1	1	1			1	1	
	10							1	1	1	1			1		1
	11							1	1	1	1			1	1	
	12							1	1	1	1			1		1

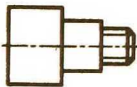
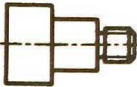
операции ДО 9 входят детали с 5 по 12, а на деталь-операции ДО 14 – детали № 7, 9 и 11. Матрица удобна также для выявления маршрута обработки любой детали. Так, групповой технологический маршрут изготовления детали 7 будет состоять из деталь-операций:

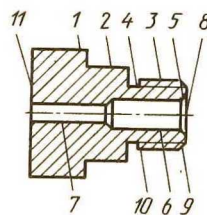
ДО 5 → ДО 6 → ДО 9 → ДО 10 → ДО 13 → ДО 14.

При рассмотрении вариантов построения технологии групповой обработки обращает на себя внимание то обстоятельство, что при групповом методе обработки классификация всей номенклатуры деталей цеха или участка – не однократный, а многократный процесс. Основным направлением группирования деталей является объединение их по видам обработки. Создаются группы деталей, обрабатываемых на автоматах, револьверных, токарных, фрезерных, сверлильных и других станках.

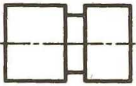
Большинство деталей при изготовлении должны проходить несколько операций и поэтому каждая из них войдет не в одну, а в несколько

Структура групповой операции

Эскиз детали	Переходы											Комплексная деталь
	Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Проточить канавку 4	Центровать отверстие 5	Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10	Отрезать деталь 11	
	X	X			X		X	X			X	
	X	X	X					X	X	X	X	
	X	X	X	X				X	X	X	X	
	X	X	X				X	X			X	



Эскиз детали	Переходы											Комплексная деталь
	Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Проточить канавку 4	Центровать отверстие 5	Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10	Отрезать деталь 11	

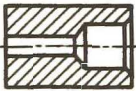


X

X

X

X



X

X

X

X

X

X

групп. Получаемые на первых шагах классификации группы являются укрупненными. Для выполнения главного принципа групповой технологии – возможности обработки деталей группы при одной наладке станка – укрупненную группу разделяют на группы по типоразмерам станков, методам установки заготовок и типам приспособлений, требуемой точности обработки. В конечном счете получают группу как совокупность заготовок, характеризуемую общностью оборудования, технологической оснастки, наладки станка и состава технологических переходов.

Рассмотрим теперь коротко содержание и построение операций группового ТП (деталь-операций). Для сформированной группы

создается комплексная деталь-представитель группы. При этом за основу принимается чертеж детали, имеющей наибольшее число поверхностей, к которому добавляются поверхности других деталей группы. Применительно к конфигурации комплексной детали определяется содержание операции – состав и последовательность технологических переходов, выбирается оборудование, технологическая оснастка и разрабатывается наладка станка. При этом технологическая оснастка должна быть групповой или универсально-переналаживаемой и пригодной для изготовления любой детали группы, а применяемое оборудование должно обеспечивать высокопроизводительную обработку при минимальных затратах на его переналадку. В табл. 2.5 приведен пример построения групповой операции. Как следует из таблицы, при обработке каждой детали группы используется только часть переходов (они отмечены значком "х").

2.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Теоретической основой методики расчета припусков и операционных размеров является теория размерных цепей, разработанная советскими учеными Б. С. Балакшиным, В. П. Пузановой, Н. А. Бородачевым, П. Ф. Дунаевым и др. Ниже излагаются ключевые положения теории размерных цепей на примерах выявления, построения и решения технологических размерных цепей, имеющих свою специфику.

2.6.1. Состав и основные закономерности размерной цепи

Размерной цепью (РЦ) называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. Звеном размерной цепи может быть линейный или угловой размер машины, узла, детали, заготовки или технологической системы.

По характеру расположения звеньев, образующих цепь, различают пространственные, плоские, угловые и линейные РЦ. Большинство технологических размерных расчетов выполняют с использованием линейных РЦ. В линейной РЦ все звенья лежат в одной плоскости и параллельны друг другу (рис. 2.2). К виду линейных цепей могут быть преобразованы пространственные и плоские РЦ. В зависимости от принадлежности звеньев и поставленной задачи РЦ подразделяются на конструкторские (рис. 2.2, *а*), технологические (рис. 2.2, *б* и *в*),

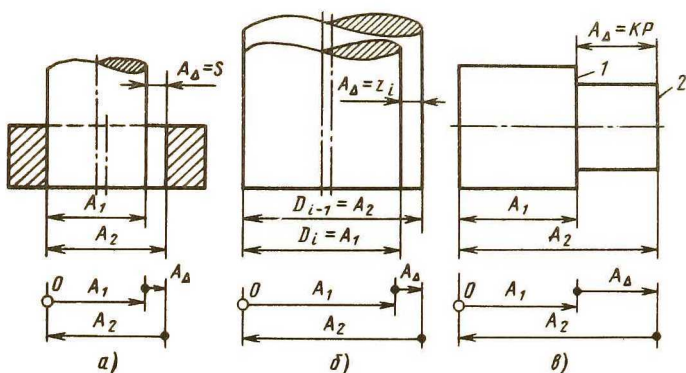


Рис. 2.2. Размерные цепи:

а — конструкторская; б и в — технологические; КР — конструкторский размер

измерительные и цепи технологической системы. *Технологическими* будем называть размерные цепи, звеньями которых являются операционные размеры и припуски (рис. 2.2, б), а также чертежные (конструкторские) размеры обрабатываемой заготовки (рис. 2.2, в).

Каждая РЦ содержит одно (и только одно) исходное или замыкающее звено и несколько (1, 2, ...) составляющих звеньев. *Замыкающее звено* технологической РЦ — это размер, который в процессе обработки заготовки (изготовления детали) непосредственно не выдерживается, а получается в результате выполнения других — составляющих — звеньев. Замыкающим звеном технологической РЦ наиболее часто служит припуск на обработку, чертежный размер или другой размерно-точностной параметр, непосредственно не выполняемый по ТП, а *составляющими звеньями* — линейные операционные размеры, которые по технологическим операционным картам подлежат обязательному выполнению в пределах допусков. Эти размеры выдерживаются и контролируются непосредственно при обработке заготовок.

Замыкающее звено занимает в технологической РЦ особое положение, выполняет особую роль — относительно этого звена строится РЦ. Надобность в построении цепи возникает только тогда, когда необходимо обеспечить или измерить положение двух поверхностей не непосредственно, а через другие (составляющие) размеры узла, детали или ТП. На рис. 2.2, б показана технологическая РЦ. Операционные размеры D_i и D_{i-1} выдерживаются и контролируются соот-

ветственно в предшествующей и выполняемой операциях, а припуск z_i будет замыкающим звеном РЦ, поскольку при обработке заготовки он непосредственно не выдерживается. На рис. 2.2, в показана операция подрезки торцов 1 и 2, при которой выполняются операционные размеры A_1 и A_2 . Если требуется знать расстояние A_Δ между торцами 1 и 2, то в РЦ оно будет замыкающим звеном, поскольку в процессе выполнения операции оно непосредственно не выдерживается и не контролируется.

По характеру влияния на замыкающий размер составляющие звенья разделяют на увеличивающие и уменьшающие. *Увеличивающим* называют звено РЦ, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается, а *уменьшающим* — составляющее звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

Все звенья одной цепи обозначают одной прописной буквой русского алфавита: составляющие звенья с индексом порядкового номера (1, 2, ...), замыкающее звено — с индексом "Δ". При необходимости качество составляющих размеров обозначают стрелками: для увеличивающих звеньев $\vec{A}$, $\vec{B}$ и т.д., а для уменьшающих $\vec{A}$, $\vec{B}$ и т.д.

Начало расчета РЦ связано с составлением ее уравнения. Для этого на графической схеме цепи выбирают точку начала и конца отсчета (точка O на рис. 2.2) и, обходя цепь по контуру, записывают в уравнение все ее звенья. При этом звенья, направленные в одну сторону, имеют знак плюс, а в противоположную сторону, — со знаком минус. Для цепей, показанных на рис. 2.2, *уравнение размерной цепи* будет

$$A_1 + A_\Delta - A_2 = 0.$$

Из уравнения РЦ может быть получено *уравнение замыкающего звена*

$$A_\Delta = A_2 - A_1. \quad (2.2)$$

На рис. 2.2 звенья РЦ ориентированы, изображены в виде векторов. Такое изображение звеньев значительно облегчает построение РЦ и составление их уравнений. Можно отметить следующую закономерность по направлениям звеньев: увеличивающие составляющие звенья (A_2) имеют на схеме направление, противоположное направлению замыкающего звена A_Δ , в уравнение замыкающего звена они входят со

знаком плюс; уменьшающие составляющие звенья (A_1) имеют на схеме цепи направление, совпадающее с направлением замыкающего звена, в уравнение замыкающего звена они входят со знаком минус. Пользуясь указанными свойствами, уравнение замыкающего звена можно составлять непосредственно по схеме РЦ цепи, не записывая уравнение цепи.

Рассмотренное выше уравнение замыкающего звена РЦ относилось к частному примеру. В общем случае оно имеет вид

$$A_{\Delta} = \sum_m \tilde{A}_i - \sum_n \tilde{A}_i, \dots, \quad (2.3)$$

где m — число увеличивающих составляющих звеньев цепи; n — число уменьшающих звеньев.

Уравнение (2.3) используют для расчета номинального значения замыкающего размера.

Связь между допусками (погрешностями) составляющих и замыкающего размеров определяется правилом суммирования допусков (погрешностей), которое является основой решения РЦ. Оно заключается в следующем: допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев. Для каждой из РЦ, приведенных на рис. 2.2,

$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_2} + T_{A_1}.$$

Введем обозначения $T_{A_i} = T_i$ — допуск составляющего звена и

$T_{A_{\Delta}} = T_{\Delta}$ — допуск замыкающего звена. Тогда уравнение связи

допусков замыкающего и составляющих звеньев можно представить в общем виде: *

$$T_{\Delta} = \sum_{m+n} T_i. \quad (2.4)$$

Допуск любого размера в отличие от отклонений представляет собой всегда существенно положительную величину, поэтому суммирование допусков по уравнению (2.4) должно производиться арифметически. Уравнение (2.4) выражает основное правило допусков при решении размерных цепей по методу расчета на максимум-минимум.

2.6.2. Выявление и построение технологических размерных цепей

Исходной информацией для построения технологических РЦ является технология, содержащая операционные эскизы на формоизменяющие операции ТП. Эту исходную информацию необходимо преобразовать: предварительно построить размерную схему ТП.

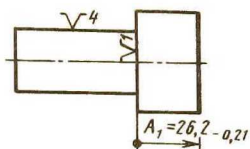
Каждую РЦ строят относительно своего замыкающего звена. Поэтому в первую очередь необходимо исходя из поставленной задачи установить замыкающее звено. Обычно замыкающим звеном технологической РЦ является либо чертежный размер, непосредственно не выполняемый при обработке, либо припуск на обработку. Затем относительно этого замыкающего звена строится РЦ.

Специфические приемы выявления и построения технологических РЦ рассмотрим на примере. Для ТП, приведенного на рис. 2.3, требуется проверить, выполняется ли конструкторский размер $KP2 = 30 \pm 0,3$ в заданных пределах.

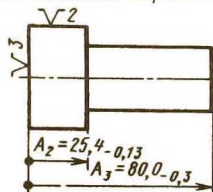
Первым шагом в решении задачи будет построение размерной схемы ТП. Для начала в верхней части изображают контур готовой детали, над контуром наносят заданные по чертежу конструкторские размеры (2.3, б). На контур готовой детали наслаиваются припуски, в итоге получают контур заготовки. Затем на размерную схему переносят из ТП операционные размеры $A_1, A_2, \dots, A_5$. Границы размеров (плоскости, торцы и оси на разных стадиях обработки) нумеруют слева направо.

Сопоставляя по размерной схеме конструкторские размеры детали (над эскизом) и операционные размеры (под эскизом), мы убеждаемся в том, что конструкторский размер $KP1$ выполняется непосредственно при обработке – ему соответствует операционный размер A_5 . В то же время операционных размеров, соответствующих конструкторским размерам $KP2$ и $KP3$, по технологическому процессу (на размерной схеме) нет. Стало быть они непосредственно не выдерживаются, а обеспечиваются косвенно через другие операционные размеры.

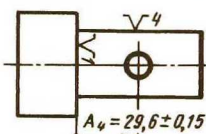
Для решения поставленной выше задачи необходимо построить и решить технологическую РЦ, в которой замыкающим звеном будет размер $KP2$. Для построения цепи выявим по размерной схеме, какие из операционных размеров войдут в РЦ в качестве составляющих звеньев. Для начала достаточно выявить два таких размера, которые будут непосредственно примыкать к замыкающему звену. Ими являются



Оп. 30 Чистовая обработка

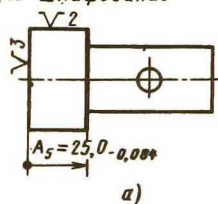


Оп. 35 Сверление и зенкерование

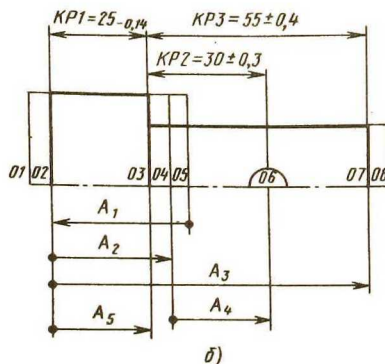


Оп. 40 Термообработка

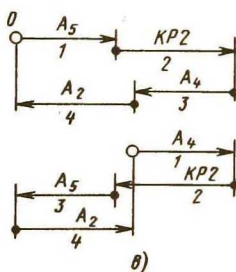
Оп. 45 Шлифование



а)



б)



РЦ.1

РЦ.1а

в)

Рис. 2.3. Выявление и построение технологических размерных цепей: а — ТП механической обработки; б — размерная схема ТП; в — размерные цепи

операционные размеры, которыми формируются (координируются) левая 03 и правая 06 границы замыкающего звена. В нашем примере это будут размеры A_5 и A_4 . Меньше затруднений бывает, когда начинают строить цепь с того из двух выявленных размеров, который по ТП получается позже. В нашем примере это будет размер A_5 . Отложив его из точки О (рис. 2.3, в), откладываем затем замыкающее звено $KP2$ и выявленный ранее составляющий размер A_4 . Теперь нужно определить

и нанести на схему РЦ остальные составляющие (операционные) размеры, которые позволили бы замкнуть цепь (получить замкнутый контур), т.е. кратчайшим путем перейти с вертикали 04 (куда мы пришли по размеру A_4) на вертикаль 02, с которой мы вышли в начале построения цепи. В нашем примере это размер A_2 , отложив который, мы заканчиваем построение РЦ. На рис. 2.3, в построенная цепь обозначена РЦ1, цифры под векторами показывают последовательность ее построения.

Не будет ошибкой, если начать построение РЦ с откладывания другого выявленного размера A_4 . Такая цепь на рис. 2.3, в обозначена РЦ1а. Видно, что размерные цепи РЦ1 и РЦ1а совершенно идентичны по своему составу. Отсюда можно сделать вывод о том, что структура (состав) цепи не зависит от того, с какого размера начинают ее построение и в каком направлении выполняют построение замкнутого контура.

Составим теперь уравнение РЦ. Для этого нужно обойти контур цепи и записать размеры, направленные в одну сторону (в нашем примере вправо) со знаком плюс, а размеры, направленные в другую сторону, — с обратным знаком.

$$\text{Для цепи РЦ1 } A_5 + KP2 - A_4 - A_2 = 0.$$

$$\text{Для цепи РЦ1а } A_4 - KP2 - A_5 + A_2 = 0.$$

Решая эти уравнения относительно $KP2$, получим в обоих случаях одно и то же уравнение замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = KP2 = A_2 + A_4 - A_5. \quad (2.5)$$

Это дополнительно подтверждает идентичность размерных цепей РЦ1 и РЦ1а.

Следует предостеречь от возможных ошибок при построении технологических РЦ. Наиболее характерной ошибкой является включение в контур цепи кроме замыкающего звена еще одного или нескольких размеров, непосредственно не выдерживаемых при обработке. Поэтому следует напомнить приведенное выше положение о том, что в составе РЦ может быть только один замыкающий размер, т.е. только один размер, непосредственно не выполняемый при обработке.

2.6.3. Расчетные уравнения для решения проверочной задачи по методу расчета на максимум-минимум

В зависимости от того, что известно, а что является искомым – замыкающий или составляющий размеры, все разнообразные задачи, решаемые с использованием РЦ, разделяются на проверочные и проектные.

Содержанием *проверочной задачи* является определение замыкающего размера и его допуска (погрешности) по заданным значениям составляющих размеров и их допусков. В машиностроении применяют несколько способов задания (регламентации) точности размеров. Это обуславливает использование в практике расчетов для определения замыкающего размера и его точности следующих способов: предельных значений, отклонений, средних значений, координат допусков. Ниже рассматриваются два наиболее часто используемых способа – способ предельных значений и способ отклонений.

Способ предельных значений. Основой решения проверочной задачи по этому способу являются уравнения предельных значений замыкающего размера. Эти уравнения можно представить без выводов, как очевидные:

$$A_{\Delta \max} = \sum_m \hat{A}_{i \max} - \sum_n \hat{A}_{i \min}; \quad (2.6)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_m \hat{A}_{i \min} - \sum_n \hat{A}_{i \max}. \quad (2.7)$$

Из уравнения (2.6) следует, что максимальное значение замыкающего звена равно сумме максимальных значений увеличивающих составляющих размеров минус сумма минимальных значений уменьшающих составляющих размеров. Аналогично раскрывается уравнение (2.7). Используем уравнения (2.6) и (2.7) для решения поставленной в примере задачи – проверки обеспечения размера КР2 в заданных чертежом пределах.

Согласно (2.7) уравнения предельных значений замыкающего звена по (2.6) и (2.7)

$$КР2_{\max} = A_{\Delta \max} = A_{2 \max} + A_{4 \max} - A_{5 \min};$$

$$КР2_{\min} = A_{\Delta \min} = A_{2 \min} + A_{4 \min} - A_{5 \max};$$

Значения операционных размеров были приведены на рис. 2.3, а:

$$A_2 = 25,4 - 0,13; A_4 = 29,6 \pm 0,15; A_5 = 25,0 - 0,084.$$

Подставляя в уравнения для определения $KP2_{\max}$, $KP2_{\min}$ предельные значения операционных размеров, получим $KP2_{\max} = 30,234$ мм и $KP2_{\min} = 29,72$ мм. Сопоставляя вычисленные возможные предельные значения $KP2$ с допустимыми (30,3 и 29,7), убеждаемся в том, что заданные чертежом значения $KP2$ по технологии обеспечиваются.

Способ отклонений. При решении проверочной задачи по способу отклонений используют уравнение для определения номинала замыкающего звена (2.4) и уравнения для определения его верхнего $\Delta_{в\Delta}$ и нижнего $\Delta_{н\Delta}$ отклонений

$$\Delta_{в\Delta} = \sum \Delta_{m_{вi}} - \sum \Delta_{n_{нi}}; \quad (2.8)$$

$$\Delta_{н\Delta} = \sum \Delta_{m_{нi}} - \sum \Delta_{n_{вi}}. \quad (2.9)$$

Согласно уравнению (2.8) верхнее отклонение замыкающего звена равно разности значений суммы верхних отклонений увеличивающих составляющих звеньев и суммы нижних отклонений уменьшающих размеров. Аналогично читается уравнение (2.9). Напоминаем, что отклонения в отличие от допуска имеют знак и поэтому уравнения (2.8) и (2.9) должны решаться алгебраически.

Покажем применение уравнений (2.4), (2.8) и (2.9) для решения поставленной выше задачи. Для этого перепишем значения составляющих звеньев в следующем виде:

$$A_2 = 25,4^{+0,00}_{-0,13}; A_4 = 29,6^{+0,15}_{-0,15} \text{ и } A_5 = 25,0^{+0,00}_{-0,084}.$$

В соответствии с (2.4) номинал замыкающего звена

$$A_{\Delta} = A_2 + A_4 - A_5; A_{\Delta} = 25,4 + 29,6 - 25,0 = 30,0 \text{ мм.}$$

Его верхнее и нижнее отклонения по (2.8) и (2.9) составят

$$\Delta_{в\Delta} = [\Delta_{в2} + \Delta_{в4}] - [\Delta_{н5}] = [0,0 + 0,15] - [-0,084] = 0,234;$$

$$\Delta_{\Delta} = [\Delta_{\Delta 2} + \Delta_{\Delta 4}] - [\Delta_{\Delta 5}] = [(-0,13) + (-0,15)] - [0] = -0,28.$$

В результате $A_{\Delta} = KР2 = 30^{+0,234}_{-0,28}$, что хорошо согласуется с результатами расчета размерной цепи по способу предельных значений.

Подобные громоздкие записи при вычислении номинала и предельных отклонений замыкающего звена нужны только при отсутствии навыка в решении задач по способу отклонений. Опытные заводские технологи ограничиваются записями типа

$$A = 25,4^{+0,00}_{-0,13} + 29,6^{+0,15}_{-0,15} - 25,0^{+0,00}_{-0,084} = 30^{+0,234}_{-0,28}.$$

При такой записи все вычисления выполняют в уме – сначала определяют номинал замыкающего размера, а потом – отклонения. При этом отклонения увеличивающих размеров берут с их знаками, а отклонения уменьшающих размеров – с обратными знаками.

2.6.4. Расчетные уравнения для решения проверочной задачи по вероятностному методу

Допуск замыкающего звена по вероятностному методу в РД 50-635-87 "Цепи размерные" определяется по уравнению

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{m+n} \xi_i^2 \lambda_i^2 T_i^2},$$

где ξ_i – передаточное отношение i -го звена; t_{Δ} – коэффициент, выбираемый в зависимости от процента риска; при риске $p = 0,27\%$ $t_{\Delta} = 3,0$; $\lambda_i = 2\sigma/\omega_i$ – относительное среднеквадратичное отклонение, коэффициент, зависящий от закона распределения размера.

Для линейных размерных цепей $\xi_i^2 = 1,0$. Тогда

$$T_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{m+n} \lambda_i^2 T_i^2}. \quad (2.10)$$

Уравнение (2.10) не учитывает отличия закона распределения замыкающего размера от закона Гаусса и поэтому использование его ограничено случаями, когда число составляющих звеньев больше шести. Этого ограничения можно избежать при использовании уравнения

$$T_{\Delta} = \frac{1}{k_{\Delta}} t_{\Delta} \sqrt{\frac{\sum \lambda_i^2 T_i^2}{m+n}}, \quad (2.11)$$

где k_{Δ} — коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена; он характеризует (учитывает) степень отличия распределения замыкающего звена от закона нормального распределения.

Значение k_{Δ} определяется по уравнению

$$k_{\Delta} = 1 + \frac{0,55}{\sum T_i} \left[\sqrt{\frac{\sum k_i^2 T_i^2}{m+n}} - \sqrt{\frac{\sum T_i^2}{m+n}} \right]. \quad (2.12)$$

В уравнении (2.12) $k_i = 6\sigma/\omega_i$ — коэффициент относительного рассеяния i -го составляющего звена.

Значения λ_i и k_i принимают в зависимости от закона распределения составляющих размеров (табл. 2.6).

Таблица 2.6

*Значения коэффициентов λ_i и k_i
в зависимости от закона распределения*

Закон распределения составляющих размеров	λ_i	λ_i^2	k_i
Закон равной вероятности	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$	$\frac{1}{3} = 0,333$	1,73
Закон Симпсона	$\frac{1}{\sqrt{6}} = 0,407$	$\frac{1}{6} = 0,167$	1,22
Закон нормального распределения	$\frac{1}{3} = 0,333$	$\frac{1}{9} = 0,111$	1,0

При решении проверочной задачи по вероятностному методу целесообразно использовать способ координат допусков. Рассмотрим содержание и последовательность расчетов по этому способу на примере решения задачи, изложенной в предыдущем разделе. Там требовалось выполнить расчет размерной цепи, описываемой уравнением замыкающего звена

$$A_{\Delta} = KP2 = A_2 + A_4 - A_5$$

при известных значениях составляющих звеньев

$$A_2 = 25,4^{+0,0}_{-0,13}; A_4 = 29,6^{+0,15}_{-0,15} \text{ и } A_5 = 25,0^{+0,0}_{-0,084}.$$

При применении способа координат допусков вычисляют:

а) номинал замыкающего звена по уравнению (2.3). Для нашего примера было вычислено ранее $KP2 = 30,0$;

б) координату середины поля допуска замыкающего звена по уравнению (для линейных цепей)

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_m \Delta_{0i} - \sum_n \Delta_{0i} \dots \quad (2.13)$$

$$\text{где } \Delta_{0\Delta} = \frac{ESA_{\Delta} + EIA_{\Delta}}{2}; \quad (2.14)$$

$$\Delta_{0i} = \frac{ESA_i + EIA_i}{2}; \quad (2.15)$$

Для размеров A_2 , A_4 и A_5 значения Δ_{0i} по уравнению (2.15) будут равны:

$$\Delta_{02} = \frac{0,0 + (-0,13)}{2} = -0,065;$$

$$\Delta_{04} = \frac{0,15 + (-0,15)}{2} = 0,0$$

$$\text{и } \Delta_{05} = \frac{0,0 + (-0,084)}{2} = -0,042.$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда } \Delta_{0\Delta} &= \Delta_{02} + \Delta_{04} - \Delta_{05} = (-0,065) + 0,0 - (-0,042) = \\ &= -0,023 \text{ мм;} \end{aligned}$$

в) допуск замыкающего звена T_{Δ} по уравнению (2.12).

Примем следующие значения коэффициентов относительного рассеяния для составляющих звеньев A_2 , A_4 и A_5 :

$$k_2 = k_4 = 1,2 (\lambda_2 = \lambda_4 = 0,4) \text{ и } k_5 = 1,3 (\lambda_5 = 0,433).$$

Вычислим предварительно коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена по уравнению (2.12):

$$k_{\Delta} = 1 + \frac{0,55}{0,13 - 0,3 + 0,084} \left[\sqrt{1,2^2 \cdot 0,13^2 + 1,2^2 \cdot 0,3^2 + \dots} + \dots \sqrt{0,13^2 + 0,3^2 + 0,084^2} \right] = 1,2.$$

Тогда по уравнению (2.11) определим

$$T_{\Delta} = \frac{1}{1,2} 3,0 \times \sqrt{0,4^2 \cdot 0,13^2 + 0,4^2 \cdot 0,3^2 + 0,433^2 \cdot 0,084^2} = 0,336 \text{ мм.}$$

Для сравнения вычислим допуск замыкающего звена по методу расчета на максимум-минимум по уравнению (2.5):

$$T_{\Delta} = \sum_{m+n} T_i = T_2 + T_4 + T_5 = 0,13 + 0,3 + 0,084 = 0,514 \text{ мм.}$$

Сопоставление показывает, что допуск замыкающего звена, вычисленный по вероятностному методу, в 1,5 раза меньше допуска, рассчитанного по методу максимума-минимума;

г) в заключение расчета по способу координат допусков определим предельные отклонения замыкающего звена:

$$\Delta_{в\Delta} = \Delta_{0\Delta} + \frac{T_{\Delta}}{2}; \quad (2.16)$$

$$\Delta_{н\Delta} = \Delta_{0\Delta} - \frac{T_{\Delta}}{2}; \quad (2.17)$$

Подставляя в (2.16) и (2.17) найденные выше значения $\Delta_{0\Delta}$ и T_{Δ} , получим

$$\Delta_{в\Delta} = -0,023 + \frac{0,336}{2} = +0,145 \text{ мм};$$

$$\Delta_{н\Delta} = -0,023 - \frac{0,336}{2} = -0,191 \text{ мм}.$$

Таким образом, расчет по вероятностному методу дает следующее значение замыкающего звена: $A_{\Delta} = KР2 = 30,0^{+0,145}_{-0,191}$. Для сравнения напомним, что при расчете по методу максимум-минимума $A_{\Delta} = 30,0^{+0,234}_{-0,28}$.

2.7. ПРИПУСКИ И ДОПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

2.7.1. Операционные допуски и правила их выбора

При проектировании технологических операций механической обработки заготовок требуется регламентировать точность формы, размеров и расположения поверхностей. Для этого, в свою очередь, требуется определить (выбрать, назначить, рассчитать) операционные допуски, т.е. допуски на операционные размеры (диаметральные, линейные, координатные, угловые), допуски формы и допуски расположения поверхностей.

Допуски на операционные размеры. Рассмотрим основные правила (рекомендации) по выбору допусков на операционные размеры, установленные на основе обобщения опыта машиностроения.

Правило 1. *Величину операционного допуска следует принимать в соответствии со среднэкономической точностью используемого метода обработки, с учетом схемы формирования размера и состояния исходной (измерительной) базы.*

Если первая часть правила является общепринятой, то вторая уточняющая, или дополнительная, его часть требует пояснения.

В зависимости от схемы формирования все операционные размеры целесообразно разделить на межоперационные и внутриоперационные. Межоперационным условимся называть линейный размер, исходной базой которого является поверхность, обработанная в другой (предшест-

Рис. 2.4. Технологические базы:

УБ — установочная база; ИБ — исходная база

вующей) операции, например A_1 на рис. 2.4. Таковую схему формирования называют односторонней. Погрешность (поле рассеяния) межоперационного линейного размера, сформированного по схеме односторонней обработки, будет иметь структуру

$$\omega = \omega_o + \omega_y, \quad (2.18)$$

где ω_o — составляющая, зависящая от метода обработки, погрешность метода обработки; ω_y — составляющая, зависящая от метода установки, погрешность метода установки.

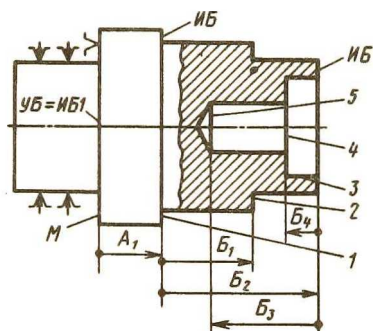
Внутриоперационным (внутрикомплексным) будем называть размер, связывающий поверхности, обработанные в одной операции при одной установке заготовки. Внутриоперационные размеры формируются по схеме двухсторонней обработки. Для показанного на рис. 2.4 варианта обработки внутриоперационными являются размеры B_1 , B_2 , B_3 и B_4 . Отметим также, что все диаметральные операционные размеры являются внутриоперационными. На точность внутриоперационных размеров способ установки не влияет ($\omega_y = 0$). Поэтому состав погрешности таких размеров будет определяться уравнением

$$\omega = \omega_o. \quad (2.19)$$

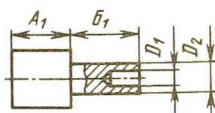
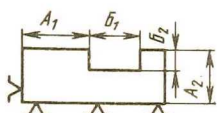
Сопоставляя уравнения (2.18) и (2.19), можно сделать вывод о том, что при одном и том же методе обработки (например, черновое точение, чистовое фрезерование и т.п.) точность внутриоперационных линейных размеров будет выше (погрешность ω меньше) точности межоперационных размеров (размера A_1). Эта закономерность отражена

в табл. 2.7: для выбора допусков на внутриоперационные размеры (графа 5) рекомендуются более высокие качества (классы) точности, чем для межоперационных размеров (графа 4).

Среднеэкономическая точность обработки зависит также от состояния (качества) технологической базы, по которой производится



Квалитеты (классы точности) для выбора допусков на операционные размеры при механической обработке



Методы обработки и операции	Код операции	Межоперационные линейные размеры		Внутриоперационные размеры
		От необработанной черновой базы или обработанной грубее	От базы, обработанной с такой же точностью	Размеры линейные типа B_i . Диаметральные размеры D_i
1	2	3	4	5

Точение, растачивание:

грубое	20	14 (7)	14 (7)	13 (7-5)
черновое	21	14 (7)	13 (5)	12 (5-4)
чистовое	22	12 (5)	11 (4)	10 (3)
тонкое	23	11 (4)	10 (3a)	9 (3)

Фрезерование:

черновое	50	14 (7)	13 (5)	12 (5-4)
чистовое	51	12 (5-4)	11 (4)	10 (3a)
тонкое цилиндрическое	52	11 (4)	10 (3a)	9 (3)
тонкое торцовое	55	10 (3)	9 (3)	8 (2a)

Методы обработки и операции	Код операции	Межоперационные линейные размеры		Внутриоперационные размеры
		От необработанной базы или обработанной грубее	От базы, обработанной с такой же точностью	Размеры линейные типа B_i . Диаметральные размеры D_i
1	2	3	4	5
Шлифование:				
предварительное и однократное чистовое	60	10 (3)	9 (3)	9 (3)
	61	9 (3)	8 (2а)	8 (2а)
Сверление	31			13-12 (5)
Зенкерование	40			11 (4)
Развертывание:				
предварительное однократное чистовое	70			9 (3)
протягивание	71			8 (2а)
	80			9 (3)

установка заготовки и от которой измеряется размер после обработки. Если поверхность заготовки, являющаяся установочной и измерительной базой, еще не обработана или обработана грубее координируемой поверхности, то точность отсчитываемого и измеряемого от нее размера будет ниже. Это нашло свое отражение в табл. 2.7, служащей для выбора операционных допусков (см. графы 3 и 4).

Правило 2. Допуски на размеры, выполняемые на операциях окончательной обработки, следует выбирать в соответствии с экономической точностью метода обработки даже в том случае, когда по чертежу требуется меньшая точность.

Надобность в такой рекомендации появляется в тех случаях, когда целью окончательной обработки является не достижение заданной по чертежу точности размера, а выполнение других требований чертежа (высокой точности относительного расположения поверхностей, требования по шероховатости и т.д.). На рис. 2.5 приведен эскиз калибрового кольца. Размер высоты кольца имеет допуск по $IT12$. Для получения такой точности достаточно было бы черновой обработки торцов. Но для обеспечения шероховатости $Ra < 1,25$ мкм, а также перпендикулярности и параллельности торцов в пределах 0,01 мм каждый торец должен пройти три ступени обработки: черновое и чистовое точение и шлифование. В соответствии с изложенным выше правилом операционные допуски на размеры в этих операциях должны быть: после черновой обработки по $h12$ 0,21 мм, после чистовой по $h11$ 0,13 мм. Допуск на размер окончательной обработки – шлифования – следует принять также в соответствии с экономической точностью этого метода, т.е. по $h9$ 0,052 мм, хотя по чертежу требуется меньшая точность (0,21 мм).

Достоинством выбора допусков по этому правилу является выполнение шлифования в условиях малых колебаний припуска $\omega_z = T_{i-1} + T_i$ из-за уменьшения допусков чистового точения T_{i-1} и шлифования T_i . Это, в свою очередь, позволяет гарантировать высокое качество поверхности, повысить производительность шлифовальных операций.

На некоторых машиностроительных заводах используют другой принцип назначения операционных допусков с указанной в чертеже точностью; в нашем примере – на размеры всех трех ступеней обра-

ботки по $h12$. При этом не всегда обеспечивается высокое качество поверхности из-за больших колебаний снимаемого слоя металла при шлифовании. Вследствие увеличения колебания припуска снижается производительность шлифования.

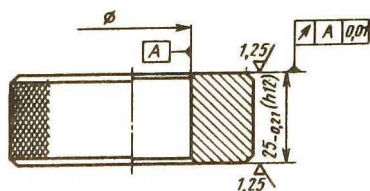


Рис. 2.5. Эскиз калибрового кольца

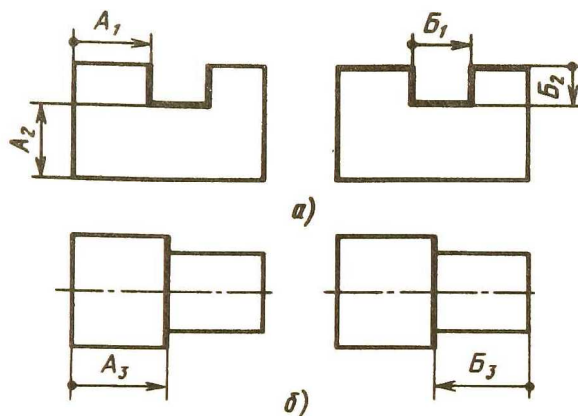


Рис. 2.6. Простановка допусков на операционные размеры:

A_i — по системе вала; B_i — по системе отверстия

Следует отметить, что, принимая для операционного размера допуск более широкий, чем допуск, соответствующий экономической точности используемого метода обработки, ничего не выигрывают — стоимость обработки при этом не уменьшается.

Правило 3. Система простановки допуска на операционный размер должна быть такой, чтобы поле допуска отсчитывалось в металл ("в тело").

Согласно этому правилу отклонения на диаметральные размеры следует принимать по основной системе (или, что тоже самое, по посадке скользящей): для размера вала — по системе вала (верхнее отклонение $es = 0$), для размера отверстия — по системе отверстия (нижнее отклонение $EI = 0$).

Выбор системы простановки допусков для линейных координирующих размеров зависит от направления выдерживания размера (рис. 2.6).

Иллюстрацией использования этого правила служат также приведенные на рис. 2.7 схемы расположения операционных допусков на размеры вала и отверстия при многоступенчатой (многократной) их обработке. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что изложенное выше правило выбора системы простановки допусков распространяется только на операционные размеры, получаемые при механической обработке (на размеры $A_2, A_3, \dots, A_k$ на рис. 2.7). Поле допуска на размеры заготовок (проката, отливок, штамповок и т.д.) по действующим в нашей стране общесоюзным и отраслевым стандартам

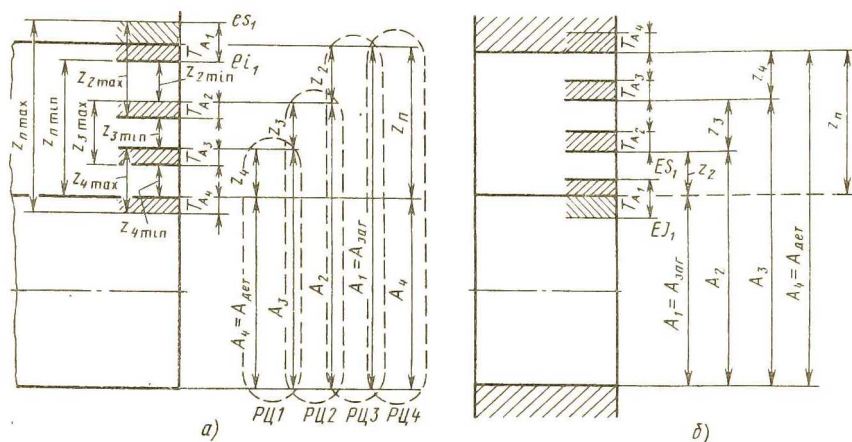


Рис. 2.7. Схемы расположения полей припусков и операционных допусков:

а — на обработку вала; б — на обработку отверстия

имеет двухстороннее расположение относительно номинала (см. поля допусков на размеры A_1 на рис. 2.7).

Правила 1–3 являются основными. В соответствии с ними разработаны таблицы отраслевых стандартов для выбора операционных допусков на размеры механически обрабатываемых поверхностей.

Правило 4. Допуски на размеры, координирующие положение осей отверстий, следует проставлять по двухсторонней симметричной системе (например $A = \pm 0,20$ мм).

Аналогичная система простановки допусков используется и для размеров расстояний между осями шеек кривошипов и коленчатых валов.

Допуски формы и расположения поверхностей. Вопрос о выборе допусков формы и расположения решается не так однозначно, как выбор допусков на операционные размеры. Это объясняется тем, что допуски формы и расположения обрабатываемых поверхностей регламентируются не во всех случаях, а также тем, что способы регламентации таких допусков весьма разнообразны. Для обоснования правил рассмотрим коротко вопрос о связи погрешностей размеров, погрешностей формы и погрешностей расположения поверхностей.

Для цилиндрических поверхностей выделяются и регламентируются погрешности (отклонения) формы в поперечном сечении (отклонения от

круглости), в продольном сечении (отклонения от цилиндричности и отклонения профиля продольного сечения). Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка. Частными случаями отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность. Частным случаем отклонения от прямолинейности оси или линии является кривизна (изогнутость) заготовок, нормируемая обычно через удельную кривизну.

К числу отклонений формы плоских поверхностей относятся отклонение плоскостности и отклонение от прямолинейности в плоскости. Частными видами отклонений от плоскостности является выпуклость и вогнутость.

В технологии машиностроения доказывается, что всякая погрешность (отклонение) формы любой поверхности (цилиндрической, плоской и т.д.) влияет на точность соответствующего размера (диаметрального, линейного). Для компенсации погрешности (отклонения) формы во всех случаях требуется "истратить" часть допуска на размер. Если значение отклонения формы окажется больше допуска на размер, будет брак по этому размеру. Иными словами, отклонения формы поверхностей косвенно регламентируются через допуски на соответствующие размеры. Поэтому отдельно их регламентировать (т.е. назначать допуск формы) следует только в тех случаях, когда в соответствии с назначением детали отклонение формы должно быть существенно меньше допуска на соответствующий размер. Во всех остальных случаях погрешность формы будет находиться в пределах допуска на размер.

Значения допусков формы следует принимать по ГОСТ 24643-81, в котором предусмотрено 16 степеней точности формы. Этим же стандартом установлены три уровня относительной геометрической точности, которые характеризуются соотношением между допуском формы или расположения и допуском размера: *A* — нормальная относительная геометрическая точность (для допуска формы или расположения используется примерно 60 % допуска размера); *B* — повышенная (40 %) и *C* — высокая относительная точность (для допуска формы используется около 25 % допуска размера). Например, для интервала размером от 30 до 50 мм при точности цилиндрической поверхности по *IT9* ($T = 62$ мкм) рекомендуется принимать для уровней относительной геометрической точности *A*, *B* и *C* соответственно степени точности формы и расположения 8, 7 и 6-ю. По ГОСТ 24643-81 значения допуска

формы T_ϕ соответственно будут 20, 12 и 8 мкм, что составляет для уровней геометрической точности соответственно:

$$A = \frac{2 \cdot 20}{62} \cdot 100 = 64,5 \%; \quad B = \frac{2 \cdot 12}{62} \cdot 100 = 39 \%;$$

$$C = \frac{2 \cdot 8}{62} \cdot 100 = 25,8 \%.$$

При вычислении процента допуск формы удваивается, потому что он задается на сторону, а допуск размера – на размер диаметра.

Рассмотрим теперь виды погрешностей (отклонений) расположения поверхностей и их связь с точностью размеров.

Отклонение от параллельности плоскостей и осей оказывает непосредственное влияние на точность координирующего размера, и для компенсации непараллельности требуется "истратить" часть допуска на этот размер. Следовательно, непараллельность плоскостей и осей косвенно регламентируется через допуск на соответствующий координирующий размер. Поэтому отклонение от параллельности отдельно регламентировать следует только в тех случаях, когда в соответствии с назначением детали непараллельность должна быть меньше допуска на соответствующий координирующий размер.

Отклонение от соосности (несоосность) имеет разновидности: отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности и отклонение относительно общей оси. Отклонение от соосности – это наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности, с одной стороны, и базовой осью или общей осью двух или нескольких поверхностей, с другой. Допуск соосности задается либо в радиусном выражении R , либо в диаметральном T . В последнем случае он равен удвоенному наибольшему допускаемому значению отклонения от соосности ($T = 2R$).

Отклонение от соосности не влияет на точность диаметральных размеров и поэтому ни прямо, ни косвенно не регламентируется через допуск на эти размеры. Аналогично и **отклонение от симметричности** никак не влияет на точность линейных размеров (пазов, выступов).

Из изложенного следует, что допуски соосности, концентричности (или допуски радиального биения) и допуски симметричности должны назначаться во всех случаях, независимо от того, в каком соотношении находятся эти допуски с допусками на соответствующие диаметральные или линейные размеры.

Значения допусков радиального биения, допусков симметричности следует принимать по ГОСТ 24643–81, где предусматривается 16 степеней точности.

Отклонение от перпендикулярности имеет разновидности: отклонение от перпендикулярности плоскостей, отклонение от перпендикулярности плоскости или торца относительно оси. В последнем случае для оценки перпендикулярности часто используют понятие торцового биения.

Торцовое биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Оно является результатом совместного проявления отклонения от плоскости рассматриваемой торцовой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности относительно базовой оси на длине, равной диаметру рассматриваемого торца.

Отклонение от перпендикулярности в одних случаях влияет на точность линейных размеров, а значит, оно косвенно регламентируется (выявляется, контролируется) через допуск на соответствующий размер. В других случаях (при параллельности плоскостей, связанных размером и номинально перпендикулярных базовой) такой косвенной регламентации не будет. Поэтому отклонение от перпендикулярности (торцовое биение) следует регламентировать всегда, независимо от того, в каком соотношении находится допуск перпендикулярности (допуск торцового биения) с допуском размера. Значения допусков перпендикулярности, торцового биения следует назначать по ГОСТ 24643–81.

При проектировании ТП и в производстве изделий используют различные формы обозначения допусков формы и расположения на чертежах и в технологической документации. Допуски формы и расположения следует обозначать символами, приведенными в табл. 2.8. Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку, указывая сначала знак (графический символ отклонения), затем значение допуска в миллиметрах и буквенное или цифровое обозначение базы или поверхности, с которой связан допуск расположения. Пример нанесения операционных допусков формы и расположения с использованием символов по ГОСТ 2.308–79 показан на рис. 2.8, а. Такой способ изображения является громоздким и неудобным при традиционном ручном проектировании ТП и особенно при машинном. В практике машиностроения часто используют текстовый способ регламентации отклонений формы и расположения: 1 – биение поверхности 31 относительно базовой 11 не более 0,12 мм; 2 – непараллельность

*Условные обозначения допусков формы
и расположения поверхностей по ГОСТ 2.308-79*

Группа допусков	Вид допуска	Символ
Допуски формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	○
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	=
Допуски расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск наклона	∠
	Допуск соосности и концентричности	◎
	Допуск симметричности	≡
	Позиционный допуск	⊕
	Допуск пересечения осей	×
Суммарные допуски и формы расположения	Допуск радиального биения	
	Допуск торцового биения	
	Допуск биения в заданном направлении	

*Рекомендуемые степени точности (СТ) по ГОСТ 24643-81 для
ной поверхности заготовки относительно установочной базы*

Тип установочно-зажимного устройства	Центры, центровые конусные оправки		
Вылет, расстояние между центра- ми мм	До 120	120-150	Свыше 250

Зацентровка

— — —

Точение, расстачивание:

черновое по П12-П13

СТ11

СТ11-СТ12

СТ12

чистовое по П10-П11

СТ8

СТ8-СТ9

СТ9

чистовое по П8-П9

СТ6-СТ7

СТ7

СТ8

Шлифование круглое наружное:

предварительное по П9

СТ6

СТ6

СТ6-СТ7

чистовое (окончательное)
по П7-П8

СТ5

СТ5

СТ5-СТ6

Шлифование:

внутреннее предварительное
по П9

чистовое (окончательное)
по П7-П8

неконцентричности — представлены в табл. 2.9. Эти данные получены на основе анализа и обобщения литературных источников и производственного опыта.

Выбирая (назначая) допуски формы и расположения для черновых и промежуточных операций, необходимо всегда иметь в виду, что главная цель регламентации отклонений формы и расположения в этом случае — обеспечение неравномерности припусков на последующую обработку в определенных пределах с целью минимизации припусков.

Таблица 2.9

выбора операционных допусков радиального биения обработан-

Самоцентрирующиеся кулачковые патроны, плунжерные оправки			Цанговые патроны, цанговые оправки			Патроны и оправки с гидропластом	
До 30	30—120	120—250	До 30	30—120	120—250	До 30	30—120
СТ11	СТ11— СТ12	СТ11— СТ13	СТ9	СТ10	СТ11	—	—
СТ11	СТ11— СТ12	СТ12	—	—	—	—	—
СТ8	СТ9	СТ9— СТ10	СТ8	СТ8— СТ9	СТ9	—	—
СТ8	СТ8— СТ9	СТ9	СТ7	СТ8	СТ9	СТ6	СТ9
			СТ6— СТ7	СТ7	СТ7— СТ8	СТ5	СТ6
			СТ5— СТ6	СТ6	СТ6— СТ7	СТ4— СТ5	СТ5
СТ6	СТ7	СТ8	СТ7	СТ7	СТ8	СТ6	СТ7
СТ5— СТ6	СТ6	СТ7— СТ8	СТ6	СТ6	СТ7	СТ5— СТ6	СТ6

Совсем другая цель и другие правила назначения допусков формы и расположения у операций окончательной обработки. Для таких операций значения допусков формы и расположения должны определяться из условия обеспечения соответствующих геометрических параметров в указанных по чертежу пределах. Рассмотрим решение такой задачи на примере. На рис. 2.9, а приведен фрагмент рабочего чертежа шестерни, над которым показаны допуски радиального биения по ГОСТ 2.308-79. Простановка допусков показывает, что конструк-

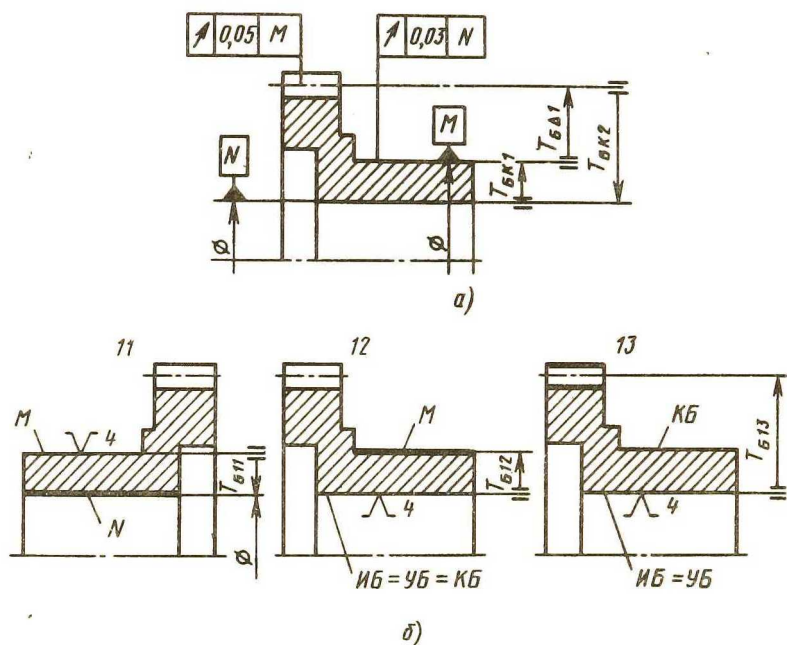


Рис. 2.9. Схемы для расчета допусков расположения:

а — эскиз детали; б — заключительная часть ТП изготовления шестерни

торской базой для координации поверхности M является отверстие N , а для координации зубчатого венца в качестве конструкторской базы принята поверхность M . На рис. 2.9, б показаны последние формоизменяющие операции ТП. Операционные допуски на биение изображены в виде векторов, направленных от базовой к обрабатываемой поверхности. Обозначения допусков расшифровываются так: T — допуск, индекс "б" — биение, двухзначная цифра в индексе означает номер операции, а обозначение $T_{\delta.\kappa 1}$ или $T_{\delta\Delta 1}$ — конструкторский допуск на биение, выполняющий роль замыкающего звена в размерной цепи биений.

При выполнении операции 12 — окончательного шлифования поверхности M — исходная база совмещена с конструкторской. Следовательно, заданный по чертежу допуск радиального биения $T_{\delta.\kappa 1} \leq 0,03$ мм будет выдерживаться непосредственно и поэтому операционный допуск

на биение равен конструкторскому: $T_{612} = T_{6.k1} = 0,03$ мм.

В операции 13 шлифования зубьев исходная и установочная базы (поверхность отверстия) не совмещены с конструкторской и заданная чертежом точность расположения начальной окружности (биение относительно поверхности $M \leq 0,05$ мм) будет обеспечиваться не прямо, а косвенно. Чертежный допуск $T_{6.k2} \leq 0,05$ будет замыкающим звеном

цепи биений, приведенной на рис. 2.9, а справа от эскиза детали. Следует обратить внимание, что звенья цепи – геометрические параметры (допуски), номинальное значение которых равно нулю. Поэтому нет необходимости составлять уравнение размерной цепи и уравнение замыкающего звена – составляется сразу уравнение допусков цепи

$$T_{6\Delta} = T_{6.k2} = \bar{T}_{612} + \bar{T}_{613}.$$

Члены этого уравнения являются векторами. Применяя приближенное квадратичное суммирование векторов, представим его в виде

$$T_{6.k2}^2 = \bar{T}_{612}^2 + \bar{T}_{613}^2.$$

Разрешая его относительно T_{613} , получим

$$T_{613} = \sqrt{T_{6.k2}^2 - \bar{T}_{612}^2} = \sqrt{0,05^2 - 0,03^2} = 0,04 \text{ мм.}$$

Таким образом, из-за несовмещения исходной и установочной баз с конструкторской операционный допуск радиального биения зубчатого венца получается меньше конструкторского ($0,04 < 0,05$ мм).

2.7.2. Категории и значения припусков

Для возможности обработки заготовок на металлорежущих станках для каждой поверхности предусматривают припуск. Принят припуск отсчитывать на размер: для обработки цилиндрической поверхности припуск исчисляют на размер поверхности – диаметр (двухсторонний симметричный припуск), для обработки плоскости или торца – на координирующий линейный размер (односторонний припуск, припуск на сторону). Различают операционный z_i и общий z_n припуски на обработку поверхности.

Операционным припуском называют слой металла, снимаемый с поверхности во время операции (точнее, при выполнении заданной ступени обработки).

Общий припуск — это слой металла, необходимый для выполнения всей совокупности технологических операций или переходов по обработке данной элементарной поверхности от исходной заготовки до готовой детали. Номинальные значения общего и операционных припусков на обработку какой-либо поверхности связаны зависимостью

$$z_n = z_2 + z_3 + \dots + z_k = \sum_{i=2}^k z_i \quad (2.20)$$

Различают следующие **категории припусков**: номинальный, минимальный, максимальный и средний. Для расчета возможных значений припусков целесообразно использовать метод построения и решения технологических РЦ. В правой части рис. 2.7, *а* показаны размерные цепи РЦ1, РЦ2 и РЦ3, в которых замыкающими звеньями являются операционные припуски z_3 , z_4 и z_2 , а в размерной цепи РЦ4 замыкающим звеном является общий припуск z_n . Для расчета номинальных значений припусков могут быть использованы уравнения замыкающих звеньев технологических РЦ. Согласно уравнению (2.2)

$$\text{для РЦ1 } A_{\Delta} = z_4 = A_3 - A_4;$$

$$\text{для РЦ2 } A_{\Delta} = z_3 = A_2 - A_3;$$

$$\text{для РЦ3 } A_{\Delta} = z_2 = A_1 - A_2;$$

$$\text{для РЦ4 } A_{\Delta} = z_n = A_1 - A_4 = A_{\text{заг}} - A_{\text{дет}}.$$

Аналогичные цепи могут быть построены и относительно припусков, показанных на рис. 2.7, *б* для случая обработки отверстия. Используя уравнения предельных значений замыкающего звена (2.6) и (2.7), можно вычислить предельно возможные (максимальное и минимальное) значение операционных и общего припусков. Так, например, предельные значения операционного припуска z_4 (см. уравнение для РЦ1)

$$z_{4\max} = A_{3\max} - A_{4\min};$$

$$z_{4\min} = A_{3\min} - A_{4\max}.$$

Для определения среднего значения операционного или общего припуска можно использовать простое уравнение

$$z_{\text{ср}} = \frac{z_{i\text{max}} + z_{i\text{min}}}{2} . \quad (2.21)$$

Рассмотрим теперь зависимости между различными значениями операционного припуска. Зависимости между номинальным z_i и предельными значениями операционного припуска (см. рис. 2.7) имеют вид

$$z_{i\text{max}} = z_i + T_i; \quad (2.22)$$

$$z_{i\text{min}} = z_i - T_{i-1}; \quad (2.23)$$

$$z_{i\text{max}} = z_{i\text{min}} + T_i + T_{i-1}, \quad (2.24)$$

где T_i и T_{i-1} — допуски на размеры выполняемой и предшествующей операции.

Для многозвенных цепей

$$z_{i\text{max}} = z_{i\text{min}} + \sum_{m=n} T_i \quad (2.25)$$

Покажем применение уравнений (2.22) — (2.25) на примере припуска z_3 (РЦ2 на рис. 2.7):

$$z_{3\text{max}} = z_3 + T_{A3}; \quad z_{3\text{min}} = z_3 - T_{A2};$$

$$z_{3\text{max}} = z_{3\text{min}} + T_{A3} + T_{A2}.$$

2.7.3. Структура расчетного минимального припуска

Примем в качестве расчетного минимальное значение операционного припуска $z_{i\text{min}}$ и рассмотрим его структуру (состав), но предварительно уточним понятие и определение $z_{i\text{min}}$. Правильными являются такие определения и структура $z_{i\text{min}}$, которые соответствуют (подчиняются) требованиям (закономерностям) теории размерных цепей. Суть этих требований в следующем:

припуск – замыкающее звено технологической размерной цепи; его предельные значения должны определяться по уравнениям предельных значений замыкающего звена (2.6) и (2.7);

его колебание (погрешность, допуск) должно определяться по уравнениям допуска замыкающего звена (2.5) или (2.10).

Указанным требованиям отвечает следующее определение минимального расчетного припуска. *Минимальный припуск* – это слой металла, необходимый для осуществления заданной обработки, т.е. для удаления погрешностей предшествующей ступени обработки и компенсации погрешностей выполняемой ступени (операции), которые ни прямо, ни косвенно не регламентируются через допуски на операционные размеры.

С методической точки зрения целесообразно представить структуру минимального припуска в виде двух слагаемых:

$$z_{i\min} = z_{ip} + z_{in}. \quad (2.26)$$

Слагаемое z_{ip} представляет собой регулярно, одинаковую для всех участков обрабатываемой поверхности часть припуска, которую необходимо снять при обработке, чтобы удалить шероховатость и дефектный слой, оставшиеся на поверхности от предшествующей ступени обработки:

для плоскостей и торцов (рис. 2.10, а)

$$z_{ip} = (R_z + h)_{i-1}; \quad (2.27)$$

для поверхностей вращения (рис. 2.10, б)

$$z_{ip} = 2(R_z + h)_{i-1}. \quad (2.28)$$

В уравнениях (2.27) и (2.28) R_z – высота шероховатостей; h – глубина подлежащей удалению части дефектного слоя.

Слагаемое z_{in} включается в состав минимального припуска для компенсации его неравномерности, обусловленной пространственными отклонениями отдельных участков обрабатываемой поверхности. Для поверхностей различной формы причины возникновения неравномерности

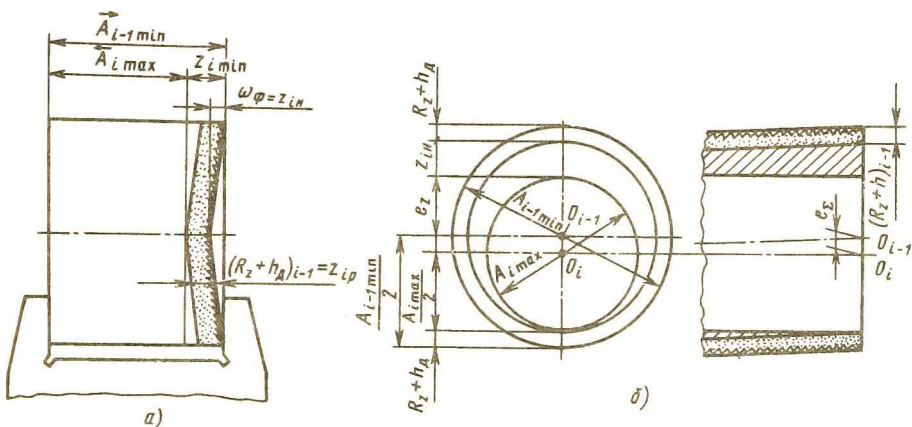


Рис. 2.10. Схемы для определения элементов (составляющих) минимального операционного припуска:

а — при обработке плоскостей и торцов; *б* — при обработке поверхностей вращения

припуска и характер ее влияния на $z_{i min}$ будут различными, поэтому рассмотрим неравномерность припуска для обработки плоскостей и цилиндрических поверхностей отдельно.

На рис. 2.10, *а* показана одна из характерных причин неравномерности припуска при обработке плоских поверхностей — неконтролируемая (не выявляемая при обычном контроле размеров) погрешность формы — неплоскостность. При принятых методах и средствах контроля размера A_{i-1} эта погрешность не выявляется, не учитывается допуском T_{i-1} и поэтому должна учитываться отдельно. Поэтому для плоскостей и торцов составляющая

$$z_{in} = \omega_{\phi},$$

где ω_{ϕ} — неплоскостность. Отметим, что в работах Б. Д. Толпегина она называется самостоятельной погрешностью формы.

В отдельных работах по расчету припусков (справочниках, пособиях и т.п.) рекомендуется включать в состав $z_{i min}$ на обработку плоскостей и торцов составляющую, учитывающую погрешности установки и базирования. Это неправильно. Погрешности установки и

базирования входят в состав погрешности линейного выдерживаемого размера A_i , регламентируются допуском на этот размер T_i и вторично учитываться не должны.

Для выяснения причин возникновения неравномерности припуска при обработке цилиндрических поверхностей рассмотрим построения, приведенные на рис. 2.10, б. Линия O_i на схеме изображает ось поверхности вала после выполнения операции, она же является и базой обработки, т.е. осью вращения. Здесь следует заметить, что вследствие деформации технологической системы под действием сил резания происходит копирование биения заготовки. В результате ось обработанной поверхности не будет совпадать с осью вращения заготовки во время обработки. Однако это остаточное биение незначительно (оно составляет 3–5 % первоначального биения заготовки) и поэтому предположение о совмещении оси обработанной поверхности с осью вращения детали вполне допустимо. Ось заготовки O_{i-1} , как правило, не совпадает с осью вращения. Несовмещение осей e_Σ приводит к неравномерности припуска

$$z_{in} = 2e_\Sigma,$$

где e_Σ – наибольшее несовмещение осей заготовки и детали.

Тогда

$$z_{imin} = 2(R_z + h)_{i-1} + 2e_\Sigma. \quad (2.29)$$

Следует оговорить, что под неравномерностью подразумевается колебание припуска на отдельных участках рассматриваемой поверхности *одной заготовки*. Колебание припуска у партии заготовок вследствие изменения размеров A_{i-1} и A_i в пределах их допусков в понятие неравномерности не входит.

При обработке цилиндрических поверхностей неравномерность припуска обусловлена влиянием большого числа факторов, которые вызывают смещение и перекося оси обрабатываемой поверхности относительно оси поверхности после обработки. Основные из этих факторов следующие:

погрешности установки, допущенные в предшествующей и выполняемой операциях;

неконтролируемая (не выявляемая при контроле диаметра) погрешность формы цилиндрических заготовок – изогнутость оси;

смещение осей обрабатываемых отверстий в корпусных заготовках из-за колебания координирующих размеров в пределах их допусков.

Характер и степень влияния этих факторов будут рассмотрены в гл. 3.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите типы машиностроительного производства, дайте их определение и характеристику.
2. Назовите виды ТП (определение, область применения). Охарактеризуйте маршрутный, операционный и маршрутно-операционный ТП.
3. Каковы виды технологических операций, их назначение и характеристика?
4. Назовите состав (элементы) технологической операции.
5. Перечислите принципы, цели и формы технологической унификации.
6. Каковы уровни, сущность типизации ТП и тип производства, в котором этот уровень унификации дает наибольший эффект?
7. Назовите сущность и особенности группового технологического процесса и групповой деталь-операции, а также варианты построения групповой обработки.
8. Дайте определение размерных цепей. Назовите их виды, состав и свойства замыкающего (исходного) звена.
9. Перечислите рекомендации по выявлению и построению технологических размерных цепей.
10. Покажите последовательность решения проверочной задачи по способу предельных значений.
11. Покажите решение проверочной задачи по способу отклонений.
12. Покажите особенности решения размерных цепей по вероятностному методу.
13. Назовите основные правила (рекомендации) по выбору допусков на операционные размеры.
14. Назовите допуски формы и расположения поверхностей и правила их определения.
15. Покажите способы обозначения (отображения) допусков формы и расположения поверхностей.
16. Перечислите категории и значения припусков на обработку.
17. Дайте определение расчетного минимального операционного припуска и назовите его составляющие.

3.1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Исходная информация (исходные данные) для проектирования ТП подразделяется на базовую, руководящую и справочную.

Источниками *базовой информации* являются:

конструкторская документация (рабочие чертежи и технические условия на приемку) на изделие;

программа выпуска изделия, комплектность, сроки выполнения программного задания;

чертежи исходных заготовок (если к началу проектирования ТП механической обработки рабочие чертежи и технические условия на поставку заготовок уже разработаны).

При проектировании ТП для действующих предприятий необходима также информация об общей производственной обстановке (о составе наличного оборудования и его загрузке, о возможности обеспечения инструментами и приспособлениями, об обеспеченности предприятия квалифицированной рабочей силой и др.).

В качестве источников *руководящей информации* необходимо иметь:

стандарты всех уровней (общесоюзные ГОСТы, отраслевые ОСТы, стандарты предприятия), в которых установлены требования к ТП и методам управления ими, стандарты на оборудование и технологическую оснастку, а также на материалы (состав, сортамент, свойства) и т.д.;

классификаторы технико-экономической информации (конструкторский классификатор ЕСКД изделий и конструкторских документов машино- и приборостроения, технологический классификатор деталей ЕСТПП, классификатор технологических операций и т.д.);

производственные инструкции;

общесоюзные, отраслевые и заводские методические указания и руководящие материалы для выполнения технико-экономических расчетов при проектировании (режимов резания и норм времени, операци-

онных припусков и допусков на операционные размеры, норм расхода материалов, запасов материалов и комплектующих изделий и т.п.);

документацию по технике безопасности и промышленной санитарии; отраслевые, заводские и другие планы научно-технического прогресса, специализации производства и развития группового метода производства.

Источниками *справочной информации* являются:

технологическая документация опытного производства;

документация на действовавшие или действующие единичные, типовые и групповые ТП изготовления деталей – аналогов заданным (архив ТП);

описания прогрессивных методов обработки, средств производства и организации производства, в том числе построения АСУП и АСТПП;

каталоги, альбомы, паспорта оборудования, средств технологического оснащения, средств механизации и автоматизации производства по профилю проектируемых ТП.

3.2. ОБЩИЕ ПРАВИЛА И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Разрабатываемый ТП должен быть *прогрессивным* и обеспечивать повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшение вредных воздействий на окружающую среду. Прогрессивность технологического процесса оценивается по показателям, установленным отраслевой системой аттестации ТП.

Разработка ТП производится для изготовления или ремонта изделий, конструкции которых отработаны на технологичность. Разрабатываемый ТП должен обеспечить реализацию базовых показателей технологичности конструкции изготавливаемого или ремонтируемого изделия.

Технологический процесс (в том числе и единичный) разрабатывают при максимальном использовании принципов технологической унификации на основе имеющегося типового или группового ТП. При отсутствии типового или группового ТП изготовления изделий, относящегося к определенной классификационной группе, ТП на заданную деталь должен разрабатываться на основе использования ранее принятых прогрессивных технологических решений, содержащихся в действующих единичных ТП изготовления аналогичных изделий.

Проектируемый ТП должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии, изложенным в системе стандартов безопасности труда.

Общие правила и последовательность разработки ТП механической обработки заготовок приведены в табл. 3.1. Она составлена в соответствии с рекомендациями, утвержденными Госстандартом СССР. В этих рекомендациях общим является этап 1 проектирования ТП-анализа исходных данных. Этап 2 – классификация и группирование объектов производства – рекомендуется ввести при проектировании не

Таблица 3.1

Основные этапы разработки ТП

Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Виды ТП		
		еди- нич- ный	типо- вой	груп- повой
1. Анализ исходных данных для разработки технологического процесса	Предварительное ознакомление с назначением и конструкцией объекта производства, с требованиями к его изготовлению и эксплуатации	+	+	+
2. Классификация и группирование объектов производства	Создание групп изделий (деталей), обладающих общностью конструктивно-технологических характеристик. Выбор типовых представителей групп (типов) изделий	+	+	
	Создание групп деталей, обладающих общностью технологических признаков. Выбор или разработка комплексного изделия для каждой группы			+

Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Виды ТП		
		еди- нич- ный	типо- вой	груп- повой
3. Выбор типа производства	Определение типа произ- водства (единичное, серий- ное, массовое) для каждого изделия либо каждого типо- вого представителя, либо для каждого комплексного представителя групп	+	+	+
4. Выбор ти- пового ТП из числа действу- ющих или из архива ТП либо поиск аналога еди- ничного про- цесса	Формирование технологи- ческого кода изделий. От- несение обрабатываемого изделия к соответствующей классификационной группи- ровке на основе технологи- ческого кода. Отнесение изделия по его коду к дей- ствующему (или из архива ТП) типовому, групповому или единичному ТП	+	+	+
5. Выбор исходной заго- товки и метода ее изготов- ления	Выбор вида исходной заго- товки (или уточнение заго- товки, установленной типо- вым ТП) Выбор метода изготовления исходной заготовки с техни- ко-экономическим обоснова- нием	+	+	+
6. Выбор технологических баз	Выбор технологических баз. Оценка точности и на- дежности установки и ба- зирования	+	+	+

Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Виды ТП		
		еди- нич- ный	типо- вой	груп- повой
7. Разработка (выбор) планов обработки эле- ментарных по- верхностей и сочетаний по- верхностей	Установление числа сту- пеней обработки поверх- ностей деталей, их пос- ледовательности и метода выполнения	+	+	+
8. Составле- ние технологи- ческого марш- ruta обработки	Определение состава и последовательности опере- ций по ТП-аналогу (типо- вому, единичному). Опре- деление состава обору- дования Разработка маршрута изготовления комплексного изделия (детали) Определение количества и последовательности груп- повых деталь-операций	+	+	
9. Разработка технологических операций	Формирование структуры операций. Определение последовательности пере- ходов в каждой операции. Выбор оборудования. Выбор средств технологического оснащения (СТО) операции. Определение потребности СТО, заказ новых СТО. Выбор средств механизации и автоматизации ТП. Расчет припусков на обработку,	+	+	+

Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Виды ТП		
		еди- нич- ный	типо- вой	груп- повой
	межоперационных размеров и допусков на них. Разработка (расчет) технических требований на точность расположения поверхностей			
10. Нормирование технологического процесса	Расчет оптимальных режимов обработки. Расчет норм времени. Расчет норм расхода материалов. Определение разряда работ.	+	+	+
11. Определение требований техники безопасности	Разработка или выбор из числа имеющихся требований техники безопасности и производственной санитарии	+	+	+
12. Расчет экономической эффективности ТП	Выбор оптимального варианта ТП (по критериям трудоемкости, технологической себестоимости, приведенных затрат)			
13. Оформление технологической документации	Нормоконтроль технологической документации. Согласование документации ТП со всеми заинтересованными службами и ее утверждение	+	+	+

только типовых и групповых ТП (как уже делается на практике), но и при разработке единичных ТП. При автоматизированном проектировании ТП выполнение классификации и группирования деталей становится уже обязательным.

Общим является этап 3 проектирования – выбор типа производства, хотя решение этой задачи при проектировании единичных, типовых и

групповых ТП выполняется по-разному. Общими являются также этапы проектирования 4 (выбор типового ТП или ТП-аналога), 5 (выбор исходной заготовки) и 6 (выбор технологических баз).

Этап 7 проектирования ТП, указанный в табл. 3.1, имеет ту особенность, что при традиционном немашинном проектировании ТП работа по составлению планов обработки элементарных поверхностей выполняется, хотя формально не числится и ее результаты ни в какой форме официально не регистрируются. В то же время при машинном проектировании ТП работа по составлению (выбору) планов обработки элементарных поверхностей и КТЭ является необходимой и неизбежной.

Этап 8 – составление технологического маршрута – в табл. 3.1 указан с различным содержанием при разработке единичных, типовых и групповых ТП.

Остальные (9–13) этапы являются общими для всех видов ТП и пояснения не требуют.

3.3. ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Приступая к проектированию ТП, необходимо прежде всего проверить полноту исходных данных, особенно комплектность источников базовой информации (рабочих чертежей и другой конструкторской документации, программы выпуска изделия и т.д.).

Необходимо также проверить наличие всей необходимой руководящей и справочной технико-экономической информации.

При отсутствии каких-либо источников исходной информации необходимо произвести подбор недостающих исходных данных. При традиционном ручном проектировании неполнота исходных данных повлечет за собой трудности и задержку проектирования, а при автоматизированном проектировании ТП это приведет к невозможности (останову) проектирования.

При изучении исходных данных наибольшее внимание должно быть уделено анализу рабочего чертежа детали. В табл. 3.2 показано, какие элементы рабочего чертежа анализируются и какие вопросы проектирования ТП могут быть решены на основе анализа. При анализе у проектировщика (технолога, студента) формируется укрупненное, самое общее представление о содержании ТП, который предстоит спроектировать.

В последнее время принципы технологической унификации стараются использовать не только при проектировании типовых и групповых ТП,

Содержание и использование результатов анализа рабочего чертежа детали

Объект анализа	Вопросы, решаемые при анализе (наметки решений)
Конфигурация (геометрия) детали	Установление координатных направлений для разработки размерной структуры, для выбора технологических баз. Установление типа оборудования. Установление схем установки и типов (конструкции) установочно-зажимных приспособлений
Заданные точность размеров и формы, а также качество поверхностного слоя	Установление методов окончательной обработки основных (рабочих и базирующих) поверхностей детали, установление числа ступеней и планов обработки всех поверхностей и сочетаний поверхностей
Характер размерной связи поверхностей (система простановки размеров)	Установление технологических (исходных и установочных) баз и последовательности обработки поверхностей на этапах
Заданная точность взаимного расположения поверхностей	Установление технологических (исходных и установочных) баз, схем установки заготовки и схем (типа, конструкции) установочно-зажимных приспособлений. Наметка структуры операций (числа установов и позиций)
Марка материала и требования по механическим свойствам. Термообработка детали	Установление вида заготовки, метода ее получения и формы. Установление числа, места и характера термических операций. Разделение (членение) всей совокупности формоизменяющих операций на этапы (до термообработки, после термообработки и т.д.). Выбор предпочтительного метода обработки (лезвийная, абразивная, электрохимическая обработка)

но и при разработке ТП, которые по большинству признаков являются единичными. Например, много типовых технологических решений используется при проектировании ТП изготовления лопаток турбины и компрессора газотурбинных двигателей в условиях даже опытного (единичного) производства. Это побуждает решать вопросы проектирования ТП не для каждой детали в отдельности, а для некоторой совокупности деталей одного вида (например, нескольких наименований бесполочных лопаток различных ступеней турбины и т.д.). Поэтому и работа по изучению и анализу исходных данных для проектирования, в том числе и анализ конструкторской документации, выполняется не изолированно по каждой детали, а по группе деталей, при проектировании ТП изготовления которых можно применять типовые технологические решения. В таком случае значительная часть работы по анализу исходной информации выполняется после проведения классификации и группирования деталей.

3.4. КЛАССИФИКАЦИЯ И ГРУППИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА

3.4.1. Классификация и кодирование деталей

Одной из первых стадий разработки типовых и групповых ТП является классификация и группирование деталей.

Классификацией называют разделение множества объектов на подмножества по их сходству или различию в соответствии с принятыми методами. Совокупность методов и правил классификации образуют систему классификации.

Классификация, т.е. разделение всей совокупности объектов (множества) на классификационные группировки (подмножества) выполняется по установленным признакам. *Признаком* классификации называют свойство или характеристику объекта, которые могут принимать качественное или количественное выражение, называемое значением признака классификации.

Существуют два основных метода классификации: иерархический и фасетный. При *иерархическом методе* заданное множество объектов последовательно разделяется на подчиненные классификационные группировки. *Фасетный метод* предусматривает параллельное разделение множества объектов на независимые классификационные группировки по различным признакам классификации.

С классификацией непосредственно связан процесс кодирования. **Кодирование** – это образование и присвоение кода классификационной группировке и (или) объекту классификации. Код или кодовое обозначение – это знак или совокупность знаков, принятых для обозначения классификационной группировки и (или) объекта классификации. Код характеризуется основанием и структурой. Основание, или длина кода, – число знаков в коде без учета пробелов. Структурой кода называют состав и последовательность расположения знаков в коде.

На практике используются следующие методы кодирования:

последовательный метод кодирования, состоящий в образовании кода классификационной группировки с использованием кодов последовательно расположенных подчиненных группировок, полученных при иерархическом методе классификации. Образованный при этом код будет по характеру позиционным: позиция кодового знака в кодовом числе соответствует уровню классификации;

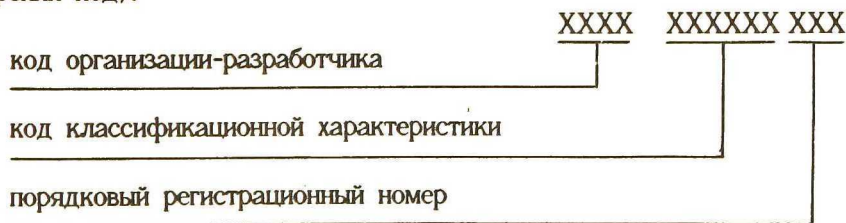
параллельный, который состоит в образовании кода классификационной группировки с использованием кодов независимых группировок, полученных при фасетном методе классификации;

порядковый – образование кода из чисел натурального ряда и его присвоение;

серийно-порядковый, по которому образование кода производится из чисел натурального ряда с закреплением отдельных серий или диапазонов этих чисел за объектами классификации с одинаковыми признаками.

Процесс кодирования выполняется на основе классификаторов, которые представляют собой упорядоченный перечень наименований объектов классификации, признаков классификации и классификационных группировок и их кодовых обозначений. В нашей стране для классификации изделий всех отраслей машиностроения и приборостроения как основного, так и вспомогательного производства обязательным является классификатор ЕСКД.

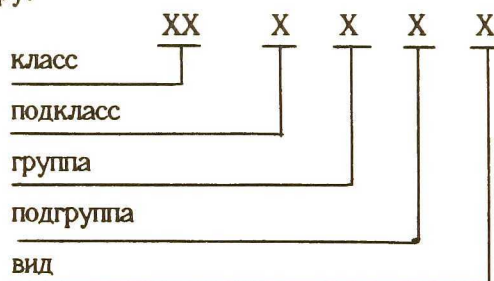
По ГОСТ 2.201–80 устанавливается следующая структура обозначения изделия и основного конструкторского документа (конструкторский код):



Четырехзначный буквенный код организации-разработчика назначается по кодификатору организаций-разработчиков. Этот код вводится в обозначение документа и изделия, если документ выходит за пределы организации разработчика-изготовителя. При действии документа только в пределах этой организации код организации-разработчика может опускаться.

Код классификационной характеристики (основная смысловая часть конструкторского кода) присваивается по классификатору изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (классификатору ЕСКД).

Код классификационной характеристики имеет следующую структуру:



Классификатор ЕСКД содержит 99 классов. Например, класс 04 объединяет металлорежущее и деревообрабатывающее оборудование; класс 21 — приборы и устройства для измерения; для определения кодов классификационной характеристики всех видов технологической оснастки, включая режущий инструмент, предназначены классы 28 и 29.

Классы 71–75 предназначены для установления кодов деталей машиностроения и приборостроения. При их классификации учитываются геометрическая форма, функциональное назначение, конструктивные особенности и т.д. Класс 71 объединяет детали — тела вращения (например кольца, втулки, валы — см. табл. 3.3). К классу 72 относятся те же детали, что и к классу 71, но с элементами зубчатого зацепления, а также трубы, разрезные секторы, сегменты и пр.; класс 73 выделен для деталей, не являющихся телами вращения (для корпусов, крышек, кронштейнов и др.); класс 74 включает те же детали, что и класс 73, но изготовленные из плоскостных изогнутых листов, полос и лент; в классе 75 рассматриваются детали, являющиеся телами вращения и не являющиеся ими (кулачки, арматура, оптические детали и др.); класс 76 включает детали технологической оснастки и инструмента.

Для каждого из классов в классификаторе ЕСКД имеется таблица, определяющая деление на подклассы и группы, а также таблицы, определяющие деление группы на подгруппы и виды (табл. 3.3). Для облегчения и ускорения работы по классификации классификатор имеет иллюстрированные определители деталей.

Определение классификационной характеристики детали выполняется поэтапно: от класса к подклассу, к группе и т.д. Рассмотрим для примера применение классификатора ЕСКД для формирования кода классификационной характеристики (основной части конструкторского кода) для детали, изображенной на рис. 3.1:

класс 710000 – детали – тела вращения (кольца, втулки, валы и др.);

подкласс 711000 – детали, у которых $L/D < 0,5$, с наружной цилиндрической поверхностью, без закрытых уступов;

группа 711200 – с наружной резьбой;

подгруппа 711220 – с центральным отверстием;

вид 711222 – без кольцевых выточек на торцах, с отверстием вне оси детали.

При проведении классификации каждая деталь характеризуется конструкторско-технологическим кодом (КТК), который состоит из двух частей:

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

код классификационной характеристики конструкторских признаков
(конструкторский код)

технологический код

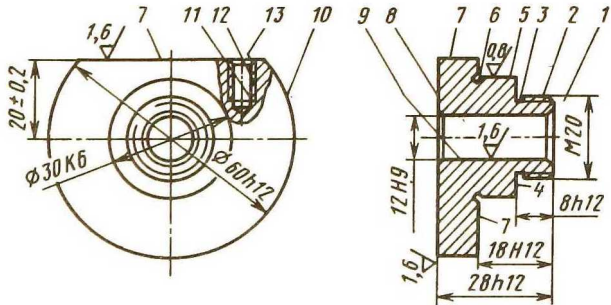


Рис. 3.1. Эскиз для формирования конструкторско-технологического кода детали (цифрами обозначены номера поверхностей)

*Разделение классов на подклассы,
группы, подгруппы и виды (фрагмент)*

Класс	Детали — тела вращения		
710000			
Подкласс	Детали с $L/D < 0,5$ с наружной цилиндрической поверхностью		
711000			
Группа	Детали — тела вращения без закрытых уступов и наружной резьбы		
711100			
Подгруппа	Вид поверхности		
711110	Без центрального отверстия	Без пазов и шлицов на наружной поверхности	Без отверстия вне оси детали
711111		Без кольцевых пазов на торцах	С отверстием вне оси детали
711112		С пазами или шлицами на наружной поверхности	Без отверстия вне оси детали
711113		С отверстием вне оси детали	С отверстием вне оси детали
711114		Без пазов и шлицов на наружной поверхности	Без отверстия вне оси детали
711115		С кольцевыми пазами на торцах	С отверстием вне оси детали
711116		С пазами или шлицами на наружной поверхности	Без отверстия вне оси детали
711117		С отверстием вне оси детали	С отверстием вне оси детали
711118			

Как видно из схемы, технологический код детали имеет 14-значную структуру, состоящую из двух частей:

кодов классификационных группировок основных признаков (постоянная часть кода) – шесть знаков;

признаков применительно к виду деталей (переменная часть кода) – восемь знаков.

Каждая деталь может иметь несколько кодов классификационных группировок признаков применительно к виду детали и по ТП (переменная часть кода) при постоянном коде основных признаков. Установление признаков технологического кода производства по "Технологическому классификатору" ЕСТПП, который построен как логическое продолжение конструкторского классификатора ЕСКД. Единая система конструкторско-технологического кодирования деталей обеспечивает решение ряда важных задач технологической подготовки производства, в частности задач унификации технологических процессов и выбора оптимальной структуры организации производства при единичном, мелкосерийном и серийном производствах.

Рассмотрим применение "Технологического классификатора" ЕСТПП для формирования постоянной (основной) части технологического кода. Первые три разряда отводятся для размерной характеристики детали, следующие два – для характеристики материала и последний, шестой, разряд – для указания вида детали по технологическому процессу. Для детали, показанной на рис. 3.1 конструкторским кодом 711222, технологическая часть кода будет иметь вид: 800000 – наибольший наружный диаметр 60 мм; 830000 – длина детали 28 мм; 832000 – диаметр центрального отверстия 12 мм; 832120 – материал (сталь 45); 832124 – деталь обрабатывается резанием.

Полный КТК этой детали имеет вид 711222.001.832124.31322007.

Классификация и кодирование изделий, сборочных единиц и деталей обеспечивает необходимые условия для решения целого ряда задач:

организации и упорядочения хранения и использования информации; быстрого поиска чертежей деталей как в целях заимствования их при проектировании новых изделий, так и для решения организационно-технологических задач (создание подетально-специализированных производств и др.);

использования в производстве чертежей (конструкций); разработанных другими предприятиями;

проведения работ по унификации и стандартизации изделий и технологических процессов;

применения вычислительной техники при подготовке и организации производства, в частности для группирования деталей.

В зависимости от характера задач, решаемых при конструкторской и технологической подготовке, полнота описания детали и выбранные элементы описания могут быть различными. При этом состав и длина конструкторско-технологического кода, т.е. число учитываемых классификационных признаков, могут быть различными. Например, для задач, связанных с поиском деталей с целью их последующего заимствования и унификации при обработке объектов на технологичность, а также с целью группирования деталей при организации группового производства, могут понадобиться лишь общие характеристики. При решении задач унификации и стандартизации элементов деталей необходимо иметь более полное описание деталей, содержащее информацию об их элементах. А автоматизированное проектирование технологических процессов может быть выполнено лишь на основе полного (условно) кодированного описания, когда указываются не только элементы деталей, но и связи между ними. В таких случаях наряду с рассмотренным выше конструкторско-технологическим кодом для классификации и поиска необходимо еще дополнительно учесть много признаков, содержащихся обычно в таблицах кодированных сведений (ТКС).

3.4.2. Группирование деталей

Группирование деталей является начальным и обязательным этапом работы по созданию и внедрению унифицированных (типовых и групповых) ТП по созданию и эксплуатации САПР ТП. Ручное группирование является весьма трудоемким и имеет ограниченные возможности. Поэтому в последние годы для решения задач группирования деталей применяются ЭВМ.

Группированию всегда предшествует классификация деталей, которая может выполняться отдельно и независимо или совместно с группированием. По результатам классификации формируется массив данных (архив, база) на машинных носителях (перфокартах, магнитном диске или магнитной ленте).

Первичная классификация и группирование могут производиться по конструкторским признакам деталей, характеризующим форму, размеры, точность и шероховатость поверхности, а также по техническим условиям чертежа. Более глубокую проработку дает использование конструкторско-технологических признаков детали, характеризующих

ТП их изготовления. К этим признакам относятся материал, форма и размеры заготовки, средства технологического оснащения, содержание и состав технологических операций и т.д.

Группирование деталей может быть осуществлено двумя способами: выборкой и систематизацией (построением классификационного ряда). *Процесс выборки* состоит в том, что из всей совокупности описаний деталей отбираются описания тех деталей, которые отвечают заданным условиям (критерию выдачи). При наличии информационно-поисковых систем (ИПС) на базе ЭВМ составляется поисковое предписание, содержащее критерий выбора, и далее по результатам поиска печатается машинограмма, содержащая номера чертежей деталей сформированной группы. Для проведения дальнейших работ по этим номерам заказывают чертежи в техническом архиве предприятия.

Если номенклатура деталей, которые нужно сгруппировать, является значительной, то применение выборки оказывается нецелесообразным, так как в этом случае происходит выделение только одной группы. В таких случаях применяют способ группирования, основанный на систематизации кодов деталей, т.е. на *построении классификационных рядов*, в которых (по которым) все детали делятся на группы. При этом кодовое описание каждой детали должно содержать *классификационный код* К. Состав признаков, включаемых в классификационный код, выбирается в зависимости от поставленной задачи, например,

$$K = (КЛ; ПК; Г; РХ1; РХ2),$$

где КЛ, ПК, Г-класс, подкласс и группа по ЕСКД; РХ1 и РХ2 – первая и вторая размерные характеристики по технологическому классификатору.

Классификационный код называют ключом сортировки, а операцию по упорядочению записей – *сортировкой*. Упорядоченную в порядке возрастания (или убывания) номера К совокупность записей называют классификационным рядом. Для полученного при сортировке классификационного ряда характерно то, что две любые записи, имеющие одинаковый код К, будут стоять рядом и, значит, записи с одинаковым К соберутся в одно место классификационного ряда. Другое свойство классификационного ряда состоит в том, что две записи, у которых код К отличается лишь значением младшего признака, будут стоять в ряду относительно недалеко друг от друга.

Результаты систематизации фиксируются в виде машинограмм двух типов: итоговых и сводных. Пример *итоговой табуляграммы* приведен

Таблица 3.4

**Итоговая табуляграмма систематизации деталей
типа тел вращения по форме и размерным характеристикам**

КЛ	ПК	Г	Размерная характеристика		Результаты группирования		
			РХ1 *	РХ2 (по длине)	А	Б	В
71	2	3	6	7	8	20	43
		4	1	0	15	15	—
		4	2	0	13	—	—
		4	2	1	2	—	—
		4	2	2	21	36	—
		4	3	0	5	—	—
		4	3	1	6	11	62
		5	0	0	18	—	—
		5	0	1	12	—	—
		5	0	2	3	33	—
		5	2	0	2	2	40
		5	1	1	5	5	—
		6	0	1	3	3	—

* По максимальному наружному диаметру.

в табл. 3.4 [8]. В табуляграмме содержатся следующие сведения: итог А — суммарное число наименований деталей, имеющих одинаковый классификационный код К; итог Б — число деталей, у которых совпадают первые пять цифр классификационного номера. Например, число деталей, у которых К = 712420 или 712421, или 712422, равно 36 (итог записан в пятой строке табуляграммы). Итог В — число чертежей деталей с одинаковыми первыми четырьмя цифрами классификационного кода. Как видно из табуляграммы, число деталей, у которых подкласс и группа равны соответственно 2 и 4, составляет 62 (записано в седьмой строке колонки табл. 3.4).

В *сводных машинограммах* указываются номера чертежей деталей, входящих в данную группу, и другие признаки, необходимые для решения поставленной задачи. В качестве примера в табл. 3.5 приведен фрагмент сводной табуляграммы систематизации деталей типа

**Сводная табуляграмма систематизации деталей
типа тел вращения (фрагмент)**

Номер чертежа	ЛД	СП	ХО	Высшая точность и шерохо- ватость поверхности	Наличие накатки	Наличие конуса
6155789	1	1	0	2	0	0
7365010	1	1	0	2	0	0
7315971	3	4	1	2	1	0
6247232	3	4	3	2	0	2
6339301	5	4	2	2	0	1
7331773	5	4	2	2	1	0
7328365	5	4	3	2	0	1
7331753	5	4	3	2	1	0

тел вращения [8]. Машинограмма сформирована по классификационному коду К:

$K = \langle \text{ЛД, СП, ХО} \rangle$,

где ЛД – код отношения длины к максимальному диаметру (например, ЛД-1 для $L/D \leq 0,2$, ЛД-3 для $L/D \leq 0,5$, ЛД-5 для $L/D \leq 3$); СП – спад наружных ступеней (например, СП-3 – деталь имеет односторонний спад ступеней); ХО – характеристика отверстия (например, ХО-1 – деталь имеет сквозное отверстие).

Сводная табуляграмма дополняется эскизами деталей-представителей.

3.5. ВЫБОР ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ И МЕТОДОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В ТП изготовления деталей ДЛА предусматривается использование следующих видов исходных заготовок: прокат, штамповки, поковки, отливки и комбинированные заготовки.

Выбор исходной заготовки всегда является многовариантной задачей. Для экономии материалов, особенно дорогостоящих жаропрочных

и титановых сплавов, а также для сокращения затрат времени и средств на механическую обработку целесообразно выбирать заготовки, которые по форме, размерам, точности и качеству поверхностей возможно полнее соответствовали бы параметрам готовой детали. Но при этом будут увеличиваться текущие и единовременные затраты на изготовление заготовки в заготовительном цехе (на штамповочную и литейную оснастку, на технологическое оборудование и т.д.). С другой стороны, упрощение формы заготовки, снижением требований к ее точности и качеству можно значительно уменьшить затраты на ее изготовление. Но в этом случае снизится коэффициент использования материала и увеличатся затраты на обработку такой заготовки в механическом цехе. Поэтому вопрос о выборе оптимальной заготовки может быть решен не сразу, а в несколько шагов (этапов): сначала намечается предварительно несколько ее вариантов, а затем после выполнения других этапов проектирования ТП (расчета припусков, режимов резания и норм времени) производится экономический анализ вариантов исходной заготовки по трудоемкости или технологической себестоимости. В качестве оптимального следует принимать вариант заготовки, при котором обеспечивается минимум суммы технологических себестоимостей по заготовительному и механическому цехам.

Основными факторами, определяющими вид заготовки, являются материалы детали, ее конфигурация и габаритные размеры. Во многих случаях заданный по чертежу деталей материал уже определяет вид заготовки. Если это литейный сплав, то заготовкой будет являться отливка, если деформируемый сплав, то заготовкой будет прокат, поковка или штамповка. В последнем случае следующим определяющим фактором является конфигурация детали. Для деталей типа гладких пальцев, штифтов, шпилек, ступенчатых валиков с малым перепадом диаметральных размеров целесообразным видом заготовки будет черный или калиброванный прокат; для валиков и других аналогичных деталей с большой разницей в диаметральных размерах ступеней в целях экономии материалов нужно переходить на изготовление их из поковок или штамповок. При этом включается третий определяющий фактор — объем выпуска или тип производства.

Общим правилом в этом случае будет следующее: чем больше объем выпуска изделий, тем более совершенный способ получения заготовки будет целесообразным. Так, для заготовок из деформируемых сталей и сплавов по мере роста объема выпуска изделий будет целесообразным движение: свободная ковка → ковка в подкладных штампах → ковка в закрытых штампах → безоблойная штамповка. Для отливок самый

простой и наименее точный способ – литье в песчаные формы с ручной формовкой. По мере роста объема выпуска будет экономически оправдан переход к литью в песчаные формы с машинной формовкой, далее к литью в корковые (оболочковые) формы → литье в кокиль → литье по выплавляемым моделям → литье под давлением.

В производстве заготовок для деталей двигателей ЛА широко применяются прогрессивные методы получения заготовок, которые обеспечивают высокое качество поверхностного слоя, высокую точность формы и размеров заготовки, что, в свою очередь, позволяет свести до минимума припуски на механическую обработку и объем механической обработки. Для турбинных лопаток из литейных сплавов такими прогрессивными способами являются литье по выплавляемым моделям и литье в кокиль с направленной кристаллизацией. Для турбинных и компрессорных лопаток из деформируемых сплавов прогрессивными ТП получения исходных заготовок будут изотермическая штамповка, высокоскоростная штамповка, вальцевание.

После решения вопросов о виде заготовки и способе ее получения следует решить задачу о ее форме. Последняя определяется с учетом возможностей и требований технологии заготовительного процесса (литья, штамповки и т.д.).

Размеры заготовок и допуски на эти размеры могут определяться как до выполнения этапа расчета припусков и операционных размеров (на основе отраслевого стандарта на общие припуски), так и после (а точнее, на основе расчета операционных припусков и размеров). В практике авиационного двигателестроения чаще используется первый вариант: чертеж заготовки, включая и определение ее размеров, допусков и технических условий, проектируется до разработки технологии механической обработки. Тем самым сокращается время освоения нового объекта, а разработчик технологии механической обработки получает полные данные об исходной заготовке.

3.6. УСТАНОВЛЕНИЕ ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Работу по проектированию ТП изготовления детали целесообразно начать с определения планов обработки отдельных ее поверхностей. Для каждой поверхности должны быть определены число ступеней обработки (операций, переходов), методы выполнения каждой ступени и их последовательность. При обычном (неавтоматизированном) методе

разработки ТП эта работа документально никак не фиксируется, выполняется технологом "в уме" одновременно с анализом рабочего чертежа детали. В системах же автоматизированного проектирования типовые планы обработки поверхностей или маршруты обработки поверхностей являются важными исходными технологическими документами, во многом определяющими уровень спроектированного с помощью ЭВМ технологического процесса. Рассмотрим основные факторы, влияющие на состав планов обработки поверхностей детали.

1. Число ступеней обработки поверхности зависит от точности формы и размеров исходной заготовки: чем заготовка точнее, тем меньшее число ступеней обработки потребуется для достижения требуемых чертежом точности формы и размеров поверхности детали, и, наоборот, чем меньше точность заготовки, тем больше ступеней обработки необходимо для достижения требуемой точности.

2. Число ступеней обработки определяется также требуемой по чертежу точностью формы и размеров рассматриваемой поверхности: чем выше требуемая точность, тем большее число ступеней ее обработки потребуется и наоборот.

3. На число ступеней обработки влияет наличие и характер термообработки детали. Большинство методов термической и термохимической обработки (цементация, закалка, азотирование) связано с потерей достигнутой на предшествующих ступенях механической обработки точности формы и размеров поверхностей. Появляются такие погрешности, как разбухание (увеличение размера) или усадка цилиндрических поверхностей, изогнутость оси валов значительной длины. Поэтому наличие термообработки увеличивает число ступеней обработки ответственных поверхностей детали на одну-две. Например, для цементируемых и закаливаемых поверхностей приходится вводить минимум две шлифовальные операции — до и после термообработки.

4. Число ступеней обработки зависит от требуемой точности относительного расположения поверхностей. В ряде случаев требуется вводить дополнительные ступени обработки для обеспечения жестких допусков на непараллельность и соосность плоскостей и осей.

5. Если рассматриваемая поверхность в ТП выполняет роль установочной базы, то число ступеней ее обработки будет на одну-две больше по сравнению с тем, которое требуется для получения заданных по чертежу точности формы и размеров этой поверхности. Обычно базирующие поверхности с самого начала обрабатываются весьма точно, а перед каждым новым этапом и после термической обработки производится обновление (уточнение) баз.

6. Число ступеней обработки зависит также от требований к качеству поверхностного слоя данной поверхности. В отдельных случаях метод окончательной обработки, используемый для получения размера в пределах заданного по чертежу допуска, не обеспечивает заданного качества поверхностного слоя (по шероховатости, физико-механическим свойствам). Тогда вводят еще одну-две ступени обработки – отделочные или упрочняющие операции (полирование, притирку, хонингование, суперфиниш, алмазное выглаживание, дробеструйную обработку и т.п.).

Изложенные закономерности характеризуют качественную сторону вопроса. Можно установить количественную зависимость числа ступеней обработки k , если ввести понятие уточнения. Уточнением технологического процесса ϵ_n называют отношение допуска $T_{\text{заг}}$ на рассматриваемую характеристику точности партии исходных заготовок к допуску на ту же характеристику партии деталей $T_{\text{дет}}$:

$$\epsilon_n = T_{\text{заг}} / T_{\text{дет}} \dots$$

Если, например, для изготовления вала 6-го качества (2-го класса точности) $d_{\text{дет}} = 50_{-0,016}^{+0,016}$ ($T_{\text{дет}} = 0,016$ мм) используют заготовку – черный прокат $d_{\text{заг}} = 54_{-1,0}^{+0,4}$ ($T_{\text{заг}} = 1,4$ мм), то расчетное уточнение технологического процесса $\epsilon_n = 1,4/0,016 = 87$.

Аналогично можно говорить об уточнениях на каждой ступени обработки:

$$\epsilon_i = T_{i-1} / T_i \dots, \quad (3.1)$$

где T_{i-1} и T_i – допуски соответственно на предшествующей и выполняемой ступенях обработки.

Если первой операцией считать заготовительную, а операции окончательной обработки присвоить индекс k , то расчетное уточнение ПП можно выразить равенством

$$\epsilon_n = \epsilon_2 \epsilon_3 \dots \epsilon_k = \prod_{i=2}^k \epsilon_i \dots \quad (3.2)$$

При условии, что технолог располагает точностными характеристиками технологической системы (т.е. значениями уточнений ϵ_i на каждой ступени обработки) последовательность расчета числа ступеней обработки будет следующей. Исходным, начальным, параметром является требуемая по чертежу точность размера поверхности, установленная конструктором исходя из служебного назначения детали, — допуск $T_{\text{дет}}$. Выбрав для окончательной (k -й) операции технологическую систему, обеспечивающую выполнение заданного допуска, т.е. имеющую погрешность $\omega_k < T_{\text{дет}}$, и зная обеспечиваемое ею уточнение ϵ_k , можно определить операционный допуск на предпоследнюю ($k-1$) ступень обработки. Согласно уравнению (3.1)

$$T_{k-1} \leq \epsilon_k T_k \leq \epsilon_k T_{\text{дет}}.$$

Затем выбирают систему для выполнения $k-1$ -й операции по условию $\omega_{k-1} < T_{k-1}$. Зная уточнения этой системы ϵ_{k-1} , можно определить допуск на операцию $k-2$:

$$T_{k-2} \leq \epsilon_{k-1} T_{k-1}.$$

Расчет числа операций механической обработки и операционных допусков заканчивается, когда окажется $T_{k-i} > T_{\text{заг}}$. При этом i будет означать число операций (ступеней) механической обработки рассматриваемой поверхности детали.

В работе [6] приводятся следующие типовые рекомендации по разделению общего уточнения ϵ_n ТП (см. уравнение (3.2)) на сомножители (уточнения ступеней ϵ_i): для первой ступени черновой обработки достижимы уточнения $\epsilon < 6$, для промежуточных ступеней получистовой обработки $\epsilon = 3 \dots 4$, для ступеней чистовой обработки с допусками точности П7 — П7 $\epsilon = 1,5 \dots 2,0$.

Более конкретные рекомендации по значениям уточнений можно получить по табл. 3.6.

Данные таблицы хорошо подтверждаются выработанными практикой машиностроения соотношениями между точностью исходных заготовок, заданной точностью размеров поверхности, числом и содержанием ступеней обработки. Например, при механической обработке валов из исходной заготовки — штамповки или черного проката — требуется:

Значения уточнений для диаметральных размеров

Параметр	Значение параметра										
Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Число единиц допуска	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640
Уточнение											

по П13 – П12 (5-й класс точности) – одна ступень обработки – черновое обтачивание;

по П11 – П10 (4-3а класс точности) – две ступени: черновое и чистовое обтачивание;

по П9 – П8 (3-2а класс точности) – три ступени: черновое и чистовое обтачивание и однократное шлифование;

по П7 – П6 (2-1 класс точности) – четыре ступени: черновое и чистовое обтачивание, предварительное и окончательное шлифование.

3.7. УСТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ

Последовательность обработки поверхностей в большой степени зависит от конфигурации детали. Для формализации этой зависимости, что необходимо при автоматизированном проектировании ТП, целесообразно воспользоваться понятием ранга поверхностей. В. Д. Цветков рекомендует подразделять поверхности детали на основные, поверхности 1-го ранга, поверхности 2-го ранга и т.д. Ранг поверхности устанавливается при кодировании чертежа детали и заносится в карту исходной информации. Для детали, эскиз которой показан на

рис. 3.1, поверхности 1, 8, 10 являются основными, плоскость 7 на поверхности 10 и отверстие 9 на поверхности 1 – поверхности 1-го ранга, отверстие 11, поверхности 5 и 2 – поверхности 2-го ранга, фаска 13 – поверхность 3-го ранга, резьбы 2, 12 – поверхности 4-го ранга. Приведенный пример показывает, что, присваивая поверхностям детали определенный ранг, технолог предопределяет рациональную последовательность их обработки. Так, для приведенного примера первой будет обрабатываться основная цилиндрическая поверхность 10, затем поверхность 1-го ранга – плоскость 7, затем пойдет сверление отверстия 11, имеющего 2-й ранг, затем следует снятие фаски 13 (поверхности 3-го ранга) и, наконец, последней будет обработана резьба 12, имеющая 4-й ранг.

Большое, а в ряде случаев и решающее влияние на последовательность обработки отдельных поверхностей детали оказывает характер размерной связи, который определяется, с одной стороны, системой простановки линейных координирующих размеров, а с другой, – системой технических условий (допусков) на неточность взаимного расположения поверхностей (на несоосность, непараллельность, перпендикулярность, несимметричность).

Различают три системы простановки размеров: координатную, цепную и комбинированную. В координатной системе выбирают одну поверхность и относительно ее координируют положение всех других поверхностей данного координатного направления (рис. 3.2, а). При такой простановке размеров на каждом этапе ТП (на этапе черновой обработки и т.д.) первой нужно обрабатывать поверхность, от которой проставлены все размеры (поверхность 1 на рис. 3.2, а). Последовательность обработки остальных поверхностей может быть

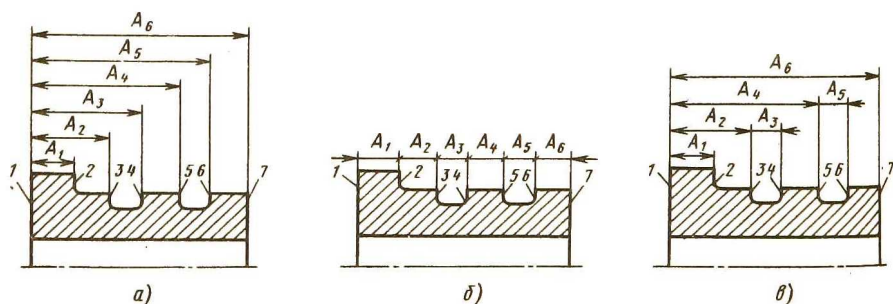


Рис. 3.2. Системы простановки линейных размеров:
а – координатная; б – цепная; в – комбинированная

любой. Если же в нашем примере обработку начать не с поверхности 1, а с какой-либо другой, то потребуется произвести пересчет размеров и на некоторые из операционных размеров принять допуски более жесткие, чем указано на чертеже.

В цепной системе размеры проставляются непрерывной цепью один за другим (рис. 3.2, б). Правило о последовательности обработки поверхностей при этом будет иным: начинать обработку можно с любой поверхности, но затем обработка остальных поверхностей должна выполняться в последовательности, которая диктуется простановкой размеров. Если для приведенной на рис. 3.2, б простановки первой обработать поверхность 2, то остальные поверхности нужно будет обработать в последовательности 3, 4, 5, 6, 7, 1. Можно начать обработку с поверхности 7, тогда последовательность обработки остальных поверхностей будет 6, 5, 4, 3, 2, 1. И при цепной простановке размеров отклонение от рекомендованной последовательности обработки повлечет за собой необходимость пересчета размеров и ужесточения допусков на некоторые из них.

На рис. 3.2, в показана наиболее часто используемая комбинированная (смешанная) система простановки размеров. Правила для установления последовательности обработки поверхностей также будут комбинированными.

3.8. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В дополнение к общепринятым уровням технологического проектирования (разработка технологического маршрута и технологических операций) В. Д. Цветков ввел еще два – разработку принципиальной схемы (ПС) ТП и подготовку управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ. Эти уровни (шаги, этапы проектирования ТП) имеют последовательность: 1) разработка принципиальной схемы ТП; 2) формирование технологического маршрута; 3) проектирование операций; 4) подготовка УП для станков с ЧПУ. О том, что введение принципиальной схемы ТП в теорию и практику проектирования является методически оправданным, свидетельствуют факты использования такого этапа проектирования многими разработчиками САПР ТП. В отличие от технологического маршрута, который может быть отображен последовательностью операций, принципиальная схема ТП описывается как последовательность этапов (структурных элементов ТП). В табл. 3.7

Этапы ТП [6]

Обозначение	Наименование, содержание и характеристика
Э1	Обработка поверхностей — технологических баз
Э2	Черновая обработка основных поверхностей заготовки. Точность размеров $П12-П14$, формы и расположения X—XII степеней, $Rz = 10 \dots 20$ мкм
Э3	Термообработка для снятия внутренних напряжений
Э4	Правка баз и полустовая обработка основных поверхностей. Точность размеров $П10-П12$, формы и расположения VIII—IX степеней, $Rz = 6,3 \dots 10$ мкм
Э5	Термообработка для улучшения качества срединных и поверхностных слоев материала детали
Э6	Правка баз и чистовая обработка главных (основных) поверхностей. Точность размеров $П8-П9$, формы и расположения VI—VII степеней, $Rz = 3,2 \dots 6,3$ мкм, $Ra = 0,63 \dots 1,25$ мкм
Э7	Выполнение второстепенных операций (сверление крепежных отверстий, снятие фасок, прорезка канавок) и обработка легкоповреждаемых поверхностей (например, нарезание резьбы)
Э8	Отделка главных поверхностей. Точность размеров $П5-П7$, формы и расположения IV—V степеней, $Rz = 0,8 \dots 1,6$ мкм $Ra = 0,16 \dots 0,32$ мкм
Э9	Подгонка по массе, зачистка заусенцев и притупление острых кромок
Э10	Окончательный контроль

дан перечень этапов ТП, предложенный В. И. Комиссаровым, а в табл. 7.2 — перечень, предложенный В. Д. Цветковым. Из таблиц можно сделать вывод о том, что этап ТП — это часть ТП (одна или несколько операций), связанная с решением какой-то конкретной задачи (подготовка технологических баз, черновая обработка поверхностей, термообработка и т.д.). Наименование, нумерация этапов идут в порядке возрастания точности, т.е. от черновых к чистовым и т.д. В ряде случаев этап может выражать (представлять) группу сравнительно однородных операций по обработке поверхностей

какого-либо конструктивного модуля детали (например, этап обработки поверхностей замка лопатки типа "ласточкин хвост" и т.п.).

Используя принятые в табл. 3.7 обозначения этапов, можно удобно представить принципиальную схему изготовления различного типа деталей. Так, принципиальная схема ТП изготовления валов будет иметь вид

$$ПС(A_i) = \langle Э1, Э2, Э3, Э4, Э6, Э7, Э5, Э8, Э10 \rangle.$$

Разработка принципиальной схемы ТП в системах автоматизированного проектирования подробно изложена в разд. 7.1.

3.9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА

Проектирование маршрутной технологии связано с решением целого ряда задач:

- 1) выбор методов обработки и типа оборудования для реализации предварительно намеченных ступеней обработки;
- 2) выбор технологических баз и типа оснастки для установки и закрепления заготовки;
- 3) непосредственное формирование структуры ТП.

Рассмотрим основные рекомендации (принципы, правила) решения перечисленных задач.

3.9.1. Выбор методов обработки и типа оборудования

Область поиска (выбора) методов обработки и типа оборудования определяется условиями проектирования рабочего ТП. Если ТП разрабатывается при проектировании нового цеха или завода, технолог может выбирать любые оптимальные по экономическим критериям виды обработки и оборудования. При заводской разработке ТП технолог обязан исходить из условия использования имеющегося в цехе (на участке) оборудования. В этом случае область выбора методов обработки и типа оборудования резко сужается. Из двух направлений структурирования ТП более прогрессивным является принцип концентрации операций с использованием современного автоматизированного и автоматического оборудования. Поэтому необходимо до решения

вопросов выбора методов обработки и оборудования установить (сформировать) *технологические комплексы*, т.е. группы поверхностей, которые можно обрабатывать в одной операции и в одном установе. Во многих случаях вопрос о формировании комплексов решается с учетом конфигурации детали, назначения и формы поверхностей. Поверхности деталей — тел вращения (валы, втулки, диски и т.д.) — разделяются, как правило, на два технологических комплекса, с тем чтобы поверхности каждого комплекса можно было обработать в одном установе (с одной и другой стороны). Гораздо большее число комплексов поверхностей приходится формировать при обработке корпусных заготовок — оно будет значительным при использовании универсальных станков и приспособлений и может быть уменьшено при использовании современного оборудования. Так, станки типа обрабатывающего центра с поворотным столом позволяют вести обработку поверхностей различной формы, расположенных на четырех сторонах заготовки при одной ее установке. Комплексирование (объединение поверхностей в технологические комплексы) особенно важно для финишных ступеней обработки, так как обработка поверхностей при одной установке позволяет наиболее простым и экономичным способом обеспечить требуемую по чертежу точность взаимного расположения поверхностей (по параллельности, перпендикулярности, соосности).

Известно, что одинаковые точность обработки и качество обработанной поверхности могут быть достигнуты различными способами. Поэтому сначала подбирают для обработки каждой поверхности или комплекса поверхностей на каждом этапе несколько технически возможных и подходящих (рациональных) методов обработки и оборудования, а затем производят сопоставление вариантов по производительности и технологической себестоимости.

При отборе вариантов целесообразно использовать справочные и нормативные материалы по трудоемкости и себестоимости отдельных методов обработки.

Основными факторами, влияющими на *выбор оборудования*, являются:

конструкция детали, ее габаритные размеры и другие характеристики (например, обрабатываемость и др.);

требуемая точность обработки;

вид заготовки (штучная, из прутка);

объем выпуска изделий, тип производства, размер партии заготовок.

Выбор оборудования начинают с определения класса станков. Там, где это экономически и технически оправдано, следует применять станки с программным управлением. Эффективность применения станков с ЧПУ выражается:

а) в повышении точности и однородности размеров обрабатываемых заготовок;

б) в повышении производительности обработки благодаря уменьшению доли вспомогательного времени с 70–80 % для обычных станков до 40–45 %; в среднем производительность возрастает: для токарных станков в два–три раза, для фрезерных – в три–четыре раза и для обрабатывающих центров – в пять–шесть раз;

в) в снижении себестоимости обработки, связанном с повышением производительности, снижением затрат на приспособления и т.п.;

г) в значительном сокращении потребности в высококвалифицированных станочниках (вследствие многостаночного обслуживания и др.).

Имеются сферы производства, где применение станков с ЧПУ является явно целесообразным. Сюда относится обработки очень сложных заготовок уникальных деталей, имеющих сложную конфигурацию и различные фасонные поверхности, изготовление которых на традиционных станках невозможно или требует больших затрат времени и труда (турбинные лопатки, фасонные поверхности гребных винтов). Другое направление – обработка заготовок обычных машиностроительных деталей с точностью *П6–П8* и шероховатостью поверхности 3–10 мкм. Экономическая целесообразность применения станков с ЧПУ в этом случае определяется конфигурацией и серийностью обрабатываемых заготовок и обычно предпочтительна в мелко- и среднесерийном производстве. В крупносерийном и массовом производстве применение станков с ЧПУ экономически оправдано не всегда, что объясняется, с одной стороны, высокой стоимостью оборудования с ЧПУ, а с другой – тем, что, являясь станками *одноинструментной* обработки, станки с ЧПУ уступают по производительности *многоинструментальным* станкам (многолезцовым, агрегатным, специальным и т.д.).

Таким образом, алгоритм выбора станка для заданной операции будет иметь три шага: выбор класса станка (универсальный или с программным управлением), выбор группы станка (токарный, фрезерный и т.д.) и выбор типоразмера станка (модели). Выбирая типоразмер станка, руководствуются следующими принципами:

1) соответствие рабочей зоны станка конфигурации и габаритным размерам детали. Например, токарную обработку деталей типа дисков, колец (малой длины и большого диаметра) выгоднее и удобнее выполнять не на токарно-винторезном, а на токарно-лобовом или на токарно-карусельном станке;

2) соответствие точностных возможностей станка заданной по технологии точности обработки. Соблюдение этого принципа особенно важно на операциях окончательной обработки;

3) соответствие мощности, жесткости и кинематических возможностей станка наивыгоднейшим режимам резания;

4) соответствие производительности станка заданной программе выпуска деталей. В случае малой производительности для операции может потребоваться несколько станков. В таких случаях целесообразно применять высокопроизводительное оборудование. С другой стороны, применив станок чрезмерно большой производительности, не сможем его достаточно загрузить.

На следующих этапах проектирования ТП (расчет режимов резания и т.д.) может возникнуть необходимость уточнить (заменить) типоразмер оборудования.

3.9.2. Выбор технологических баз и систем простановки операционных размеров

Процессу непосредственной обработки заготовки на станке предшествует ее установка (ориентирование) и закрепление. Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется *базированием*, а используемые для этого элементы заготовки или изделия называются *базами*. По назначению и области применения базы подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.

Применительно к детали *конструкторской базой* называется ее поверхность, линия или точка, по отношению к которой на рабочем чертеже координируются другие поверхности, линии или точки.

Технологическая база – это база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта. При проектировании и выполнении технологии механической обработки заготовок приходится решать для каждой технологической операции две задачи базирования: координации заготовки относительно станка, приспособления или инструмента и координации обра-

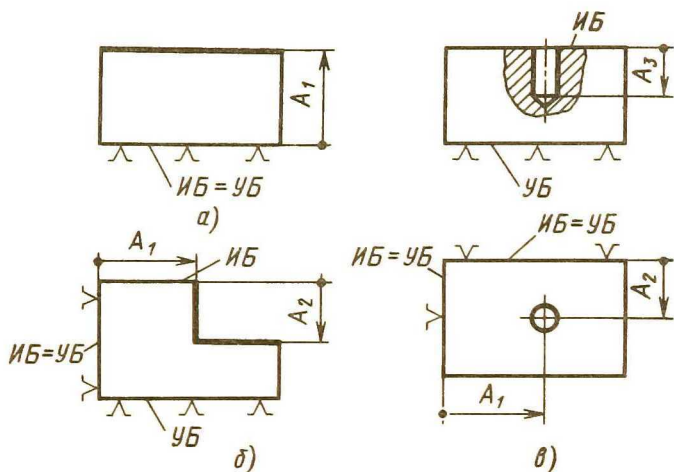


Рис. 3.3. Базирование и установка заготовок:

ИБ — технологическая исходная база; УБ — установочная технологическая база

батываемых в данной операции поверхностей. При их решении в качестве баз могут использоваться одни и те же или различные поверхности; эти задачи могут решаться параллельно (одновременно) или раздельно (последовательно). В связи с этим подкласс технологических баз целесообразно разделить на два вида:

1) установочные базы, необходимые для координации заготовки в целом при ее установке. На рис. 3.3 они обозначены УБ;

2) исходные базы, используемые для координации обрабатываемых поверхностей (для отсчета операционных размеров). На рис. 3.3 исходные базы обозначены ИБ.

Исходной базой будем называть поверхность, линию или точку заготовки, относительно которой в операционной карте или другом технологическом документе координируется положение обрабатываемой поверхности.

Выясним теперь вопрос о необходимом и достаточном числе установочных и исходных баз. По каждому координатному направлению для определения положения заготовки в целом при ее установке требуется одна установочная база, а для полной координации заготовки по всем направлениям — комплект установочных баз: одна (см. рис. 3.3, а), две (рис. 3.3, б), три (рис. 3.3, в). Иначе обстоит дело с числом необходимых исходных баз: в общем случае для определения положения

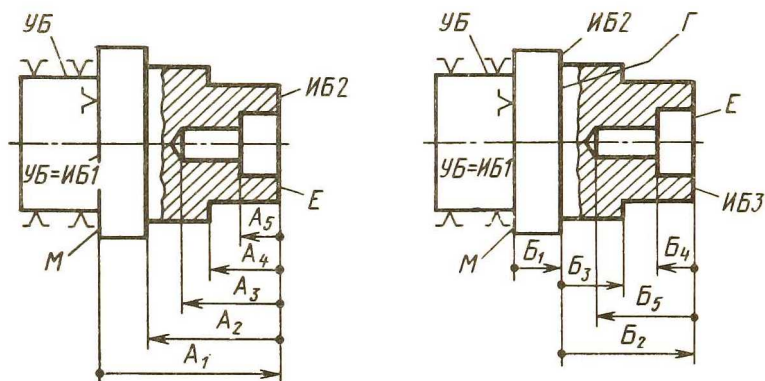


Рис. 3.4. Технологические базы в операции обработки штучной заготовки на револьверном станке

обрабатываемых в одном установе поверхностей по каждому координатному направлению может потребоваться (использоваться) несколько исходных баз. На рис. 3.4 показаны два варианта простановки линейных операционных размеров в операции обработки штучной заготовки на револьверном станке. В первом варианте используются две исходные базы: торец M и торец E , во втором — три исходные базы: торцы M , Γ и E .

Поверхность M является первой исходной базой. На рис. 3.4 она обозначена ИБ1. Остальные исходные базы обозначены ИБ2 и ИБ3. Первая исходная база — это поверхность, линия или точка, обработанная в предшествующей операции. Второй и последующими исходными базами (ИБ2 и ИБ3) служат поверхности, обработанные в предшествующих переходах данной операции (т.е. в одном установе с обрабатываемыми поверхностями).

Перейдем теперь к рассмотрению принципов (рекомендаций) по назначению технологических баз.

1. **Принцип совмещения исходной и конструкторской баз (КБ)**, состоит в том, что для возможности непосредственного выполнения заданных по чертежу размеров и других геометрических параметров в операциях окончательной обработки необходимо совмещать все исходные базы (первую и последующие) с конструкторскими базами. Это правило можно выразить равенством $ИБ = КБ$.

Совмещение исходной и конструкторской баз дает возможность выполнять операционный размер окончательной обработки с заданной по чертежу точностью. Невыполнение этого правила, т.е. несовмеще-

ние исходной и конструкторской баз, приводит к необходимости пересчета размеров и ужесточения допусков по сравнению с заданными по чертежу. Подтверждения этого принципа приведены в работах А. А. Маталина, В. П. Фираго, И. А. Ивашенко и др.

2. **Принцип совмещения установочной и первой исходной базы** состоит в том, что для обеспечения возможности выполнения операционных размеров по способу автоматического получения размеров необходимо совмещать установочную и первую исходную базы, т.е. обеспечивать равенство $УБ = ИБ1$.

Для иллюстрации этого правила рассмотрим пример. На рис. 3.5, а приведен фрагмент чертежа детали, на рис. 3.5, б показана операция обработки верхней плоскости. Как следует из рисунка, чертежный размер $KP1 = 30 \pm 0,3$ выполняется непосредственно (соблюдается принцип совмещения конструкторской и исходной баз), поэтому $A_1 = 30 \pm 0,3$. В этой операции выполняется также принцип совмещения установочной и исходной баз ($УБ = ИБ$), поэтому размер A_1 можно выдерживать по настройке. В операции фрезерования паза по варианту, приведенному на рис. 3.5, в, выполняется 1-е

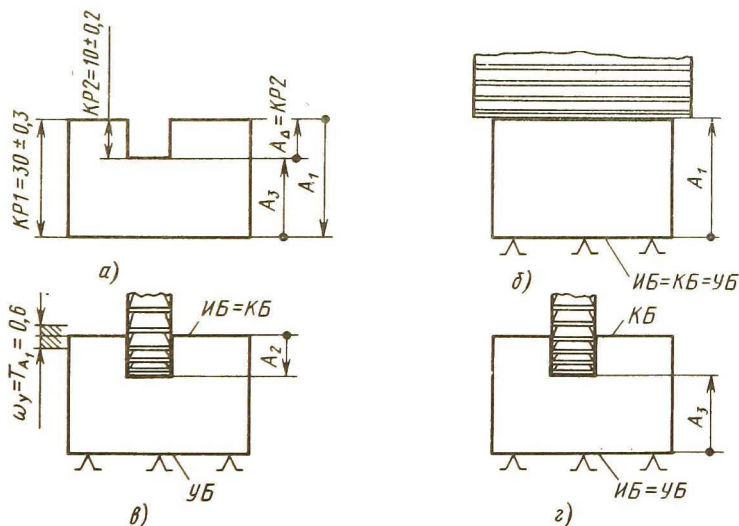


Рис. 3.5. Эскиз детали и выбор технологических баз:

а — эскиз детали; б — фрезерование верхней плоскости при полном совмещении баз $ИБ-КБ-УБ$; в — фрезерование паза при $ИБ-КБ$, но $ИБ \neq УБ$; г — фрезерование паза при $ИБ=УБ$, но $ИБ \neq КБ$

правило выбора технологических баз: ИБ = КБ, но не выполняется 2-е правило — исходная база не совмещена с установочной (ИБ $\neq$ УБ). Последнее обстоятельство влечет за собой появление погрешности установки от несовмещения баз, значение которой, как доказывалось в теории базирования, равно допуску на размер, связывающий исходную и установочную базы. В нашем примере это размер $A_1 = 30 \pm 0,3$,

так что погрешность установки $\omega_y = T_{A_1} = 0,6$ мм. При этом опера-

ционная погрешность размера A_2 $\omega_{A_2} = \omega_o + \omega_y = \omega_o + 0,6$ мм. Учи-

тывая, что на размер КР2 = $10 \pm 0,2$ допуск $T = 0,4$ мм, убеждаемся в том, что даже если погрешность способа обработки ω_o будет близка

к нулю (что нереально), погрешность операционного размера A_2 будет больше допустимой по чертежу: $0,6 > 0,4$ мм. Таким образом, из-за несовмещения исходной и установочной баз в операции фрезерования паза выполнение этой операции по настройке невозможно.

На рис. 3.5, *г* показан вариант фрезерования паза, когда нарушается 1-е правило о совмещении исходной и конструкторской баз (ИБ $\neq$ КБ), но выполняется 2-е правило о совмещении установочной и исходной баз (ИБ = УБ). Как было показано выше, при ИБ $\neq$ КБ необходимо произвести пересчет размеров и допусков. Воспользуемся для этого РЦ, построенной на рис. 3.5, *а* справа. Уравнение замыкающего звена этой цепи $A_{\Delta} = \text{КР2} = A_1 - A_3$. Для выполнения

основного правила размерных цепей $\sum T_i < T_{\Delta}$ необходимо, чтобы $T_{A_1} + T_{A_3} \leq T_{A_{\Delta}} = 0,4$. Принимая для A_1 и A_3 одинаковый уровень точности, получим после пересчета $A_1 = 30 \pm 0,1$ (было $A_1 = 30 \pm 0,3$) и $A_3 = 20 \pm 0,1$. Заметим, что допуски на размеры A_1 и A_3 соответствуют примерно 12-му качеству точности (5-му классу) и экономически выполнимы даже при черновой обработке.

Возникает вопрос, можно ли обеспечить условия для обработки по настройке (ИБ = УБ) и в то же время избежать необходимости пересчета размеров и ужесточения допусков на операционные размеры. Для этого нужно, изменив способ установки заготовки или способ обработки, обеспечить выполнение обоих правил одновременно, т.е. обеспечить ИБ = УБ = КБ. На рис. 3.6, *а* условие ИБ = УБ = КБ обеспечивается некоторым усложнением конструкции приспособления,

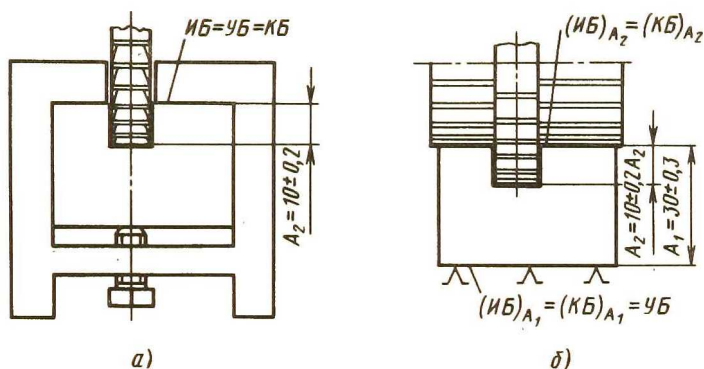


Рис. 3.6. Примеры обеспечения полного совмещения баз

а на рис. 3.6, б – изменением способа обработки: плоскость и паз обрабатываются не в отдельных операциях, а одновременно набором фрез.

3. **Принцип единой технологической базы** состоит в том, что если при окончательной обработке заданной поверхности поверхность, являющаяся для нее конструкторской базой, не может быть использована в качестве технологической (установочной и исходной) базы, то целесообразно две поверхности – заданную поверхность и ее конструкторскую базу – обрабатывать, пользуясь единой технологической базой.

4. **Принцип постоянства технологической базы** состоит в том, что обработку многих или всех поверхностей детали на большинстве или на всех операциях выполняют, пользуясь одной и той же постоянной технологической (установочной и исходной) базой.

Наиболее характерным примером постоянных технологических баз являются центровые гнезда, выполняемые на торцах заготовок типа валов. Вся обработка (токарная черновая, токарная чистовая, шлифование и др.) осуществляется с установкой заготовки в центрах. Типичным примером постоянных технологических баз при изготовлении корпусных деталей служат плоскость разъема и два отверстия.

5. В качестве технологических (исходных и установочных) баз для промежуточных операций следует принимать такие поверхности заготовки, использование которых обеспечивает малозвенность размерных цепей, сформированных относительно припусков, минимальные колебания припусков на обработку, удобство наладки и подналадки станка. Для реализации этой рекомендации следует использовать

комбинированную систему с двумя исходными базами (рис. 3.7, б). В качестве обоснования этого правила сошлемся на работы [5, 9], где показано, что колебание операционного припуска ω_{zi} зависит от числа составляющих звеньев $m + n$ в размерной цепи. В свою очередь, длина цепи прямо зависит от системы простановки линейных операционных размеров: простановка размеров по цепной системе (рис. 3.7, в) на любом этапе обработки (черновом, чистовом и т.д.) приводит к увеличению числа составляющих звеньев в цепи; при координатной (рис. 3.7, а) и комбинированной (см. рис. 3.7, б) простановке $\Sigma(m + n)$ будет меньше, чем в первом случае, а значит, и ω_z будет минимальным. В соответствии с правилом 5 отдается предпочтение комбинированной простановке размеров потому, что она создает благоприятные условия для взаимозаменяемой наладки; при координатной же простановке линейных размеров каждый из инструментов должен выставляться (настраиваться, регулироваться) непосредственно на многолезцовом станке.

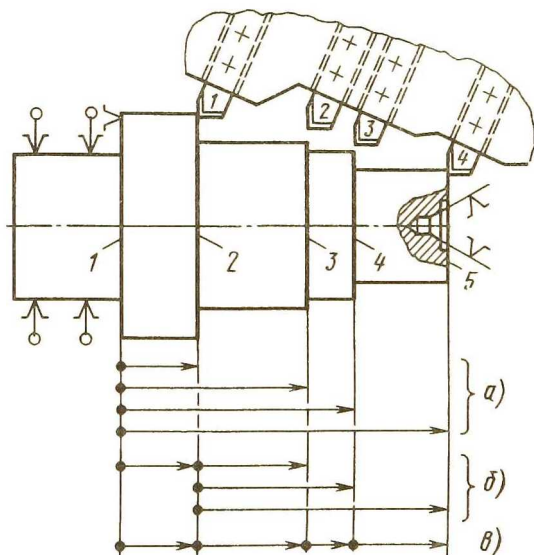


Рис. 3.7. Простановка линейных операционных размеров при много-
резцовой обработке:

а — координатная; б — комбинированная с двумя исходными базами;
в — цепная (цифрами обозначены номера поверхностей)

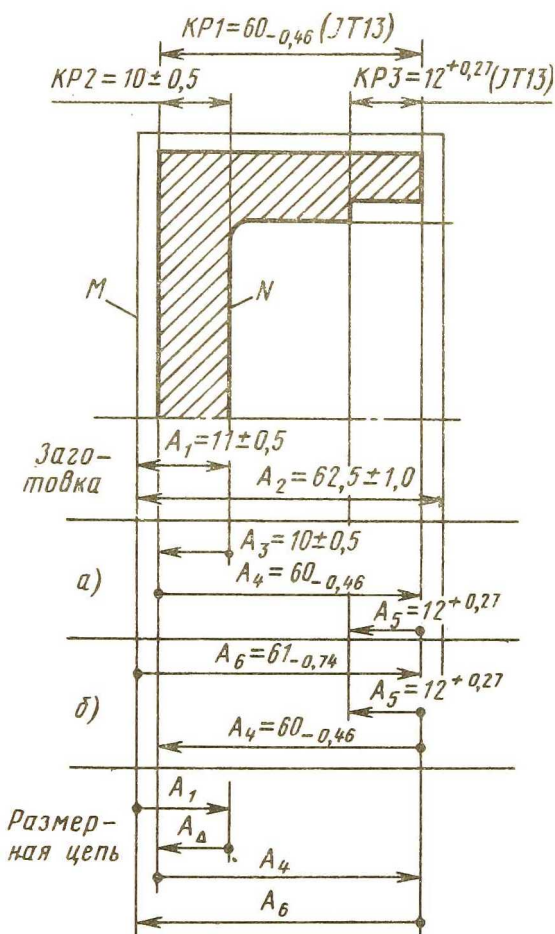
Рис. 3.8. Выбор черновой технологической базы:

а — правильно; б — неправильно

6. Черновой технологической базой называют базу, используемую при первом установе заготовки. Большое разнообразие методов получения и форм исходных заготовок обуславливают неоднозначность рекомендаций по выбору черновых технологических баз.

6.1. Если некоторые поверхности заготовки останутся необработанными и у готовой детали, то черновые технологические базы (исходную и установочную) нужно выбирать из числа этих поверхностей. В этом случае становится возможным наиболее простым и экономичным путем обеспечить правильное взаимное расположение системы обработанных поверхностей детали относительно необработанных. Для иллюстрации достоверности этой рекомендации рассмотрим пример, приведенный на рис. 3.8. У детали, изображенной на эскизе, поверхность *N* не обрабатывается. Поэтому в соответствии с правилом 6.1 в 1-м варианте технологии (см. рис. 3.6, а) она принята в качестве черновой базы. В этом случае все чертежные размеры — $KP1$, $KP2$ и $KP3$ — выдерживаются непосредственно, им соответствуют операционные размеры A_4 , A_3 и A_5 .

Во 2-м варианте технологии (см. рис. 3.8, б) в нарушение правила 6.1 в качестве черновой базы выбрана поверхность *M*. По этому варианту чертежные размеры $KP1$ и $KP3$ также выдерживаются



непосредственно. В то же время размер КР2 получается здесь как замыкающее звено размерной цепи, приведенной на рис. 3.8 (внизу). Уравнение замыкающего звена запишется как

$$A_{\Delta} = \text{КР2} = A_1 + A_4 - A_6,$$

а его погрешность

$$\omega_{\text{КР2}} = T_{A1} + T_{A4} = T_{A6} = 1,0 + 0,46 + 0,74 = 2,20 \text{ мм},$$

что значительно превышает допуск $T_{\text{КР2}} = 1,0 \text{ мм}$.

6.2. В качестве черновой базы следует выбирать поверхность исходной заготовки, относительно которой при первой операции могут быть обработаны поверхности, используемые как технологические базы в дальнейших операциях. Черновая технологическая база – это база для обработки чистовых баз.

6.3. При выборе черновой базы для обработки заготовок сложного контура (например, корпусных литых заготовок) следует исходить из условия равномерного распределения припуска между всеми обрабатываемыми поверхностями (из принципа выкраивания детали).

Отметим в заключение, что черновой базой пользуются только один раз: для первой установки детали на станке, а в пределах первой операции – для координации одной (первой) обработанной поверхности. Это объясняет, почему в первой операции можно использовать цепную или комбинированную системы простановки линейных операционных размеров и нельзя использовать координатную.

3.9.3. Формирование структуры технологического процесса

Технологами используются различные формы представления технологического маршрута. В самом упрощенном виде технологический маршрут может быть представлен списком операций. Для каждой операции указывается ее номер, наименование, оборудование, оснастка. Более информативной является смешанная (текстовая и графическая) форма, когда технологический маршрут представляется как последовательность операционных эскизов с названием операций и краткими пояснениями.

На рис. 3.9 показан упрощенный чертеж детали – обоймы подшипника, а на рис. 3.10 – технологический маршрут ее изготовления.

Рис. 3.9. Упрощенный чертеж детали — обоймы подшипника

Все формоизменяющие операции представлены операционными эскизами. Номера поверхностей на операционных эскизах совпадают с их номерами (1–8) на чертеже детали. На эскизах обозначаются установочные и исходные базы, наносятся размерные линии и т.д. Вокруг каждого эскиза оставляется достаточно большая свободная площадь;

при выполнении последующих этапов проектирования ТП на эту площадь будут заноситься все новые параметры ТП. И при формировании технологического маршрута, и при определении структуры операций используются два принципа — принцип концентрации и принцип дифференциации операций.

Принцип концентрации характеризуется тенденцией сосредоточить в одной операции обработку возможно большего числа поверхностей. Технологический процесс, построенный по принципу концентрации операций, будет состоять из небольшого числа сложных по структуре операций. Использование принципа концентрации позволяет:

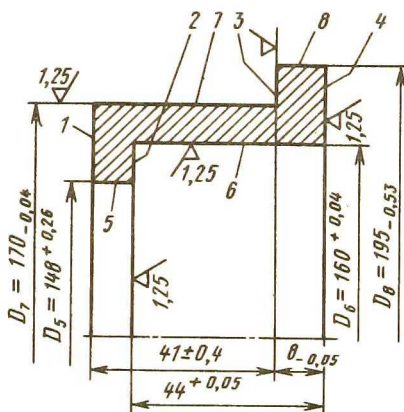
а) упростить планирование и организацию производства, поскольку планирование и учет ведутся по операциям, а их число будет минимальным;

б) сократить номенклатуру приспособлений, необходимых для установки и закрепления заготовок, что обеспечивает уменьшение затрат времени и средств на проектирование и изготовление оснастки;

в) уменьшить число установок каждой заготовки, что весьма важно при обработке тяжелых и крупногабаритных деталей. Сокращение числа установок во всех случаях облегчает достижение высокой точности взаимного расположения поверхностей;

г) повысить производительность труда путем сокращения как основного технологического, так и вспомогательного времени.

Второе направление — **принцип дифференциации операций** — предусматривает разукрупнение обработки и упрощение каждой операции при увеличении их числа. Достоинства принципа дифференциации состоят в следующем:



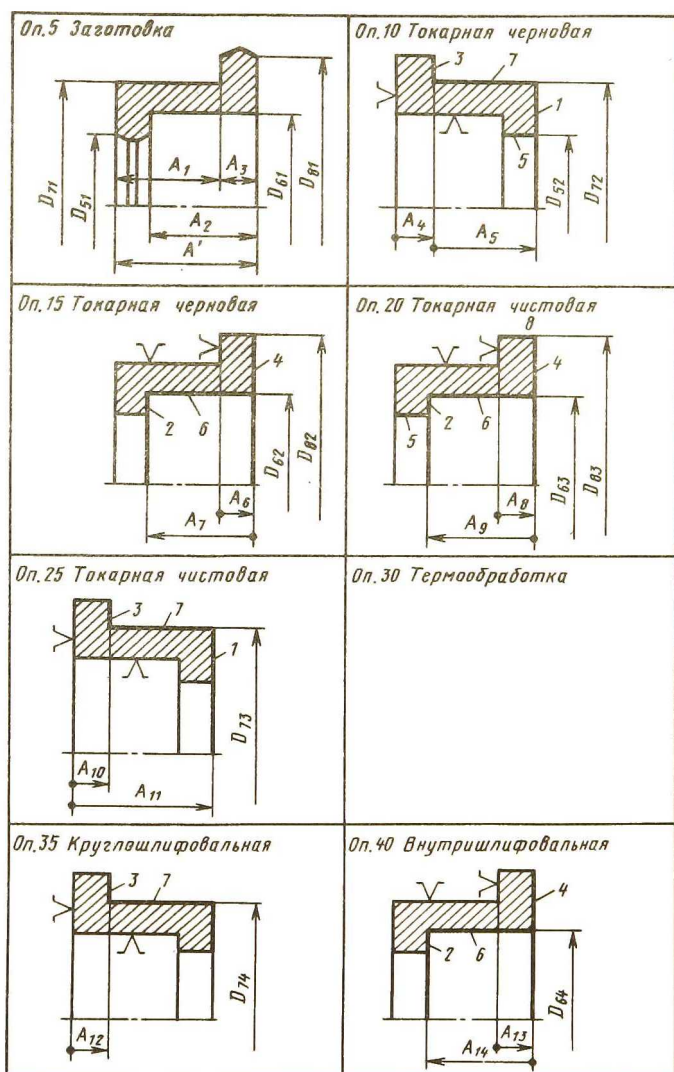


Рис. 3.10. Маршрутная технология изготовления обоймы подшипника
схема которой приведена на рис. 3.9

а) дифференцированный процесс является наиболее простым, упрощаются приспособления и инструменты, упрощается наладка станков, уменьшается время подготовки производства;

б) дифференцированный процесс является наиболее гибким, его легко перестраивать, что важно в условиях частой смены объектов производства;

в) создаются более благоприятные возможности для работы с наимыгоднейшими режимами резания в каждом переходе.

Принцип концентрации операций может быть осуществлен различными путями, в связи с чем различают три вида концентрации – организационную, механическую и технологическую.

Организационной называют такую концентрацию операций, при которой соединение нескольких операций в одну производится так, что сам метод при этом не претерпевает никаких изменений. Такой вид концентрации реализуется на универсальном оборудовании при использовании рабочих высокой квалификации.

Механическая концентрация предусматривает замену установок позициями или механизированную смену инструмента.

Технологической называют концентрацию, при которой простые переходы объединены в сложные (заменены сложными). Примеры такой концентрации приведены на рис. 3.11, а, е; 3.12, ж, з; 3.13, е, ж, з, и.

В условиях единичного и мелкосерийного производства обычно проектируются операции, выполняемые по принципу организационной кон-

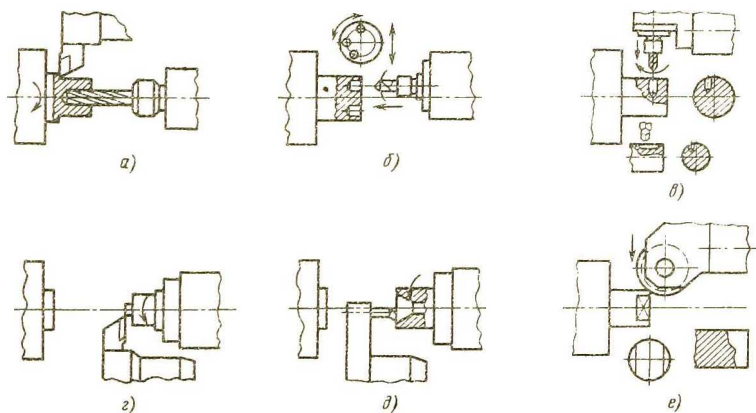


Рис. 3.11. Операция, реализуемая по принципу технологической концентрации на станке с ЧПУ

центрации. В условиях крупносерийного и массового производств применяется дифференциация операций (конвейерные автоматические линии состоят, как правило, из простых узкоспециализированных станков). Одновременно широко используется построение ТП по принципу механической и технологической концентрации на сложных многошпиндельных автоматах, обрабатывающих центрах. Наивысшее выражение принцип технологической концентрации получает при изготовлении деталей на автоматических линиях и гибких автоматических линиях станков.

В подавляющем большинстве случаев при концентрации объединяются операции или их структурные элементы (установы, позиции, переходы) одного вида, выполняющиеся на оборудовании одного типа. В последнее время появляется возможность объединять операции разного вида — токарные, сверлильные, фрезерные. На рис. 3.11 приведен пример построения операции по принципу технологической концентрации с использованием различных методов обработки — точения (см. рис. 3.11, а, г, д), сверления (см. рис. 3.11, а, б, в), фрезерования (см. рис. 3.11, в, е).

3.10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

3.10.1. Формирование структуры операций

Этот этап проектирования ТП является наиболее важным по своему влиянию на качество спроектированного ТП, на возможность получения максимальной экономической эффективности при реализации процесса в производстве. Уже стахановцы 30-х годов показали, что, изменяя структуру операции, можно достигнуть повышения производительности труда в 8–10 раз и это на оборудовании, которое использовалось более полувека назад. Теперь станет понятным, какие большие возможности заложены в рациональном структурировании операций при использовании современного высокопроизводительного оборудования.

В практике машиностроения используется большое число структур операций механической обработки заготовок. Их классификация приведена в табл. 3.8. По числу обрабатываемых в операции заготовок (схемы обработки по А. А. Маталину) структуры делятся на два класса: 1-й класс включает обработку в одной операции одной заготовки ($D=1$), 2-й класс — обработку нескольких заготовок ($D > 1$). Каждый класс в зависимости от числа используемых в операции режущих инструментов (РИ) делится на два подкласса:

Классификация структур технологических операций

		Число заготовок, обрабатываемых в операции	
		Одна, $D = 1$	Несколько, $D > 1$
Число режущих инструментов	Один РИ = 1	111. Одноместная одноинструментная последовательная обработка (рис. 3.12, а и б)	211. Многоместная одноинструментная последовательная обработка 2111. С одновременной установкой заготовок (рис. 3.13, а) 2112. С раздельной установкой заготовок (рис. 3.13, б)
	Один РИ = 1	112. Одноместная одноинструментная параллельная обработка (рис. 3.12, в и г)	212. Многоместная одноинструментная параллельная обработка 2121. С одновременной установкой заготовок (рис. 3.13, в) 2122. С раздельной установкой заготовок
	Один РИ = 1		213. Многоместная одноинструментная параллельно-последовательная обработка 2131. С одновременной установкой заготовок (рис. 3.13, г) 2132. С раздельной установкой заготовок (рис. 3.13, д)
Число режущих инструментов	Несколько РИ > 1	121. Одноместная многоинструментная последовательная обработка (рис. 3.12, д и е)	221. Многоместная многоинструментная последовательная обработка 2211. С одновременной установкой заготовок (рис. 3.13, е) 2212. С раздельной установкой заготовок

Число режущих инструментов	Несколько РИ > 1	Число заготовок, обрабатываемых в операции	
		Одна, Д = 1	Несколько, Д > 1
		122. Одноместная многоинструментная параллельная обработка (рис. 3.12, ж и з)	222. Многоместная многоинструментная параллельная обработка 2221. С одновременной установкой заготовкой (рис. 3.13, ж) 2222. С раздельной установкой заготовок
		123. Одноместная многоинструментная параллельно-последовательная обработка (рис. 3.12, и)	223. Многоместная многоинструментная параллельно-последовательная обработка 2231. С одновременной установкой заготовок (рис. 3.13, з) 2232. С раздельной установкой заготовок (рис. 3.13, и)

Примечание. Цифрами обозначен код структуры операции.

структуры (схемы), реализуемые при использовании одного инструмента (РИ-1), и структуры (схемы), реализуемые при использовании в операции нескольких инструментов (РИ > 1). В пределах каждого подкласса выделены по три группы структур: с последовательной обработкой поверхностей или заготовок (с последовательной работой инструментов), с параллельной обработкой и с параллельно-последовательной обработкой.

Для структур 2-го класса возникла необходимость ввести 4-й уровень классификации: каждая группа разделяется на две подгруппы: 1) структуры с одновременной установкой заготовок; 2) операции с раздельной (в том числе непрерывной) установкой заготовок.

На рис. 3.12 приведены примеры реализации структур операций 1-го класса. Простейшей является одноместная одноинструментная последовательная обработка (код 111, рис. 3.12, а и б). Она используется в сильно дифференцированных по структуре технологических процессах, а также на некоторых станках с ЧПУ. Если произ-

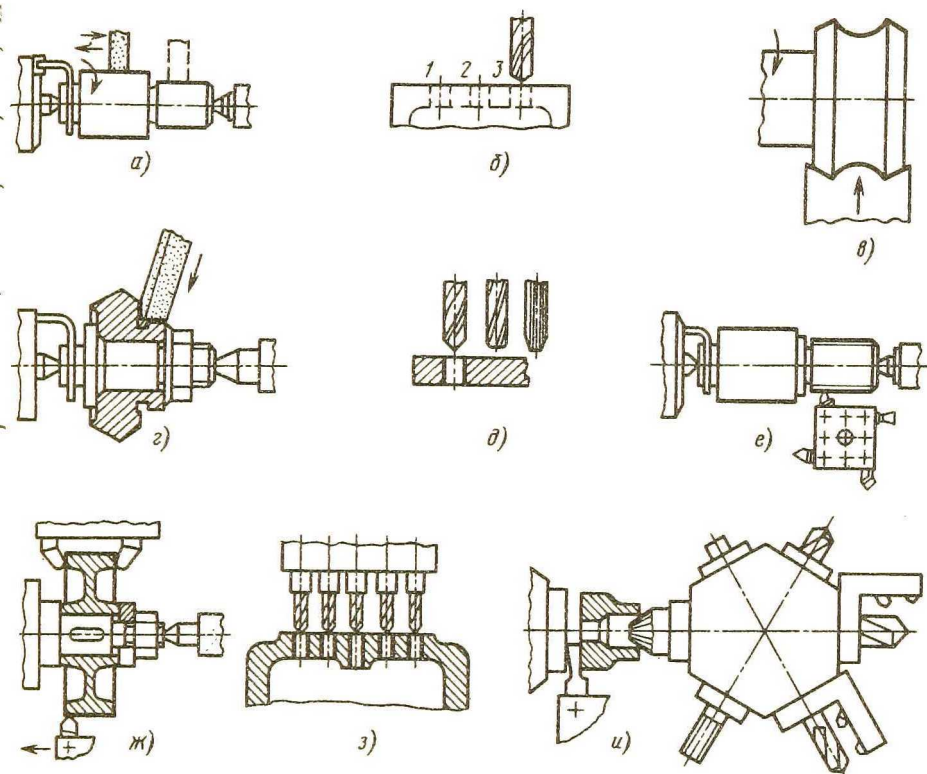


Рис. 3.12. Структуры операций 1-го класса (одноместная обработка)

водительность такой структуры принять за 1,0, то производительность всех других структур будет больше 1.

Сравнительно редко реализуется схема односторонней одноинструментной параллельной обработки (код 112, рис. 3.12, в и г).

При работе на универсальном оборудовании (токарно-винторезных, вертикально-сверлильных и других станках) широко применяется односторонняя, многоинструментная последовательная обработка (код 121, рис. 3.12, д и е). Такая структура применяется также на ряде токарных и других станков с ЧПУ. Производительность структуры с кодом 121 по сравнению со структурами с кодом 111 повышается незначительно, так как сокращается только вспомогательное время, а основное (машинное) время не уменьшается.

Значительный скачок в повышении производительности можно получить, используя одностороннюю многоинструментную параллельную обработку (код 122, рис. 3.12, ж и з). Применяя такие структуры

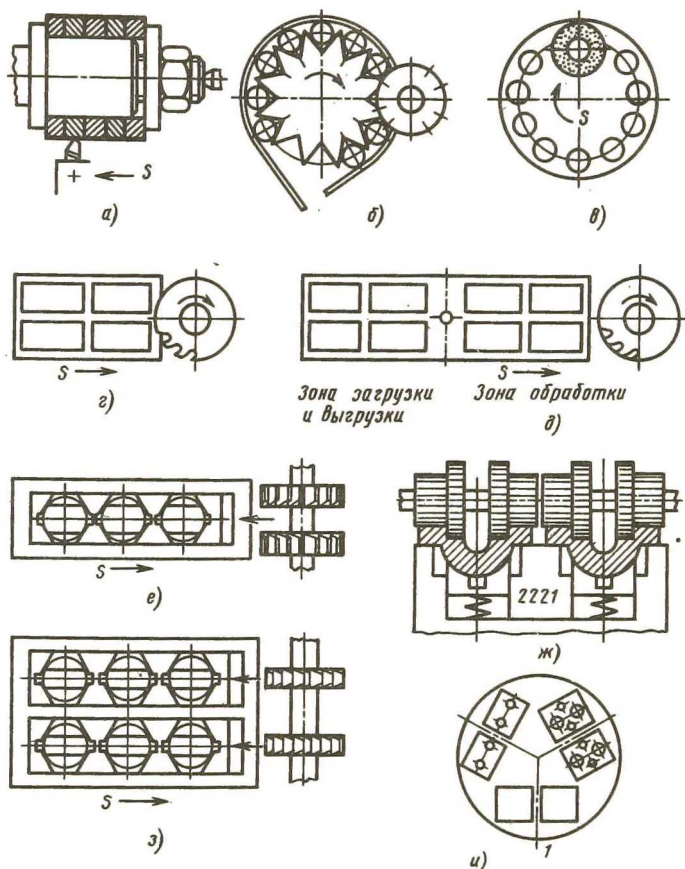


Рис. 3.13. Структуры операций 2-го класса (многоместная обработка)

при построении операций обработки заготовок на многорезцовых, многошпиндельных сверлильных и агрегатных станках, можно добиться сокращения основного времени в десятки раз по сравнению со структурой 111. Одноместная многоинструментная параллельно-последовательная обработка (рис. 3.12, и) часто используется в операциях на токарно-револьверных, токарно-карусельных станках, на одношпиндельных автоматах и т.п. При этом реализуются достоинства и последовательной, и параллельной обработок. Наиболее употребительные структуры 2-го класса (многоместная обработка) представлены на рис. 3.13. Следует прежде всего оговорить, что многоместная обработка применяется, как правило, при изготовлении мало- и

среднегабаритных деталей. Все структуры 2-го класса обеспечивают более высокую производительность по сравнению со структурами соответствующих групп и подгрупп 1-го класса. Так, многоместная одноинструментная последовательность обработки (коды 211 и 2112, рис. 3.13, *а* и *б*) повышает производительность по сравнению со структурой с кодом 111 в 1,5–2 раза из-за значительного сокращения вспомогательного времени. На рис. 3.13, *в* показана операция шлифования деталей на плоскошлифовальном станке с круглым столом. По классификации это будет структура многоместной одноинструментной параллельной обработки (код 2121). На рис. 3.13, *г* показана многоместная одноинструментная параллельно-последовательная обработка с одновременной установкой заготовок (код 2131), а на рис. 3.13, *д* – обработка с раздельной установкой заготовок (код 2132). Производительность последней схемы выше предшествующей, так как наличие позиционного стола обеспечивает перекрытие вспомогательного времени на установку заготовок машинным временем.

Новый шаг в повышении производительности труда может быть сделан при переходе к схемам *многоинструментной* многоместной обработки. На рис. 3.13, *е* приведена последовательная (код 2211), а на рис. 3.13, *ж* – параллельная (код 2221) обработка. Наиболее высокую производительность может дать применение многоместной многоинструментной параллельно-последовательной обработки с одновременной (код 2231, рис. 3.13, *з*) и раздельной (код 2232, рис. 3.13, *и*) установкой заготовок. Отсутствие функциональных количественных зависимостей производительности и себестоимости операции от ее структуры обуславливает проверочный режим решения задачи о выборе оптимального варианта структуры операции: для каждой операции целесообразно наметить несколько вариантов ее структуры, а затем по критериям производительности или технологической себестоимости отобрать оптимальный для заданных условий вариант.

3.10.2. Определение припусков на обработку

В авиационном двигателестроении используются два метода определения припусков: нормативный, или табличный, и расчетно-аналитический, или поэлементный. *Нормативный метод* является простым, удобным, менее трудоемким. Обычно используют нормативы (ГОСТы, ОСТы, СТП) номинальных значений общих и операционных припусков. *Поэлементный метод* является более кропотливым, трудо-

емким, но он позволяет получать значения припусков, близкие к оптимальным, путем более точного учета конкретных условий выполнения операций.

Рассмотрим (коротко) основные положения поэлементного метода. С учетом условий выполнения операций целесообразно выделить три различных случая определения операционных припусков.

Первый расчетный случай — определение припусков на обработку плоскостей и торцов. Расчетное уравнение (см. схему на рис. 2.10, а) может быть представлено в виде

$$z_{i\min} = (Rz + h + \omega_{\phi})_{i-1} \dots \quad (3.3)$$

Второй расчетный случай — определение припусков на обработку цилиндрических поверхностей деталей, представляющих собой тела вращения (валы, втулки и т.д.). Расчетное уравнение при этом имеет структуру

$$z_{i\min} = 2(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{(\delta_n)^2 + \sum_{m+n} T_{\phi i}^2} \dots \quad (3.4)$$

В уравнениях (3.3) и (3.4) Rz — высота неровностей профиля; h — глубина подлежащего удалению дефектного слоя; ω_{ϕ} — неконтролируемая погрешность формы (неплоскостность); δ_n — смещение оси заготовки в расчетном сечении из-за изогнутости,

$$\delta_n = 2\Delta_n l_x,$$

где Δ_n — удельная изогнутость, мм/пог.м; $l_x = 0,5l$ при установке в центрах и $l_x = l$ вылета заготовки при установке в патроне; $T_{\phi i}$ — допуск на биение обработанной поверхности относительно установочной базы в i -й операции. Значения Rz , h , ω_{ϕ} , Δ_n принимают по справочным данным в зависимости от характера предшествующей операции, l_x — по условиям выполнения операции. Следует отметить, что влияние изогнутости δ_n необходимо учитывать только при отношении l/d (длины к диаметру заготовки) ≥ 2 .

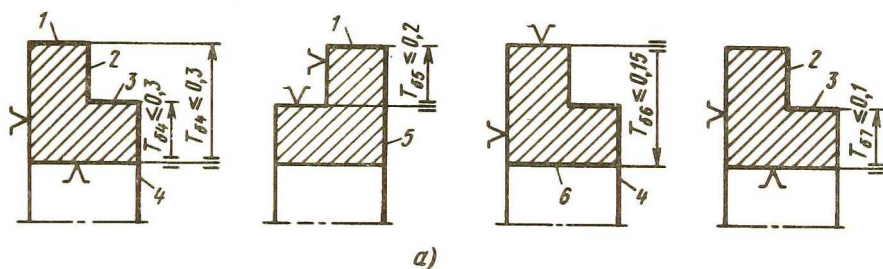
Определение составляющей $\sqrt{\sum_{m+n} T_{\phi i}^2} = T_{\phi \Delta}$ для простых случаев может быть легко выполнено по операционным эскизам. При сложной

Оп.4 Черновое
обтачивание

Оп.5 Чистовое
обтачивание

Оп.6 Чистовое
обтачивание

Оп.7 Чистовое
обтачивание



а)

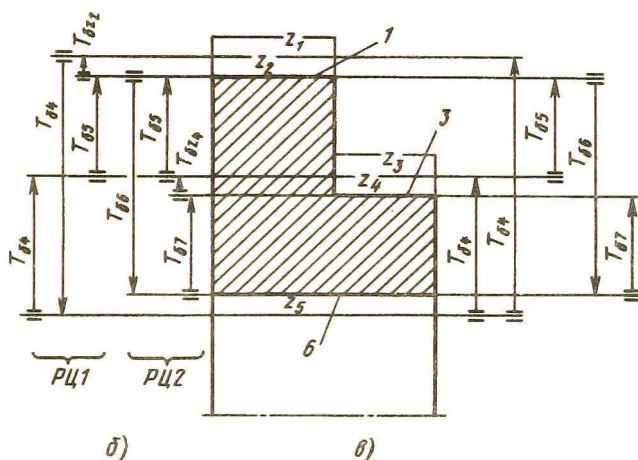


Рис. 3.14. Схемы для определения неравномерности припуска на обработку поверхностей вращения (цифрами обозначены номера поверхностей)

размерной связи определение $T_{\delta \Delta}$ целесообразно выполнять путем построения и расчета РЦ биений. Рассмотрим решение этой задачи на примере. На рис. 3.14, а показан фрагмент ТП обработки заготовки. Обрабатываемые поверхности обозначены цифрами, а установочные и исходные базы – знаком ∇ . Каждая обрабатываемая цилиндрическая поверхность координируется относительно технологической базы через допуск на биение T_{δ} с индексом номера операции. На операционных эскизах и на размерной схеме (рис. 3.14, б) эти допуски изображены в виде векторов, направленных от базы к обрабатываемой

поверхности. Пусть необходимо определить составляющую $T_{6\Delta}$ для припуска z_2 и z_4 на чистовую обработку поверхностей 1 и 3.

Искомые составляющие $T_{6\Delta}$ припусков z_2 и z_4 (на рис. 3.14, в они обозначены T_{6z2} и T_{6z4}) будут замыкающими звеньями РЦ биений. Необходимые для расчета T_{6z2} и T_{6z4} цепи биений показаны на рис. 3.14, б, слева от размерной схемы. Отличительной особенностью цепей биений является то, что их составляющими звеньями являются параметры, номинальное значение которых равно нулю. Поэтому для них нет необходимости составлять уравнение РЦ, уравнение замыкающего звена — составляется сразу уравнение допусков цепи в соответствии с уравнением (2.4):

$$\text{для цепи РЦ1: } T_{\Delta} = T_{6z2} = T_{64} + T_{64} + T_{65} \dots$$

$$\text{для цепи РЦ2: } T_{\Delta} = T_{6z4} = T_{65} + T_{66} + T_{67} \dots$$

Теперь необходимо скорректировать уравнения по их составу. Дело в том, что поверхности, обработанные в одной операции, можно считать практически соосными. При принятой же методике построения цепей биений это обстоятельство не учитывается и возникает формальная ошибка — в размерную цепь биений (уравнение РЦ1) оказалась включенной пара допусков на биение $T_{64} + T_{64}$. Для устранения таких ошибок нужно выполнять рекомендацию: если в уравнении допусков цепи биений имеется пара одинаковых звеньев, они исключаются. С учетом этой рекомендации уравнение РЦ1 преобразуется к виду $T_{6z2} = T_{65}$ или $T_{6z2} = 0,2$ мм. Уравнение РЦ2 не нуждается в корректировке. Применяя квадратичное суммирование векторов, получим

$$T_{6z4} = \bar{T}_{65} + \bar{T}_{66} + \bar{T}_{67} = \sqrt{T_{65}^2 + T_{66}^2 + T_{67}^2} = \\ = \sqrt{0,2^2 + 0,15^2 + 0,12^2} = 0,27 \text{ мм.}$$

Третий расчетный случай — определение припусков на обработку цилиндрических поверхностей, координируемых линейными размерами (отверстий в корпусных деталях и т.п., рис. 3.15, а). В уравнении $z_{i\min} = z_{ip} + z_{in}$ составляющая z_{in} для компенсации неравномерности

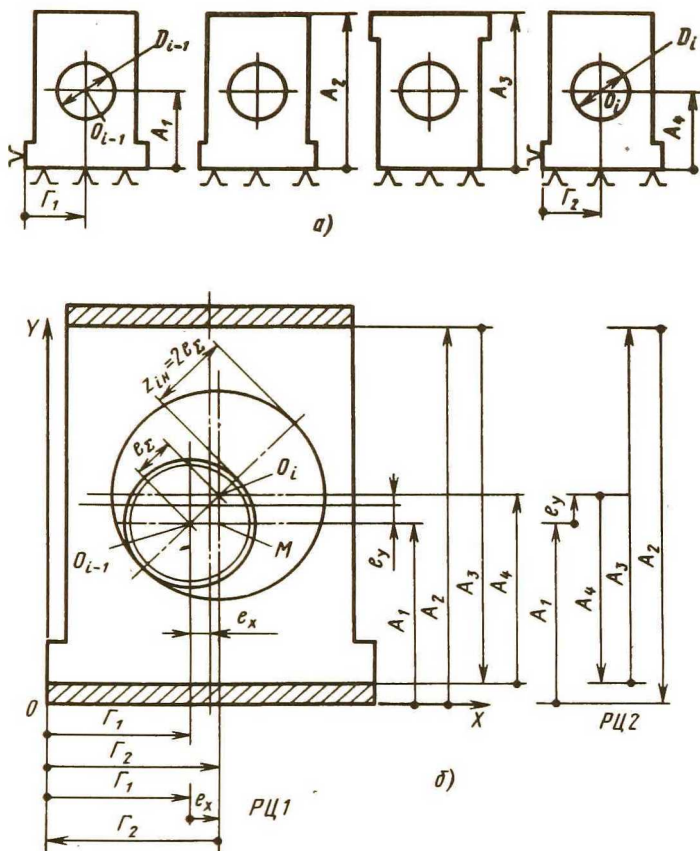


Рис. 3.15. Схемы для определения неравномерности припуска на обработку отверстия в корпусной детали

припуска для данного расчетного случая $z_{in} = 2e_{\Sigma}$, где e_{Σ} – наибольшее возможное смещение осей отверстия после предшествующей O_{i-1} и выполняемой O_i ступеней обработки (рис. 3.15, б). Величина e_{Σ} может быть определена из треугольника $O_{i-1}MO_i$:

$$e_{\Sigma} = \sqrt{e_x^2 + e_y^2},$$

где e_x и e_y – наибольшие возможные смещения осей O_i и O_{i-1} из-за колебания координирующих размеров в пределах их допусков по направлениям x (горизонтальному) и y (вертикальному).

Расчетное уравнение для определения припуска будет иметь вид

$$z_{i\min} = 2[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{e_x^2 + e_y^2}]. \quad (3.5)$$

Пример определения e_x и e_y путем построения РЦ показан на рис. 3.15, б. Смещение осей e_y в вертикальном направлении можно определить, построив и решив размерную цепь РЦ2, а в горизонтальном направлении – размерную цепь РЦ1. Для РЦ2

$$A_{\Delta} = e_y = A_2 + A_4 - A_1 - A_3.$$

Пусть, например, по технологическому процессу (рис. 3.15, а) операционные размеры имеют значения $A_1 = 61 \pm 0,4$; $A_2 = 111_{-0,23}^0$; $A_3 = 110_{-0,14}^0$; $A_4 = 60 \pm 0,1$. Используя способ предельных значений при указанных размерах, получим

$$e_{y\max} = A_{2\max} + A_{4\max} - A_{1\min} - A_{3\min} = 0,64 \text{ мм};$$

$$e_{y\min} = A_{2\min} + A_{4\min} - A_{1\max} - A_{3\max} = -0,73 \text{ мм}.$$

Эти данные означают, что в зависимости от сочетаний крайних значений координирующих размеров ось O_i может быть выше оси O_{i-1} на 0,64 мм (как изображено на размерной схеме рис. 3.15, б) или ниже на 0,73 мм. Для дальнейших расчетов следует принять большее по абсолютному значению e_y (в нашем примере $e_y = 0,73$).

3.10.3. Расчет операционных размеров

Расчет диаметральных операционных размеров является сравнительно простой задачей. Номинальные значения диаметральных размеров могут быть определены по уравнениям:

а) при использовании для расчетов *номинального* значения припуска

$$d_{i-1} = d_i + z_i \text{ для вала}; \quad (3.6)$$

$$D_{i-1} = D_i - z_i \text{ для отверстия}; \quad (3.7)$$

б) при расчете на основе *минимального* припуска:

$$d_{i-1} = d_i + z_{i\min} + T_{i-1} \text{ для вала;} \quad (3.8)$$

$$D_{i-1} = D_i - z_{i\min} - T_{i-1} \text{ для отверстия.} \quad (3.9)$$

При определении размеров заготовки уравнения (3.8) и (3.9) целесообразно привести к виду

$$d_{i-1} = d_i + z_{i\min} - e_{i-1} \text{ для вала;} \quad (3.10)$$

$$D_{i-1} = D_i - z_{i\min} - ES_{i-1} \text{ для отверстия.} \quad (3.11)$$

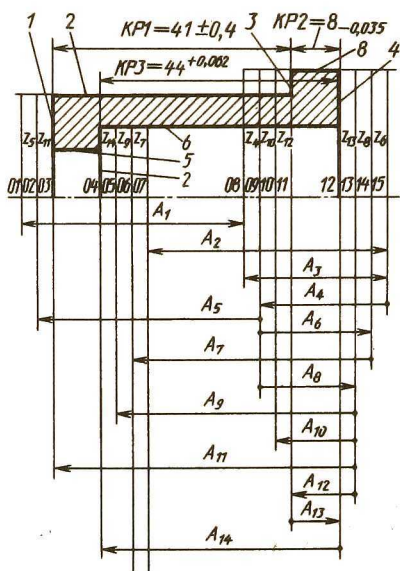
В уравнениях (3.6) – (3.11) индекс "i" относится к выполняемой ступени обработки, а индекс "i – 1" – к предшествующей.

Методику расчета линейных операционных размеров рассмотрим на примере ТП, приведенного на рис. 3.10.

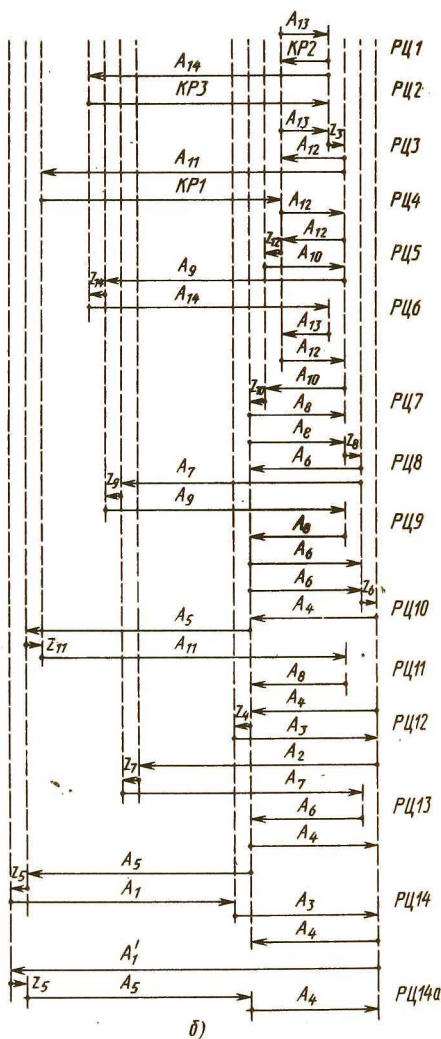
Для начала построим размерную схему ТП (рис. 3.16, а). Следует обратить внимание на индексацию припусков: для удобства последующих расчетов операционным припускам присвоены номера операционных размеров, при выполнении которых они удаляются. Так, левый крайний припуск обозначен z_5 , поскольку он снимается при выдерживании операционного размера A_5 и т.п.

Следующим шагом будет выявление замыкающих звеньев (чертежных размеров и припусков на обработку) и построение относительно каждого замыкающего звена технологической размерной цепи. Число РЦ (включая и двухзвенные) должно в точности соответствовать сумме числа чертежных размеров КР и числа припусков z . Методика выявления и построения РЦ была подробно описана в подразд. 2.6.2. На рис. 3.16, б показаны все РЦ, необходимые для расчета линейных операционных размеров ТП, представленного на рис. 3.10. В их числе – двухзвенные цепи РЦ1 и РЦ2. Обычно при ручном расчете операционных размеров такие цепи не строят, но при автоматизированном проектировании ТП ЭВМ будет строить и двухзвенные РЦ по унифицированной программе. Построение РЦ, как и их решение, начинается с конца технологического процесса.

Следующий шаг – составление уравнений замыкающих звеньев. При этом используется простое мнемоническое правило (см. подразд. 2.8.2): размеры, имеющие на контуре цепи направление, противоположное направлению замыкающего звена, записываются в урав-



a)



б)

Рис. 3.16. Схемы для расчета линейных операционных размеров:

а — размерная схема процесса; б — размерные цепи; 1–8 — номера поверхностей

нение замыкающего звена с положительным знаком, а составляющие размеры, направленные в ту же сторону, что и замыкающее звено, — с отрицательным знаком.

Для решения задачи на ЭВМ обязательно, а для ручного решения желательно расположить уравнения замыкающих звеньев в списке в упорядоченном виде, т.е. в последовательности их решения. Чтобы избежать необходимости выполнять подбор значений составляющих звеньев и итерации, уравнения следует расположить в такой последовательности, чтобы при решении каждого из них в уравнении был только один неизвестный (искомый) составляющий размер. Если в цепи есть несколько составляющих звеньев, то все они, кроме искомого,

Таблица 3.9

*Уравнения замыкающих звеньев РЦ
в упорядоченной последовательности (см. рис. 3.16)*

Номер цепи	Уравнение замыкающего звена	Номер цепи	Уравнение замыкающего звена
РЦ1	$KP2 = \underline{A}_{13}$	РЦ9	$z_9 = A_6 + A_9 - \underline{A}_7 - A_8$
РЦ2	$KP3 = \underline{A}_{14}$	РЦ10	$z_6 = \underline{A}_4 - A_6$
РЦ3	$z_{13} = \underline{A}_{12} - A_{13}$	РЦ11	$z_{11} = \underline{A}_5 + A_8 - A_{11}$
РЦ4	$KP1 = \underline{A}_{11} - A_{12}$	РЦ12	$z_4 = \underline{A}_3 - A_4$
РЦ5	$z_{12} = \underline{A}_{10} - A_{12}$	РЦ13	$z_7 = A_4 + A_7 - A_2 - A_6$
РЦ6	$z_{14} = A_{12} + A_{14} - \underline{A}_9 - A_{13}$	РЦ14	$z_5 = \underline{A}_1 + A_3 - A_4 - A_5$
РЦ7	$z_{10} = \underline{A}_8 - A_{10}$	РЦ14а	$z_5 = A'_1 - A_4 - A_5$
РЦ8	$z_8 = \underline{A}_6 - A_8$		

ко времени решения данной цепи уже должны быть известны. Пример такого упорядоченного списка уравнений замыкающих звеньев цепей (см. рис. 3.16) приведен в табл. 3.9.

Следует обратить внимание на то, что на контурах размерных цепей и в табл. 3.9 выделены подчеркиванием (например, A_i) те

составляющие звенья, которые могут быть определены при решении данной РЦ. Такие звенья названы нами *настроечными составляющими звеньями*. В качестве обоснования можно привести следующее. Некоторые операционные размеры могут входить в качестве составляющих звеньев в несколько РЦ. Например, размер A_{12} входит в сос-

тав РЦ3, РЦ4, РЦ5 и РЦ6 (см. табл. 3.9). В каждой цепи он выполняет функции составляющего звена, т.е. при своем изменении в пределах допуска он увеличивает или уменьшает величину замыкающего звена. Но для обеспечения исходного (замыкающего) звена в заданных чертежом или техническими требованиями пределах в каждой технологической РЦ можно изменить (подбирать, регулировать) только один составляющий размер, который целесообразно выделить и назвать настроечным. Остальные составляющие звенья данной цепи определялись ранее из такого же условия, и при решении данной цепи их значения изменять уже нельзя. Например, в РЦ3 настроечным звеном (искомым, он подчеркнут) является операционный размер A_{12} ; изменяя

его значение (подбирая, рассчитывая) в определенных пределах, можно обеспечить требуемую величину замыкающего звена – припуска z_{13} . При решении других цепей (РЦ4, РЦ5, РЦ6) этот размер уже является заданным, известным, изменять его нельзя. Настроечное звено является в то же время тем единственным размером, который необходимо определить при решении данной цепи.

Введение понятия настроечного звена облегчает решение задачи по выявлению и построению технологических РЦ и определению условий расчета каждого операционного размера. Решив вопрос, на что влияет данный операционный размер (т.е. по отношению к какому чертежному размеру или припуску он является настроечным звеном), нетрудно будет выявить состав цепи и построить ее, выбрать способ расчета.

Следующим этапом является расчет операционных размеров на основе решения технологических РЦ. Выполнение этого расчета для ТП можно организовать по-разному. Можно, например, брать РЦ в упорядоченной последовательности, решать от начала и до конца одну цепь, а затем повторять все действия решения для последующих РЦ.

При этом неизбежны многократные обращения к нормативной и справочной базе. Этого можно избежать, если до начала расчета определить все операционные припуски (расчетом по элементам или по таблицам), установить квалитеты и определить допуски на все операционные размеры исходя из среднеэкономической точности используемых методов обработки (см. табл. 2.4). Выбранные из нормативных данных параметры сводятся в таблицу (табл. 3.10). Содержание ее не требует пояснений. Отметим только, что значения предельных отклонений на размеры заготовки назначены (установлены) по ОСТ 1.41187-78, а значение допусков на размеры, получаемые при механической обработке, — по ГОСТ 25346-82 (СТ СЭВ 145-75).

Перейдем теперь к расчету операционных размеров. Для операционных размеров, являющихся настроечными в двухзвенных РЦ (A_{13} , A_{14}), задача их определения решается элементарно просто. Для нашего примера $A_{13} = KP2$ и $A_{14} = KP3$. Представляя вместо $KP2$ и $KP3$ их значения по чертежу детали (см. рис. 3.9 и 3.16) и допуски по табл. 3.10, получаем $A_{13} = 8_{-0,035}$ и $A_{14} = 44_{-0,062}$.

В качестве замыкающего (исходного) звена технологической РЦ могут быть: припуск на механическую обработку; конструкторский размер, непосредственно не выдерживаемый при обработке; размер глубины термоупрочненного (цементированного и т.п.) слоя. Расчет операционных размеров в каждом из указанных случаев имеет свои особенности, поэтому есть необходимость рассмотреть методику решения задачи для каждого расчетного случая отдельно.

Методику и последовательность *определения линейного размера из условия обеспечения конструкторского размера*, непосредственно не выполняемого при обработке, рассмотрим на примере определения операционного размера A_{11} , являющегося настроечным (искомым) в

РЦ4. К этому времени все предшествующие РЦ (см. табл. 3.9) должны быть решены, а входящие в них операционные размеры A_{14} , A_{13} и A_{12} определены. Допустим, что это выполнено и мы имеем $A_{14} = 44_{+0,062}$, $A_{13} = 8_{-0,035}$ и $A_{12} = 8,4_{-0,058}$.

Тогда уравнение замыкающего звена РЦ4 запишется так: $A_{\Delta} = KP1 = A_{11} - A_{12}$. Приведенное выше условие определения размера A_{Δ} можно сформулировать и так: предельные значения (или номинал и предель-

*Операционные допуски и припуски для ТП,
приведенного на рис. 3.10*

Номер и наименование операции	Размер		Допуск T_i			Припуск $x_{i\min}$	
	Индекс	Номинальное значение	Индекс	Квалитет	Значение	Индекс	Значение
40. Шлифование:							
торца 4 однократное,	A_{13}	8	T_{13}	9	-0,035	z_{13}	0,3
торца 2 однократное	A_{14}	44	T_{14}	9	+0,062	z_{14}	0,3
35. Шлифование							
торца 3 однократное	A_{12}	8	T_{12}	10	-0,058	z_{12}	0,3
30. Термообработка							
25. Чистовое обтачивание:							
торца 3	A_{10}	9	T_{10}	11	-0,09	z_{10}	0,55
торца 1	A_{11}	49	T_{11}	11	-0,16	z_{11}	0,55
20. Чистовое обтачивание:							
торца 4	A_8	9	T_8	12	-0,15	z_8	0,55
торца 2	A_9	45	T_9	11	+0,16	z_9	0,55
15. Черновое обтачивание:							
торца 4	A_6	10	T_6	13	-0,27	z_6	1,0
торца 2	A_7	44	T_7	12	+0,25	z_7	1,0

Номер и наименование операции	Размер		Допуск T_i			Припуск $x_{i\min}$	
	Индекс	Номинальное значение	Индекс	Квалитет	Значение	Индекс	Значение
10. Черновое обтачивание:							
торца 3	A_4	10	T_4	14	-0,43	z_4	1,2
торца 1	A_5	41	T_5	13	-0,39	z_5	1,2
05. Штамповка							
	A_1	41	es_1		+0,5		
			ei_1		-1,0		
	A_2	44	es_2		+0,5		
			ei_2		-1,0		
	A_3	12	es_3		+2,5		
			ei_3		-1,0		
	A_1	53	es'_1		-2,5		
			ei'		-1,0		

ные отклонения) размера A_{11} должны быть такими, чтобы, выполнив их при обработке, обеспечить конструкторский размер в заданных пределах ($KP1 = 41 \pm 0,4$). Такие задачи называются проектными (1-го типа), они решаются в определенной последовательности, нарушение которой может привести к грубым ошибкам. При условии, что допуски на операционные размеры в соответствии со среднеэкономической точностью методов обработки уже назначены, первым шагом решения задачи будет проверка выполнения правила суммирования допусков в соответствии с уравнением (2.6), которое применительно к решению данной задачи может быть представлено неравенством

$$\sum_{m+n} T_i \leq T_{\Delta}, \quad (3.12)$$

т.е. сумма допусков составляющих размеров цепи должна быть меньше или равна допуску замыкающего звена (конструкторского размера). Если условие (3.12) выполняется, решение доводится до конца; если оно не выполняется, следует рассмотреть возможность уменьшения $\sum T_i$ путем уменьшения допусков на искомый или другие составляющие звенья цепи. Если это невозможно, то следует перестроить ТП в направлении, обеспечивающем малозвенность цепи (вплоть до двухзвенной). Для РЦ4 $A_{\Delta} = KP1 = A_{11} - A_{12}$ по уравнению (3.12) сумма полей допусков составляющих звеньев

$$\sum T_i = T_{11} + T_{12} = 0,16 + 0,058 = 0,218 < T_{\Delta} = 0,8 \text{ мм.}$$

Для дальнейшего решения задачи примем способ предельных значений. Тогда следующим шагом будет составление уравнений предельных значений замыкающего звена. В общем виде это были уравнения (2.6) и (2.7). Для нашего примера

$$A_{\Delta \max} = A_{11 \max} - A_{12 \min};$$

$$A_{\Delta \min} = A_{11 \min} - A_{12 \max}.$$

Разрешим их относительно искомого составляющего размера A_{11} :

$$\text{из уравнения для } A_{\Delta \max} \quad A_{11 \max} = A_{\Delta \max} + A_{12 \min};$$

$$\text{из уравнения для } A_{\Delta \min} \quad A_{11 \min} = A_{\Delta \min} + A_{12 \max}.$$

$$\begin{aligned} \text{Значения известных размеров } A_{\Delta} = KP1 &= 41 \pm 0,4; \quad A_{12} = \\ &= 8,4_{-0,058}^{+0,058}. \end{aligned}$$

Тогда после подстановки получим

$$A_{11 \max} = 49,742; \quad A_{11 \min} = 49,00 \text{ мм.}$$

Из анализа схемы выполнения размера A_{11} (в операции 5 на рис. 3.10) следует, что для него нужно принять систему вала (общее правило — поле допуска должно располагаться в металл — см.

подразд. 2.9.1). Тогда с учетом назначенного ранее допуска $T_{11} = 0,16$ мм, округляя номинальное значение, примем $A_{11} = 49,5_{-0,16}^0$.

Из приведенной методики следует, что для получения уравнений предельных значений искомого размера A_{11} надо было сначала составить уравнения предельных значений замыкающего звена. Уравнения предельных значений искомого составляющего размера можно получить и непосредственно, если пользоваться следующими правилами.

Если искомый размер увеличивающий,

$$\hat{A}_{i\max} = A_{\Delta\max} + \sum_n \hat{A}_{i\min} - \sum_{m-1} \hat{A}_{i\max}; \quad (3.13)$$

$$\hat{A}_{i\min} = A_{\Delta\min} + \sum_n \hat{A}_{i\max} - \sum_{m-1} \hat{A}_{i\min}. \quad (3.14)$$

Если искомый размер уменьшающий,

$$\hat{A}_{i\max} = \sum_m \hat{A}_{i\min} - \sum_{n-1} \hat{A}_{i\max} - A_{\Delta\min}; \quad (3.15)$$

$$\hat{A}_{i\min} = \sum_m \hat{A}_{i\max} - \sum_{n-1} \hat{A}_{i\min} - A_{\Delta\max}. \quad (3.16)$$

Напомним, что $\hat{A}_i$ и m — увеличивающие, составляющие звенья и их число; $\hat{A}_i$ и n — уменьшающие размеры и их число.

Рассмотрим теперь содержание и методику решения 2-го варианта проектной задачи — *определение операционного размера из условия обеспечения минимально необходимого припуска на последующую обработку*.

Анализ состава РЦ в табл. 3.9 показывает, что замыкающим звеном большинства цепей является припуск на обработку. Кроме отдельных случаев, значение припуска регламентируется односторонне: требуется гарантировать только минимальное значение припуска $z_{i\min}$ из расчета возможности удаления при обработке дефектного слоя h и шероховатости Rz , оставшихся от предшествующей ступени обработки. Другое максимально возможное значение припуска при необходимости может быть вычислено по методике проверочной задачи или по уравнению

$$z_{imax} = z_{imin} + \sum_{m+n} T_i. \quad (3.17)$$

Поскольку исходным для расчета является предельное (минимальное) значение замыкающего звена, то наиболее удобным для решения этого варианта проектной задачи является способ предельных значений. Принимая в уравнении (2.7) $A_{\Delta min} = z_{imin}$, получим исходное расчетное уравнение

$$z_{imin} = \sum_m \hat{A}_{imin} - \sum_n \hat{A}_{imax}. \quad (3.18)$$

Решая это уравнение относительно искомого составляющего размера (после подстановки или в общем виде), определяем одно значение этого размера: $\hat{A}_{imin}$, если он увеличивающий, или $\hat{A}_{imax}$, если искомый размер уменьшающий. Рассчитав одно предельное значение искомого размера, выбираем операционный допуск на этот размер в соответствии с экономической точностью используемого метода обработки. Выбрав систему простановки допуска, можно рассчитать номинал искомого размера, пользуясь соотношениями соответственно для вала и отверстия

$$A_i = A_{imin} - ei; \quad (3.19)$$

$$A_i = A_{imax} - ES. \quad (3.20)$$

Применение изложенной методики рассмотрим на примерах определения операционных размеров A_9 , A_2 и A_1 (см. рис. 3.16 и табл. 3.9).

Размер A_9 является настроечным звеном в размерной цепи РЦ6 (см. рис. 3.16), его следует определять из условия обеспечения минимально необходимого припуска z_{14min} на шлифование торца 21 (см. рис. 3.10). Ранее было установлено уравнение замыкающего звена РЦ6

$$z_{14} = A_{12} + A_{14} - A_9 - A_{13}.$$

В соответствии с уравнением (3.18)

$$z_{14\min} = A_{12\min} + A_{14\min} - A_{9\max} - A_{13\max}.$$

Решая это уравнение относительно искомого размера A_9 , получаем

$$A_{9\max} = A_{12\min} + A_{14\min} - z_{14\min} - A_{13\max}.$$

Значения припуска $z_{14\min} = 0,3$ мм и допуска $T_9 = 0,16$ были установлены ранее (см. табл. 3.10). Ко времени решения РЦ6 уже известны $A_{12} = 8,4_{-0,058}^+$, $A_{14} = 44_{-0,062}^{+0,062}$ и $A_{13} = 8_{-0,035}^-$. Подставляя в уравнение для $A_{9\max}$ значения членов уравнения, получаем $A_{9\max} = 44,042$ мм. Для размера A_9 допуск должен проставляться по системе отверстия (см. рис. 3.10).

Тогда

$$A_9 = A_{9\min} = A_{9\max} - T_9 = 44,042 - 0,16 = 43,882 \text{ мм.}$$

Округлив в сторону увеличения припуска, принимаем $A_9 = 43,8_{-0,16}^{+0,16}$.

Аналогично решая размерные цепи РЦ 7 – РЦ 13, определяем $A_8 = 9,50_{-0,15}^-$, $A_6 = 10,3_{-0,27}^-$, $A_7 = 43,5_{-0,25}^{+0,25}$, $A_4 = 11,7_{-0,43}^-$, $A_5 = 41,1_{-0,39}^-$, $A_3 = 13,9_{-1,0}^{+2,5}$, $A_2 = 43_{-1,0}^{+0,5}$.

Рассмотрим *определение размера A_1* , имеющее определенные особенности. Размер A_1 является настроечным звеном в размерной цепи РЦ14, его нужно определять из условия обеспечения минимально необходимого значения z_5 на черновую обработку торца 1. Уравнение замыкающего звена РЦ 14 имеет вид

$$z_5 = A_1 + A_3 - A_4 - A_5.$$

Анализ этого уравнения показывает, что в его составе имеются два линейных размера заготовки: A_1 и A_3 . В работах [5, 9]

показано, что если в технологическую РЦ входит два и более линейных размеров штампованной заготовки, то можно и нужно заменить их одним расчетным размером. С учетом этого заменяем размер A_1 на A'_1 , значение которого определяется как $A'_1 = A_1 + A_3$.

Тогда размерная цепь РЦ 14 должна быть заменена размерной цепью РЦ 14 а (см. рис. 3.16, б).

Уравнение замыкающего звена этой цепи примет вид

$$z_5 = A_1 - A_5 - A_4.$$

По уравнению (3.18) $z_{5\min} = A'_{1\min} - A_{5\max} - A_{4\max}$, откуда иско-
мый размер $A'_{1\min} = z_{5\min} + A_{5\max} + A_{4\max}$.

Ранее были определены: $z_{5\min} = 1,2$ мм; $A_5 = 41,5_{-0,39}$; $A_4 = 11,7_{-0,43}$. Тогда, подставляя в уравнение для нахождения $A'_{1\min}$ известные члены, получаем

$$A'_{1\min} = 1,2 + 41,1 - 11,7 = 54,0 \text{ мм.}$$

Ранее были назначены предельные отклонения A_1 : $es = +2,5$ и $ei = -1,0$. Тогда в соответствии с уравнением (3.19) (система вала)

$$A'_1 = A'_{1\min} - ei_1 = 54,0 - (-1,0) = 55,0 \text{ мм.}$$

Принимаем $A = 55,0_{-1,0}^{+2,5}$.

Если замена размеров заготовки A_1 , A_2 и A_3 системой размеров A'_1 , A_2 и A_3 нежелательна для заготовительного цеха, то можно оставить систему размеров A_1 , A_2 и A_3 . При этом значение A_1 следует вычислить по номинальным значениям $A_1 = A'_1 - A_3 = 55 - 13,9 = 41,1$ мм, а с учетом принятых предельных отклонений $A_1 = 41,1_{-1,0}^{+2,5}$.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды и источники исходной информации для разработки ТП.
2. Назовите общие правила (рекомендации) и последовательность разработки ТП.
3. Перечислите методы классификации и методы кодирования деталей.
4. Объясните структуру конструкторского и технологического кодов.
5. Объясните сущность методов группирования деталей и метода выборки.
6. Перечислите факторы, влияющие на выбор вида и способа получения исходных заготовок.
7. Перечислите факторы, влияющие на число ступеней обработки поверхностей.
8. Объясните понятие уточнения ТП и отдельных операций и их использование при расчете числа ступеней обработки.
9. Перечислите факторы, определяющие последовательность обработки поверхностей.
10. Назовите этапы ТП. Как разрабатывается принципиальная схема ТП.
11. Что такое технологические базы? Назовите основные правила (рекомендации) по их выбору.
12. Объясните принципы концентрации и дифференциации операций. Назовите виды концентрации операций.
13. Дайте классификацию структур технологических операций.
14. Дайте определение припусков на обработку. Запишите расчетные уравнения для определения минимального припуска на обработку плоскостей и торцов, цилиндрических поверхностей.
15. Перечислите методы определения составляющей припуска, зависящей от его неравномерности.
16. Запишите уравнения для расчета диаметральных операционных размеров.
17. Дайте определение линейных операционных размеров из условия обеспечения конструкторского размера, не выдерживаемого непосредственно при обработке.
18. Дайте определение линейных операционных размеров из условия обеспечения минимально необходимого припуска на последующую обработку.

Г Л А В А 4

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

4.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ. СТРУКТУРА И СОСТАВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Технологическая подготовка производства (ТПП) включает множество разнообразных функций, выполняемых на предприятии с поступлением чертежей нового изделия и до достижения проектной трудоемкости и металлоемкости его изготовления. Для сложных изделий авиационной техники ТПП требует значительных затрат средств, труда и времени (до 3–5 лет). Это связано с большим объемом работ по ТПП.

Длительные сроки освоения новых изделий не соответствуют современным требованиям научно-технического прогресса. В условиях ограниченных ресурсов, кадров ИТР и производственных рабочих проблему многократного сокращения сроков ТПП возможно решить главным образом путем повышения уровня ее автоматизации.

Рассмотрим ТПП как объект автоматизации. Автоматизировать ТПП – это значит в комплексе автоматизировать следующие ее основные функции: анализ технологичности конструкции изделий; технологический анализ производства; организационно-техническое планирование; проектирование ТП и средств технологического оснащения; нормирование труда и материалов; подготовка управляющих программ для оборудования с программным управлением; проектирование специализированных участков, цехов, производственных систем; изготовление средств технологического оснащения; управление ТПП. По своим свойствам эти функции неоднородны и автоматизируются с использованием различных методов и средств. На рис. 4.1 приведена классификация функциональных задач (функций) ТПП и указаны основные системы, с помощью которых реализуется автоматизация этих функций. В зависимости от технической базы автоматизации все

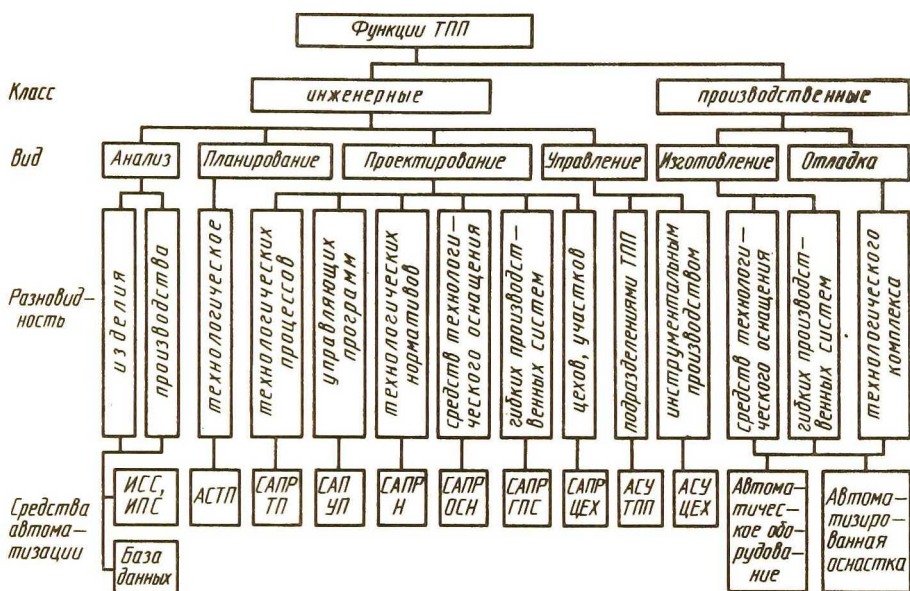


Рис. 4.1. Классификация функциональных задач ТПП

функции ТПП разделены на два класса: инженерные и производственные. Технической базой автоматизации инженерных функций является ЭВМ. Именно на этой базе разрабатываются информационно-справочные (ИСС) и информационно-поисковые (ИПС) системы, системы проектирования (САПР), планирования и управления (АСУ) (рис. 4.1). По каждой функции, как правило, разрабатываются и применяются ряд систем, ориентированных на различные предметные области.

Технической базой автоматизации производственных функций ТПП является гибкое автоматизированное оборудование, с помощью которого разрабатываются гибкие автоматизированные производственные модули и системы изготовления оснастки и инструмента.

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) является структурной частью АСУП. В тоже время АСТПП – это сложная по структуре система; она имеет в своем составе, как следует из схемы, приведенной на рис. 4.1, ряд информационно связанных и соподчиненных подсистем (систем). На рис. 4.2 представлена структурная схема АСТПП выполняемых инженерных функций. На схеме можно выделить следующие группы систем:

А – системы общего назначения (управляющая, информационно-поисковая и т.п.);

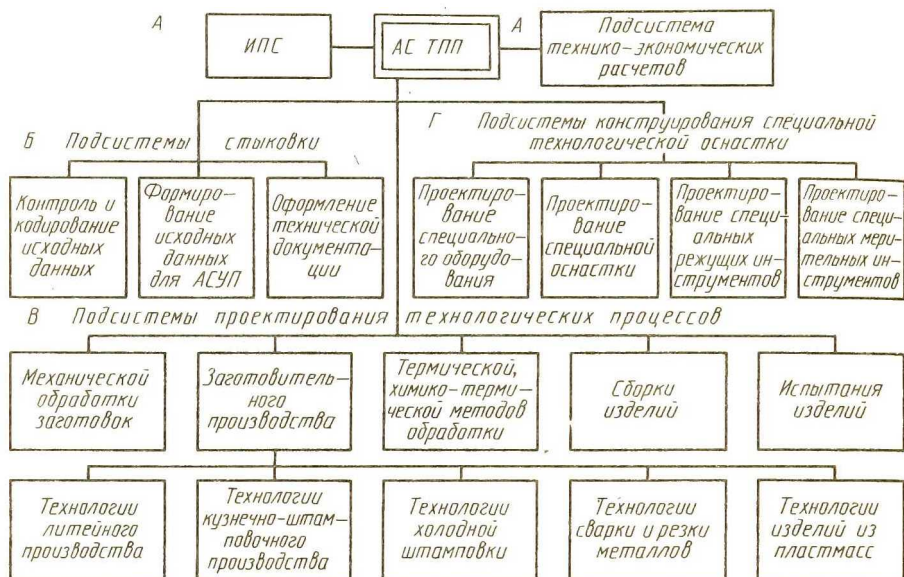


Рис. 4.2. Иерархическая схема АС ТПП

Б – системы стыковки (контроля и кодирования исходных данных, формирования данных для АСУП, оформления технологической документации);

В – системы проектирования ТП (механической обработки, заготовительного производства и т.д.);

Г – системы проектирования (конструирования) средств технологического оснащения (специального оборудования, специальных приспособлений и измерительных инструментов).

Системы группы **В** и **Г** являются функциональными, наличие их в АСТПП позволяет решать основные задачи технологической подготовки производства – проектировать ТП и средства оснащения.

Как следует из изложенного, АСТПП обеспечивает автоматизированное решение комплекса задач начиная с проектирования заготовительных процессов и кончая испытанием объекта производства. Центральной же задачей комплекса, решение которой определяет состав и структуру исходных данных для функционирования остальных систем, является система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки (САПР ТП). Этой системе и будет уделено главное внимание в настоящем учебном пособии.

4.2. МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Существует несколько классификаций методов автоматизированного проектирования ТП. Значительное распространение получила классификация В. Д. Цветкова, по которой выделяются три метода автоматизированного проектирования ТП: 1) алгоритмический анализ типовых и групповых процессов; 2) преобразование процессов-аналогов; 3) синтез ТП.

По классификации С. П. Митрофанова, Д. Д. Куликова, Б. С. Падун и других выделяются два метода: 1) метод адресации, который соответствует первому и второму методам по классификации В. Д. Цветкова; 2) метод синтеза.

С учетом современного состояния работ по САПР ТП, а также для возможности использования классификации при решении различного круга задач САПР (разработки, использования, изучения) предлагается выделить следующие четыре метода автоматизированного проектирования ТП: 1) параметрический метод, в котором структура ТП задается технологом вручную (собственно синтез ТП отсутствует), а в автоматизированном режиме определяются параметры ТП; 2) метод повторного использования процессов-аналогов; 3) проектирование на основе унифицированных (типовых и групповых) ТП; 4) проектирование по методу синтеза ТП.

Сущность параметрического метода [2, 9, 13] заключается в разделении функций между ЭВМ и человеком. Технологическое проектирование в этом случае состоит из двух этапов.

Первый этап – безмашинное проектирование модели технологического процесса, состоящей из структуры ТП и размерной структуры ТП. На этом этапе технологом вручную решаются трудноформализуемые творческие по характеру задачи, а именно:

формирование структуры ТП (технологического маршрута и последовательности переходов в операциях);

выбор (назначение) модели оборудования для каждой операции;

выбор технологических баз, схем установки и типов установочно-зажимных приспособлений;

установление размерной структуры ТП (системы размерных связей, системы простановки размеров и технических требований (ТТ) на расположение поверхностей).

Модель структуры ТП может быть представлена совокупностью последовательных операционных эскизов, отражающих состояние детали

на всех стадиях изготовления, — своего рода покадровой разверткой ТП. Модель размерной структуры может быть описана в виде графов размерных связей (диаметральных, линейных и т.д.) или в форме таблиц (матриц) размерных связей.

Второй этап — автоматизированное проектирование (расчет, определение) параметров ТП и отдельных операций. Он начинается с ввода в ЭВМ исходной информации о детали (название, шифр, материал, твердость, покрытие и т.д.), структуре ТП (номера, название операций, атрибуты вспомогательных, технологических и контрольных переходов по каждой операции), размерной структуре детали и ТП. Затем в автоматическом режиме на ЭВМ решаются следующие задачи проектирования:

расчет припусков на обработку, операционных размеров и допусков на них;

выбор (назначение) средств технологического оснащения (режущего, вспомогательного и измерительного инструментов);

расчет режимов резания и нормирование ТП, оценка вариантов;

проектирование управляющих программ для оборудования с ЧПУ;

формирование текстовой документации;

формирование графической документации;

формирование информации для АСУП.

Системы автоматизированного проектирования рассматриваемого типа легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения небольшого объема исходных данных и легко воспринимаются технологами при внедрении. С их помощью можно проектировать ТП для широкой номенклатуры деталей, включая и весьма сложные. Однако эффективность (качество, оптимальность) решений в таких системах во многом зависит от квалификации технолога.

Системы параметрической настройки являются автоматизированными системами низкого уровня, с которых целесообразно начинать автоматизацию технологического проектирования. Системы такого типа помогают быстрее снять так называемый психологический барьер, существующий между технологом и вычислительной техникой, отработать организацию работ на предприятии при проектировании ТП с помощью ЭВМ, создать, отладить и освоить банки данных технологического назначения и т.д.

Метод повторного использования процессов-аналогов основан на использовании имеющихся в банке данных ТП на детали, конструктивные и технологические признаки которых соответствуют признакам детали, для которой проектируется ТП. Схема автоматизиро-

ванного получения ТП в этом случае будет следующая: деталь → деталь-аналог → процесс на деталь-аналог → процесс на деталь. По определенным образом сформулированному запросу в банке данных отыскивается деталь-аналог, на основе номера и чертежа отыскивается в базе данных ТП на выбранную деталь-аналог. Этот процесс подвергается преобразованию на основе информационной модели конкретной детали: структура процесса преобразовывается путем исключения лишних структурных элементов ТП (операций, переходов). Алгоритм преобразования строится на основе выявления различий между конкретной деталью и деталью-аналогом по составу элементов (поверхностей) и характеристикам элементов по точности и шероховатости. Затем производится определение (расчет, выбор) параметров каждой операции (определение припусков и операционных размеров, режимов резания и т.д.). Этот метод применим для проектирования ТП на детали типовых форм, отличающихся только размерами (например, плоские одновенцовые зубчатые колеса и т.п.).

Рассмотрим теперь сущность **автоматизированного проектирования ТП на основе унифицированных ТП**. Первой и основополагающей частью этого метода является проблемно-ориентированная система классификации и группирования деталей. Все детали (предприятия, цеха), подлежащие переводу на автоматизированное проектирование ТП, разделяются на группы. Число наименований деталей в группе может колебаться от 50–100 для сложных до 400–500 для простых деталей. Для каждой группы деталей создается комплексный представитель. Его чертеж должен иметь поверхности всех деталей данной группы. Поверхности комплексного представителя, а в необходимых случаях координатные оси и точки нумеруются по определенным правилам. При решении задач проектирования номера поверхностей играют роль кодовых чисел или признаков, по значениям которых определяется число ступеней обработки, метод обработки и т.д. Затем применительно к чертежу комплексного представителя разрабатывается сводный (унифицированный, типовой) ТП, оформляемый в виде двух документов: "Сводный перечень операций" и "Сводный перечень переходов", которые названы типовыми технологическими решениями (ТТР). Для непосредственного проектирования ТП на заданные детали ТТР в форме сводного перечня операций и сводного перечня переходов не используются. На их основе разрабатываются таблицы применимости операций и таблицы применимости переходов, отличающиеся от ТТР тем, что в них включены логические условия

выбора того или иного структурного элемента ТП на основе анализа признаков детали и ее элементов. По своей форме таблицы применяемости являются таблицами соответствий.

Подсистема подготовки переменной информации в САПР на основе унифицированных ТП содержит правила и формы подготовки информации на детали, для которых необходимо спроектировать ТП. Формой представления переменной информации является карта информации о детали. Более подробно САПР ТП механической обработки на основе унифицированных ТП будут рассмотрены в гл. 6.

Автоматизированное проектирование по методу синтеза ТП [3, 6, 12, 14]. Существует несколько разновидностей этого метода. Алгоритмически и программно доведен до реализации метод синтеза с элементами-аналогами. Такими элементами являются унифицированные (типовые) планы отработки поверхностей или сочетаний поверхностей и унифицированные планы их связей. Для одного и того же элемента детали разрабатывается несколько вариантов унифицированных планов обработки, обеспечивающих рациональную обработку элементов детали в зависимости от сочетаний условий обработки.

Входной информацией для проектирования являются общие сведения о детали, а также коды ее элементарных поверхностей и сочетаний поверхностей, информация об их отношениях (расположении) и размерных связях. Первой проектной процедурой будет выбор для каждого элемента детали одного (близкого к оптимальному для заданных условий) варианта унифицированного плана его обработки. В результате формируется массив формоизменяющих переходов обработки детали, путем преобразования которого производится автоматизированное проектирование процесса за четыре шага (уровня).

На первом уровне проектируется принципиальная схема (ПС) ТП, которая характеризуется составом и последовательностью этапов обработки детали. На втором уровне формируется технологический маршрут изготовления детали. На этом уровне определяются состав и последовательность операций, назначаются технологические базы, устанавливается тип оборудования. На третьем уровне проектируется операционная технология, т.е. уточняется структура операций, назначается оснастка: приспособления, измерительный и режущий инструмент, рассчитываются параметры каждого перехода, операции и всего ТП в целом. На четвертом уровне проектирования формируются управляющие программы для оборудования с ЧПУ. Более подробно САПР ТП на основе синтеза ТП будут рассмотрены в гл. 7.

Как показывает опыт разработки и внедрения, все рассмотренные методы автоматизированного проектирования ТП широко применяются в САПР ТП. По своим возможностям они не противоречат, а дополняют друг друга. Программы, построенные на основе типизации ТП, характеризуются меньшими (на 30–40 %) объемом и затратами машинного времени по сравнению с программами, построенными по методу синтеза. В связи с этим автоматизацию проектирования ТП на детали типовых форм целесообразно осуществлять на основе методов типизации ТП, а на остальные детали – преобразованием процессов-аналогов и на основе синтеза ТП.

4.3. КЛАССИФИКАЦИЯ САПР

По ГОСТ 23501.101–87 САПР – это организационно-техническая система, входящая в структуру проектной организации и осуществляющая проектирование при помощи комплекса средств автоматизированного проектирования. САПР – человеко-машинная система, создаваемая как автоматизированная система, в которой проектирование ведется с помощью ЭВМ, важным звеном которого является проектировщик.

Согласно ГОСТ 25086–87 САПР классифицируется по восьми признакам.

По типу объекта проектирования ГОСТ предусматривает разделение САПР на девять классификационных группировок. Четыре первых группировки определены однозначно: 1) САПР изделий машиностроения и приборостроения; 2) САПР технологических процессов в машино- и приборостроении; 3) САПР объектов строительства; 4) САПР организационных систем. Группировки, обозначенные номерами 5–9, являются резервными и предназначены для выделения и кодирования САПР, не относящихся к указанным выше группировкам.

По второму признаку – разновидности объектов проектирования – ГОСТ не устанавливает специальных обозначений, а требует их указания и кодирования в соответствии с действующими в каждой отрасли промышленности системами обозначения проектной документации. Число разрядов кодового обозначения различных объектов проектирования стандартом не ограничено и устанавливается на отраслевом уровне. На практике разновидности объектов проектирования в большинстве случаев не кодируются, а обозначаются сокращенным названием.

По признаку "разновидность объектов проектирования" можно выделить следующие объектно-ориентированные САПР ТП: 1) холодной штамповки; 2) горячей объемной штамповки; 3) механической обработки; 4) средств технологического оснащения (приспособлений, режущих и измерительных инструментов); 5) сборки машин и др.

По признаку "сложность объекта проектирования" стандарт предусматривает выделение САПР: 1) простых объектов с числом составных частей до 10^2 ; 2) объектов средней сложности с числом составных частей от 10^2 до 10^3 ; 3) объектов очень высокой сложности с числом составных частей свыше 10^3 .

Составной частью объекта проектирования, представляющего собой технологический комплекс, сооружение или изделие, является деталь. Для такого объекта проектирования, как ТП, за составные части можно принять операции ТП.

По признаку "уровень автоматизации проектирования" выделяются системы: 1) низкоавтоматизированного проектирования (автоматизирующие до 25 % проектных процедур; 2) среднеавтоматизированного проектирования (от 25 до 50 %); 3) высокоавтоматизированного проектирования (свыше 50 %). Для отнесения САПР к последней группе в ней должны быть применены методы многовариантного оптимального проектирования. В случае невыполнения последнего требования систему относят к группе среднеавтоматизированных систем.

По признаку "комплексность автоматизации проектирования" предусмотрено деление САПР на следующие группы: 1) одноэтапные; 2) многоэтапные; 3) комплексные. К первой группе относятся системы автоматизации одного из этапов проектирования соответствующего объекта, ко второй — системы автоматизации нескольких, но не всех этапов, к третьей — системы автоматизации всех этапов проектирования.

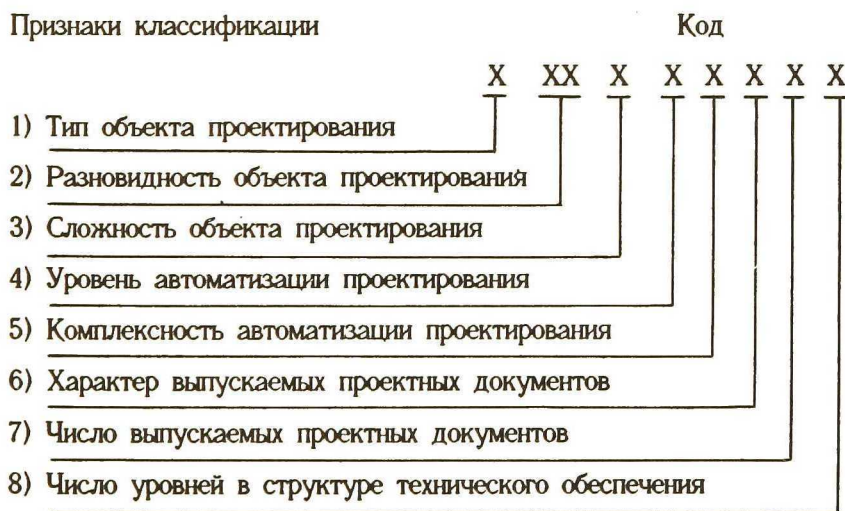
По признаку "характер выпускаемых проектных документов" установлены девять классификационных группировок САПР, шесть из которых однозначно определены, а именно: 1) текстовых документов (на бумаге); 2) текстовых и графических документов (на бумаге); 3) документов на машинных носителях (перфокартах, перфолентах, магнитных лентах, дисках и т.п.); 4) документов на фотоносителях (микрофильмах, микрофишах, фотошаблонах и т.п.); 5) документов на двух типах носителей; 6) документов на всех типах носителей. Коды группировок 7, 8 и 9 оставлены резервными.

По признаку "число выпускаемых документов" однозначно определены три классификационные группировки САПР: 1) малой (до 10^5 проектных документов в год в пересчете на формат 11); 2) средней (от 10^5 до 10^6); 3) высокой производительности (свыше 10^6). Коды под номерами 4–9 являются резервными.

По признаку "число уровней в структуре технического обеспечения" выделены САПР: 1) одноуровневые; 2) двухуровневые; 3) трехуровневые.

Основой технического обеспечения одноуровневой системы является универсальная ЭВМ средней или большой мощности со штатным набором периферийных устройств. Дополнительно могут использоваться различные средства хранения, ввода, вывода и тиражирования информации, подключаемые к основной ЭВМ. Техническое обеспечение двухуровневой САПР состоит из ЭВМ среднего или высокого класса и автоматизированных рабочих мест (АРМ) с собственными мини-ЭВМ. Трехуровневая САПР наряду с техническими средствами двухуровневой системы должна иметь периферийное программно-управляемое оборудование (чертежные автоматы, установки для изготовления фотосаблонов, комплексы для контроля управляющих программ для станков с ЧПУ и т.п.).

Рассмотренные признаки классификации САПР и классификационные группировки легли в основу правил их кодового обозначения, которые можно иллюстрировать следующей схемой.



Рассмотрим пример кодового обозначения САПР ТП механической обработки для гибких производственных систем: 2. Механообработки ТВ.1.3.3.5.3.1.

Символы кода расшифровываются так: 2 -- САПР проектирует ТП изделий машиностроения; механообработки ТВ -- разновидность объекта -- технологические процессы механической обработки деталей (тел вращения); 1 -- число составных частей объекта (технологических операций) до 10^2 ; 3 -- доля автоматизированных проектных процедур более 50 %; 3 -- система автоматизирует все этапы проектирования; 5 -- система выпускает документы на двух типах носителей; 3 -- число выпускаемых документов в пересчете на формат 11 с выше 10^6 ; 1 -- система одноуровневая (использует ЕС ЭВМ со штатным набором периферийных устройств).

4.4. СОСТАВ И СТРУКТУРА САПР

По ГОСТ 23501.101-87 составными структурными частями САПР, жестко связанными с организационной структурой проектной организации, являются подсистемы, в которых при помощи специализированных комплексов средств решается функционально законченная последовательность задач САПР. По назначению подсистемы подразделяют на проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы имеют объектную ориентацию и реализуют определенный этап (стадию) проектирования или группу непосредственно связанных проектных задач. Примерами проектирующих подсистем являются: подсистема эскизного проектирования; подсистема проектирования корпусных деталей; подсистема проектирования ТП механической обработки.

Обслуживающие подсистемы имеют общесистемное применение и обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, а также оформление, передачу и выдачу полученных в них результатов. Примерами обслуживающих подсистем являются:

автоматизированный банк данных; подсистема документирования; подсистема графического ввода -- вывода.

Структурными частями комплекса средств автоматизированного проектирования (КСАП) являются программно-методические (ПМК) и программно-технические (ПТК) комплексы, а также компоненты организационного обеспечения. Вычислительные и информационные

ресурсы комплексов могут быть объединены в локальные вычислительные сети подсистем или систем в целом.

В свою очередь структурными частями комплексов средств (ПМК и ПТК) являются компоненты следующих видов обеспечения: программного, информационного, методического, математического, лингвистического, методического и технического (см. разд. 4.6). Компоненты видов обеспечения выполняют в комплексах средств заданную функцию и представляют собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый (или покупной) элемент САПР (например, программа, инструкция, дисплей и т.д.).

4.5. ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ САПР

В результате развития научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области автоматизации проектирования появились предпосылки для создания комплексных или интегрированных САПР. Уже сегодня для машиностроительного производства минимальным уровнем комплексирования является комплекс систем автоматизированного проектирования ТП изготовления деталей и управляющих программ для оборудования с ЧПУ (станков, роботов) с единой информационной базой. Известны комплексные автоматизированные системы, решающие на единой информационной базе задачи проектирования ТП механической обработки деталей, проектирования специальных приспособлений, вспомогательных, режущих и измерительных инструментов и проектирования ТП изготовления средств технологического оснащения [3]. Интенсивно развиваются комплексные системы по проектированию гибких производственных систем, предназначенные для решения задач проектирования ТП изготовления деталей на оборудовании с ЧПУ, управляющих программ для станков, роботов, транспортных устройств и автоматизированных складов, а также задач планирования и управления гибким автоматизированным производством.

Во многих отраслях промышленности, в том числе и в авиационной, в последние годы начаты работы по созданию интегрированных САПР, предусматривающих проектирование как непрерывный процесс от задания на создание изделия (ЛА, двигателя и т.д.) до сборки и испытания изделия, его агрегатов, узлов, деталей. Такая интегрированная САПР будет иметь в своем составе САПР по проектированию изделия в целом (рабочий процесс, характеристики, основные параметры), комплект САПР К по конструированию изделия,

его агрегатов, узлов, деталей и комплект САПР Т по проектированию ТП (заготовительных, механической обработки и т.д.). Это программа-максимум на недалекое будущее. В настоящее время реально разрабатываются интегрированные системы автоматизированного проектирования (ИСАПР) меньшего масштаба, каждая из которых ориентирована на конкретный тип деталей (например, ИСАПР "Лопатка", "Вал" и т.п.). Такие профилированные (проблемно-ориентированные) ИСАПР более просты по структуре, их можно разработать в более короткие сроки. Описание одной из ИСАПР приведено в гл. 8.

Другой тенденцией развития САПР является все более широкое применение диалогового режима проектирования. Как известно, работа САПР проводится в двух режимах — пакетном и диалоговом. Режим пакетной обработки (автоматический режим) предусматривает автоматическое решение задачи по составленной программе без вмешательства проектировщика в ход решения. Этот режим применяют в тех случаях, когда удастся заранее предусмотреть все возможные ситуации при решении и формализовать выбор продолжений решения в точках разветвления алгоритма, а также когда требуется большое время счета между точками разветвления. В то же время опыт создания систем автоматизированного проектирования показал, что в пакетном режиме можно решать не все задачи.

Диалоговый режим (оперативный или интерактивный) используют в случаях: 1) если существуют трудноформализуемые правила и процедуры для принятия решения, например распределения переходов по позициям многопозиционных станков, выбор баз и другие решения; 2) если объем числовой информации, подлежащей вводу в ЭВМ в процессе диалога, невелик, так как при большом объеме информации диалог затягивается, аппаратура используется малоэффективно; 3) время ожидания решения должно составлять от нескольких секунд для часто повторяющихся процедур до нескольких минут для редко встречающихся.

В режиме диалога проектировщика с ЭВМ за человеком остается право выбора варианта решения из числа возможных, полученных ЭВМ в конце каждого уровня проектирования. При этом в процессе проектирования можно изменять или дополнять исходные данные, а также изменять последовательность уровней проектирования на ЭВМ или исключать некоторые уровни, принимая решение без ЭВМ.

Можно привести две основные причины расширения диалогового режима работы САПР. Во-первых, в процесс проектирования приходится включать все больше трудноформализуемых задач (ранее их просто

обходили), т.е. чаще появляется потребность в диалоговом режиме работы САПР. Во-вторых, совершенствование вычислительной техники предоставляет для диалогового режима несравненно большие возможности, чем 8–10 лет назад. Вместе с тем режим диалога с ЭВМ требует значительного увеличения затрат на создание программного обеспечения, возрастает стоимость проектирования.

4.6. КОМПОНЕНТЫ ВИДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР

Каждая система автоматизированного проектирования содержит следующие виды обеспечения: методическое, математическое, лингвистическое, программное, информационное и техническое.

К компонентам методического обеспечения согласно ГОСТ 23501.101–87 относят утвержденную документацию инструктивно-методического характера, устанавливающую технологию автоматизированного проектирования: правила эксплуатации КСАП, ПТК, ПМК; нормативы, стандарты и другие руководящие документы, регламентирующие процесс и объект проектирования. В обязательный комплект эксплуатационных документов методического обеспечения входят: общее описание САПР, пояснительная записка, инструкция по эксплуатации комплекса технических средств автоматизированного проектирования, описание языка, руководство системного программиста, руководство оператора, руководство по техническому обслуживанию, описание и каталог базы данных, инструкция по заполнению и ведению базы данных.

Компоненты математического обеспечения САПР – это совокупность математических методов, моделей и алгоритмов, необходимых для автоматизированного решения задач. Математическое обеспечение САПР по назначению и способу реализации можно разделить на две части. Первую составляют математические методы и модели, описывающие объекты проектирования (изделия, детали, ТП и т.д.) или предназначенные для вычисления свойств и параметров объектов; вторая часть – формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

К компонентам лингвистического обеспечения относятся языки проектирования (ЯП), информационно-поисковые языки (ИПЯ) и вспомогательные языки, используемые в обслуживающих подсистемах и для связи с ними проектирующих подсистем (ГОСТ 23501.101–87).

ЯП должны: представлять собой набор директив, используя которые пользователь осуществляет процесс формирования модели объекта

проектирования и ее анализ; обеспечивать возможность эффективного контроля заданий пользователя; иметь средства выдачи пользователю справок, инструкций и сообщений об ошибках; предусматривать возможность использования механизма выбора альтернативных директив из определенного набора (функциональная клавиатура и др.).

ИПЯ должны включать словари, правила индексирования входной информации и правила формирования поисковых предписаний. Словари ИПЯ должны содержать термины соответствующей области техники и другие лексические единицы, необходимые для индексирования и поиска проектной информации с высокой точностью и полнотой.

Значительную часть лингвистического обеспечения САПР составляют специальные языковые средства, предназначенные для общения человека с техническими и программными средствами в процессе проектирования. Такие языковые средства принято называть проблемноориентированными языками (ПОЯ) проектирования. ПОЯ ориентированы на определенные объекты проектирования и проектные процедуры. Примерами специализированного алгоритмического языка являются ПОЯ автоматизации черчения [10], язык описания информации о детали (ЯОД) [3], формализованный технологический язык (ФТЯ) [14] и др.

К проблемно-ориентированным языкам предъявляется ряд требований, в том числе:

- 1) должна быть обеспечена гибкость ПОЯ, которая означает, в частности, возможность использования аббревиатур терминальных символов и символов-синонимов;
- 2) должна быть возможна работа с ПОЯ в пакетном и диалоговом режимах с широким использованием "принципа умолчания";
- 3) язык должен быть легко осваиваемым и включать обучающую подсистему.

С учетом приведенных и других требований ПОЯ должен содержать следующие средства: набор терминальных символов ПОЯ, интерпретатор с ПОЯ, средства синтаксического анализа, средства пакетирования директив, библиотеки базовых функций ПОЯ, средства организации режимов пакетного ввода-вывода и режима работы пользователя с меню, интерфейс для связи с системой управления базой данных (СУБД), СУБД для организации базы данных предметной области ПОЯ, средства расширения ПОЯ по горизонтали и вертикали.

Компоненты программного обеспечения САПР – это совокупность машинных программ и эксплуатационных документов к ним, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования. Компоненты программного обеспечения, объединенные в ПМК, должны иметь иерархи-

ческую организацию, в которой на верхнем уровне размещается монитор управления компонентами нижних уровней (программными модулями).

Монитор предназначен для управления функционированием набора программных модулей ПМК, включая контроль последовательности и правильности исполнения.

Программное обеспечение (ПО) САПР подразделяется на общесистемное и специальное.

К функциям общесистемного ПО относятся: управление процессом вычислений; ввод, вывод и частично обработка информации; диалоговая взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования; решение общематематических задач (хранение, поиск, сортировка, модификация данных, необходимых при проектировании, защита их целостности и защита от несанкционированного доступа); контроль и диагностика вычислительного комплекса.

Три первых и последняя из указанных функций реализуется на базе операционных систем (ОС), т.е. комплекса программ, управляющих ходом выполнения рабочих программ, использованием всех ресурсов вычислительного комплекса. Операционные системы организуют одновременное решение на ЭВМ различных задач, динамическое распределение каналов передачи данных и внешних устройств между задачами, планирование потоков задач и последовательности их решения с учетом приоритетов, динамическое распределение памяти вычислительного комплекса; обеспечивают работу в различных режимах (с фиксированным и переменным числом задач, в режиме пакетной обработки данных, в интерактивном режиме).

Отметим еще, что в состав общесистемного ПО для решения общематематических задач включают соответствующие библиотеки стандартных программ. Для хранения и использования различных данных создаются специальные СУБД.

Специальное программное обеспечение включает пакеты прикладных программ (ППП), основным назначением которых является выполнение проектных заданий. Специальное ПО создается с учетом организации и возможностей общесистемного ПО имеющегося вычислительного комплекса. Специальное ПО является оригинальным инструментом автоматизированного проектирования и определяет специфику конкретной САПР. В целом состав и структура специального ПО определяются составом и структурой САПР и ее подсистем; по значимости и по трудоемкости — это основной объект при создании САПР.

Информационное обеспечение САПР — это совокупность сведений (информации), необходимых для выработки проектных решений. Более

конкретно — это информация о прототипах изделий или процессов, о материалах, комплектующих изделиях, оборудовании, инструментах, которые могут быть применены в объекте проектирования; нормативная, справочная информация; информация, заимствованная из ГОСТов, ОСТов, методических и руководящих материалов и перенесенная на машинные носители.

Согласно ГОСТ 23501.101-87 составной частью информационного обеспечения САПР является банк данных (БНД), который состоит из базы данных и СУБД. Банки данных создаются как обслуживающие подсистемы САПР и предназначены для автоматизированного обеспечения необходимыми данными проектирующих подсистем САПР.

Следует отметить, что СУБД по назначению является очень важным элементом информационного обеспечения, так как организует автоматизированное обеспечение проектировщика информацией, а по содержанию — это комплекс программ, т.е. элемент программного обеспечения.

Создание БНД автоматически решает важнейшую задачу обеспечения информационной совместимости проектирующих подсистем САПР друг с другом, с САПР и с другими видами систем автоматизации. Достаточно развитый БНД может полностью реализовать все функции информационного обеспечения САПР.

В БНД САПР должна осуществляться обработка как алфавитно-цифровой, так и графической информации. Для интерактивных методов проектирования необходима возможность диалогового режима при обработке информации. Для надежности БНД должна быть обеспечена возможность восстановления информации и программных средств БНД в случае их разрушения и выработки стандартных реакций на несанкционированный или ошибочный запрос. Банк данных САПР должен строиться с учетом взаимосвязи с банками данных автоматизированных систем различного функционального назначения (АСУП, АСНИ, ГПС и т.д.).

Организационное обеспечение — совокупность документов, определяющих состав проектной организации и ее подразделений, связи между ними, выполняемые функции, форму представления результатов проектирования и порядок прохождения проектных задач.

Техническое обеспечение САПР. Большинство функционирующих в настоящее время САПР ТП используют ЭВМ ЕС моделей 1033, 1035, 1040, 1045 и др. В связи с новыми более сложными задачами автоматизированного проектирования, связанными, в частности, с созданием комплексных или интегрированных систем проектирования, значительно повышаются требования к техническим средствам САПР.

Для САПР рекомендуется двухуровневая структура технических комплексов, включающая центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места (терминальные станции).

Для САПР машиностроения рекомендуются три типа технических комплексов.

1. Технический комплекс высокой производительности (АРМ-В), созданный на базе ЭВМ ЕС-1046. Основные характеристики: производительность 1,2 млн. опер./с; объем оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) до 8 Мбайт; объем дисковой памяти до 1600 Мбайт; объем памяти на магнитной ленте до 400 Мбайт. Технический комплекс АРМ-В имеет в своем составе следующие периферийные устройства: интерактивный векторный дисплей монохром (4 шт.), алфавитноцифровой дисплей (16 шт.), автокодировщик, планшетный графопостроитель формата А0, рулонный графопостроитель (2 шт.), матричное алфавитноцифровое печатающее устройство (АЦПУ). Технический комплекс укомплектовывается базовым программно-информационным обеспечением, системой трехмерного геометрического моделирования, геометрической системой управления базой данных и реляционной СУБД.

Комплекс АРМ-В высокой производительности рекомендуется для формирования баз данных, проектирования сложных изделий, разработки макрооператоров вычерчивания конструкторских примитивов, проектирования ТП, разработки управляющих программ многокоординатной обработки деталей на оборудовании с ЧПУ, разработки технологической документации.

2. Технический комплекс средней производительности (АРМ-С) создается на базе СМ1700.08. Основные характеристики: производительность 0,2 млн. опер./с; объем ОЗУ до 4 Мбайт; объем дисковой памяти до 600 Мбайт; объем памяти на МЛ 40 Мбайт. Технический комплекс состоит из следующих периферийных устройств: интерактивного графического цветного растрового дисплея, алфавитноцифрового дисплея с графическими возможностями (3 шт.), автокодировщика формата А4, графопостроителя формата А4, графопостроителя формата А1, растрового АЦПУ. Базовое программное обеспечение АРМ-С средней производительности включает пакет прикладных программ (ППП) трехмерной машинной графики с выходом на ЧПУ и ППП конструирования сложных поверхностей.

Технический комплекс АРМ-С рекомендуется для проектирования изделий средней сложности и проектирования ТП их изготовления; разработки управляющих программ трехкоординатной обработки деталей на оборудовании с ЧПУ, проектирования средств технологического

оснащения и их элементов, разработки библиотечных макроопределений элементов ТП и т.п.

3. Технический комплекс малой производительности (АРМ-М) создается на базе микроЭВМ СМ1810 ("АРМ Автограф 840"). Основные характеристики: производительность 1 млн. опер./с; объем ОЗУ 1 Мбайт; объем дисковой памяти 11 Мбайт. В состав этого АРМ входят: интерактивный растровый дисплей для работы с графической и алфавитно-цифровой информацией "Автограф 814" монохром, автокодировщик, устройство получения твердой копии с экрана дисплея "Автограф 842", планшетный графопостроитель для форматов А3, растровое АЧПУ СМП-6320, устройство ввода-вывода информации на перфоленте.

"АРМ Автограф 840" может использоваться автономно и в составе двухуровневой САПР. В состав базового программного обеспечения входят интерактивная графическая библиотека "Автограф 844" и ППП для разработки конструкторской и технологической документации, а также управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Комплекс АРМ рекомендуется для проектирования простых изделий и ТП их изготовления, включая подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ.

В США в последние годы все большее распространение получают автономные САПР, создаваемые на основе микроЭВМ – персональных компьютеров (ПК). По данным журнала *Electronics Week*, в США таких САПР насчитывается уже более 80 тысяч. Этому способствуют три обстоятельства: а) быстрое совершенствование ПК, расширение их возможностей; б) сравнительно невысокая стоимость, доступность по цене для приобретения в личное пользование; в) возможность для пользователей приобрести прикладное программное обеспечение САПР, которое готовят фирмы-производители персональных компьютеров либо фирмы, специализирующиеся на изготовлении ППП для САПР.

Большинство из существующих в настоящее время САПР базируются на персональных компьютерах IBM PC или на других микроЭВМ, в которых используются 16-разрядные микропроцессоры и ОЗУ объемом 360–640 Кбайт. В минимальный комплект IBM PC кроме микропроцессора входят два накопителя на гибких магнитных дисках, электронный планшет, дисплей, графопостроитель. Многие микроЭВМ обеспечивают только двухцветную графику, однако для работы хорошей САПР важно иметь 4–16 различных цветов.

В США разработано обширное программное обеспечение САПР, ориентированное на самых разных пользователей – от начинающего чертежника до квалифицированного инженера, занимающегося проек-

тированием электронных схем. Большинство ППП САПР включают в себя специализированные графические средства, которыми могут пользоваться чертежники, инженеры-технологи, проектировщики технологического оборудования, дизайнеры, архитекторы.

При появлении необходимости решения сложных задач проектирования пользователь ПК может подключаться к вычислительной сети более мощных ЭВМ. Последние модели ПК являются программно совместимыми с большими ЭВМ, а в качестве канала связи может использоваться телефонная сеть.

В нашей стране применение ПК в качестве технических средств САПР только начинается. Для этой цели расширяется импорт ПК типа IBM PC-XT, начат выпуск отечественных персональных ЭВМ (ПЭВМ) ЕС-1840, завершается создание 16-разрядной ПЭВМ ЕС-1850. Быстродействие этих ПЭВМ составляет до 1 млн. коротких опер./с. Они будут выпускаться в трех комплектах: 1) процессор, накопитель на гибких магнитных дисках (НГМД) (2 шт.), черно-белый алфавитно-цифровой дисплей (АЦД), малогабаритное АШПУ; 2) процессор, графический дисплей (ГД), цветной АЦД, накопители на дисках типа "Винчестер", АШПУ; 3) процессор, АЦД, графопостроитель. Указанные ПЭВМ могут подключаться через стандартные каналы к любой ЕС ЭВМ. В таком варианте ПЭВМ будут выполнять роль рабочих станций двухуровневого комплекса технических средств для САПР ТП деталей средней и высокой степени сложности. Возможен также и второй вариант использования ПЭВМ как базы автономных САПР ТП на детали малой сложности для решения параметрических задач САПР ТП.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные функции (задачи) технологической подготовки производства.
2. Какие подсистемы (системы) общего назначения входят в состав АС ТПП?
3. Назовите функциональные подсистемы (системы), входящие в состав АСТПП.
4. Объясните сущность и краткое содержание параметрического метода автоматизированного проектирования ТП.
5. Назовите достоинства и недостатки метода повторного использования процессов-аналогов в САПР ТП.
6. Каковы основные признаки классификации САПР?

7. Назовите достоинства интегрированных и комплексных САПР и перспективы их использования.
8. Сравните области применения пакетного и диалогового режима функционирования САПР.
9. Назовите виды и назначение компонент лингвистического обеспечения САПР.
10. Назовите компоненты программного обеспечения САПР.
11. Покажите структуру информационного обеспечения САПР.
12. Назовите типы технических комплексов, рекомендуемых для автоматизированного проектирования.

Г Л А В А 5

ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ

Информационное обеспечение наряду с математическим и техническим обеспечением является важнейшей составной частью АСТПП.

Информационно-поисковая система (ИПС) технологического назначения (ТН) необходима для взаимодействия с базой данных внешнего пользователя (технолога, конструктора или программного комплекса, реализующего технологическую задачу) и предназначается для централизованного ввода, хранения, корректирования, поиска и выдачи информации. Во время поиска может осуществляться сортировка выбранной информации в соответствии с заданными условиями.

На первых этапах механизации и автоматизации ТПП информационно-поисковые системы использовались только как средство быстрого поиска в больших массивах информации при традиционном (безмашинном) решении задач. При этом основным пользователем ИПС был человек. По мере повышения уровней автоматизации решения технологических задач главными пользователями ИПС становятся системы специального назначения. Например, в САПР ТП механической обработки с помощью ИПС осуществляется поиск информации об оборудовании, приспособлениях, инструменте и т.д.

В настоящее время сложились две формы ИПС. В первом случае ИПС создается для обслуживания системы автоматизированного проектирования и является частью (подсистемой) САПР ТП. Другой формой являются автономные ИПС ТН, создание и использование которых будут рассмотрено ниже. Следует отметить, что многие задачи кодирования, ввода, размещения, переработки, поиска и выдачи информации во встроенных и автономных ИПС решаются одинаково. На рис. 5.1 показана одна из возможных структур автономной ИПС ТН.

Покажем вариант структуры ИПС.

Подсистема управления и анализа предназначена для управления последовательностью выполнения задач (обслуживания) подсистем специального назначения.

Подсистема хранения и поиска предназначена для организации хранения информации и выполнения поисковых функций (поиск объектов производства, ТП и оснащения, поиск алгоритмов и вспомогательных данных). Следует отметить значительное влияние формы представления и хранения информации на методы поиска, а через них и на эффективность функционирования системы.

Подсистема корректирования информации служит для оперативного внесения изменений в информационный фонд. Необходимость в этой подсистеме вызвана нестабильностью используемой в ТПП информации в связи с частыми изменениями в конструкции деталей и ТП, изменениями состава средств производства, средств оснащения и т.д.

Подсистема сбора и подготовки информации предназначена для формирования информационного фонда. Информация об объекте (детали, инструментах, приспособлениях) собирается в соответствующих подразделениях и готовится в виде поисковых образов и т.д.

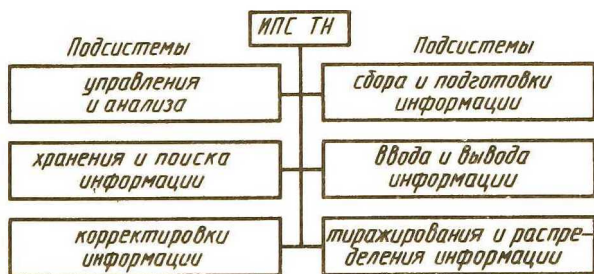


Рис. 5.1. Структура ИПС технологического назначения

Подсистема ввода и вывода информации служит для организации обмена информацией между потребителями и системой, который производится по специальным программам. Вывод информации по запросу осуществляется либо распечаткой на бумагу, либо на экран дисплея.

Подсистема тиражирования и распределения информации используется для снабжения пользователей распечатанными твердыми копиями технологических документов и для передачи информации в ИПС более низкого уровня.

5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Классификация ИПС ТН производится в соответствии с кодовым обозначением ИПС по ГОСТ 14.411-77.

По сфере использования и контингенту пользователей установлены следующие виды ИПС: индивидуального пользования, коллективного пользования для технологического подразделения; коллективного пользования для всего предприятия; коллективного пользования в масштабе отрасли.

По уровню автоматизации рассматривают ИПС: ручного обращения (картотеки); механизированные (на картах с краевой перфорацией, ИПС на счетно-перфорационных машинах); автоматизированные (на базе ЭВМ).

По виду выдаваемого результата выделяются ИПС:

документальные, когда пользователю в результате поиска выдается либо ссылка на документ, либо копия документа, содержащего искомую информацию;

фактографические, когда в результате поиска выдается лишь часть информации, содержащейся в документе (например, из хранящихся в информационном фонде каталогов оборудования по запросу можно получить табуляграмму, содержащую технические характеристики определенной модели станка);

смешанные ИПС допускают возможность их использования в качестве как документальных, так и фактографических.

По режиму работы устанавливают: ИПС ретроспективного поиска, которые обеспечивают поиск и выдачу информации из всего информационного фонда; ИПС текущего оповещения, в которых поиск осуществляется лишь в пределах вновь поступающей информации по

заранее составленным и хранимым в системе запросам; ИПС смешанного типа, которые способны работать в режимах ретроспективного поиска и текущего оповещения.

По виду поиска различают ИПС: с ассоциативным поиском информации (например, по набору признаков необходимо определить номера чертежей деталей); с поиском объекта по его имени (в качестве имени может выступать номер чертежа детали, инструмента, приспособления); ИПС со смешанным поиском.

По типу формализованного (информационно-поискового) языка (ИПЯ) различают ИПС: с ИПЯ, основанными на перечисленных выше классификационных признаках; с ИПЯ, основанными на использовании дискрипторов (описателей); со смешанными ИПЯ, для которых характерно наличие специальных связей между дискрипторами (так называемые синтагматические ИПЯ).

По типу структуры информационного фонда возможны: ИПС с постоянной структурой информационного фонда; ИПС с переменной структурой информационного фонда.

По характеру процесса обработки информации выделяют: ИПС с управляемым процессом обработки информации (поиск в режиме диалога человек-машина, когда человек имеет возможность управлять поиском информации); ИПС с неуправляемым процессом (автономным) обработки информации.

По способу организации информационного фонда различают одно- и двухконтурные ИПС. ИПС подразделяются также по виду носителей информации, в качестве которых используются магнитные диски и магнитные ленты, перфокарты (80-колонные), перфокарты с краевой перфорацией, апертурные перфокарты и т.д.

Наиболее важными понятиями, используемыми в информационных системах, являются понятия информационной потребности (ИП), информационного запроса (ИЗ), поискового предписания (ПП).

Информационная потребность — это информация, необходимая для достижения какой-то цели. Свой ИП пользователь реализует с помощью информационного запроса, если это человек; в том случае, когда пользователем является автоматизированная система, ИП выражается поисковым предписанием. Из этого следует, что информационный запрос является сформулированным на обычном языке текстом, в котором отражена определенная ИП. Далее информационный запрос с помощью ИПЯ трансформируется в ПП, имеющее форму, удобную для ввода в ИПС, сохраняющее смысловое содержание ИЗ и определяющее логику поиска. Под поисковым образом (ПО) понимается информация о

конкретном объекте, в определенном порядке хранящаяся в фонде ИПС.

Выдача ответов на запрос осуществляется после сравнения ПП и ПО, хранящегося в информационном фонде, в соответствии с критериями выдачи. Под критерием выдачи понимаются совокупность признаков, по которым устанавливается степень необходимого и достаточного соответствия между ПП и ПО. По критерию выдачи устанавливается степень их смысловой близости и принимается решение о выдаче или невыдаче ответа на запрос.

Различают три вида критериев выдачи. Первый вид основан на полном совпадении кодового обозначения признака, положенного в основу ПП, с соответствующим обозначением в ПО. При совпадении кодовых обозначений ПО подлежит выдаче. Например, ИЗ – найти деталь с кодом по ЕСКД, равным 241211.

Второй вид критериев предполагает либо полное совпадение ПО и ПП, либо вхождение ПП в ПО (для случаев, когда ПО характеризуется некоторым множеством признаков). Например, ИЗ – найти деталь с кодом по ЕСКД, равным 241211; диаметром, равным 20 мм; длиной, равной 30 мм; кодом группы материала, равным 12.

Третий вид критериев основан на использовании отношений между признаками. Например, критерий выдачи может выглядеть:

$$\text{ПО} \left\{ \begin{array}{l} \text{подлежит выдаче;} \\ \text{не подлежит выдаче} \end{array} \right\}, \text{ если } \left\{ \begin{array}{l} F - \text{истинно;} \\ F - \text{ложно,} \end{array} \right.$$

где $F = F(P_1, \dots, P_k, P_1^{\text{ПП}}, \dots, P_m^{\text{ПП}})$ – высказывательная форма, зависящая от характеристик, данных в ПП и ПО.

Форма F становится высказыванием, когда в нее подставлены конкретные значения признаков ПП и ПО и указаны отношения между ними (меньше, больше или равно, меньше или равно и т.д.).

В этом случае ИЗ – найти деталь с длиной от 20 до 40 мм, найти деталь с максимальным диаметром меньше 30 мм. Для первого запроса высказывательная форма F выглядит так:

$$F = (P_1 > 20) \wedge (P_1 < 40),$$

где P_1 – признак длины детали.

5.3. ФОРМАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Справочные таблицы, используемые при традиционном (ручном) технологическом проектировании, отличаются большим разнообразием по форме, размерности и т.п. При автоматизированном проектировании ТП сохранение разнообразия таблиц потребовало бы каждый раз составлять программу или специальное программное описание для каждой таблицы. Это, в свою очередь, привело бы к увеличению сроков и стоимости разработки САПР ТП, создавало бы трудности при периодически необходимом обновлении информационной базы САПР.

Для устранения указанных и других трудностей разработана формальная модель обобщенной справочно-нормативной таблицы [3]. Справочная таблица в общем случае является формой выражения функции F , зависящей от n переменных: $F(X_1, \dots, X_n)$, причем i -я переменная может принимать конечное множество значений $x_{i1}, \dots, x_{i, m_i}$. В ряде случаев от одного и того же набора переменных (аргументов) зависит несколько функций. Например, от метода обработки (сверление, рассверливание) и вида материала зависят коэффициенты C_p и C_m и показатели степени x_p, y_p, z_p, x_m, y_m и z_m для уравнений по определению осевой силы и крутящего момента при сверлении и рассверливании (см. табл. 5.4). В таких случаях оказывается целесообразным составлять таблицу для определения не одной, а нескольких функций. Следовательно, по характеру решаемых задач справочно-нормативные таблицы можно разделить на *однофункциональные* (см. табл. 5.5 и табл. 5.6) и *многофункциональные* (табл. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4).

Любая справочная таблица состоит из таблицы аргументов (ТА) и таблицы значений (ТЗ) функции (или функций). В ТА записывается область определений функции.

В зависимости от местоположения ТА справочные таблицы разделяют на три типа.

Таблица 1 типа многофункциональная с вертикальной таблицей аргументов (ТАВ). В 1, 2, n -й строках ТАВ (табл. 5.1 и 5.2) располагают значения переменных $X_1, X_2, \dots, X_n$ в иерархическом порядке по возрастанию величины m_i , выражающей число значений

Таблица 5.1

TAB	$X_{1\alpha_1}$	x_{11}		...		$x_{1,m1}$	
	$X_{2\alpha_2}$	x_{21}	x_{22}	...		$x_{2,m2-1}$	$x_{2,m2}$
	...						
T3	$X_{n\alpha_n}$	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	x_{n4}	x_{n5}	$x_{n,mn}$
	P_1	f_{11}				f_{1j}	$f_{n,mn}$
	P_1	f_{11}				f_{1j}	$f_{i,mn}$
	P_1	f_{11}				f_{1j}	$f_{1,mn}$

Таблица выбора элементов матрицы при холодной штамповке

Таблица 5.2

ТАВ	20						—				
	H ≤	0,5	1,0	2,5	4,0	5,0	0,5	1,0	2,5	4,0	5,0
ТЗ	s ≤	0,5	1,0	2,5	4,0	5,0	0,5	1,0	2,5	4,0	5,0
	β	2°	2°	2°	3°	3°	2°	2°	2°	3°	3°
	α	0° 10'	0° 15'	0° 20'	0° 30'	0° 45'	0° 10'	0° 15'	0° 20'	0° 20'	0° 45'
ТЗ	Конусность	1:200	1:100	1:50	1:38	1:30	1:200	1:100	1:100	1:50	1:30
	f	6	6	6	8	8	6	8	8	10	10

П р и м е ч а н и е. H — ширина листа; s — толщина листа; β , α — конусность и h параметры рабочей части матрицы.

переменной X_i . Такой порядок размещения значений переменных минимизирует таблицу, упрощает процесс перфорации и ввода ее в ЭВМ, сокращает объем запоминающего устройства (ЗУ), занимаемый таблицей, сокращает время поиска решения по ней. Таблица значений (ТЗ) функций представляет собой прямоугольную матрицу, стороны которой содержат значения f_{ij} функций P_i . При этом число функций P_i (число строк) может изменяться от 1 до l .

Значения переменных в ТА располагаются таким образом, чтобы построенный по ней граф, вершинам которого соответствуют значения переменных, а дугам — наличие связи между ними, имел бы структуру растущего дерева.

Отметим еще, что переменные $X_1, \dots, X_n$ входят в ТА с различными отношениями a_i , которые могут принимать одно из следующих значений: $<$ — меньше; $>$ — больше; $\leq$ — меньше или равно; $\geq$ — больше или равно; $=$ — равно; $\llcorner$ — находится в интервале.

Отношение a_i должно быть общим для всех значений переменной X_i . Если значения переменной X_i входят в F_i с различными отношениями, то их необходимо свести к одному. Например, если X_i принимает множество значений:

$$\leq 10, \leq 15, \leq 20, > 20,$$

то его можно заменить таким:

$$\leq 10, \leq 15, \leq 20, \leq A,$$

где A — число, заведомо превосходящее возможное значение переменной X_i .

Таблица II типа также многофункциональная с горизонтальной таблицей аргументов (ТАГ). ТАГ располагается слева перед ТЗ и состоит из столбцов (табл. 5.3). Переменные $Y_1, \dots, Y_n$ располагаются в 1-м, 2-м, n -м столбцах в иерархическом порядке по возрастанию значения переменной Y_i , выражающей число значений P_i . Иллюстрацией реализации таблицы II типа является табл. 5.4 для выбора коэффициентов и показателей степени.

Таблица II типа

ТАГ			ТЗ						
$Y_1 \alpha_1$	$Y_2 \alpha_2$	...	$Y_n \alpha_n$	P_1			P_i		P_l
y_{11}	y_{21}		y_{n1}	f_{11}			f_{1i}		f_{1l}
			y_{n2}						
	y_{22}		y_{n3}						
			y_{n4}						
.	.		.						
.	.		.	f_{i1}			f_{ij}		f_{il}
.	.		.						
	y_{2, n_2-2}								
	y_{2, n_2}								
			y_{n, m_n}	$f_{m_n 1}$			$f_{m_n i}$		$f_{m_n l}$

Таблица 5.4

Таблица выбора коэффициента и показателей степени

ТАГ		ТЗ							
КОД	КМД	C_p	x_p	y_p	z_p	C_m	x_m	y_m	z_m
70	1-70	84	0	0,7	1	0,069	0	0,8	2,0
	11-18	105	0	0,77	1	0,164	0	0,78	1,76
	19-21	62,5	0	0,8	1	0,046	0	0,8	1,9
71	1-10	34,7	1,3	0,7	0	0,158	0,9	0,8	1,0
	11-18	45	1,3	0,7	0	0,310	0,9	0,8	1,0

П р и м е ч а н и е. КОД — код метода обработки (70—сверление, 71—рассверливание); КМД — код материала (1—10 — углеродистые стали; 11—18 — жаропрочные стали; 19—21 — чугуны).

Таблица III типа

		$X_1\alpha_1$		x_{11}		...		x_{1,m_1}		TAB				
		$X_2\alpha_2$		x_{21}	x_{22}	...		$x_{2,m-1}$	x_{2,m_2}					
$Y_1\alpha_1$	$Y_2\alpha_2$	...										TAB		
		$X_n\alpha_n$	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	x_{n4}	...	...	...	...	x_{nm}			
y_{11}	y_{21}	y_{k1}	f_{11}	.	.	.	f_{1j}	..	.	.	.	.	.	
		y_{k2}	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	y_{22}	y_{k3}	.	.	.	.	..	.	.	.	.	.	.	
		y_{k4}	.	.	.	.	..	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	f_{i1}	.	.	.	f_{ij}	.	.	.	.	.	f_{im}	T3
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
y_{1l_1}	y_{2l_2}	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
		y_{klk}	f_{lk1}	.	.	.	f_{lkj}	.	.	.	.	.	f_{lmk}	

Таблица 5.6

Операционные припуски на фрезерование плоскостей

$h \leq$	$b \leq$	Код					
		63			64		
		$l \leq 100$	250	400	100	250	400
30	200	1,0	1,2	1,5	1,0	1,0	1,0
	400	1,2	1,5	1,7	1,0	1,0	1,0
500	200	1,0	1,5	1,7	1,0	1,0	1,2
	400	1,5	1,5	2,0	1,0	1,2	1,2
100	200	1,5	1,7	2,0	1,0	1,3	1,5
	400	1,7	2,0	2,5	1,3	1,5	1,5

Примечание. 63 – черновое фрезерование; 64 – чистовое фрезерование;
 h – толщина; b – ширина; l – длина фрезерования

Таблица III типа однофункциональная, когда информация описывается функциональной зависимостью, в которой значение функции представляет собой один элемент. В таблицах этого типа (табл. 5.5) сверху располагаются ТАВ, слева ТАГ, в центре ТЗ функции. Примером таблицы III типа может служить табл. 5.6 для определения припуска на фрезерование плоскостей.

Структура ТЗ для всех типов таблиц представляет собой прямоугольную матрицу. При изменении ее содержания или величины программа поиска решений из матрицы остается неизменной.

Введение рассмотренной модели позволяет формализовать процесс составления алгоритмов для обработки справочно-нормативной информации.

5.4. ТАБЛИЦЫ СООТВЕТСТВИЙ

Проектирование ТП включает процедуру принятия различных решений, определяющих технологию обработки и ее особенности, средства оснащения и т.п. Задачи принятия решений сводятся в принципе к анализу соответствий между конечным множеством возможных решений и конечным множеством значений условий, влияющих на выбор этих решений.

Число независимых условий, влияющих на выбор решений, может быть весьма большим (до 20 и более), а число значений условий может превосходить несколько десятков. Число возможных комбинаций исходных условий при решении даже простых задач достигает десятков и сотен тысяч. Простой перебор всех вариантов даже при использовании средств вычислительной техники (ВТ) трудно осуществим. Поэтому оказалось необходимым разработать специальный метод решения таких задач, названный методом поиска решений по таблицам соответствий (ТС) [3].

Теоретической основой метода является понятие соответствия как наиболее общего отношения между множествами условий задачи и множествами возможных решений.

Формой задания соответствий, удобной для составления алгоритмов и последующей машинной обработки, является ТС, в которой выражаются связи между множествами возможных решений и множествами условий их применения.

Общая структура ТС приведена в табл. 5.7. В левой верхней части таблицы записывают область отправления, содержащую множество

Исходная таблица соответствий $T(X, Y)$

Множество условий существования решений															Мно- же- ство			
X_1			X_2			X_3			X_4				X_5				ре- ше- ний Y	
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{41}	x_{42}	x_{43}	x_{44}	x_{45}	x_{51}	x_{52}	x_{53}		x_{54}
1		1	1	1	1		1		1		1				1			1
	1		1	1	1	1				1		1			1			1
	1		1	1	1		1		1		1		1		1			1
1		1	1	1	1		1			1		1			1			1
1		1	1	1	1	1				1		1			1			1
			1	1	1				1		1				1			1
			1	1	1		1		1		1				1			1
1		1	1	1	1		1			1		1			1			1

Таблица 5.8

Нормализованная таблица соответствий $T(X, Y)$

X_1		X_3			X_4		X_5		Y
1, 3	2	1	2	3	1, 3, 5	2, 4	1, 3	2, 4	
1		1	1		1			1	y_1
	1	1				1		1	y_2
	1		1		1			1	y_3
1			1			1		1	y_4
1		1				1		1	y_5
			1		1			1	y_6
			1		1			1	y_7
1			1			1		1	y_8
				1		1		1	y_9

условий существования решений (множество условий $X = \{X_1, \dots, X_n\}$). Каждое условие $X_i \in X$ может принимать некоторое конечное множество значений $x_{i1}, \dots, x_{in}$. В табл. 5.7 элементы множества значений обозначены 1, 2, 3 ... Отметим, что значения условий в ТС могут быть записаны в виде их кодов, идентификаторов и т.п. В правой части таблицы записывают область прибытия, представляющую собой множество $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$, элементы которого характеризуются общим технологическим содержанием. По существу, область прибытия содержит не множество решений, а множество m вариантов решения, поскольку в одной ТС элементы множества Y не могут иметь различное технологическое содержание. Для иллюстрации в табл. 5.9 приведена ТС для выбора вспомогательного инструмента для накатки сетки. Область прибытия (решения) здесь содержит перечень типов (индексов) державок для накатки, т.е. список вариантов одного решения – выбора державки.

В центральной части ТС (см. табл. 5.7) фиксируются связи между условиями и решениями. В таблице наличие связи между условиями и решением обозначено 1, а отсутствие связи – пустой клеткой.

Следует отметить, что множество решений $Y = \{y_1, \dots, y_m\}$ и множество значений всех условий X_i определяют матрицу соответствий. Решению y_i соответствует j -я строка матрицы, k -му значению i -го условия соответствует столбец матрицы соответствий с номером $k + \sum_{i=1}^n n_i$. Число элементов матрицы соответствий равно $m \sum_{i=1}^n n_i$, где n_i — число значений i -го условия; m — число вариантов решения некоторой технологической задачи.

Упомянутые выше табл. 5.7 и 5.9 носят название исходных ТС. Их получают простым табулированием справочных и нормативных материалов, результатов обобщения опыта машиностроительных заводов и отраслей. Исходные ТС не могут быть использованы непосредственно в алгоритмах выбора решений, так как они имеют ряд недостатков: недостаточность или избыточность информации, большой объем таблиц в связи с наличием в них избыточных данных и нулевых значений условий. Поэтому исходные ТС необходимо преобразовать. Преобра-

Таблица 5.9

Таблица выбора вспомогательного инструмента для накатки

Решение		Модель станка X_1										X_2 Тип накат- ки		X_3 шаг s накатки мм					
Y	Индекс державки	Да R12	1112	15112	1118	15118	A20	1A124	15124	1A136	15136	15140	1	2	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
1	Да 42-1																		
2	Да 42-3																		
3	Да 42-2																		
4	Да 43-1																		
5	Да 43-3																		
6	Да 43-2																		
7	Да 5-1																		
8	Да 5-2																		
9	Да 5-4																		
10	Да 54-1																		
11	Да 54-2																		
12	Да 54-3																		
13	Да 54-4																		

зование состоит из нормализации, оптимизации и корректирования исходных ТС.

Для преобразования исходной ТС в нормализованную необходимо выполнить следующие действия:

а) удалить все столбцы, соответствующие значениям безразличного параметра. Безразличным относительно ТС $T(XY)$ называют параметр $X_k \in X$, если все его значения безразличны относительно этой таблицы. В табл. 5.7 безразличным является параметр (условие) X_2 , поэтому он в нормализованную ТС (см. табл. 5.8) не включен. В то же время параметр X_5 , у которого значения x_{52} и x_{54} безразличны, а значения x_{51} и x_{53} являются неопределенными, в целом не является безразличным и он включен в нормализованную ТС.

В табл. 5.9 безразличным будет параметр X_3 — шаг накатки, потому что накатку сетки с любым шагом можно выполнить с использованием любой из державок, перечисленных в таблице решений (область прибытия). Иными словами, между значениями этого параметра

Таблица 5.10

Нормализованная таблица выбора вспомогательного инструмента для накатки

Решение		Модель станка X_1				X_2 тип накатки	
Y	Индекс державки	Да R12	1112 15112 1118 15118	A 20	1A124 15124 15136 15136 15140	1	2
1	Да 42-1						
2	Да 42-3						
3	Да 42-2						
4	Да 43-1						
5	Да 43-3						
6	Да 43-2						
7	Да 5-1						
8	Да 5-2						
9	Да 5-4						
10	Да 54-1						
11	Да 54-2						
12	Да 54-3						
13	Да 54-4						

$s = 0,5 \dots 1,5$ и типами державок зависимости нет. Поэтому при выборе типа державок шаг накатки можно не учитывать;

б) уплотнить ТС путем объединения граф с одинаковыми соответствиями между значениями условий и вариантами решения. Для исходной ТС по табл. 5.7 по этому принципу объединены значения 1, 3 условия x_i , значения 1, 3 и 5 условия X_4 и т.д. (см. табл. 5.7 и табл. 5.8). Для ТС по табл. 5.9 уплотнение сводится к объединению столбцов с моделями станков, для которых подходят одни и те же типы державок. Например, графы с обозначением станков 1112, 1Б112, 1118 и 1Б118 (см. табл. 5.9) объединены в один столбец в нормализованной ТС в табл. 5.10 и т.д. Сравнение исходных таблиц (см. табл. 5.7 и 5.9) с нормализованными (см. табл. 5.8 и 5.10) показывает, что после нормализации ТС становятся более удобными для пользования и во много раз меньшими по объему при выполнении тех же функций.

5.5. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ТАБЛИЦ СООТВЕТСТВИЙ

При автоматизированном проектировании ТП оптимизация принимаемых решений является обязательной.

Из всех возможных методов наиболее рациональным является тот, при котором оптимизация выполняется не в процессе самого технологического проектирования для каждой детали, а переносится на этап составления исходных ТС. В этом случае затраты времени на оптимизацию отдельных решений распределяются на весь период использования программ и информационных массивов и их доля для отдельных задач будет незначительной.

Рассмотрим ТС как средство оптимизации выбираемых решений. При этом могут быть два случая:

а) решение определяется однозначно на основании только технических требований, например выбор углов заточки инструмента, смазывающе-охлаждающей жидкости применительно к определенной марке материала и виду обработки;

б) решение определяется неоднозначно: из ряда технически возможных решений должно быть выбрано одно, наиболее эффективное в заданных условиях (например, выбор варианта технологической операции, оборудования, оснащения), когда один и тот же результат может быть получен различными методами при различных затратах.

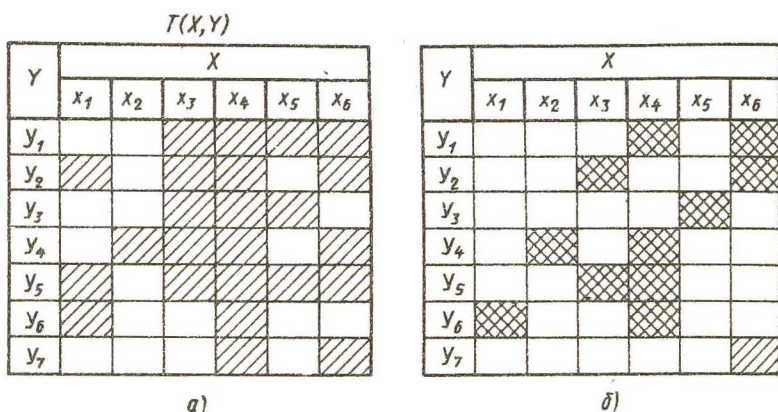


Рис. 5.2. Таблицы соответствий:

а — технически возможный график соответствий; б — экономически эффективный график соответствий

В первом случае ТС, составленная на основе существующих нормативов, стандартов и других регламентирующих материалов, не нуждается в оптимизации.

Во втором случае в исходную ТС включаются все технически допустимые варианты решения, а затем производится их оптимизация. Задача оптимизации состоит в том, чтобы для каждого значения $x \in X$ области отправления найти технически возможные и наиболее экономически эффективные решения $y \in Y$.

На рис. 5.2, а приведена исходная таблица соответствий $T(X, Y)$. Для различных значений $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ одного из условий X определено конечное множество вариантов решения $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Как видно из графика, приведенного на рис. 5.2, а, для всех значений условий, кроме x_2 , одному значению области отправления соответствует не один, а несколько вариантов решения (заштриховано). Иными словами, одному и тому же значению условия соответствуют разные технические решения. Например, значению x_1 соответствуют варианты y_2, y_5 и y_6 решения Y .

Варианты решения для каждого значения x_i по своим экономическим показателям неравноценны. Для определения рациональных (оптималь-

ных) вариантов необходимо для каждого из них определить показатель эффективности. Наиболее разработана методика оптимизации вариантов ТП, операций, переходов по экономическим критериям – технологической себестоимости C , трудоемкости T , приведенным затратам $Z_{пр}$ и др.

Вычисленные значения $y_i \in Y$ для каждого из значений условия $x_i \in X$ наносят на график (рис. 5.3). Для наглядности точки, соответствующие минимальным затратам, соединяют прямыми линиями. Полученная ломаная (линия минимальных затрат) соединяет точки, принадлежащие вариантам решения $y \in Y$; последние при заданных условиях $x_i \in X$ являются, с одной стороны, технически возможными, а с другой – наиболее экономичными. Примем эти решения в качестве оптимальных. На рис. 5.2, б оптимальные решения показаны перекрестной штриховкой.

Подобным же образом производят оптимизацию вариантов решения для остальных условий, а затем составляют общую ТС. С помощью каждого из соответствий определяют частные оптимумы (как в приведенном выше примере), а поскольку соответствия независимы одно от другого, то ТС (общая) будет определять общий оптимум по ряду одновременно действующих условий. Таким образом, при применении рассмотренного выше метода процесс оптимизации принимаемых решений переносится из этапа проектирования ТП для конкретных деталей в этап подготовки информационных массивов.

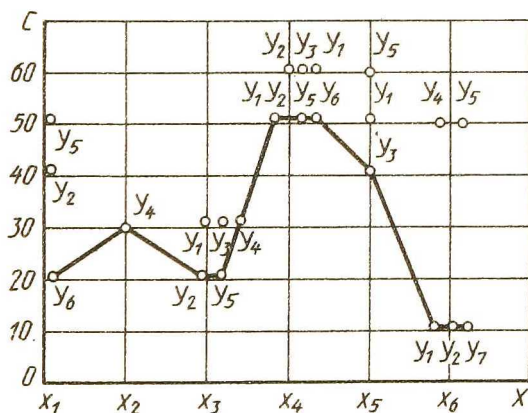


Рис. 5.3. График оптимальных решений в таблице соответствий по рис. 5.2, а

Вопросы для самопроверки

1. Укажите назначение, формы и состав ИПС.
2. Поясните классификацию ИПС по сфере использования, уровню автоматизации, режиму работы, виду поиска, типу ИПЯ, виду носителей информации.
3. Покажите схему выдачи информации: информационная потребность → информационный запрос → поисковое предписание → поисковый образ. Назовите критерии выдачи информации.
4. Назовите формы (модели) справочно-нормативных таблиц. Сравните таблицы I, II и III типов.
5. Укажите, каковы принципы построения ТС. Для чего производится нормализация исходных ТС.
6. Объясните, для чего и как выполняется оптимизация ТС.

Г Л А В А 6

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ТИПИЗАЦИИ

Сущность метода автоматизированного проектирования ТП механической обработки на основе унифицированных технологических процессов (на основе типизации ТП) была рассмотрена в разд. 4.2. На базе метода создано значительное число систем проектирования, существенно различающихся содержанием и формой алгоритмов, внутренними формализованными языками, системой подготовки информации о детали (классификации и кодирования), уровнем комплексирования, режимом проектирования (пакетным или диалоговым), используемой вычислительной техникой, а также своими возможностями для различных по конструкции деталей. Ниже будет изложено описание характерных представителей САПР ТП на основе типизации.

6.1. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

6.1.1. Общая характеристика системы

Методической основой САПР ТП типовых технологических решений (ТТР) является технологическая унификация, содержание которой было подробно рассмотрено в гл. 2. Здесь только необходимо добавить, что при создании рассматриваемой САПР в наибольшей степени были использованы основные положения типизации ТП на уровне маршрута (типизация технологических маршрутов) и на уровне операций (типизация операций). Два уровня типизации обусловили два уровня проектирования структуры ТП на заданную деталь: проектирование технологического маршрута и проектирование операций. Это хорошо видно на общей схеме проектирования ТП в САПР ТП ТТР, представленной на рис. 6.1.

Описываемая система предназначена для автоматизированного проектирования ТП механической обработки деталей класса "тела вращения", конфигурацию которых образуют наружные и внутренние цилиндрические, конические и резьбовые поверхности, плоские поверхности — торцевые и параллельные оси детали, шлицы, зубья и шпоночные канавки, внеосевые отверстия. Некоторое представление о возможностях системы можно получить по чертежу комплексного представителя одной из групп (см. рис. 6.3).

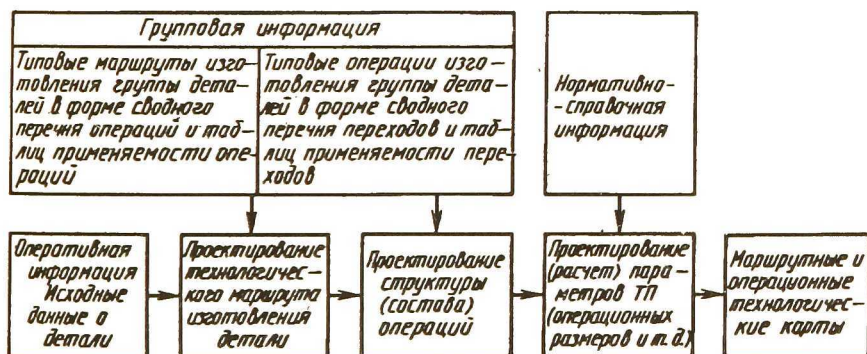


Рис. 6.1. Общая схема автоматизированного проектирования ТП механической обработки на основе ТТР

Структурно система состоит из двух частей. Основная часть системы является инвариантной и может быть использована для проектирования ТП всех групп заданного класса деталей. Сюда относятся система классификации и группирования деталей, система кодирования информации о деталях, кодирования групповой и нормативно-справочной информации, алгоритмы и программы вычислительного процесса.

Другая часть системы – настраиваемая на проектирование ТП определенной группы деталей. Сюда относится групповая информация, составными частями которой являются:

комплексные представители для классификационных групп деталей;

ТТР в форме "Сводного перечня операций" и "Сводного перечня переходов" для каждого комплексного представителя (на каждую группу деталей);

табличные алгоритмы для определения структуры ТП и структуры операции "Применяемость операций" и "Применяемость переходов",

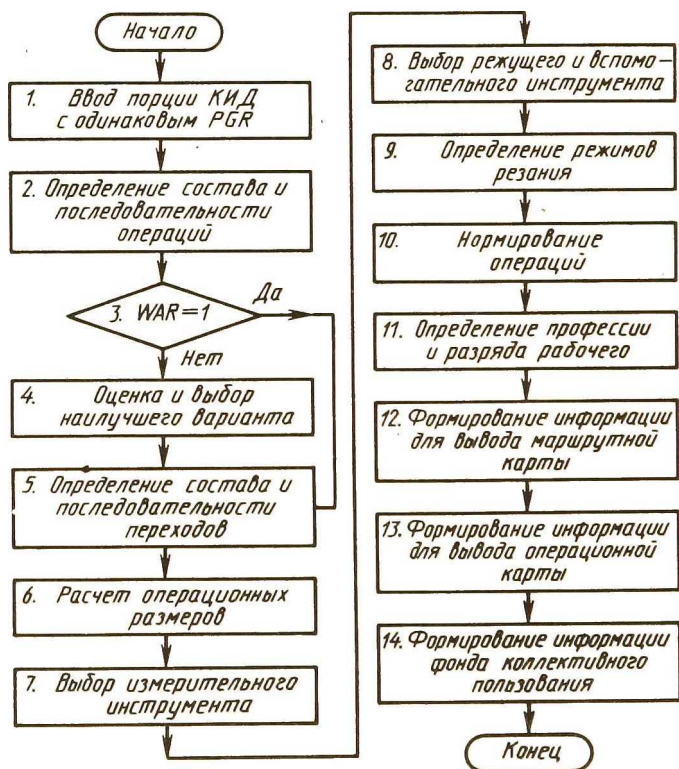


Рис. 6.2. Общая блок-схема вычислительного процесса

оформляемые в виде таблиц соответствий, для выбора режущего и измерительного инструмента и т.д.

При создании САПР ТП разрабатываются ее инвариантная часть и вариантная, настраиваемая, – на одну-две группы деталей. В основном же групповая информация разрабатывается при внедрении системы на предприятиях применительно к номенклатуре и особенностям деталей, для которых будет использоваться САПР ТП ТТР.

Как показано на рис. 6.1, в процессе проектирования используется три вида информации: оперативная информация (исходные данные о детали), групповая, о которой говорилось выше, и нормативно-справочная. Групповая информация используется для проектирования структуры ТП, а нормативно-справочная – при расчете параметров ТП (припусков и операционных размеров, режимов резания и норм времени и т.д.).

Более полное представление о содержании и порядке проектирования ТП в САПР ТП ТТР можно получить из рассмотрения рис. 6.2, где показана общая схема вычислительного процесса. Проектирование начинается с ввода оперативной информации – порции (до 5) карт информации о деталях (КИД) с общим признаком групповой обработки (*PGR*). Если такой общности нет, то вводится по одной КИД. Работа последующих функциональных блоков решения отдельных задач проектирования будет подробно рассмотрена ниже. Здесь же отметим, что решение задачи проектирования технологического маршрута в блоке 2 может быть многовариантным ($WAR > 1$) и тогда в блоке 4 производится оценка вариантов по технико-экономическим критериям.

6.1.2. Разработка групповой информации

Работа по созданию групповой информации выполняется в следующей последовательности:

- 1) на предприятии, где предполагается внедрение САПР ТП, выбирается тип деталей для перевода на автоматизированное проектирование ТП;
- 2) устанавливаются классификационные признаки группирования деталей, производится классификация и группирование деталей;
- 3) выбираются ранее спроектированные и действующие в производстве прогрессивные ТП для формирования ТТР;
- 4) разрабатываются комплексные представители групп деталей;
- 5) разрабатываются и утверждаются ТТР;

6) разрабатываются алгоритмы (таблицы соответствий) для проектирования технологических маршрутов и операций.

Классификация и группирование деталей. Разработка комплексного представителя. Тип деталей для автоматизированного проектирования ТП устанавливается в зависимости от специализации цехов и участков. При этом главными критериями являются число проектируемых в год ТП на детали данного типа и трудоемкость их разработки. В одну группу следует объединять детали, сходные по своему функциональному назначению, видам поверхностей и их сочетаний, применяемым методам обработки. Изучив чертежи деталей выбранного типа, устанавливают конструктивные признаки, определяющие технологичес-

Таблица 6.1

**Конструктивные признаки деталей
типа вилок, ушковых болтов**

Конструктивный признак	Значение признака
Тип деталей по функциональному назначению	Ушковые болты, вилки
По виду и сочетанию поверхностей	Детали — тела вращения с наличием плоских поверхностей, параллельных оси. Поверхности вращения могут быть гладкими или резьбовыми, цилиндрическими, коническими или фасонными
По виду центрального отверстия	Детали могут иметь центральное сквозное или глухое отверстие, ступенчатое (не более четырех ступеней)
По виду наружных поверхностей	Наружная поверхность вращения детали может быть ступенчатой комбинацией из пяти поверхностей, на которых могут быть канавки, конус, резьба
Наличие нецентральных отверстий	Детали могут иметь до четырех отверстий, перпендикулярных оси вращения детали

Конструктивный признак	Значение признака
Габаритные размеры детали	$15 \leq L \leq 200, 5 \leq D \leq 60, H \leq 60$
Точность размеров	Не выше 6-го качества (2-го класса точности)
Шероховатость поверхностей	Шероховатость отверстий не выше $Ra = 1,25$ мкм, шероховатость остальных поверхностей не выше $Ra = 2,5$ мкм
Вид заготовки	Прутки, штамповка
Тип заготовки	Групповая или индивидуальная
Материал	Сталь 20, 25, 45, 30ХГСА, Д16, Д16Т, АК-6
Термообработка	Детали из сплава 30ХГСА закаляются до $\sigma_B = 1400 \text{ Н/мм}^2$, детали из остальных материалов термически не обрабатываются

кое подобие деталей и оказывающие существенное влияние на ТП. В качестве примера в табл. 6.1 приведен перечень конструктивных признаков деталей типа вилок, ушковых болтов. По указанным в табл. 6.1 и аналогичным признакам (условиям) производится группирование деталей (вручную или с помощью ЭВМ). Результатом работы должна быть машинограмма с номенклатурой сформированной группы деталей. При группировании вручную формируется аналогичный документ.

Следующим шагом на пути к формированию чертежа комплексного представителя и разработке ТТР является выбор деталей, технологические процессы изготовления которых будут исходными для формирования ТТР. Отобранные детали в совокупности должны отражать все множество поверхностей всех деталей этой группы, а также все множество конструктивных признаков, влияющих на построение ТП.

Сначала выбирается наиболее сложная по конфигурации деталь, которая содержит наибольшее число поверхностей; второй выбирают деталь, отличающуюся от первой какими-то поверхностями или признаками, влияющими на ТП; третьей может быть деталь, отличающаяся от первых двух какими-то новыми поверхностями или признаками, и так до тех пор, пока в совокупности не будет охвачено все многообразие поверхностей и признаков, влияющих на содержание ТП.

Теперь на основании чертежей деталей описанной выше выборки можно приступить к разработке чертежа комплексного представителя группы. **Комплексный представитель** — это условная деталь, содержащая все поверхности и их сочетания, которые имеются у деталей, входящих в группу. Сначала берется чертеж наиболее сложной детали (первой детали выборки), рисуется ее эскиз и к ней добавляются недостающие поверхности других деталей выборки.

На рис. 6.3 показаны фрагменты чертежа комплексного представителя группы деталей типа вилок, ушковых болтов. Стремление увеличить номенклатуру деталей группы привело к значительной сложности чертежа. На чертеже комплексного представителя изображаются координатные направления в форме осей координат (на рис. 6.3 в правом верхнем углу), указываются номера направлений (векторов) и знаки. Левая и нижняя сторона направлений имеют знак "—", а правое и верхнее направления — знак "+".

Всем поверхностям и осям комплексного представителя присваиваются номера (от 1 до 999) в следующей последовательности:

1) поверхностям и осям одного направления в порядке их расположения слева направо; 2) внутренним поверхностям в порядке их расположения слева направо; 3) крайней правой плоскости (торцу).

Затем в такой же последовательности присваиваются номера поверхностям во всех остальных направлениях. При этом рекомендуется оставлять резерв номеров (15–20) в каждом направлении. Номера поверхностей в различных направлениях не должны повторяться.

На некоторых поверхностях могут быть расположены поверхности наложения (лыски, отверстия, резьбы, канавки и т.п.). Номера этим поверхностям следует присваивать после присвоения номера поверхности, на которой они расположены. При обозначении фасок вычерчиваются выносные линии и над ними надписывается $C \times B$; если же эта

Рис. 6.3. Чертеж комплексного представителя группы деталей типа вилок, ушковых болтов



поверхность является конусом, то ей присваивается отдельный номер (см. рис. 6.3). Для сферической поверхности указывается ось радиуса и присваивается номер поверхности.

После формирования геометрического образа комплексного представителя разрабатывается массив "Характеристика поверхностей комплексного представителя". Фрагмент такого массива применительно к комплексному представителю по рис. 6.3 приведен в табл. 6.2.

В графу 1 таблицы записываются номера поверхностей комплексного представителя. В графу 2 (реквизит *FORMA*) записываются коды геометрической формы поверхностей. Кодировочная таблица не приводится, дадим только значения кодов, использованных в табл. 6.2: 10 – торец; 11 – цилиндрическая поверхность; 12 – коническая поверхность; 13 – сферическая поверхность; 14 – ось; 15 – фаска; 20 – плоскость; 21 – радиус.

Таблица 6.2

*Характеристика поверхностей комплексного представителя
деталей типа вилок, ушковых болтов (фрагмент)*

Номер поверхности	Признак формы FORMA	Наружная или внутренняя PRIZN	Направление NAPR	Необходимые виды размерных связей RAZMSW	Возможные по- верхности со- пряжения		Возможные размерные связи с поверхнос- тями SWJAZ
					SLEWA	SPRAWA	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	14		1	L2			70, 960, 173, 245 961
5	10	H	-1	L1		10, 25, 45, 130, 160	500, 110, 215, 60, 120, 140, 15, 20, 30, 40, 325

Номер поверхности	Признак формы FORMA	Наружная или внутренняя PRIZN	Направление NAPR	Необходимые виды размерных связей RAZMSW	Возможные по- верхности со- пряжения		Возможные размерные связи с поверхнос- тями SWJAZ
					SLEWA	SPRAWA	
1	2	3	4	5	6	7	8
10	13	H	-1	R1L1	5	25, 35, 45 130 160, 165	1, 15, 20
20	14		2	R1L1			10, 15, 915, 500
25	11	H		D1	6, 10	35, 45, 60, 140	1
35	21	H	+1	R1	25, 10	45, 140, 60	40
45	12	H	+1	D1B1 D1Z1	10, 25, 35	360, 130, 120 140, 160, 55	
50	12	H	-1	B1	10, 5	120, 140	
55	21	H	-	-	45	60, 130	
70	20	H	+2	L2	5, 10	110, 117	1, 325, 245, 961 130
80	11	B		D2L1	245, 325 243, 327 961	355, 70, 5, 10, 20 77 350, 960	

В реквизит *PRIZN* (графа 3) записывается буква *D*, если поверхность внутренняя, или буква *H*, если поверхность наружная.

В реквизит *NAPR* (графа 4) записываются направления поверхности по координатам, изображенным в правой верхней части чертежа комплексного представителя (см. рис. 6.3). Так, в реквизит для поверхностей 5, 10, 50, открытых слева, запишем -1 , для поверхностей 35, 45, 67, обращенных вправо, запишем $+1$; в реквизит поверхностей 70, 77, 83, обращенных в направлении вверх запишем $+2$.

В графу 5 заносятся виды размерных связей (*D, L, R, C, B*) и номер направления. Например, поверхность 5 (торец) связана линейной связью по первому направлению и поэтому в графу *RAZMSW* для нее записано *L1*; поверхность 70 должна иметь линейную связь по 2-му направлению, поэтому реквизит *RAZMSW* для нее имеет запись *L2*; поверхность 80 (отверстие) имеет диаметрально размерную характеристику и линейную связь (координацию) по направлению 1, поэтому для нее запишем *D2L1* (*D2* потому, что ось отверстия 80 совпадает с направлением 2).

В реквизит "Возможные поверхности сопряжения" записываются номера поверхностей, с которыми рассматриваемая поверхность может сопрягаться слева (графа 6) и справа (графа 7). В каждую графу рекомендуется записывать не более 10 поверхностей.

В графу 8 записываются номера поверхностей, с которыми описываемая поверхность может быть связана линейными размерами. Запись поверхностей осуществляется по приоритетности — от наиболее часто встречающейся размерной связи к реже встречающейся. Если описываемая поверхность имеет форму цилиндра или конуса, то на первом месте в реквизите *SWIAZ* следует записать номер оси, на которой расположена описываемая поверхность. При описании закоординированных поверхностей, имеющих форму радиуса и сферы, ось также записывается первой. Во всех остальных случаях, если описываемая поверхность имеет размерную связь с осью, в реквизите *SWIAZ* эту ось следует записать в конце, после записи других поверхностей.

Разработка типовых технологических решений. ТТР — это комплекс взаимосвязанных решений по обработке деталей классификационной группы, позволяющий по заданным условиям однозначно назначать наименования и последовательность операций и переходов обработки любой детали группы. В рассматриваемой САПР ТП ТТР типовые технологические решения используются в форме трех документов: "Сводного ТП", представляющего собой первичные типовые

технологические решения, и разрабатываемых на его основе "Сводного перечня операций" и "Сводного перечня переходов". В свою очередь, на основе "Сводного перечня операций" и "Сводного перечня переходов" разрабатываются табличные алгоритмы проектирования структуры ТП: "Применяемость операций" и "Применяемость переходов".

Работа по созданию ТТР является весьма ответственной, поскольку их качество непосредственно влияет на качество ТП, получаемых при автоматизированном проектировании. "Сводный перечень операций" и "Сводный перечень переходов" играют роль шаблона, трафарета, прототипа, по которому ЭВМ проектирует рабочий ТП на конкретную деталь.

Может быть два случая создания ТТР. В первом случае ТТР разрабатываются на основе имеющихся проверенных ТП изготовления деталей, подобных тем, которые включены в группу. При этом возможно как ручное, так и машинное формирование ТТР. Во втором случае прототипы ТП отсутствуют (например, при разработке ТТР для группы деталей нового изделия). В таких условиях возможна только ручная разработка ТТР, которую целесообразно поручить технологам, имеющим опыт проектирования типовых или групповых ТП.

Рассмотрим методику и последовательность разработки ТТР при наличии технологических процессов-прототипов. Для формирования "Сводного технологического процесса" (первичных ТТР) следует заготовить бланки по форме, пример которой дан в табл. 6.3.

Формирование первичных ТТР производится в следующей последовательности:

1) выбирается технологический процесс $ТП_i$ на самую сложную деталь выборки;

2) операции маршрута $ТП_i$ выбранной детали распределяются по этапам обработки. Известно, что ТП изготовления детали малой и средней сложности содержит два-пять этапов обработки (черновой, чистовой и т.д.). Для того чтобы учесть все разнообразие технологических маршрутов большой группы деталей, необходимо выделить значительное число этапов (10 и более). Границами этапов являются операции термообработки (цементация, закалка, отпуск, азотирование, старение, отжиг, стабилизация и т.д.), операции покрытий (гальванические и т.д.), операции контроля. Эти неформобразующие операции также получают признак (номер) этапа;

Сводный ТП обработки деталей типа вилки, ушковых болтов

Маршрут обработки

Условия назначения	Рабочее положение	Модель оборудо- вания	Тип прис- пособления	Признак механической обработки
наименование операции	детали (код)	условия назначения		условия назначения
Заготовительная	1	866	Тиски с винтовым зажимом	
заготовка - прутки				
Слесарная		БС2608	Тиски с винтовым зажимом	
заготовка - штамповка				
Токарная	— 1	1К62	Трехкулач- ковый пат- рон, упор	2

Таблица 6.3

(фрагмент)

Переходы			
Наименование перехода	Тип режущего инструмента	Номер обрабатываемой поверхности	Признак технологического перехода
условия назначения	условия назначения		
Установить и закрепить прутки			
Отрезать заготовку	Пила сегментная	940	
индивидуальная заготовка			
Отрезать групповую заготовку	Пила сегментная	940	
групповая заготовка			
Припилить штамповочный облой			
Установить и закрепить заготовку			
Подрезать торец	Резец проходной	005	
	ширина торца меньше 1,5 мм		
	Резец подрезной		
	ширина торца больше 15 мм		

3) каждая операция $ТП_i$ записывается в табл. 6.3 с резервированием места между ними для записи еще четырех-шести операций. Для того чтобы избежать переписывания и исправления, целесообразно для записи операций каждого этапа иметь отдельные листы табл. 6.3;

4) распределяются по этапам операции $ТП_{i+1}$ следующей детали выборки. Каждая его операция поочередно начиная с первой сравнивается с записанными в табл. 6.3 операциями $ТП_i$ на первую деталь с целью найти подобную ей операцию. Подобными называются операции, у которых одинаковые номер этапа, наименование, рабочее положение обрабатываемой заготовки, частично или полностью совпадающие обрабатываемые поверхности. При поиске и сравнении операции могут быть подобными или нет. В случае, если в маршруте $ТП_i$ есть операция, подобная сравниваемой из маршрута $ТП_{i+1}$, анализируются структуры этих операций и принимаются решения. При полном совпадении структур подобных операций содержание операции $ТП_i$ остается без изменения (в нее ничего не добавляется), поскольку операции тождественны. Если же они не тождественны (а только подобны), то необходимо выявить, по каким структурным составляющим они не эквивалентны.

При сравнении в маршрутах подобных операций могут быть следующие случаи:

а) операции отличаются моделью оборудования. Если операция $ТП_i$ имеет оборудование, на котором можно выполнить операции $ТП_{i+1}$, то оставляется уже записанная модель оборудования операции $ТП_i$. Если же операцию выполнить нельзя, то в i -ю операцию $ТП_i$ в графу "Модель оборудования" (см. табл. 6.3) необходимо записать модель оборудования $i + 1$ детали, указать условия ее назначения, а для модели оборудования операции $ТП_i$ тоже записать условия назначения;

б) операции отличаются приспособлениями. В этом случае следует записать в графу "Тип приспособления" приспособление операции $ТП_{i+1}$ и условия его назначения; записать также условия назначения приспособления операции $ТП_i$.

Если же подобная операция не найдена потому, что нет операции такого наименования в $ТП_i$ или по другим причинам (не то рабочее положение заготовки, нет таких поверхностей), то эта операция записывается в этом этапе за i -й операцией, имеющей такое же наименование, а если ее нет, то за последней в этом этапе операций $ТП_i$.

После сравнения содержания маршрутов $ТП_{i+1}$ и $ТП_i$ производится сравнение содержания операций. Сравнение переходов производится только в подобных операциях. В те операции $ТП_{i+1}$, которые вставлены в сводный ТП по признаку неподобия, следует записать данные о переходах в соответствующие графы.

При сравнении переходов в подобных операциях переходы могут быть подобными или нет. Подобными называются переходы подобных операций, в которых совпадают наименование переходов и частично или полностью обрабатываемые поверхности.

Методика сравнения переходов сводится к следующему. Выбирают из операции $ТП_{i+1}$ s -й переход начиная с первого и сравнивают его с s -м переходом начиная с первого подобной ей операции $ТП_i$. При сравнении могут быть следующие случаи и решения:

а) переходы полностью совпали. Тогда в переходы подобной операции $ТП_i$ ничего не добавляется;

б) среди переходов операции $ТП_i$ нашелся подобный переход, но в нем обрабатываемых поверхностей больше. При этом следует записать сравниваемый переход операции $ТП_{i+1}$ в переходы операции $ТП_i$ вслед за подобным переходом. Если же в подобном переходе операции $ТП_i$ меньше обрабатываемых поверхностей, то сравниваемый переход вставляется перед этим переходом, а в графу "Условия назначения" следует записать соответствующие обрабатываемые поверхности;

в) если в подобных переходах наблюдается несовпадение по нескольким структурным составляющим, то необходимо корректировать (дополнять) переходы операции $ТП_i$ в соответствии с изложенными выше рекомендациями.

Вероятны ситуации, когда невозможно найти факторы, влияющие на назначение операции, перехода и других структурных составляющих.

ИФ NP001. Сводный перечень операций (SPO) обработки деталей

Шифр операции <i>SHOP</i>	Номер перечня переходов <i>NPP</i>	Операция		Рабочее положение в опера
		Наименование	Код <i>NAIMO</i>	Наименование
A		Инструкци - онная	1090	—
1		Контрольная	2201	—
3	P005	Заготови - тельная	1914	Положительное первое
7	P010	Слесарная	2301	
		Контрольно - разметочная	1910	—
11		Слесарная	2301	—
13	P015	Слесарная	2301	—
15	P018	Токарная	1112	Отрицательное первое
17	P026	Револьверная	1114	То же

В этом случае могут быть введены условные поверхности. Эти поверхности не показываются на эскизе комплексного представителя, но они должны быть отражены в технологических признаках, которые добавляются к конструкторским признакам. В совокупности с конструкторскими они образуют конструкторско-технологические признаки, которые прикладываются к эскизу комплексного представителя.

Выше была подробно изложена методика сравнения операций и переходов технологических процессов $ТП_i$ и $ТП_{i+1}$ на две детали выборки. Затем сравнивается и анализируется $ТП_{i+2}$ на третью деталь и производится дополнение "Сводного ТП" и так далее до тех пор, пока не будет проведено сравнение с ТП последней детали выборки. Полученные первичные ТТР (сводный ТП) просматривают опытные

типа вилок, ушковых болтов (фрагмент)

детали ции	Модель оборудования		Приспособление	
Код <i>PRDOP</i>	Наименование	Код <i>KMOB</i>	Наименование	Код <i>KOSN</i>
—	—	—	—	—
—	Контрольный стол	2302		
1	866	4403	Тиски с вин- товым зажимом	6801
	БС 2608	2307	То же	6801
—	Разметочная плита	2306		
—				
—	Наждачная установка	2310		
—1	1K62	1101	Трехкулачковый патрон, упор	6121
—1	<i>WERNER</i>	1224	Цанга	6213

технологи, оценивают их с точки зрения прогрессивности заложенных методов обработки и при необходимости дорабатывают.

В том случае, когда прототипы ТП отсутствуют (создается новое производство, осваивается конструктивно новый объект и т.д.), "Сводный ТП" разрабатывается как типовый, ориентированный на комплексный представитель. При этом руководствуются закономерностями, правилами и рекомендациями технологии машиностроения.

Разработка "Сводного перечня операций" и "Сводного перечня переходов". "Сводный ТП" формирование которого было описано выше, непосредственно в САПР ТП не используется, он служит основой (базой) для разработки информационного и программного обеспечения САПР ТП. Как уже отмечалось выше, на базе "Сводного ТП" формируются массивы "Сводный перечень операций *SPO*",

ИФ NР001. Сводный перечень переходов (SPP) на детали типа

Номер перечня переходов	Номер пере- хода	Признак механичес- кой обра- ботки	Переход		
			Ключевое слово		Объект
			Наименование	Код	Наименование
<i>NPP</i>	<i>NPR</i>	<i>PMO</i>	<i>NADP</i>	<i>KDP</i>	<i>NAPD</i>
1	2	3	4	5	6
<i>P005</i>	1		Установить и закрепить	101	Пруток
<i>P005</i>	2	2	Отрезать	206	Заготовка
<i>P029</i>	1		Установить и закрепить	101	Деталь
<i>P029</i>	2	2	Подрезать	202	Торец
<i>P029</i>	3	2	Подрезать	202	Торец
<i>P029</i>	4	1	Точить	201	Поверхность
<i>P029</i>	5	1	Точить	201	Фаска
<i>P029</i>	6	1	Точить	201	Фаска
<i>P056</i>	1		Установить и закрепить	101	Деталь
<i>P056</i>	2	1	Фрезеровать	202	Вилка

"Применяемость операций *PRIMOP*", "Сводный перечень переходов *SPP*", "Применяемость переходов *PRIMPER*".

Рассмотрим коротко содержание и методику подготовки этих документов.

"Сводный перечень операций" (идентификатор *SPO*) представляет собой перечень операций, необходимых для обработки поверхностей деталей группы, записанных в технологической последовательности их выполнения. Выполнение операций перечня обеспечивает минимальную шероховатость и максимальную точность, принятые для этой группы деталей, а также допустимые предельные отклонения формы и расположения поверхностей в соответствии с конструкторскими

вилкок, ушковых болтов

	Поверхность							
обработки								
Код								
<i>KPD</i>	<i>OBP1</i>	<i>OBP2</i>	<i>OBP3</i>	<i>OBP4</i>	<i>OBP5</i>	<i>OBP6</i>	<i>OBP7</i>	<i>OBP8</i>
7	8	9	10	11	12	13	14	15
002								
001	940							
004								
035	915							
035	500							
015	908							
030	425							
030	205							
004								
103	335	070	325	245	355	335	349	

признаками комплексного представителя. "Сводный перечень операций *SPO*" оформляется в виде таблицы установленной формы (табл. 6.4). Все указанные в таблице реквизиты сводного перечня переносятся из первичных ТТР (сводного ТП) в той последовательности, в которой они там записаны. При формировании *SPO* необходимо соблюдать следующее:

а) если в операции, записанной в "Сводном ТП" предусмотрено несколько моделей оборудования, то в *SPO* следует записать эту операцию со всеми реквизитами столько раз, сколько моделей оборудования предусмотрено в операции;

б) если в операции предусмотрено несколько приспособлений, то следует в *SPO* записать эту операцию со всеми реквизитами столько раз, сколько приспособлений предусмотрено в операции.

После записи операций в *SPO* их следует пронумеровать в порядке возрастания, при этом целесообразно оставлять резерв в номерах между операциями. Эти номера записываются в графу "Шифр операции *SHOP*" (см. табл. 6.4). В колонку "Номер перечня переходов *NPP*" следует записать номер перечня, который состоит из буквы *P* и трех цифр начиная с 001. У операций "Сводного ТП", имеющих одинаковые переходы, будут одинаковые номера перечней. В операциях, в которых нет переходов, номер перечня отсутствует.

"Сводный перечень переходов" (идентификатор *SPP*) наряду со "Сводным перечнем операций" является базовым документом групповой информации. На его основе в последующем разрабатываются таблицы соответствий для определения структуры операций, типов режущего и измерительного инструмента и решения других задач проектирования операционной технологии. Идентификатор *SPP* заполняется по форме, приведенной в табл. 6.5. В начале заголовка указывается номер перечня – *NP001 SPP*. Цифры 001 показывают, что этот перечень предназначен для деталей группы 001.

Информация в табл. 6.5 *SPP* переносится из ТТР (сводного ТП). В графу 1 следует записать номер перечня, который записан в *SPO* "Сводный перечень операций" в табл. 6.4. В ТТР нужно найти переходы операций, перенести для них номер перечня переходов, который им был присвоен в массиве "Сводный перечень операций". Номера переходов следует поставить в порядке возрастания начиная с единицы и так по всем операциям ТП. Номер перечня переходов записывается в строчку каждого перехода данной операции. Например, в перечне *P029* имеется семь переходов, поэтому номер перечня *P029* записан семь раз. В графу 3 записывают цифру 1, если обработка поверхности в переходе производится с продольной подачей, и цифру 2, если обработка производится с поперечной подачей. Для записи перехода в таблице отводятся четыре графы. В графе 4 записывают ключевое слово перехода, а в графе 5 – его код *KDP*. В графу 6 записывают предмет производства (объект воздействия данного перехода – пруток, деталь, торец), а в графу 7 – его код *KPD*. Коды *KDP* и *KPD* берут из кодировочных таблиц (здесь не приводятся). Далее в графы 8 – 15 записывают номера обрабатываемых в переходе поверхностей комплексного представителя *OBP1*, *OBP2*, ..., *OBP8*. Допускается до 10 обрабатываемых поверхностей в переходе. В графу

ОВР1 записывается "основная" поверхность, по которой производится расчет режимов резания. Например, если в переходе обрабатываются цилиндрическая и торцовая поверхности, то в графу *ОВР1* следует записать цилиндрическую, а в графу *ОВР2* – торцовую поверхность.

6.1.3. Алгоритмы решения задач проектирования технологического процесса

Таблицы соответствий для формирования структуры ТП. В рассматриваемой САПР ТП на основе типизации ТП, как и в других системах, в качестве основной принята табличная форма алгоритмов. Весь процесс проектирования разделяется на ряд задач, для решения которых используют таблицы соответствий (ТС). Общие вопросы построения и нормализации ТС были рассмотрены в гл. 5. Здесь мы рассмотрим особенности разработки ТС в форме таблиц применимости.

Для решения задачи проектирования маршрутной технологии на заданную деталь используются таблицы (массивы) "*Применяемость операций*". Фрагмент такой таблицы приведен в табл. 6.6. В начале заголовка записывается номер таблицы (ИФ – имя файла). Номер формируется из двух частей: в первой части буквы МО означают "Массив операций", во второй части указаны номера деталей. Так, для первой группы деталей (001) возможные номера таблицы: МО001, МО002, ..., МО010; для второй группы деталей МО011, МО012, ..., МО020 и т.д.

Таблица имеет область отправления, область прибытия, список операций и матрицу соответствий. Основанием для составления таблицы "Применяемость операций" являются первичные ТТР ("Сводный ТП" и "Сводный перечень операций").

В области отправления ТС в строку наименование факторов (НФ) записываются идентификаторы условий (факторов), влияющих на выбор операций (номера поверхностей NP , значения размеров ZR_D , ZR_R , ZR_L , значения факторов, включая и номера поверхностей комплексного представителя). Условия назначения операций выбираются из первичных ТТР (сводного ТП).

В табл. 6.6 предусмотрена следующая применяемость операций: операция 173 применяется, если на детали есть поверхность 915 и нет поверхности 164, значения размеров $D000160$ и $D000165$ меньше

ИФ М0003. Применяемость операций группы 001 деталей типа

Область прибытия	Область						
	НФ	$ZR_{D000160}$		$ZR_{D000165}$		$NP = C$	
	ПРС	≤	>	<=	>	=	≠
	ЗФН	7	7	7	7	915	915
	ЗФЭ						
1		2	3	4	5	6	7

Операция 173	1	0	1	0	1	0
Операция 176	1	1	0	1	1	0
Операция 179	1	1	1	0	1	1
Операция 182	1	1	1	1	1	1
Операция 197	1	1	1	1	1	1
Операция 200	1	1	1	1	1	1
Операция 206	1	1	1	1	1	1
Операция 209	1	1	1	1	1	1
Операция 219	1	1	1	1	1	1

П р и м е ч а н и е. НФ — наименование факторов (условий); значение фактора верхнее

или равны 7 мм, значение размера ZR_L 941500 больше 25 мм или его нет;

операция 179 применяется, если на детали нет поверхности 164, а значение размера $D000165$ меньше 7 мм;

операция 182 применяется, если есть поверхность 164;

операции 197 и 219 применяются всегда;

операции 200 и 206 применяются, если на детали есть поверхность 425;

операция 209 применяется, если есть поверхность 420.

вилок, ушковых болтов

отправления

NP = C		NP = C		NP = C		ZR _{L941500}		
=	≠	=	≠	=	≠	=	≠	>
164	164	425	425	420	420	0	1	25
8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

ПРС — признак соотношения; ЗФН — значение фактора ниже; ЗФВ —

Для решения задачи проектирования операционной технологии (установления структуры операции) используются таблицы "Применяемость переходов". По своей структуре они также являются ТС. Фрагмент такой таблицы приведен (табл. 6.7). Для каждого перечня переходов (для каждой операции) составляется одна или несколько таблиц применяемости (до трех). Это фиксируется в номере таблицы. Номер таблицы (имя файла) состоит из двух частей: буквы русского алфавита и четырех цифр. Буква и первые три цифры номера берутся из графы 1 табл. 6.5 и соответствуют номеру перечня переходов. Последняя цифра номера ТС равна номеру таблицы в этом перечне (для

ИФ P0290. Применяемость переходов в операции P029 "Токарная"

Область прибытия	Область						
	НФ	WIDZ		NP		NP	
	КЗФ	2		2		2	
	ПРС	-	≠	-	≠	-	≠
	ЗФН	101	101	915	915	130	130
1		2	3	4	5	6	7
Переход 1		1	1	1	1	1	1
Переход 2		1	1	1	0	1	1
Переход 3		1	1	0	1	1	1
Переход 4		1	1	1	0	1	1
Переход 5		0	1	0	1	1	1
Переход 6		0	1	0	1	0	1
Переход 7		1	0	0	1	0	1

П р и м е ч а н и е. НФ — наименование факторов (условий); заготовка из прутка.

этой операции). Если ТС (применяемости) для этого перечня одна, то последняя цифра будет 0; если число таблиц, например, три, то последняя цифра будет 3. Например, у перечня переходов (у операции) P029 группы деталей 001 есть только одна ТС, тогда ее номер 0290. Условия назначения переходов берутся из ТТР из граф 3 и 4 табл. 6.5. Если такие данные отсутствуют, то переход назначается всегда.

Если у всех переходов одной операции отсутствуют условия назначения, то эта операция для любой детали назначается с этими переходами и для таких операций ТС не разрабатываются. Таблица 6.7 имеет область отправления, область прибытия и матрицу соответствий. В строку НФ области отправления заносятся идентификаторы условий (факторов), влияющих на применяемость переходов. В область

Таблица 6.7

(фрагмент)

отправления

NP		NP		NP		NP		SHER NPO 25	
2		2		2		2		2	
=	≠	=	≠	=	≠	=	≠	>=	<
160	160	25	25	165	165	425	425	20	20
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	1	1	1	0

КЗФ — число значений фактора; *WIDZ* — вид заготовки; 101 —

прибытия записываются номера переходов в технологической последовательности. Номер перехода играет роль кода для характеристики содержания перехода. Как следует из табл. 6.5 (графы 3 и 5), номера переходов означают: 1 — установить и закрепить деталь; 2 — подрезать торец 915; 3 — подрезать торец 500; 4 — точить поверхность 908; 5 — точить фаску 425; 6 — точить фаску 205.

Для примера рассмотрим порядок заполнения ТС (см. табл. 6.7) на применяемость переходов операции *P029* "Токарная". Предположим, что условиями, влияющими на назначение переходов, являются вид заготовки, номера обрабатываемых поверхностей у детали и значение шероховатости поверхности 25. Соответственно в строку НФ области отправления внесены идентификаторы перечисленных условий: *WIDZ* —

ИФ R1001. Применяемость типа режущего инструмента (фрагмент)

Область прибытия	Область			
	НФ	KDP		
	ПРС	=	=	=
	ЗФН	208	210	211
	ЗФВ			
Сверло спиральное 1501	1	1	0	0
Зенкер цилиндрический 1506	0	0	1	0
Развертка цилиндрическая 1513	0	0	0	1
Метчик 1403	0	0	0	0
Плашка 1405	0	0	0	0
Резец резьбовой 1401	0	0	0	0
Резец проходной 1101	0	0	0	0
Резец подрезной 1102	0	0	0	0

вид заготовки; *NP* – номер поверхности; *SHER NP025* – шероховатость поверхности 25.

Анализируя содержание операции *P029* по табл. 6.5 и 6.7, можно отметить, что первый переход выбирается для любой детали, второй переход – только тогда, когда у детали есть поверхность 915; третий переход – когда у детали нет поверхности 915; четвертый переход – когда есть поверхности 908 и 915; пятый – когда вид заготовки – не пруток, когда у детали нет поверхности 915 и есть поверхность 425; шестой переход выбирается, когда у детали нет поверхностей 915, 130, 160, 165 и когда заготовка – не пруток, а также тогда (еще одна строка), когда вид заготовки – пруток и у детали нет поверхностей 915, 130, 165, но есть поверхность 25, у которой шероховатость равна или больше 20. По такой логике заполнена матрица соответствий табл. 6.7.

отправления

			PRIZN-C		DWIST		
-	=	=	≠		<=	-	>
216	202	201	H	H	10	10.1	'16
						16	
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1

Табличные алгоритмы для выбора режущего инструмента. Решение задачи выбора режущего инструмента производится по схеме: определение типа режущего инструмента → определение марки режущей части инструмента → определение типоразмера инструмента с выполнением проверочных расчетов сложных инструментов (протяжек, долбяков и т.д.) → определение шифра режущего инструмента.

Первым шагом будет определение типа инструмента. Для этого в САПР ТП ТТР используются табличные алгоритмы в форме ТС. Для каждой группы деталей предусматривается только одна ТС. Она строится на основе "Сводного перечня переходов" (см. табл. 6.5). Фрагмент таблицы применяемости типа режущего инструмента приведен в табл. 6.8. В начале заголовка таблицы стоит "Имя файла", т.е. номер ТС. Он состоит из двух частей: букв *RI* и трех цифр,

**ИФМ005. Таблица выбора марки материала режущей части
резцов для GM 11...16 (фрагмент)**

Код режу- щего инс- трумента	Группа обрабаты- ваемого материала	Предел проч- ности	Марка мате- риала режущей части инструмента	Группа материала режущей части инс- трумента	Форма за- точки
<i>RI</i> =	<i>GM</i> =	<i>PROCHO</i> ≤	<i>MRI</i>	<i>GMRCH</i>	
1103	11-14	60	BK8	2	2
	11-14	110	BK8	2	4
	11-14	140	T15K6	3	4
	11-14	180	T30K4	3	4
	15, 16	—	T15K6	3	4
1101		50	BK8	2	4
1102		60	T15K6	3	2
1110	11-14	110	T5K10	3	2
1401		140	T15K6	3	4
		180	T30K4	3	4

П р и м е ч а н и е. 1101 — резец проходной; 1102 — резец подрезной; 1103 — резец отрезной; 1110 — резец расточной; 1401 — резец резьбовой.

соответствующих номеру группы: *RI*001 — ТС по выбору типа режущего инструмента на детали группы 001.

В области отправления записаны условия выбора (решения), в области прибытия — варианты решения (коды типов режущих инструментов *KTR*). В строке НФ области отправления записаны идентификаторы условий: наименования факторов, влияющих на выбор типа режущего инструмента; *KDR* — коды ключевого слова переходов (208 — сверлить; 210 — рассверлить, 211 — зенкеровать, 214 — развернуть, 216 — нарезать резьбу, 201 — обточить, 202 — подрезать торец и т.д.); *PRIZN* — признак расположения поверхности (Н — наружная); *DWIST* — диаметр резьбы.

Во многих случаях код ключевого слова перехода *KDP* однозначно определяет тип режущего инструмента, например *KDP214* – развернуть, код типа инструмента *KTR* – развертка.

Но часто на выбор типа режущего инструмента влияет не одно, а несколько условий. Например, при *KDP216* – нарезать резьбу, *KTR1403* – метчик, если поверхность внутренняя (*PRIZN* ≠ Н) и диаметр резьбы *DWIST* до 10 мм, но *KTR1405* – плашка, если резьба наружная *PRIZN* = Н и размер резьбы *DWIST* до 16 мм. Далее при том же *KDR216* – нарезать резьбу будет *KTR1401* – резец резьбовой при *DWIST* более 16 мм.

Следующий шаг – определение материала (марки) режущей части инструмента. Для этого сначала по промежуточной таблице определяется наименование (имя) таблицы для выбора материала режущей части инструмента. Например, для режущих инструментов – резцов – это будет таблица ИФМ005 (табл. 6.9). По этой таблице выбирается марка материала режущей частей резцов и форма заточки.

Последним шагом решения задачи будет выбор шифра режущего инструмента из номенклатуры используемых на данном предприятии (такая ТС не приводится).

По аналогичной методике производится выбор типа и шифра измерительных инструментов.

6.1.4. Подсистема формирования размерной структуры технологического процесса

Описываемая ниже подсистема расчета размерно-точностных характеристик ТП является "встроенной" (структурной частью САПР ТП ТТР), поэтому она существенно отличается от "автономных" систем (подсистем) технологических размерных расчетов [9]. Укрупненная функциональная схема подсистемы приведена на рис. 6.4¹. Исходными данными для функционирования подсистемы размерных расчетов, являются, с одной стороны, информация, содержащаяся в карте исходной информации о детали (КИД), а с другой стороны, выходные данные проектирования маршрутной и операционной технологии, т.е. структура спроектированного технологического процесса.

Подсистема построена по модульному принципу.

¹ Подсистема формирования размерной структуры ТП разработана И. М. Трухманом (руководитель) и Е. А. Рамзаевой.

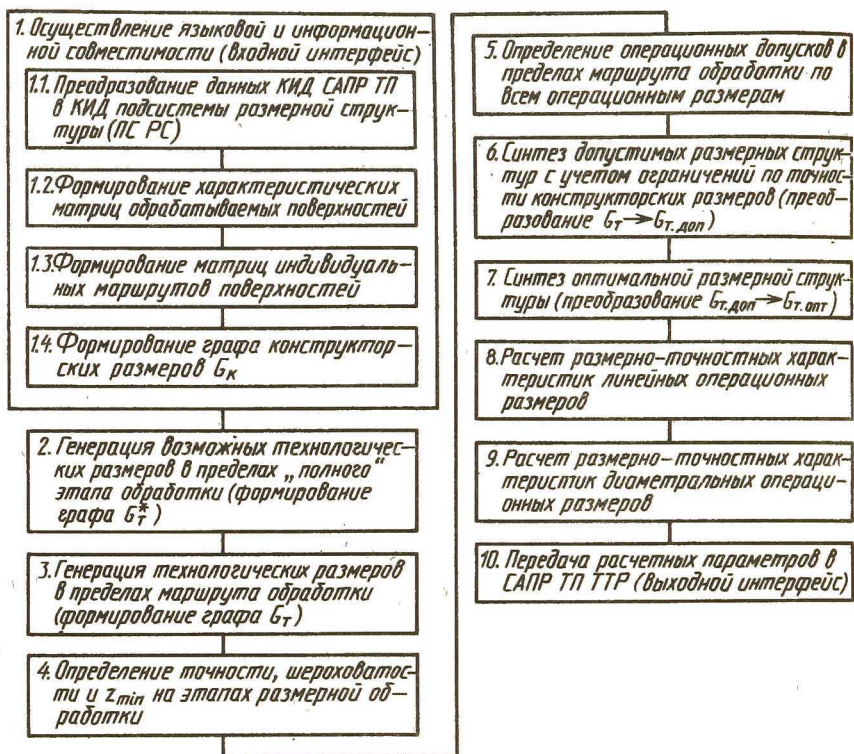


Рис. 6.4. Укрупненная функциональная схема подсистемы формирования размерной структуры ТП

Модуль 1. (рис. 6.4) предназначен для осуществления языковой и информационной стыковки подсистемы размерных расчетов с системой САПР ТП ТТР. В этом модуле производится преобразование информации о детали, заготовке и спроектированной структуре ТП в форму, удобную для решения задач размерно-точностных расчетов, а именно:

производится преобразование данных КИД САПР ТП в КИД подсистемы формирования размерной структуры ТП;

формируются характеристические матрицы описания геометрии детали. В матрице для каждой поверхности детали указываются: код геометрической формы, длина, ширина (диаметр), шероховатость, принадлежность поверхности контуру (внутренняя В или наружная Н), направление удаления припуска, принадлежность стороне детали (левой, правой), признак технологической базы и т.д.;

формируются матрицы индивидуальных маршрутов обработки поверхностей (планов обработки поверхностей). При формировании каждой такой матрицы используются: данные чертежа детали и заготовки; спроектированного ТП. Структура матрицы индивидуальных маршрутов показана в табл. 6.10;

формируется граф (матрица графа) конструкторских размеров G_k (модуль 1.4 на рис. 6.4). Структура графа G_k определяется выражением

$$G_k = \langle G_{kl}(I_{kl}, U_{kl}); G_{kls}(I_{kls}, U_{kls});$$

$$G_{k\gamma}(I_{k\gamma_{\{i\}}}, U_{k\gamma_{\{i\}}}; \dots; (I_{kl}, I_{kls}, I_{k\gamma_{\{i\}}}, \dots) \subset I_k;$$

$$(U_{kl}, U_{kls}, U_{k\gamma_{\{i\}}}, \dots) \subset U_k \rangle; \quad (6.1)$$

В уравнении (6.1) G_{kl} , G_{kls} , $G_{k\gamma_{\{i\}}}$ – подграфы; I_k – множество поверхностей, выделенных на детали; U_k – множество размерных связей, характеризующих форму поверхностей и их относительное расположение.

Индексы при I и U обозначают: k – конструкторский параметр; l – линейный размер; ls – линейное соотношение (радиальное биение B_R или несоосность E); $\gamma_{\{i\}}$ – угловые соотношения (торцовое биение B_T ($i = 1$), отклонение от параллельности P ($i = 2$), отклонение от перпендикулярности N ($i = 3$), от симметричности S ($i = 4$), от наклона N_k ($i = 5$), позиционное отклонение R_z ($i = 6$), отклонение от пересечения осей P_0 ($i = 7$)).

Модуль 2 (см. рис. 6.4) – формирование графа G_T^S – предназначен для анализа геометрии детали и генерации множества технологических размеров в пределах "полного этапа" обработки (при однократной обработке всех поверхностей). При этом имеется в виду выдерживание размеров по настройке (совмещение исходных и установочных баз) при использовании координатной и комбинированной систем простановки линейных технологических размеров.

Структура матрицы индивидуальных маршрутов обработки поверхностей, координируемых линейными размерами и описываемых диаметральными размерами

Характеристика обработки	Состояние поверхности					
	Де- таль	Заго- товка	1-я обра- ботка	2-я обра- ботка	... 8-я обра- ботка	
	1	2	3	4	10	

Код правой границы операци-
онного размера (обрабатываемая
поверхность)

Код левой границы операци-
онного размера (исходная база)

Система простановки размера

Номер операции

Номер перехода

Номер размера в переходе

Номер этапа обработки

Точность, квалитет

Шероховатость поверхнос-
ти, мкм

Номинальное значение, мм

Верхнее отклонение, мм

Нижнее отклонение, мм

Максимальный припуск, мм

Метод достижения точности

Код действия перехода *KDP*

Код предмета действия *KPD*

Наибольшая глубина насыщения,
покрытия, мкм

Наименьшая глубина насыщения,
покрытия, мкм

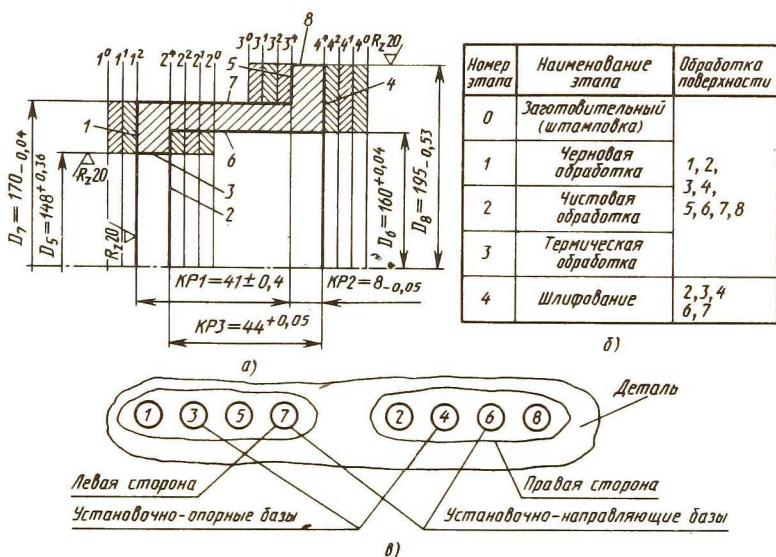
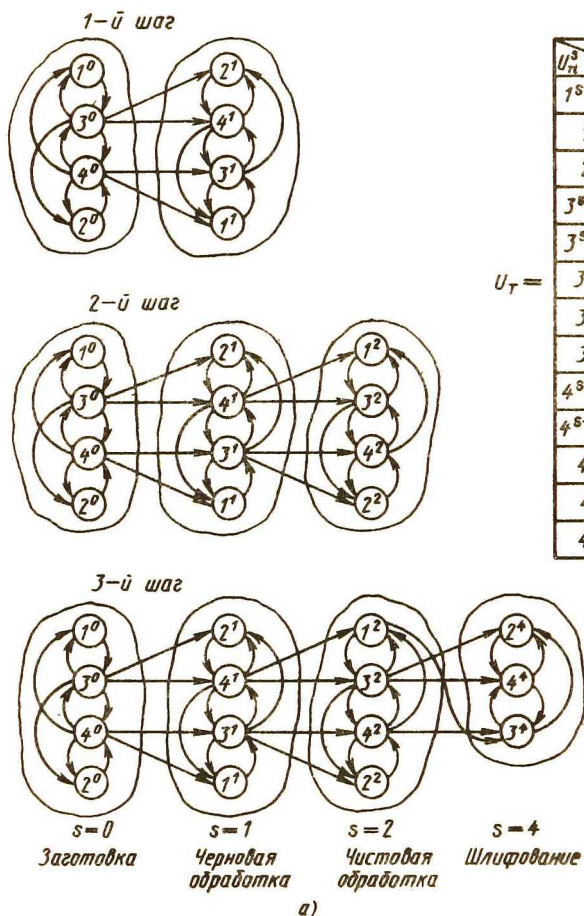


Рис. 6.5. Исходная информация для формирования графа возможных технологических размеров:
 а — чертеж детали; б — этапы технологического процесса; в — информация о расположении поверхностей; 1–8 — номера поверхностей

Модуль 3 предназначен для формирования графа возможных технологических размеров G_T . На основании (с учетом) спроектированной маршрутной и операционной технологии обработки детали производится привязка возможных схем координирования обрабатываемых поверхностей к каждому этапу обработки поверхностей.

Рассмотрим в качестве примера формирование системы возможных линейных размерных связей для ТП изготовления обоймы подшипника (рис. 6.5, а). Этот ТП был приведен на рис. 3.13. Мы заимствуем отсюда только структуру процесса в форме укрупненного перечня этапов обработки поверхностей (рис. 6.5, б) и будем полагать, что системы размеров там еще нет. Если ТП проектируется на ЭВМ, то исходными данными для решения задачи в модуле 3 будет перечень операций и переходов (адрес обработки), содержащийся в матрицах индивидуальных маршрутов поверхностей детали. Кроме данных о структуре ТП для формирования графа G_T необходима еще информация о принадлежности поверхностей сторонам детали (рис. 6.5, в) и о поверхностях детали, которые могут выполнять роль технологической



$U_T =$

U_T^s \ s	0	1	2	4
$1^{s-1}, 3^s$	0	0	0	1
$1^s, 3^s$	1	1	1	0
$2^s, 4^s$	1	1	1	1
$3^{s-1}, 2^s$	0	1	1	1
$3^{s-1}, 4^s$	0	1	1	1
$3^s, 1^s$	1	1	1	0
$3^s, 2^s$	1	1	1	1
$3^s, 4^s$	1	1	1	1
$4^{s-1}, 1^s$	0	1	1	0
$4^{s-1}, 3^s$	0	1	1	1
$4^s, 3^s$	1	1	1	0
$4^s, 2^s$	1	1	1	1
$4^s, 3^s$	1	1	1	1

б)

Рис. 6.6. Формирование графа возможных технологических размеров:
а — шаги формирования; б — матрица операционных размеров

базы. Такая "подсказка" технолога-кодировщика нужна машине потому, что задача назначения (выбора) технологических баз является трудноформализуемой. Указание об этом технолог заносит в КИД при подготовке исходной информации на деталь.

Процесс формирования системы возможных технологических размеров осуществляется шагами (рис. 6.6, а) по этапам ТП начиная с заготовительного $S=0$ и до окончательного $S=q$ (в примере на рис. 6.6 до $S=4$). Получаемая в результате работы модуля 3 система возможных линейных операционных размеров отображается в

форме матрицы размеров — дуг ij (i — исходная база, j — обработанная поверхность) графа G_T , т.е. в форме таблицы возможных операционных размеров по всем этапам ТП (рис. 6.6, б). Согласно заложенным в систему принципам в матрицу U_T включаются размеры, проставленные по координатному и комбинированному способам и при условии совмещения установочной и первой исходной баз, что необходимо для возможности выполнения размеров по настройке.

После того как будут сгенерированы возможные технологические размеры, соответствующие обработке заготовки по настройке, производится доопределение их технологическими размерами, соответствующими обработке по промерам (т.е. при несовмещении первой исходной и установочной баз). Такими размерами являются конструкторские размеры (при отсутствии их в списке возможных линейных размеров). Вновь введенным размерам присваивается признак "Обработка методом пробных проходов и промеров". Затем на графе возможных технологических размеров G_T делается проверка на размерную связность обрабатываемых поверхностей.

В результате работы этого модуля список возможных линейных размеров будет состоять из трех частей:

возможные линейные операционные размеры, соответствующие обработке по настройке;

возможные линейные размеры, соответствующие работе по промерам; линейные размеры заготовки.

Модуль 4. На основе анализа характеристик состояний обрабатываемых поверхностей и с учетом характера операций производится определение исходных данных для расчета минимально необходимого припуска $z_{i\min}$ (шероховатости Rz , дефектного слоя h_d , допусков формы T_ϕ , а затем и непосредственное определение $z_{i\min}$ на обработку каждой из торцовых (плоских) поверхностей по уравнению

$$z_{i\min} = (Rz + h_d + T_{\phi})_{i-1}. \quad (6.2)$$

Значения Rz , h_d и T_ϕ принимаются по нормативно-справочным таблицам. Подробно вопрос об определении $z_{i\min}$ изложен в подразд. 3.8.3.

Модуль 5. С учетом характеристики методов обработки (к ним относятся используемое оборудование, приспособления, инструменты и

среднеэкономическая точность) производится определение допусков и отклонений на технологические размеры. Эта работа выполняется за несколько шагов.

На первом шаге производится предварительный расчет номинальных значений линейных операционных размеров, что необходимо для определения численных значений допусков и предельных отклонений. Для решения этой задачи используется один из известных алгоритмов "Исследования операций" – алгоритм Флойда (определение наикратчайшего пути на ориентированном графе между двумя фиксированными вершинами).

На втором шаге решается логическая задача о выборе системы простановки допуска для каждого из операционных размеров. Схемы для решения этой задачи приведены на рис. 6.7. При этом учитывается направление снятия припуска: если съём припуска идет в направлении слева направо, то значение коэффициента $r = 1$ (рис. 6.7, а), а если справа налево, то $r = -1$ (рис. 6.5, б). Учитывается также взаимное расположение исходной базы и обрабатываемой поверхности. На чертеже детали в выбранной системе координат поверхности нумеруются слева направо. Если поверхность, являющаяся исходной базой, располагается левее обрабатываемой поверхности (см. рис. 6.7, обе схемы внизу), то ее порядковый номер будет меньше номера обрабатываемой поверхности ($N_{н.б} < N_{н.6}$).

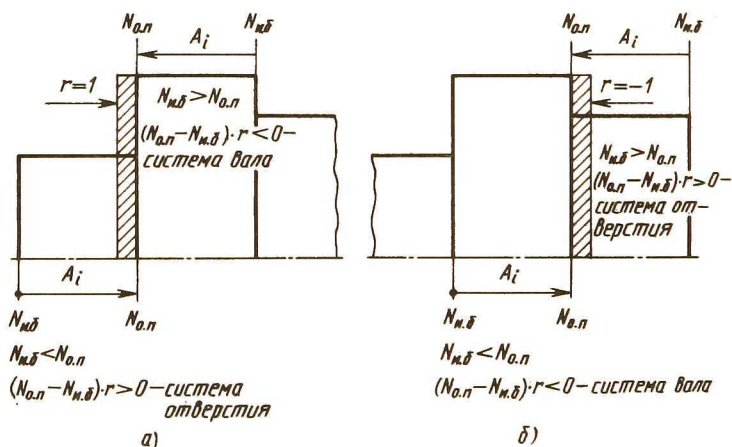


Рис. 6.7. Схемы к определению системы простановки допуска на операционный размер

$\langle N_{o.n} \rangle$, а если правее, то $N_{н.б} > N_{o.n}$ (на схемах вверх). В зависимости от получаемого значения произведения $(N_{o.n} - N_{н.б})r$ определяется система простановки допуска. Как показано на рис. 6.7, возможны четыре варианта.

На третьем шаге решается задача выбора точности (калитета) операционного размера. Подробно этот вопрос изложен в подразд. 2.9.1, там же приведена табл. 2.4 для определения квалитета в зависимости от метода обработки, характера размера (межоперационный, внутриоперационный) и состояния поверхности, принятой в качестве исходной и измерительной баз.

На последнем шаге на основе результатов предыдущих шагов по таблицам ГОСТа для каждого размера выбираются (определяются) численное значение допуска и предельные отклонения.

Модуль 6. В этом модуле организуется процесс преобразования графа возможных технологических размеров G_T в граф допустимых размеров $G_{топ}$. Преобразование $G_T \rightarrow G_{топ}$ производится в следующей последовательности. Сначала относительно каждого конструкторского размера как замыкающего звена строится ограниченное множество РЦ. При этом в качестве составляющих звеньев используются все категории размеров: выдерживаемые по настройке, выдерживаемые по способу пробных проходов и промеров и размеры заготовки. Множество ограничено условием $1 \leq N \leq 2NK$, где NK — общее число геометрических элементов в фиксированном направлении ориентации. Процесс построения каждой цепи сопровождается определением суммы допусков составляющих звеньев ΣT_i и сопоставлением этой суммы с допуском замыкающего звена (конструкторского размера) T_Δ .

Цепи, в которых выполняется условие

$$\sum_{m \cdot n} T_i \leq T_\Delta, \quad (6.3)$$

записываются для дальнейшего рассмотрения, а те, в которых условие (6.3) не выполняется, исключаются. В основе построения РЦ лежит положение о том, что при обработке любой поверхности ее координата относительно других поверхностей заготовки (детали) определяется однозначно одним операционным размером, т.е. в вершину J^S при рассмотрении ее в графе G_T входит одна дуга. Такая

дуга (размер) соответствует понятию "настроечный размер", которое использовалось в гл. 3 (подразд. 3.8.3). В то же время сама поверхность f^s как технологическая база может использоваться для координации нескольких поверхностей, т.е. из вершины f^s может исходить несколько дуг. Тогда процедура построения размерных цепей на графе G_T будет осуществляться в два этапа:

выявление местоположения границ замыкающего звена (в нашем случае — конструкторского размера) на графе и определение вершины начала обхода контура РЦ. За начальную вершину берется та граница замыкающего звена, поверхность которой имеет больший номер этапа (s) обработки; при равенстве этапов обработки — любая;

обход контура искомой РЦ против направления ориентации дуг (так как в f^s входит только одна дуга), производится от начальной границы замыкающего звена к конечной или от обеих границ сразу до вершины встречи. Такой подход при построении РЦ исключает попадание на тупиковые ветви.

Для уяснения методики машинного построения РЦ рассмотрим схемы на рис. 6.8. Слева представлен фрагмент графа (два последних этапа обработки, зафиксированных графом, изображенным на рис. 6.6 после 3-го шага) с добавлением дуги между вершинами 1^2 и 3^4 , изображающей конструкторский размер $KP1 = 41 \pm 0,4$ обоймы подшипника, показанной на рис. 6.5, а. Справа на рис. 6.8 построены РЦ. Составляющие звенья изображены прямыми линиями, замыкающее звено — ломаной линией. Пунктирной линией показано направление обхода

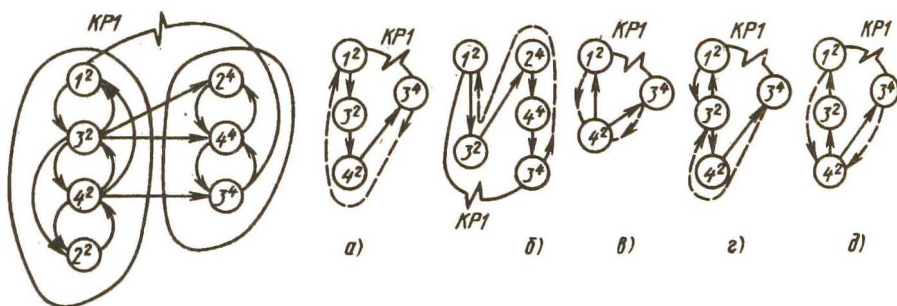


Рис. 6.8. Построение размерных цепей относительно конструкторского размера $KP1 = 41 \pm 0,4$

контура при построении цепи. Во всех случаях начало построения цепи начинается с вершины 3^4 , имеющей больший номер этапа обработки — 4-й. Для цепей "а" и "б" используется первый вариант построения — движение от начальной вершины цепи 3^4 к конечной 1^2 против входящих дуг. Другой вариант используется при построении цепей "в", "г" и "д": движение начинается от начальной вершины 3^4 и от конечной вершины 1^2 также в направлении против входящих дуг и заканчивается на вершине "встречи" (например, в цепях "в" и "д" — на вершине 4^2 , в цепи "г" — вершине 3^2 и т.д.).

После построения РЦ относительно конструкторских размеров на графе G_T производится их согласование между собой с целью обеспечения условия (6.3) для всех конструкторских размеров в комплексе. Сначала такое согласование производится только для цепей с размерами, выполняемыми по настройке. При этом некоторые РЦ, неудовлетворяющие правилу (6.3), и соответствующие операционные размеры исключаются из графа возможных технологических размеров G_T — тем самым производится преобразование графа G_T в граф допустимых технологических размеров $G_{T. доп}$.

При исключении технологических размеров и соответствующих им РЦ может оказаться, что на какой-либо конструкторский размер множество ранее построенных РЦ будет пустым, т.е. в нем не окажется ни одной РЦ. Это означает, что обеспечить точность такого конструкторского размера по настройке невозможно. Тогда процедура построения РЦ относительно каждого конструкторского размера и согласования их между собой повторяется заново с включением в анализ технологических размеров, выполняемых по промерам на те конструкторские размеры, обеспечить точность которых по настройке первоначально было невозможно. Таким образом, оставшаяся совокупность операционных размеров, проверенных по ограничению (6.3), образует граф допустимых размерных структур технологического процесса $G_{T. доп}$.

Модуль 7. При анализе состояния поверхности заготовки и детали в каждом этапе обработки осуществляется синтез (отбор) оптимальной размерной структуры, т.е. производится преобразование графа

допустимых операционных размеров $G_{\text{т. доп}}$ в граф оптимальных размеров $G_{\text{т. опт}}$. Используя операционные размеры, включенные в состав $G_{\text{т. доп}}$, производят построение относительно каждого из припусков ограниченного множества РЦ. Критерием оптимизации размерной структуры является обеспечение минимума колебания припусков на обработку. Напомним, что колебание общего припуска на все этапы обработки всех поверхностей определенного координатного направления определяется уравнением

$$\omega_{z_{\text{ТП}}} = z_{\text{ТПmax}} - z_{\text{ТПmin}} = \sum_s \sum_q \sum_{m+n} T_i \quad (6.4)$$

где s — число поверхностей координатного направления; q — число ступеней (этапов) обработки поверхности; $m + n$ — число увеличивающих и уменьшающих составляющих звеньев в цепи.

Структура уравнения (6.4) показывает, что для уменьшения колебания припусков желательно уменьшать число составляющих звеньев $m + n$ в РЦ и допуски на операционные размеры T_i (s и q являются заданными и не могут быть объектом регулирования). В связи с этим в качестве критериев оптимизации можно использовать:

а) минимум суммы допусков составляющих звеньев всех РЦ определенного координатного направления, сформированных (построенных) относительно припусков на обработку целевая функция которого будет иметь вид

$$K_1 = \sum_s \sum_q \sum_{m+n} T_i \rightarrow \min; \quad (6.5)$$

б) минимальное среднеквадратичное отклонение операционных припусков z_i от минимального значения:

$$K_2 = \sqrt{\frac{\sum_s \sum_q \left(\frac{z - z_{\min}}{z_{\min}} \right)^2_i}{\sum_s \sum_q i}} \rightarrow \min, \quad (6.6)$$

Следует обратить внимание на следующее обстоятельство. Критерии K_1 и K_2 оценивают колебание не какого-то одного операционного припуска или частной суммы припусков, а колебание общего при-

пуска $z_{\text{ТП}}$ на выполнение всех ступеней обработки (сумма по q) по всем поверхностям (сумма по s) определенного координатного направления. Таким образом, метод и критерии оптимизации K_1 и K_2 предусматривают поиск оптимальной структуры (системы простановки линейных операционных размеров) не отдельных операционных размеров, не их подмножества для какой-либо операции или этапа обработки, а всего множества размеров по всему технологическому процессу.

Из ограниченного множества сравниваемых допустимых размерных структур за оптимальный вариант принимается размерная структура, у которой критерии оптимизации K_1 и K_2 имеют минимальное значение. В описываемой подсистеме основным критерием является K_2 .

Модуль 8. Предназначен для расчета размерно-точностных характеристик линейных операционных размеров. К данному моменту проектирования ТП уже решены следующие задачи: построены на графе оптимальной размерной структуры $G_{\text{т. опт}}$ РЦ относительно конструкторских размеров KP_i и операционных припусков z_i , рассчитаны значения $z_{i\text{min}}$, определены (назначены) допуски и предельные отклонения на все операционные размеры, принадлежащие $G_{\text{т. опт}}$. Последовательность решения задач в модуле 8 видна на рис. 6.9, где представлена укрупненная блок-схема алгоритма. Работа блоков 3.1, 3.2 и 3.3 была описана ранее. По алгоритму блока 4 производится упорядочение РЦ, т.е. расположение их в такой последовательности, чтобы при решении очередной РЦ в ней было не более одного неизвестного составляющего размера.

Блок 5 включается в работе только при решении РЦ, в которых замыкающим звеном является конструкторский размер. Блок 5.2 предназначен для ужесточения допусков на один или все составляющие размеры цепи (на 1 квалитет) в том случае, если при принятых ранее допусках, соответствующих среднеэкономической точности, условие

$$\sum_{m+n} T_i \leq T_{\Delta}$$

не выполняется.

В блоке 6 путем решения РЦ для каждого искомого операционного размера определяется номинальное значение и предельные отклонения. Решение РЦ выполняется по методу полной взаимозаменяемости (расчет

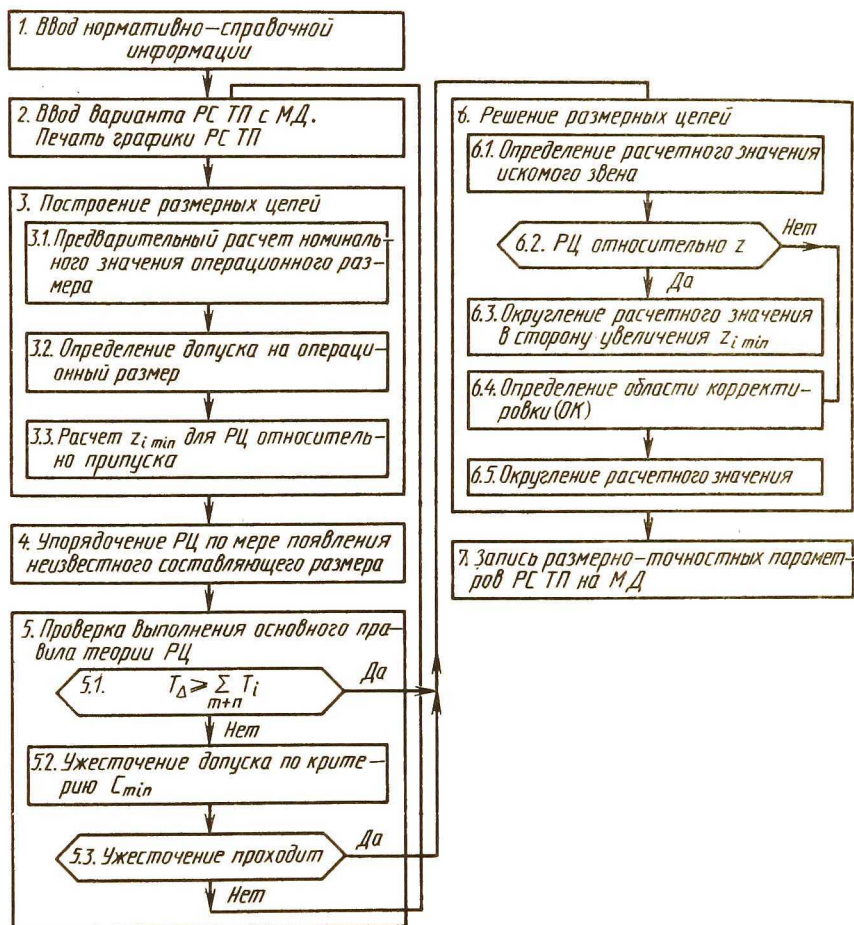


Рис. 6.9. Укрупненная блок-схема алгоритма расчета параметров размерной структуры ТП

на максимум-минимум). Расчетные уравнения были приведены в подразд. 3.8.3. Округление операционного размера, в том случае если он определялся из условия обеспечения минимально необходимого припуска (блок 6.3), производится в сторону увеличения припуска. В том случае, если расчет операционного размера выполнялся из условия обеспечения заданных значений конструкторского размера, округление производится в пределах области корректирования (ОК), определяемой по уравнению $ОК = T_{\Delta} - \sum_{m+n} T_i$ (блоки 6.4 и 6.5).

Модуль 9 содержит алгоритм и программы расчета припусков на обработку цилиндрических поверхностей, диаметральных операционных размеров и предельных отклонений.

В полной мере размерная структура ТП может быть представлена в виде

$$PC_{TP} = \langle PC_{TP_l}, PC_{TP_{ls}}, PC_{TP_\gamma}, PC_{TP_D}, PC_{TP_R}, PC_{TP_B} \rangle. \quad (6.7)$$

Ее удобно представить в виде ориентированного общего графа:

$$G_\tau = \langle G_{\tau l}(I_{\tau l}, U_{\tau l}); G_{\tau ls}(I_{\tau ls}, U_{\tau ls}); G_{\tau \gamma}(I_{\tau \gamma}, U_{\tau \gamma\{i\}}); \\ G_{\tau D}(I_{\tau D}, U_{\tau D}); G_{\tau R}(I_{\tau R}, U_{\tau R}); G_{\tau B}(I_{\tau B}, U_{\tau B}) \rangle. \quad (6.8)$$

В уравнениях (6.7) и (6.8) PC_{TP_l} и $G_{\tau l}$ – размерная структура и граф размерных линейных связей ТП; $PC_{TP_{ls}}$ и $G_{\tau ls}$ – размерная структура и граф линейных соотношений; PC_{TP_γ} и $G_{\tau \gamma}$ – размерная структура и граф угловых отношений; PC_{TP_D} и $G_{\tau D}$ – размерная структура и граф диаметральных размеров; PC_{TP_R} и $G_{\tau R}$ – размерная структура и граф радиусов; PC_{TP_B} и $G_{\tau B}$ – размерная структура и граф угловых размеров.

Выше было рассмотрено формирование только линейной размерной структуры PC_{TP_l} и все закономерности, соотношения, алгоритмы относились только к графу линейных размерных связей $G_{\tau l}$, хотя он для краткости обозначался везде G_τ (на разных этапах формирования – G_τ^S , G_τ , $G_{\tau, \text{доп}}$, $G_{\tau, \text{опт}}$), но в подсистеме формирования размерной структуры ТП имеются также алгоритмы и программы формирования других структур (размерных связей): формируются

$PC_{TP_{ls}}$ и PC_{TP_γ} – размерные структуры линейных и угловых соотношений (несоосности, радиального и торцового биений, несимметрич-

ности, непараллельности, перпендикулярности и т.д.). Аналогично формируются графы линейных соотношений $G_{\tau ls}^S \rightarrow G_{\tau ls} \rightarrow G_{\tau ls \text{ доп}} \rightarrow G_{\tau ls \text{ опт}}$, угловых соотношений $G_{\tau \gamma}^S \rightarrow G_{\tau \gamma} \rightarrow G_{\tau \gamma \text{ доп}} \rightarrow G_{\tau \gamma \text{ опт}}$ и т.д. При расчете припусков на обработку цилиндрических поверхностей в подсистеме используются уравнения, аналогичные приведенным в гл. 3;

для деталей – тел вращения

$$z_{\min i}^D = 2(Rz + h_d)_{i-1} + \sqrt{(2\epsilon_n)^2 + B_{i-(i-1)}^2}; \quad (6.9)$$

для отверстий в корпусных деталях

$$z_{\min i}^D = 2(Rz + h_d)_{i-1} + \sqrt{\left(\sum_{n_x} T_j\right)^2 + \left(\sum_{n_y} T_j\right)^2}. \quad (6.10)$$

Необходимые для расчета $z_{i \min}^D$ по уравнению (6.9) данные получают:

высоту неровностей Rz и глубину дефектного слоя h_d – по нормативно-справочным данным;

отклонение оси заготовки ϵ_n в расчетном сечении вследствие изогнутости – по нормативно-справочным данным в зависимости от состояния и габаритных размеров заготовки, способа установки заготовки (см. подразд. 3.8.2);

биение обработанной поверхности на i -й ступени относительно поверхности заготовки на $(i - 1)$ -й ступени $B_{i-(i-1)}$ (является составляющей неравномерности припуска) – решением размерных цепей биений (радиальных) на графе оптимальной размерной структуры линейных соотношений $G_{\tau ls \text{ опт}}$. Методология решения этой задачи

была изложена в подразд. 3.8.2.

Необходимые для расчета $z_{i \min}^D$ по уравнению (6.10) значения несоосности обработанной поверхности (отверстия в корпусной детали) относительно необработанной в направлении $x \rightarrow \sum_{n_x} T_j$ и в

направлении $y \rightarrow \sum_{n_y} T_j$ получаются путем решения линейных размерных цепей на графах $G_{\text{топт}}$ соответственно по направлениям x и y .

Методология решения такой задачи была изложена в подразд. 3.8.2.

Непосредственно расчет диаметральных размеров производится в следующей последовательности:

в пределах одной ориентации (направления) осей цилиндрических поверхностей производится группирование номинально соосных поверхностей (с общей осью) – формируются подгруппы;

в пределах каждой подгруппы, при просмотре маршрута от готовой детали к заготовке, определяются для каждой поверхности номинальное значение, верхнее и нижнее отклонения операционных размеров. При этом используются уравнения:

$$\text{для вала } D_{i-1} = D_i + z_{i \min}^D + \text{BO}_i - \text{HO}_{i-1}; \quad (6.11)$$

$$\text{для отверстия } D_{i-1} = D_i - z_{i \min}^D + \text{HO}_i - \text{BO}_{i-1}. \quad (6.12)$$

Для уяснения структуры уравнений (6.11) и (6.12) целесообразно вернуться к схеме расположения полей операционных припусков и допусков, приведенной на рис. 2.9.

Для расчета режимов резания необходимо знать значения максимального припуска на сторону (на радиус) $z_{\max i}^R$. В алгоритм решения этой задачи заложены уравнения:

$$\text{для вала } z_{\max i}^R = \frac{D_{i-1 \max} - D_{i \min}}{2}; \quad (6.13)$$

$$\text{для отверстия } z_{\max i}^R = \frac{D_{i \max} - D_{i-1 \min}}{2}. \quad (6.14)$$

После того как рассчитаны $z_{i \min}^D$, $z_{i \min}^R$, D_{i-1} , BO_{i-1} и HO_{i-1}

обрабатываемых поверхностей подгруппы, производится определение величины напуска, удаляемого с каждой поверхности на первой ступени ее обработки, в случае отсутствия этой поверхности на заготовке.

Модуль 10. В этом модуле решается задача передачи полученных в подсистеме при расчетах параметров размерной структуры в систему САПР ТП ТТР, что необходимо для решения последующих задач проектирования ТП.

6.1.5. Подготовка оперативной информации о детали

Уже отмечалось, что формой представления информации о детали в рассматриваемой САПР ТП является КИД (набор таблиц).

Для записи данных о детали в КИД необходимы следующие первичные источники информации: чертеж детали с техническими требованиями (ТТ) чертеж исходной заготовки (если он имеется); альбом чертежей комплексных представителей групп деталей (конкретно – чертеж комплексного представителя группы, в которую входит рассматриваемая деталь); нормали, ОСТы, ГОСТы на унифицированные и стандартные конструктивные элементы (фаски, сбеги резьбы, канавки для выхода резьбы и др.).

В табл. 6.11 приведен перечень реквизитов, включаемых в состав КИД. Вся информация, как следует из таблицы, разделяется на семь разделов (массивов). Сравнительно большая номенклатура реквизитов (127) объясняется тем, что САПР рассчитана на охват не только простых, но и сложных по конструкции деталей, имеющих резьбовые, шлицевые, эвольвентные поверхности, различного рода покрытия. При подготовке информации для деталей, не имеющих подобных поверхностей, заполнение соответствующих массивов КИД не производится.

Работа по подготовке оперативной информации о детали начинается с доработки рабочего чертежа детали. На проекциях чертежа наносятся номера поверхностей в строгом соответствии с нумерацией поверхностей на чертеже комплексного представителя группы. Эскиз детали после такой доработки показан на рис. 6.10. В верхней части рисунка показано условное обозначение ТТ на точность расположения поверхностей по ГОСТ 2.308–79. Запишем эти технические условия:

1) биение поверхностей 002 и 004 относительно поверхности 008 не более 0,05 мм; 2) несоосность поверхностей 002 и 006 не более 0,1 мм; 3) непараллельность поверхности 001 и 007 не более 0,11 мм; 4) перпендикулярность поверхности 011 относительно торца 001 не более 0,1 мм. В табл. 6.12 показано заполнение раздела IV КИД. В первую графу заносятся по порядку номера ТУ, в графу 70 (ТУ) – коды вида технических условий: 26 – биение, 25 –

Реквизиты КИД (фрагмент)

Наименование реквизита	Идентификатор
<i>I. Массив "Общие сведения о детали и заготовке"</i>	
Обозначение (номер) чертежа детали	ODET
Наименование детали	NDET
Код марки материала	KM
Длина детали, мм	LDET
Лакокрасочное покрытие (код)	LAK
Рентгеноконтроль (код)	RKONT
Магнитный контроль (код)	MKONT
Код 1-й термообработки	TO1
Точность свободных диаметральных размеров	TD
Точность свободных линейных размеров	TL
Вид заготовки (код)	WTDZ
Масса заготовки, кг	MSAG
Длина заготовки, мм	LSAG
<i>II. Массив "Условия производства"</i>	
Партия запуска (шт.)	Q
Тип производства (код)	TIP
Признак групповой технологии (код)	PGR
Признак многовариантного проектирования	WAR
<i>III. Массив "Размеры заготовки"</i>	
Обозначение размера заготовки	OBRAZ
Левая граница размера заготовки	GRLZ
Числовое значение размера заготовки, мм	ZRZ
<i>IV. Массив "Технические требования (ТТ)"</i>	
Вид технического условия (код)	TU
Номер 1-й поверхности, связанной ТТ	T1TU
Номер 2-й поверхности, связанной ТТ	T2TU
Числовое значение ТТ, мм	ZTU

Наименование реквизита	Идентификатор
V. Массив "Характеристика поверхностей"	
Номер обрабатываемой поверхности	NP
Шероховатость поверхности (код)	SHER
Длина поверхности, мм	LP
Общий припуск на обработку, мм	PRIP
VI. Массив "Контролируемые размеры"	
Обозначение контролируемого размера	OKR
Левая граница размера	GRANL
Правая граница размера	GRANP
Численное значение размера, мм	ZR
Отклонение верхнее, мм	OWR
Класс точности (квалитет)	TR
VII. Массив "Обрабатываемые элементы детали"	
Номер обрабатываемого элемента	NE
Разновидность элемента (код)	FORE
Обозначение элемента по чертежу	OBOZE
Длина элемента, мм	LE
Центрование	GENTR
Посадка	PE
Число элементов ответной детали	KEOD

несоосность, 23 — непараллельность, 24 — перпендикулярность. В графы 71 (P1TU) и 72 (P2TU) записывают номера поверхностей, связанные данным ТУ. В графу 73 (ZTU) записывают значение допуска расположения.

Если до начала проектирования ТП детали уже спроектирован чертеж заготовки, то заполняется массив (раздел) "Размеры заготовки" КИД. На рис. 6.11 показан совмещенный эскиз заготовки и детали. При совмещенном изображении будут лучше видны припуски на обработку и напуски металла, неизбежно возникающие вследствие того, что контур заготовки, как правило, не эквидистантен контуру

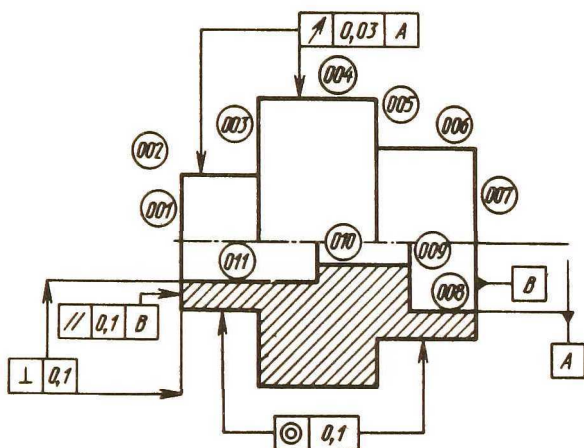


Рис. 6.10. Эскиз детали

готовой детали. В табл. 6.13 приведен пример заполнения массива "Размеры заготовки". В графу 64 (*OBRZ*) таблицы записывают вид (обозначение) размеров заготовки, а в графы 65 и 66 – левую и правую границы размеров. Как видно из примера, поверхностям заготовки присваивают номера соответствующих поверхностей детали. Для диаметральных размеров в качестве левой границы принимают ось заготовки, которую обозначают цифрой 0 (нуль) или отдельным номером, а в качестве правой границы – цилиндрическую поверхность. В графу 67 (*ZRZ*) записывают значение размера, а в графы 68 и 69 – верхнее и нижнее отклонения размера. По общему правилу подготовки информации знак "+" для верхних отклонений опускается, а знак "-" обязательно записывается.

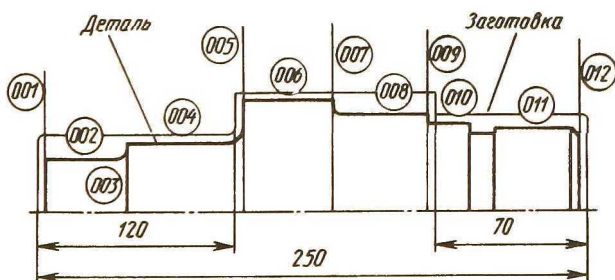


Рис. 6.11. Совмещенный эскиз детали и заготовки

Заполнение массива IV КИД "Технические требования"

Номер по пор.	<i>TU</i> (70)	<i>PITU</i> (71)	<i>P2TU</i> (72)	<i>ZTU</i> (73), мм
1	26	002	008	0,05
2	26	004	008	0,05
3	25	002	006	0,1
4	23	001	007	0,1
5	24	011	001	0,1

Заполнение массива III КИД "Размеры заготовки"

Номер по пор.	<i>OBRAZ</i> (64)	<i>GRLZ</i> (65)	<i>GRPZ</i> (66)	<i>ZRZ</i> (67), мм	<i>OWZ</i> (68), мм	<i>ONZ</i> (69), мм
1	<i>D</i>	0	002	40	0	-0,62
2	<i>D</i>	0	004	40	0	-0,62
3	<i>D</i>	0	006	60	0	-0,74
4	<i>D</i>	0	008	60	0	-0,74
5	<i>D</i>	0	010	55	0	-0,74
6	<i>D</i>	0	011	55	0	-0,74
7	<i>Z</i>	001	012	250	0,575	-0,575
8	<i>Z</i>	001	005	120	0,435	-0,435
9	<i>Z</i>	012	009	70	0,37	-0,37

По такой же методике производится заполнение всех других массивов КИД. Все массивы КИД вводятся в ЭВМ поддетально или порциями на несколько деталей одной группы.

6.2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ АДРЕСАЦИИ

Система АДРЕС-СМ существенно отличается от рассмотренной в разд. 6.1 системы САПР ТП ТТР, хотя и базируется также на принципах типизации ТП. Она имеет своеобразную методологию решения задач проектирования ТП и рассчитана на использование мини-ЭВМ типа СМ-4. Разработчиками систем АДРЕС-СМ и КОРПУС являются Д. Д. Куликов, И. А. Высокодворский, В. А. Буцевичский, М. В. Дыгина, Т. В. Лучинская, А. Е. Маневич, Ж. Л. Свириденко и др.

6.2.1. Общая характеристика системы

Система АДРЕС-СМ предназначена для проектирования единичных и групповых ТП простых и средней сложности по конструкции деталей различных классов. В системном отношении АДРЕС-СМ является базовой адаптивной системой, с помощью которой можно создавать рабочие системы автоматизированного проектирования, ориентированные на конкретные предприятия. По уровню автоматизации она является системой среднеавтоматизированного проектирования. Она имеет значительный уровень комплексности: с ее помощью можно получить маршрутный и операционный ТП и управляющие программы для станков с ЧПУ. При ее создании использовалась концепция поэтапного внедрения САПР ТП на предприятиях. На первом этапе на основе базовой разрабатывается рабочий вариант системы с минимальным уровнем автоматизации. После автоматизированного решения технологических задач первого этапа и формирования базы данных для следующего этапа автоматизации система будет расширяться до более высокого уровня с учетом опыта по освоенному этапу. На самом высоком уровне автоматизации система АДРЕС-СМ позволяет проектировать маршрутно-операционную технологию, выдавать УП обработки на оборудовании с ЧПУ и другую технологическую документацию. Поэтому АДРЕС-СМ представляет собой открытую систему, пригодную для наращивания новыми подсистемами, расширяющими ее функциональные возможности и повышающим уровень автоматизации.

Кодирование информации о деталях производится по системе КОД-78 [13], описание ТП выполняется по системе ТИС-80, а формирование баз данных осуществляется с помощью информационно-поисковой системы технологического назначения ТИС-81 [13].

Система рассчитана на диалоговый режим; для ведения диалога при вводе информации и решения технологических задач используется система ЭКРАН. В системе ЭКРАН сценарий диалога хранится в базе данных и при необходимости может быть скорректирован с помощью системы ТИС-81. Программное обеспечение системы построено по модульному принципу.

Следует отметить также, что проектирование ТП с помощью системы АДРЕС-СМ должен осуществлять технолог высокой квалификации, так как ему необходимо уметь принимать ответственные решения по слабоформализованным задачам, например по выбору технологических баз, корректированию структуры операций и переходов. Кроме того, технолог должен иметь навыки управления вычислительным процессом.

6.2.2. Методические основы системы АДРЕС-СМ

Метод проектирования ТП в рассматриваемой системе основан на адресации детали к унифицированному (типовому или групповому) технологическому процессу (УТП). Для совокупности деталей, входящих в группу, охватываемую групповым технологическим процессом, формируется комплексная деталь (КД), на которую разрабатывается УТП. Информация заносится в базу данных. В комплект документов ТП информационного назначения вносится также ведомость деталей (ВТП), входящих в группу.

Описания комплексной детали (КД) и детали, на которую должен быть спроектирован ТП, выполняются с помощью системы КОД-78. При описании КД ее параметры задаются в таких пределах (по конфигурации, материалу, виду заготовки, габаритным размерам, шероховатости, точности размеров), чтобы в них попали значения параметров для всех деталей, входящих в группу.

В базу данных вводятся также описания (тоже по системе КОД-78) элементов комплексной детали. Например, описание элемента – сквозного цилиндрического отверстия диаметром от 3 до 10 мм в плите толщиной L от 5 до 20 мм с точностью от $П6$ до $П11$ при наличии фаски $C \times B = (0,5...2) \times 45$ в системе КОД-78 – будет иметь вид

ЭЛЕМ 5КФОРМ ВИД-200, $L > = 5.$, $L < = 20.$, $D > 3.$, $D < = 10.$,

$ПD > = 6.$, $ПD < = 11.$, $C > = 0.5$, $C < = 2.*$

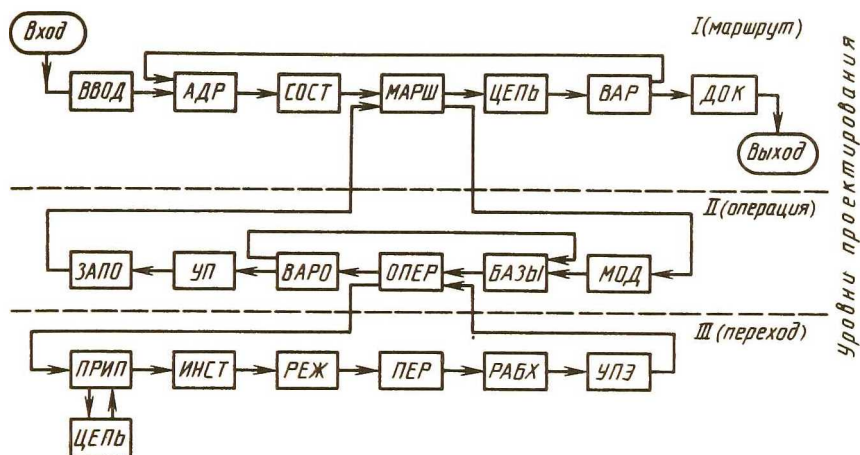


Рис. 6.12. Укрупненная функциональная схема автоматизированного проектирования ТП в системе АДРЕС-СМ

Проектирование ТП в системе АДРЕС-СМ начинается с адресации детали к КД по общим характеристикам. Если заранее известно, к какому УТП должна быть отнесена деталь, то этот шаг может быть пропущен. Затем производится адресация элементов детали к элементам КД. После этого производится выборка из базы данных ПРОЦЕССЫ УТП для найденной КД и доработка его до рабочего технологического процесса.

Проектирование ТП в рассматриваемой системе строится как многоуровневый итерационный процесс. Выделяются три уровня проектирования: уровень проектирования технологического маршрута, уровень операции и уровень перехода. Укрупненная функциональная схема проектирования ТП приведена на рис. 6.12. Каждый графический блок на функциональной схеме обозначает технологическую задачу.

На I уровне определяется структура процесса в целом, т.е. перечень и последовательность выполнения операций и состав каждой операции, т.е. перечень переходов, выполняемых на каждой операции. Первой решается задача нахождения состава операций на основе определения плана обработки каждого элемента детали. В свою очередь, задача определения плана обработки элемента детали заключается в определении переходов для обработки каждой поверхности элемента (каждого элемента) детали и последовательности их выполнения. Это делается путем выбора переходов из числа переходов для

элемента КД, к которому адресован элемент детали. Решение задачи основано на понятии "состояние поверхностей элемента".

Состояние поверхностей элемента — это характеристики элемента (форма, размеры, их точность, шероховатость поверхностей), приобретаемые им после выполнения очередного перехода. Граф состояния элемента КД — линейный направленный граф SK (рис. 6.13, а), у которого каждая вершина отображает состояние поверхности pz_i элемента, а дуга p_{i+1} — переход, позволяющий перевести поверхность из состояния pz_i в состояние pz_{i+1} . Первая вершина pz_0 отображает поверхности элемента, принадлежащие исходной заготовке, а последняя — характеристики поверхностей, совпадающие с характеристиками поверхности pd детали. Для элемента детали необходимо получить граф SR — рабочий граф состояний элемента детали. Такая задача решается путем последовательного сравнения характеристик pd элемента детали и состояний поверхностей pz_i элемента КД. Как только эти характеристики совпадут, движение по графу необходимо прекратить. Пройденные вершины и дуги образуют граф состояний элементов детали SR (рис. 6.13, б). Например, если отверстие имеет точность IT_9 , то переход развертывания не нужен и последним переходом будет зенкерование, после которого достигается заданная точность. Значит, состояние pz_3 совпадает с характеристикой pd элемента (отверстия) детали. Движение по графу при сравнении пойдет по дугам p_1 (центрование), p_2 (сверление) и p_3 (зенкерование).

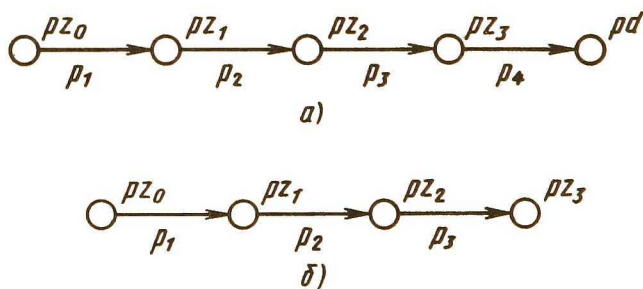


Рис. 6.13. Граф состояний поверхностей элемента:

а — полный граф состояний элемента КД; б — рабочий граф состояний элемента детали

В системе АДРЕС-СМ возможные состояния и переходы для элементов КД оформляются в виде унифицированных технологических фрагментов (УТФ), которые составляются для каждого элемента комплексной детали (КД). Пример такого фрагмента для элемента сквозного цилиндрического отверстия диаметром от 3 до 10 мм и глубиной от 5 до 20 мм приведен в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Описание состояний элемента КД (модуль 7501)

Метка	Оператор	Параметр	Характеристика
1С	ОСВ	НОМ = 1 СОСТ = 4	Число состояний
	ФОРМ	ВИД = 320 $L = \text{A1}$ $D = \text{A2}$	Центровочное отверстие Длина отверстия, определяемая по алгоритму 1 Диаметр отверстия, определяемый по алгоритму 2
	ТЕХН	ОПЕР = 3 ПЕР = 1	Состояние, достигаемое на третьей операции в первом переходе
2С	ФОРМ	ВИД = 300 $L = ?$ $D = \text{A3}$	Сквозное отверстие Длина, равная длине отверстия в элементе детали Диаметр отверстия, определяемый по алгоритму 3
	ШЕРХ	$TD = H11$ $Rz = 80$ ОПЕР = 3 ПЕР = 2	Точность диаметра $H11$ Шероховатость отверстия $Rz80$ Состояние, достигаемое на третьей операции во втором переходе
3С	ФОРМ	ВИД = 300 $L = ?$ $D = \text{A4}$	Сквозное отверстие Длина, равная длине отверстия у элемента детали Диаметр отверстия, определяемый по алгоритму 4

Метка	Оператор	Параметр	Характеристика
4С	ШЕРХ ТЕХН	$TD = H9$	Точность диаметра отверстия $H9$
		$Rz = 20$	Шероховатость отверстия $Rz20$
		ОПЕР = 3	Состояние, достигаемое на
		ПЕР = 3	третьей операции в третьем переходе
	ФОРМ	ВИД = 300	Сквозное отверстие
		$L = ?$	Длина отверстия, равна длине
			отверстия элемента детали
		$D = \varnothing A5$	Диаметр, определяемый по алгоритму 5
	ШЕРХ ТЕХН	$TD = H7$	Точность диаметра $H7$
		$RA = 1,6$	Шероховатость отверстия $Ra1,6$
		ОПЕР = 3	Состояние, достигаемое на
		ПЕР = 4	третьей операции в четвертом переходе

Для каждого УТФ составляется следующий комплект документов: эскиз комплексного элемента с таблицей предельных размеров; машинограмма с описанием по системе КОД-78 комплексного элемента; описание технологических переходов, необходимых для обработки поверхностей комплексного элемента; машинограмма переходов, закодированных по системе КОД-78; карта расчетных формул для вычисления параметров поверхностей в разных состояниях. Пример описания переходов для обработки элементов КД – сквозного отверстия – приведен в табл. 6.15. Следует обратить внимание на то, что в описании переходов содержится информация о номере операции УТП, в которую эти переходы входят. Это обстоятельство будет использовано при формировании технологического маршрута рабочего ТП на деталь.

Закодированная информация, содержащаяся в комплекте документов об УТФ, вводится в базу данных и образует машинную библиотеку УТФ, отражающую систематизированные и формализованные правила технологии механической обработки элементов деталей применительно к конкретному предприятию.

*Описание переходов для обработки комплексного элемента
(модуль ОПЗ)*

Метка	Оператор	Параметр	Примечание
П1	ПЕР	НОМ = 1	Переход 1
		ВИД = 35	Центровать
		ПОВ = 18	Отверстие
	РЕЖ	ВИД = 2317	Центровочное сверло
		НОМ = 3	Типоразмер 3
П2	ПЕР	НОМ = 2	Переход 2
		ВИД = 27	Сверлить
		ПОВ = 18	Отверстие
	РЕЖ	ВИД = 2301	Сверло
		АЛГ = 3	Типоразмер по алгоритму 3
П3	ПЕР	НОМ = 3	Переход 3
		ВИД = 10	Зенкеровать
		ПОВ = 18	Отверстие
	РЕЖ	ВИД = 2353	Зенкер
		АЛГ = 4	Типоразмер по алгоритму 4
П4	ПЕР	НОМ = 4	Переход 4
		ВИД = 22	Развернуть
		ПОВ = 18	Отверстие
	РЕЖ	ВИД = 2363	Развертка
		АЛГ = 5	Типоразмер по алгоритму 5

В результате решения задачи СОСТ – определение состава операций (см. рис. 6.12) – для каждого элемента детали становятся известными переходы, а так как переходы закреплены за определенными операциями, то становится известным состав (структура) операций. Следующая задача – определение структуры ТП детали (задача МАРШ на схеме рис. 6.12). Для этого проводится анализ операций УТП. Если в операции имеются переходы, необходимые для обработки детали, то такие операции выбираются из УТП и включаются в рабочий

ТП детали. Для некоторых операций (термические, гальванические, лакокрасочные и т.п.) решение вопроса о включении их в маршрут детали производится на основе анализа общих характеристик детали. После того как будет получена структура рабочего ТП, начинается проектирование отдельных операций. Эта задача решается для всех операций, кроме тех, которые являются типовыми и для которых имеется ссылка на соответствующий комплекс технологической документации. Проектирование операций (II уровень проектирования) ведется от последней операции к первой. На этом уровне решаются следующие задачи: уточнение модели оборудования (задача МОД); схемы базирования и возможности использования применяемого в операции УТП приспособления (задача БАЗЫ); определение структуры операции; оценка вариантов операции (задача ВАРО); разработка управляющей программы (задача УП); запоминание результатов проектирования операций.

Задача уточнения модели оборудования должна решаться в том случае, если за операцией закреплено несколько возможных моделей оборудования и необходимо уточнить, какая модель в первую очередь пойдет для обработки заданной заготовки.

При решении задачи БАЗЫ проводится анализ необработанных поверхностей, выбираются комплекты возможных баз, проверяется соответствие их схеме базирования приспособления и отбираются те из них, которые соответствуют приспособлению. Эти базы проверяются по характеристикам протяженности и жесткости, после чего производится анализ конструкторских размеров и простановка технологических (операционных) размеров, выдерживаемых на данной операции. Задача выбора баз является сложной и трудноформализуемой, и поэтому результаты ее решения необходимо уточнить в режиме диалога.

Задача ОПЕР (см. рис. 6.12) заключается в анализе переходов, выполняемых на операции, и в установлении последовательности их выполнения. В том случае, если в унифицированной операции структура ее задана жестко, структура рабочей операции получается автоматически после удаления лишних переходов. Если же последовательность выполнения переходов задана нежестко, структуру операции рабочего ТП следует уточнить на основании применения таких общетехнологических правил: черновые переходы выполняются раньше чистовых, фаски и технологические канавки должны быть обработаны раньше, чем нарезание резьбы; поверхность, являющаяся исходной базой, должна быть обработана раньше, чем координируемая ею

поверхность, и т.д. Окончательное же уточнение структуры операции выполняется технологом в режиме диалога.

Затем осуществляется переход на III уровень проектирования (уровень перехода). На этом уровне решаются следующие задачи: расчет припусков и операционных размеров (задача ПРИП, см. рис. 6.12); выбор режущего и вспомогательного инструмента (задача ИНСТ); определение структуры переходов (задача ПЕР); расчет рабочих ходов (задача РАБХ); определение элементов рабочих программ (задача УПЭ).

При решении задачи ПРИП используется нормативный метод. Информационной основой расчета являются отраслевые и заводские стандарты (нормали); содержащиеся в них таблицы значений припусков обрабатываются, кодируются, приводятся к виду, отвечающему требованиям системы ТИС-81, и вводятся в базу данных систем. Собственные размеры поверхностей (диаметральные операционные размеры) определяются путем прибавления или вычитания припуска к соответствующим размерам обработанной поверхности (метод наслоения). Задача (подсистема) ЦЕПЬ служит для расчета линейных операционных размеров. В основе ее лежит теория РЦ, используется метод полной взаимозаменяемости (расчет на максимум-минимум), способ отклонений [13].

Задача выбора инструмента (задача ИНСТ, см. рис. 6.12) содержит четыре варианта решения. Она решается на основе анализа информации, содержащейся в описании перехода, входящего в унифицированный технологический фрагмент (УТФ).

Первый вариант — инструмент в описании перехода не задан и переход неформообразующий (например, установить и снять заготовку). В этом случае назначение инструмента не производится.

Второй вариант — в описании перехода инструмент полностью задан (см. табл. 6.15). С помощью операторов РЕЖ (для режущего), ИЗМ (для измерительного) и ВСП (для вспомогательного) инструмента и его параметров ВИД (вид инструмента) и НОМ (номер типоразмера) формируются ключи для доступа к базе данных ИНСТРУМЕНТ и получения обозначения инструмента, которое нужно потом занести в технологическую карту.

Третий вариант — задан вид инструмента, но не задан типоразмер. В этом случае типоразмер инструмента определяется размерами обрабатываемой поверхности. Например, диаметр сверла определяется по диаметру отверстия, который, в свою очередь, определяется в задаче ПРИП. После этого из базы данных вызывается набор данных с

параметрами заданного в переходе вида инструмента и осуществляется поиск типоразмера инструмента. Номер типоразмера заносится как значение параметра НОМ в описание формируемого рабочего перехода.

Четвертый вариант – информация об инструменте в описании перехода полностью отсутствует, а имеется только ссылка на алгоритм его выбора. Такая ситуация характерна для сложных случаев выбора инструмента, когда необходимо выполнить ряд расчетов и определить ряд дополнительных признаков для выбора инструмента.

Задача выбора режимов резания (РЕЖ, см. рис. 6.12) решается на основе общемашиностроительных нормативов резания. При этом таблицы корректируются применительно к условиям конкретного предприятия. Результаты заносятся в описание рабочего перехода как параметры S (подача), $S_{\text{мин}}$ (минутная подача), N (частота вращения шпинделя), U (скорость резания), принадлежащие оператору РЕЖ.

Следует отметить, что для решения задач ПРИП, ИНСТ и РЕЖ требуется большое число таблиц (до 1000), разных по форме (одно-, двух и трехходовых).

Если проектируемый ТП рассчитан на использование оборудования с ЧПУ, то на III уровне решается также задача УПЭ (см. рис. 6.12) – разработка элементов управляющей программы. Для этого из УТП выбирается унифицированный фрагмент управляющей программы (УФУП). В результате его настройки на обработку заготовки для получения заданного состояния элемента получается рабочий фрагмент управляющей программы (РФУП). При этом используются данные, полученные при решении рассмотренных выше задач на уровне перехода. Для расчета координат опорных точек и траектории движения инструмента используется информация, полученная при решении задач размерного анализа ТП.

Решение задачи УП – разработка управляющей программы (II уровень) – заключается в том, что полученные на III уровне РФУП соединяются между собой с помощью стыковочных фрагментов, в которых фиксируются действия по переходу от одного элемента к другому, точнее, от одного центра локальной системы координат к центру координат другого элемента. Последовательность выполнения РФУП в УП должна соответствовать последовательности обработки элементов детали. Промежуточным результатом решения задачи УП является управляющая программа на языке CL DATA. Используя затем постпроцессор, соответствующий заданной модели станка, получают готовую управляющую программу и записывают в базу данных.

6.2.3. Построение вычислительного процесса в системе АДРЕС-СМ

Система АДРЕС-СМ построена как вычислительная система открытого типа, что обуславливает ее способность к развитию и адаптации к окружающей среде. Способность системы к развитию основана на модульной структуре вычислительной системы и последовательном повышении уровня автоматизации проектирования ТП введением новых модулей. Программные модули выполнены как отдельные загрузочные модули и добавление новых модулей не требует изменения и перекомпоновки старых. В период создания и освоения системы не все задачи могут быть обеспечены соответствующими программами. При этом функции отсутствующих модулей выполняются технологом вручную, и результаты расчетов вводятся в режиме диалога.

Управление последовательностью решения задач проектирования осуществляет монитор (управляющая программа) на основе анализа функциональных связей, существующих между задачами. Настройка монитора на управление вычислительной системой осуществляется путем ввода таблицы функциональных связей, каталога задач и других таблиц. Задачи решаются с помощью пакета программ, каждая из которых является загрузочным модулем. Задачи могут быть одно- и многомодульными. Для каждой задачи имеется начальный модуль, с загрузки которого в оперативную память ЭВМ начинается решение задачи.

Управление процессом проектирования осуществляется следующим образом. Технолог с помощью монитора вводит имя задачи, с которой нужно начать проектирование ТП; монитор по таблице функциональных связей определяет имя начального модуля и загружает его; начальный модуль после выполнения вычислений передает управление следующему модулю задачи и выполняет его загрузку (для многомодульных задач). После завершения задачи модуль записывает полученные результаты в оперативную базу данных и передает управление монитору. Монитор, получив управление, по таблице функциональных связей определяет, к какой следующей задаче следует перейти, и осуществляет загрузку начального модуля этой задачи. Если задача была последней, то монитор после ее решения осуществляет выход из вычислительной системы.

В процессе вычислений в системе могут произойти незапланированные прерывания вычислений. В этом случае управление передается монитору, который запрашивает технолога о дальнейших действиях.

Технолог на основе анализа ситуации либо заканчивает проектирование (в случае серьезных ошибок в системе), либо оценивает и при необходимости корректирует данные, полученные до момента прерывания и находящиеся в оперативной базе данных. Далее технолог вводит имя задачи, с которой нужно продолжить вычисления.

Поскольку система работает в режиме диалога, в ней предусмотрена возможность для технолога прерывать вычислительный процесс для анализа результатов проектирования и возобновления вычислительного процесса после ввода нужных системе сообщений. В системе АДРЕС-СМ предусмотрены прерывания для выполнения:

- 1) контроля и исправления промежуточных результатов;
- 2) дополнения промежуточных результатов данными, полученными технологом вручную;
- 3) прерывания проектируемого варианта для перехода к новому варианту.

На основе базовой системы АДРЕС-СМ разработана рабочая система проектирования КОРПУС для проектирования ТП изготовления корпусных деталей [13].

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные шаги (этапы) автоматизированного проектирования ТП механической обработки в САПР ТП ТТР.
2. На какие виды разделяется информация, используемая в САПР ТП ТТР?
3. Что входит в состав групповой информации?
4. Каковы методика и последовательность формирования "Сводного ТП"?
5. Каково содержание методики разработки "Сводного перечня операций" и "Применяемости операций"?
6. Каково содержание методики разработки "Сводного перечня переходов" и "Применяемости переходов"?
7. Каковы методика разработки и содержание табличных алгоритмов выбора режущего инструмента?
8. Перечислите основные шаги (этапы) определения припусков и операционных размеров (формирования размерной структуры).
9. Перечислите основные шаги методики формирования графа возможных технологических размеров G_T .

10. Поясните методику преобразования графа возможных технологических размеров G_T в граф допустимых размеров $G_{T.доп}$.
11. Поясните методику преобразования $G_{T.доп}$ в граф оптимальной размерной структуры $G_{T.опт}$. Назовите критерии оптимизации.
12. Какова последовательность построения технологических РЦ?
13. Покажите расчетные уравнения для определения минимального припуска на обработку плоскостей (торцов) и цилиндрических поверхностей.
14. Объясните структуру КИД. Назовите массивы и реквизиты КИД.
15. Назовите методические основы системы АДРЕС-СМ.
16. Назовите уровни автоматизированного проектирования в системе АДРЕС-СМ и их основное содержание.
17. Объясните методику решения параметрических задач в системе АДРЕС-СМ.
18. Объясните построение вычислительного процесса в системе АДРЕС-СМ.

Г Л А В А 7

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО МЕТОДУ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Как уже отмечалось в гл. 4, технологическое проектирование разделяется на две части: проектирование структуры ТП и определение (расчет) параметров ТП (параметрическая настройка ТП). Методы решения задач расчета параметров ТП (определение припусков на обработку, операционных размеров, режимов резания и т.д.) в САПР ТП, созданных в различных организациях, весьма близки между собой, и в настоящее время можно поставить вопрос об их унификации, а в последующем – и о стандартизации. В связи с этим можно говорить о том, что функционирующие и вновь создаваемые САПР ТП различаются в основном методами формирования структуры ТП –

технологического маршрута, операционной технологии, переходов и т.д. В рассмотренных в гл. 6 и других САПР ТП на основе типизации ТП задача проектирования структуры ТП решается *путем заимствования* из ТП на деталь-аналог или из типового (сводного, обобщенного и т.п.) ТП для класса (группы) деталей. Метод же синтеза структуры ТП предполагает определение состава – элементов ТП, формирование внешних связей между элементами для создания из них элементов более высокого уровня. ТП на заданную деталь не заимствуется с прототипа, а создается, синтезируется из элементов.

Метод синтеза используют для проектирования единичных, типовых и групповых ТП, управляющих программ для оборудования с ЧПУ. В авиационном двигателестроении он с успехом может применяться для автоматизированного проектирования ТП изготовления широкой номенклатуры деталей – тел вращения (валов, втулок, цилиндров, цилиндрических и конических шестерен, дисков, фланцев, корпусов подшипников и т.п.).

Возможны три модификации метода синтеза: синтез структуры ТП с использованием ТП-аналогов, синтез с использованием элементов-аналогов (например, переходов, ступеней обработки) и синтез без аналогов. Описываемые в настоящей главе и другие подобные системы автоматизированного проектирования ТП построены на основе синтеза с элементами-аналогами.

7.1. САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассматриваемая система, описанная в работах В. Д. Цветкова, является одной из первых систем, реализовавших метод синтеза структуры ТП.

В технологии машиностроения еще нет аналитических и логических зависимостей, связывающих структуру и параметры ТП со структурой и параметрами обрабатываемой детали. В связи с этим проектирование ТП обработки оригинальных деталей (а именно для этих случаев предназначается метод синтеза структуры ТП) является сложной недетерминированной задачей при недостатке начальной информации. Для преодоления начальной неопределенности при решении задач технологического проектирования разработчиками системы использован принцип многоуровневой декомпозиции процессов проектирования в

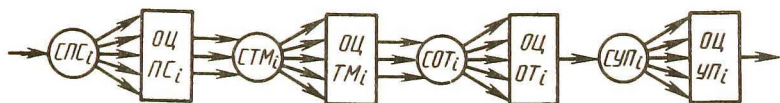


Рис. 7.1. Общая схема многоуровневого процесса проектирования с пороговыми отборами рациональных вариантов на каждом уровне:

$СПС_i$, $СТМ_i$, $СОТ_i$, $СУП_i$ — синтез вариантов соответственно принципиальной схемы (ПС), технологического маршрута (ТМ), операционной технологии (ОТ) и управляющей программы (УП); $ОЦ ПС_i$, $ОЦ ТМ_i$, $ОЦ ОТ_i$ и $ОЦ УП_i$ — оценка и отбор рациональных вариантов соответственно принципиальной схемы, технологического маршрута, операционной технологии и управляющей программы

сочетании с итерационными алгоритмами решения проектных задач на каждом уровне и использованием режима диалога при решении сложных трудноформализуемых задач. В рассматриваемой системе предусмотрено расчленение процесса проектирования ТП на следующие четыре уровня (стадии):

- 1) проектирование принципиальной схемы (ПС) процесса, когда определяются тип заготовки, состав и последовательность технологических этапов, методы обработки деталей в каждом этапе;
- 2) проектирование технологического маршрута (ТМ);
- 3) проектирование операционной технологии, включающее определение структуры операции и характеристик каждого перехода;
- 4) разработка управляющих программ для станков с ЧПУ.

Общая схема многоуровневого процесса проектирования показана на рис. 7.1. Процесс проектирования на каждом уровне представляет собой многовариантную процедуру. На основе одного проектного варианта предшествующего ($i - 1$) уровня синтезируется (формируется) множество более детальных вариантов следующего i -го уровня. На каждом уровне выполняется процедура оценки и отбора наиболее рациональных вариантов по критериям промежуточного отбора. При автоматизированном проектировании сложных ТП на всех стадиях проектирования должен участвовать инженер-технолог: в сложных ситуациях на основе опыта и интуиции он производит отбор рациональных решений.

Для деталей сложной формы проектирование на каждом уровне производится итерационным алгоритмом, работающим следующим образом. В

начале путем извлечения из технологического банка данных процессов-аналогов (если они имеются) либо путем синтеза формируется несколько допустимых вариантов ТП. Эти варианты затем проходят итерационный цикл по схеме: экспериментальное моделирование обработки детали по варианту → анализ результатов моделирования и комплексная оценка варианта → корректирование и улучшение варианта.

Сведения об этом варианте снова поступают в блоки моделирования, анализа и оценки. За каждый итерационный цикл проектирования качество исходного варианта улучшается. Выходной блок алгоритма осуществляет выбор наиболее рациональных вариантов в соответствии со значениями интегрального показателя качества. На промежуточных стадиях для дальнейшего проектирования отбирается несколько рациональных вариантов, а на последней стадии – один окончательный вариант (см. рис. 7.1).

В рассматриваемой системе предусмотрено два режима проектирования – автоматический и диалоговый. Процесс проектирования начинается с того, что технолог вводит в ЭВМ информацию о детали. После этого автоматически по заранее разработанным программам решается определенная группа задач. Когда появляется необходимость решения незапрограммированной задачи, на дисплей выводится модуль запроса (МЗ) с формулировкой этой задачи. Технолог решает ее и вводит ответ в память ЭВМ. На основе полученной информации ЭВМ продолжает дальнейшее проектирование.

Достижимая степень автоматизации зависит от сложности детали. Например, задачи выбора установочных баз, схемы инструментальной наладки для простых деталей могут быть формализованы, а для сложных деталей они должны решаться технологом. Система автоматизированного проектирования использует три формы диалога: под управлением ЭВМ, под управлением технолога и смешанную форму. Диалог продолжается до тех пор, пока не будет спроектирован ТП заданной степени детализации, т.е. маршрут или операционная технология.

7.1.1. Язык описания и кодирование информации о детали

Для описания исходной и справочной информации, необходимой для проектирования и представленной в виде чертежей деталей, паспортов оборудования и оснастки, таблиц нормативов и т.д., в системе используется формализованный технологический язык (ФТЯ). В основу

построения ФТЯ положен метод системно-структурного анализа сложных объектов и процессов.

При анализе чертежа технолог формирует пространственный образ детали в виде совокупности объемных элементов и поверхностей. Это построение осуществляется на основе "мысленного" многоуровневого расчленения детали на более простые составные части до тех пор, пока не будут получены элементы, дальнейшее членение которых не требуется для задач технологического проектирования. Поэтому ФТЯ должен содержать методы формализованного описания элементов детали и связей между элементами.

В качестве базовых структурных элементов в системе приняты элементарные (простые) и типовые поверхности. Каждый такой элемент может быть обработан за один простой переход при механической обработке, например, простые (элементарные) поверхности вращения (цилиндр, конус, сфера, тор, эллипсоид, параболоид, гиперболоид и фасонная поверхность); типовые поверхности – канавки (торцовые и продольные выемки) и т.п.

Классификация поверхностей имеет четыре уровня. В основу классификации первичных структурных элементов приняты закон движения образующей, форма образующей и конструктивное оформление концов поверхностей по длине и ширине. По первому признаку (первый уровень классификации) простые и типовые поверхности разделяются на следующие классы: плоские поверхности, поверхности вращения, винтовые, зубчатые, линейчатые и фасонные. В каждом классе в зависимости от расположения образующей относительно направляющей может быть несколько видов поверхностей. Например, класс поверхностей вращения по видам подразделяется на продольные и торцовые поверхности. Далее идет деление поверхностей на элементарные, типовые и нормализованные. Цилиндрические (продольные) поверхности в зависимости от формы и расположения образующей подразделяются на цилиндрические, сфероидальные и т.д. Из торцовых поверхностей выделяются плоские, конические и т.д. Вид типовых поверхностей включает канавки различного профиля, расположенные как на цилиндрической, так и на плоской поверхности. На последней ступени классификации каждый вид поверхности в зависимости от формы концов поверхности подразделяется на несколько разновидностей: открытую, полуоткрытую и закрытую.

При цифровом кодировании форма поверхности описывается позиционным четырехзначным кодом. Положение каждой цифры кода обозначает один из четырех признаков классификации (класс, подкласс,

вид, разновидность). Например, цилиндрический уступ описывается кодом 1112. Перед кодом ставится знак "плюс" (наружные поверхности) или "минус" (внутренние поверхности – отверстия, пазы, окна и др.).

Для наглядности в ФТЯ принято обозначать понятия первого и второго уровней классификации сокращенным названием поверхности, а характеристики третьего и четвертого уровней – цифровыми кодами (ЦИЛ12, КОН11 и т.д.).

При описании характеристик поверхностей каждая из них обозначается буквенным кодом, после которого приводится ее значение. Физико-механические свойства поверхности указываются после описания ее формы и размеров. Приведем примеры кодирования поверхностей детали, показанной на рис. 7.2.

1 = ТОРЕЦ1; D96; Rz40.

2 = ЦИЛ11; D96X; Ra0,32; ТВЧ, $h(0,8...1,2)$; HRC(45-50)

9 = КАН7; В = 7(0,16, -0,1); D80(-0,5); Rz20.

Таким образом, с помощью классификационных таблиц можно закодировать как форму, так и собственные размеры элементарных и типовых поверхностей.

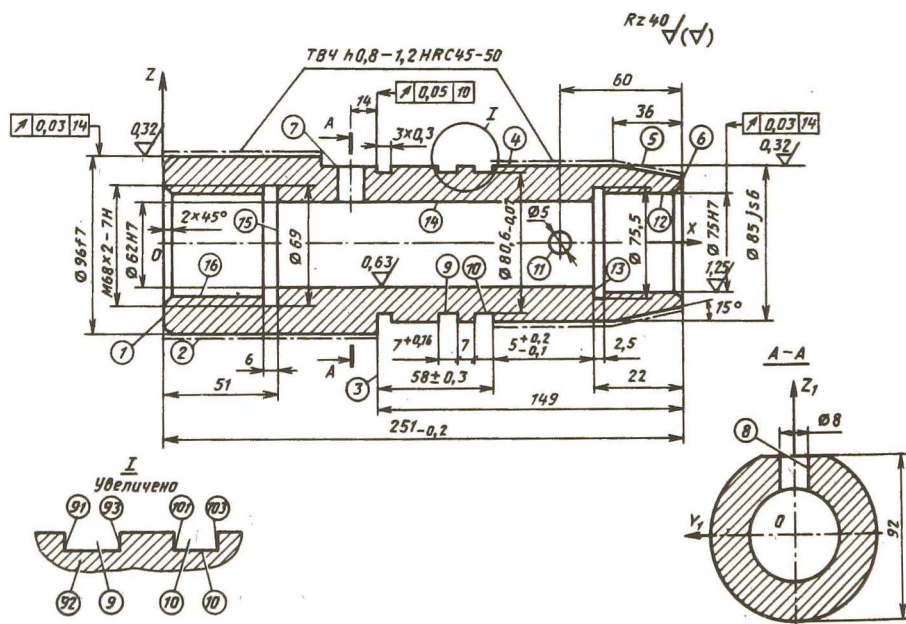


Рис. 7.2. Чертеж втулки (цифры в кружках – номера поверхностей)

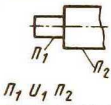
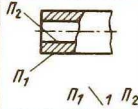
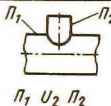
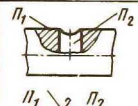
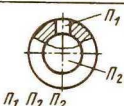
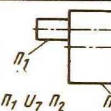
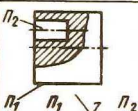
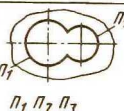
Вид пространственного расположения	Конструктивные операции и отношения		
	Соединение	Отсечение	Пересечение
Соосное			
С пересекающимися осями			
С параллельными осями			

Рис. 7.3. Разновидности конструктивных операций и отношений (фрагмент)

Для описания формы деталей машин в ФТЯ предусмотрены конструктивные операции и отношения: соединения, отсечения и пересечения поверхностей (рис. 7.3). Операция "соединение" $U_i(m)$ заключается в мысленном соединении сложного объекта Π из более простых объектов Π_i :

$$\Pi = \Pi_1 U_i(m) \Pi_2.$$

Предусматривается семь видов операций соединения: U_1 — соосное соединение; U_2 — соединения с осями, пересекающимися под прямым углом, и т.д. (см. рис. 7.3). Символом $\pm m$ указывается номер оси и направления соединения поверхностей. Знак "+" ставится, когда соединение производится в положительном направлении оси m , а знак "-" — в случае отрицательного направления. Например, наружный контур вала, образованный последовательным соединением по оси ОХ любого числа поверхностей вращения, можно описать выражением

$$\Pi = \Pi_1 U_1(OX) \Pi_2 \dots U_1(OX) \Pi_k = \sum_{j=1}^k U_1(OX) \Pi_j.$$

Операция "отсечение", обозначаемая $\setminus i(m)$, заключается в построении нового, более сложного объекта (части детали), ко-

торый образуется в результате отсечения от исходного объекта Π_1 объекта Π_2 :

$$\Pi = \Pi_1 \setminus i(m) \Pi_2.$$

Как и для операции "соединение", символ i обозначает здесь характер взаимного расположения в пространстве объектов Π_1 и Π_2 , а m — номера поверхностей, пересекающихся при отсечении, и вид переходной поверхности между ними. Значения i показаны на рис. 7.3. В качестве примера применения операции "отсечение" опишем участок детали (см. рис. 7.2), образованный отсечением от цилиндра 2 плоскости 7 и отверстия 8:

$$\Pi = \Pi_2 \setminus_2 \Pi_7 \setminus_2 \Pi_5.$$

Виды взаимного пересечения описываются с помощью *отношения "пересечения"* $\Pi_1 \underset{i}{\cap} \Pi_2$. Индексом i обозначена конструктивная разновидность пересечения элементов в пространстве (см. рис. 7.3). Характер *относительного взаимного расположения* элементарных и типовых поверхностей задается в виде отношения $(\Pi_1, \Pi_2 \dots) E_i (\Pi_k, \Pi_{k+1})$, где E_i — вид отношения, а Π_1, Π_2 и Π_k и Π_{k+1} — поверхности или объемные элементы, связанные этим отношением. На рис. 7.4 приведены наиболее часто встречающиеся отношения объектов и их обозначение и описание: отношения принадлежности (инцидентности) одного объекта другому E_0 , соосности E_1 , перпендикулярности E_2 , параллельности E_3 и т.д.

Совокупность конструктивных операций и отношений между элементами детали образуют граф формы детали $\Phi(\Pi, U)$. Вершинам графа соответствуют элементы (поверхности) детали, а дугами являются конструктивные операции и отношения, характеризующие формообразующие связи и взаимное расположение элементов (поверхностей). В качестве примера на рис. 7.5 показан граф формы детали, изображенной на рис. 7.2.

Граф $\Phi(\Pi, U)$ является математической моделью формы детали.

Рассмотрим теперь формализованное описание *размерных связей элементов детали*. Размерная связь между двумя элементами (точками, линиями, поверхностями) задается видом размера a , его чис-

Вид расположения поверхности	Эскиз	Способ описания
Принадлежность		$(P_1/P_2) E_0 P_1$
Совместность		$P_1 E_1 P_2$
Перпендикулярность		$P_1 E_2 P_2$
Параллельность		$P_1 E_3 P_2$

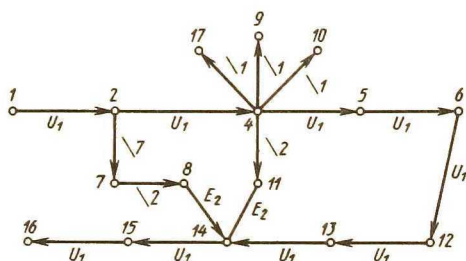


Рис. 7.5. Граф формы детали, показанной на рис. 7.2 (цифрами обозначены номера поверхностей)

Рис. 7.4. Формализованное описание видов относительного взаимного расположения поверхностей

ленной величиной b и описывается отношением $P_i a b P_j$. Конкретно линейные размеры обозначают буквами x, y, z , если они параллельны соответствующим координатным осям, а буквой l – размеры, произвольно расположенные в пространстве. Угловые размеры обозначают буквой φ , а диаметральные – D или R . При этом, например, отношение $P_i x50 P_j$ обозначает расстояние 50 мм вдоль оси X между элементами P_i и P_j ; отношение $P_i \varphi 60 P_j$ – угол 60° между элементами P_i и P_j .

Математически размерные связи описываются графом P (P, L), в котором вершинам P соответствуют элементы детали (точки, линии, поверхности), а дугам L – вид и значение размера между элементами. В качестве примера на рис. 7.6, а показан граф размерной связи

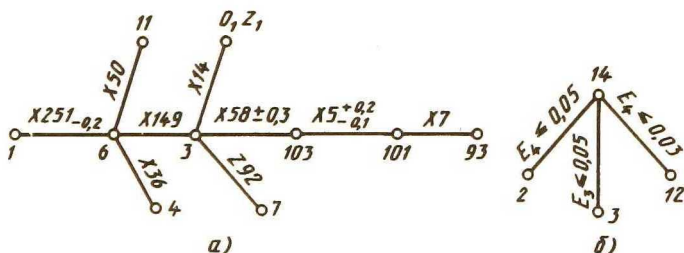


Рис. 7.6. Графы связей детали, изображенной на рис. 7.2:
а – граф линейных размерных связей между элементами наружного контура детали; б – граф технических требований

Таблица 7.1

**Размерные связи и технические требования
(по чертежу детали, приведенному на рис. 7.2)**

<i>i</i> -й элемент	<i>j</i> -й элемент	Вид связи	<i>i</i> -й элемент	<i>j</i> -й элемент	Вид связи
1	6	$X_{251-0,2}$	2	14	$E_4 \leq 0,05$
3	6	X_{149}	3	14	$E_3 \leq 0,05$
4	6	X_{36}	12	14	$E_4 \leq 0,03$
3	$O_1 Z_1$	X_{14}	3	10	$E_3 \leq 0,05$

вдоль оси X элементов детали, изображенной на рис. 7.2. С помощью графа описывается также совокупность технических требований на точность взаимного расположения элементов детали. Вершинам графа соответствуют элементы детали, а дугам – вид и значение технических требований на точность взаимного расположения. Фрагмент такого графа для детали, изображенной на рис. 7.2, приведен на рис. 7.6, б.

Значительная часть информации о детали представляется в табличном виде (общие сведения о детали, форма детали и т.д.). В табл. 7.1 приведен фрагмент массива сведений о размерных связях и технических требованиях, составленного применительно к чертежу детали по рис. 7.2. Самостоятельным массивом задаются параметры обрабатываемых поверхностей.

7.1.2. Методика и алгоритмы проектирования принципиальной схемы технологического процесса

Проектирование ТП в целом и принципиальной схемы (ПС) ТП в частности начинается с формирования маршрутов обработки поверхностей. Маршрут обработки поверхности (МОП) – это последовательность методов обработки, необходимых для достижения требуемых раз-

мерных, точностных параметров и физико-механических свойств поверхности. Другое часто используемое разработчиками систем определение МОП – это элементарный ТП, состоящий из последовательности переходов одного или различных методов обработки и обеспечивающий получение требуемой точности и свойств поверхности.

Формой отображения принципиальной схемы ТП, технологического маршрута и МОП является последовательность этапов обработки отдельных поверхностей и детали в целом, о которых подробно говорилось в разд. 3.8.

В рассматриваемой системе предусмотрено разделение ТП на 13 этапов. Такое большое число этапов объясняется тем, что перечень их, приведенный в табл. 7.2, является универсальным, он рассчитан на формирование ПС ТП для деталей различной конфигурации и степени сложности. Для конкретной детали многие этапы могут отсутствовать. Например, детали невысокой точности без термообработки будут иметь только этапы Э1–Э4; при токарно-револьверной обработке деталей из прутка этапы Э2 и Э3 совмещаются в один и т.д.

В состав математического обеспечения системы входят табличные алгоритмы для определения маршрутов обработки поверхностей. В табл. 7.3 в качестве примера приведен алгоритм выбора маршрута обработки основных поверхностей вращения. В области отправления таблица имеет перечень условий, определяющих выбор МОП и значения условий (нижняя часть), а в области прибытия – массив решений, содержащий перечень (набор) этапов и методов обработки, с помощью которых они реализуются (верхняя часть таблицы). В связи с тем, что технологические решения впоследствии (при проектировании маршрута и операций) будут уточняться, перечень содержит только наиболее существенные условия. Алгоритмы выбора МОП являются "настраиваемой" частью системы, они разрабатываются применительно к конкретным условиям производства, на котором будет применяться система.

По указанным таблицам выбираются полустовые и чистовые этапы обработки поверхностей. Заготовительные и черновые операции характерны не для отдельных поверхностей, а для детали в целом. Поэтому вопросы о выборе вида и способа получения заготовки и о целесообразности черновой обработки решаются отдельно.

На уровне проектирования ПС выбор наиболее рационального *вида заготовки* осуществляется на основе таких показателей, как вид детали, ее габаритный диаметр, коэффициент использования металла

Этапы ТП [14]

Обозначение	Наименование	Назначение и характеристика
Э1	Заготовительный	Получение заготовки и ее термобработка
Э2	Черновой	Съем лишних напусков и припусков
Э3	Термический I	Термообработка — улучшение, старение
Э4	Получистовой I	Точность обработки 11–13 качества, шероховатость поверхностей $Ra \geq 1,25$ мкм
Э5	Термический II	Цементация
Э6	Получистовой II	Съем цементационного слоя на поверхностях, предохраняемых от цементации
Э7	Термический III	Закалка, улучшение
Э8	Чистовой I	Точность обработки 7–9 качества, шероховатость $Ra \geq 0,32$ мкм
Э9	Термический IV	Азотирование, старение
Э10	Чистовой II	Шлифование поверхностей, предохраняемых от азотирования
Э11	Чистовой III	Точность обработки 7–6 качества, шероховатость поверхностей $Ra \geq 0,16$ мкм
Э12	Гальванический	Хромирование, никелирование и др.
Э13	Доводочный	Получение поверхности шероховатостью $Ra \geq 0,04$

$W = M_{\text{дет}} / M_{\text{заг}}$, величина партии запуска $n_{\text{дет}}$ и др. В системе имеется ряд алгоритмов для выбора заготовок для пустотелых деталей, валов, шестерен, плоских и корпусных деталей и т.д.

Выбор (включение в состав ПС) чернового этапа производится по отдельным алгоритмам. В качестве критериев для решения этой задачи принимают вид и размеры заготовки, величину партии, отношение

**Алгоритм определения маршрута обработки
основных поверхностей вращения [14]**

Условие, определяющее выбор МОП	Обозначение этапа	МОП				
	Э13	—	—	—	Доводка	Доводка
	Э11	—	—	Шлифование	—	Шлифование
	Э8	—	Шлифование	—	Шлифование	—
	Э4	Точение	Точение	Точение	Точение	Точение
Квалитет точности $T \geq$	11	7	6	9	6	
Шероховатость поверхности Ra , мкм	2,5	1,25	0,63	0,04	0,04	
Вид термообработки	—	Улучшение, закалка	—	Улучшение, закалка	—	
Технические требования $\delta_{ij} \geq 0,05$	0,1	0,02	0,01	—	—	

Примечания: 1. При предохранении поверхности от цементации на поверхность назначить токарный переход в этапе Э6.

2. При предохранении поверхности от азотирования переадресовать операцию из Э8 в Э10.

Алгоритм назначения чернового этапа Э2 для деталей, изготавли

Условие	Реше			
	Э2 не требуется		Включить Э2	
Тип детали (ТД)	Валы			
Диаметр заготовки $d_{\text{заг}}$	$>d_1$			
Значение f	$<f_{11}$	$f_{11} - f_{12}$	$>f_{12}$	
Размер партии N	-	$\leq n_1$	$>n_1$	-

П р и м е ч а н и е. "Настраиваемые" параметры алгоритма:

$$d_1 = 30 \text{ мм}; d_2 = 35 \text{ мм}; d_3 = 42 \text{ мм};$$

$$f_{11} = 1,0; f_{21} = 1,1; f_{31} = 1,2;$$

$$f_{12} = 1,3; f_{22} = 1,4; f_{32} = 1,5;$$

$$n_1 = 5; n_2 = 8; n_3 = 12.$$

суммарной длины черновых рабочих ходов при обработке наружных поверхностей к длине детали:

$$f = \sum_{i=1}^k m \frac{l_{0i}}{L_d},$$

где $m = \frac{d_{i+1} - d_i}{t_{\text{max}}}$ — число черновых проходов с глубиной резания t_{max} при обработке i -й ступени детали; l_{0i} — расстояние от торца детали до i -й ступени, включая ее длину; k — число обрабатываемых начерно ступеней детали; L_d — длина детали.

емых из прутка

ния

Э2 не требуется			Включить Э2		Э2 не требуется			Включить Э2	
Втулки					Диски				
$>d_2$					$>d_3$				
$>f_{21}$	$f_{21} - f_{22}$		$>f_{22}$	f_{31}	$f_{31} - f_{32}$		$>f_{32}$		
-	$\leq n_2$	$>n_2$	-	-	$\leq n_3$	$>n_3$			

Критерий f характеризует относительный объем черновой обработки. Чем больше суммарная длина черновых проходов $\sum m_{i0i}$ превышает длину детали L_d , тем больше критерий f и тем целесообразнее выделение черновой обработки в отдельный этап.

В табл. 7.4 в качестве примера показан алгоритм назначения чернового этапа Э2 при обработке наружных поверхностей деталей различных типов, изготавливаемых из прутка. Из анализа структуры алгоритма следует, что если диаметр заготовки – прутка – меньше допустимых значений $d_{\text{заг}} < d_{\text{доп}}$, то черновые переходы в самостоятельную операцию не выделяются, а выполняются вместе с полустистовыми в этапе Э4. Основным критерием назначения чернового

этапа является критерий f : только при достижении некоторого (для каждого вида деталей своего) значения можно включать в состав ПС черновой этап Э2. С увеличением размера партии N черновой этап может назначаться при меньшем значении f . Так, при обработке валов при $f_{11} - f_{12} = 1 - 1,3$ и размере партии $N < n_1 = 5$ - черновой этап не назначается, а при $N > 5$ - включается в состав ПС. В примечании к таблице приведены значения "настраиваемых" параметров алгоритма - они устанавливаются для конкретных производственных условий предприятия или цеха.

Следует отметить, что при решении задач формирования принципиальной схемы ПС многие из этих задач являются трудноформализуемыми и поэтому вычислительный процесс строится с использованием режима диалога. Результаты работы по формированию принципиальной схемы могут быть представлены в виде упорядоченной последовательности этапов:

$$ПС = \langle Э1, Э2, \dots, ЭK \rangle$$

с указанием методов обработки поверхностей в каждом этапе

$$Э_i = \{ \mu_1(P_1), \mu_2(P_2) \dots \}.$$

Результаты проектирования ПС можно представить также в виде массива формоизменяющих переходов, показанного в табл. 7.5. В этой таблице каждая графа представляет собой один из наиболее рациональных вариантов маршрута обработки поверхности. В горизонтальных строках сосредоточены переходы обработки поверхностей, образующих один этап.

Как уже отмечалось, в черновых этапах Э1-Э3 выполняются заготовительные и черновые операции, характерные не для отдельной поверхности, а для детали в целом. В связи с недостаточной детализацией критерия оценки на первом уровне проектирования в черновых и получистовых этапах возникает несколько вариантов принципиальной схемы обработки детали, что хорошо видно на графе ПС, показанном на рис. 7.7. Точки графа соответствуют состояниям детали на различных этапах технологического процесса, дуги характеризуют последовательность выполнения этапов технологического процесса. На рис. 7.7 видно, что деталь можно изготовить из заготовок трех видов: $З_1$, $З_2$ и $З_3$. Для некоторых вариантов ПС необходим заготовительный этап Э1, для других вариантов он

Маршруты обработки поверхностей детали по рис. 7.2

Обоз- начение этапа	Номер поверхности детали						
	1	2	3	4	7	8	...
Э1							
Э2	Точение- черновое	Точение черновое	—	Точение черновое	—	—	—
Э3	Термообработка — улучшение, старение						
Э4	Точение получис- товое	Точение получис- товое	Точе- ние полу- чистовое	Точение получис- товое	Фре- зеро- вание	Свер- ление	
...							
Э7	—	Закал- ка, ста- рение	—	Закал- ка, старе- ние	—	—	
Э8	—	Шлифо- вание предва- ритель- ное	Точе- ние чисто- вое	Шлифо- вание предва- ритель- ное	—	—	
...							
Э11	—	Шлифо- вание окон- чатель- ное	—	Шлифова- ние оконча- тельное	—	—	

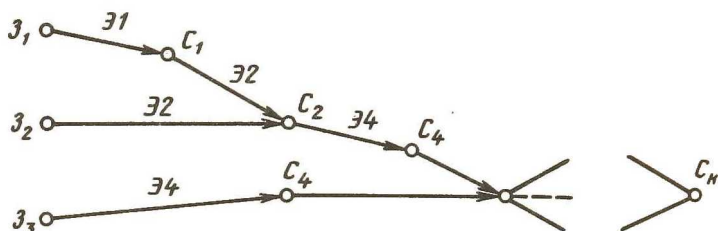


Рис. 7.7. Граф принципиальной схемы ТП

совмещен с обработкой в черновом этапе Э2, для третьих – отрезка заготовки, черновая и полустачевая обработка совмещены в одном этапе. Любой путь из области заготовки (3) в точку C_k , соответствующей конечному состоянию детали, представляет собой один из вариантов принципиальной схемы изготовления детали.

7.1.3. Методика и алгоритмы проектирования маршрутных технологических процессов

Укрупненная схема синтеза технологического маршрута (ТМ) приведена на рис. 7.8. Исходными данными для проектирования ТМ (блок 1) являются сведения о форме, размерах и точности детали и заготовки (граф формы и граф размерных связей), о программе выпуска, а также полученные на предыдущем шаге проектирования несколько наиболее рациональных вариантов принципиальной схемы ТП. Техническими ограничениями при решении задач проектирования ТМ являются наборы применяемого на заводе оборудования, оснастки, основных материалов.



Рис. 7.8. Укрупненная схема проектирования технологического маршрута:

1 – ввод исходных данных и ограничений; 2 – формирование укрупненных операций; 3 – установление последовательности укрупненных операций; 4 – рациональная дифференциация укрупненных операций на простые; 5 – установление рациональной последовательности операций одинакового ранга

Формирование структуры ТП начинается с чистовых этапов и заканчивается черновыми и заготовительными. На формирование операций и определение их последовательности влияет большое число факторов (технологические возможности оборудования и оснастки, форма и размеры детали, характер размерных связей, величина партии и др.). Поэтому синтез ТМ разделяется на ряд задач (шагов).

Первой задачей (модуль 2 на рис. 7.8) является *разделение множества формоизменяющих переходов i -го этапа на укрупненные операции* в соответствии с технологическими возможностями оборудования – формируются укрупненные операции по методам обработки и видам оборудования. Укрупненные операции характеризуются максимально возможной для данной детали концентрацией переходов. На рис. 7.9 показан чертеж детали и таблица маршрута обработки поверхностей в чистовых и получистовых этапах (принципиальная схема ТП). В результате работы модуля 2 (см. рис. 7.8) получим следующий состав укрупненных операций:

$$R_y = \left\{ \text{ТОК}^4(\text{ТЧ}_1, \text{ТЧ}_3, \text{ТЧ}_7 \text{ТЧ}_8 \text{ТЧ}_{10}, \text{ТЧ}_{12}) \text{СВ}^4(\text{СВ}_6, \text{СВ}_{11}); \right.$$

$$\text{ФР}^4(\text{ФР}_4 \text{ФР}_5), \text{ЗУБФР}^4(\text{ФР}_9), \text{РЕЗБ}^4(\text{ТЧ}_2);$$

$$\text{ШЛ}^8(\text{ШЛ}_4), \text{ШЛ}^8(\text{ШЛ}_1 \text{ШЛ}_3, \text{ШЛ}_{12}),$$

$$\left. \text{ЗУБШЛ}^8(\text{ШЛ}_9), \text{РШЛ}^{11}(\text{ШЛ}_2) \right\}.$$

В круглые скобки заключены переходы, входящие в состав укрупненных операций. Верхние индексы обозначают номер этапа, а нижние – номера обрабатываемых поверхностей.

Следующей решается задача *упорядочения укрупненных операций*, т.е. определение их последовательности (модуль 3 на рис. 7.8). Анализ технологических процессов показывает, что ранг конструктивной операции отсечения определяет последовательность обработки поверхностей в чистовых и получистовых этапах. Поэтому при упорядочении должен соблюдаться следующий принцип: сначала (в пределах этапа) должны выполняться укрупненные операции по обработке

т.е. суммарное штучно-калькуляционное время k простых операций должно быть меньше штучно-калькуляционного времени укрупненной операции. Далее среди вариантов, отвечающих приведенному выше условию, выбирается вариант дифференциации с минимальным временем выполнения k простых операций. Необходимая для расчетов величина партии вычисляется заранее, а затем используется в алгоритмах дифференциации.

В качестве примера на рис. 7.10 приведен алгоритм дифференциации шлифовальных операций. Блоками 1 и 2 укрупненная операция A_y разделяется на два подмножества переходов A_n и $A_{вн}$ обработки наружных поверхностей и центральных отверстий. Блоками 3 и 4 для шлифования наружных поверхностей назначается схема базирования детали (непосредственно в центрах или на оправке в центрах). Для

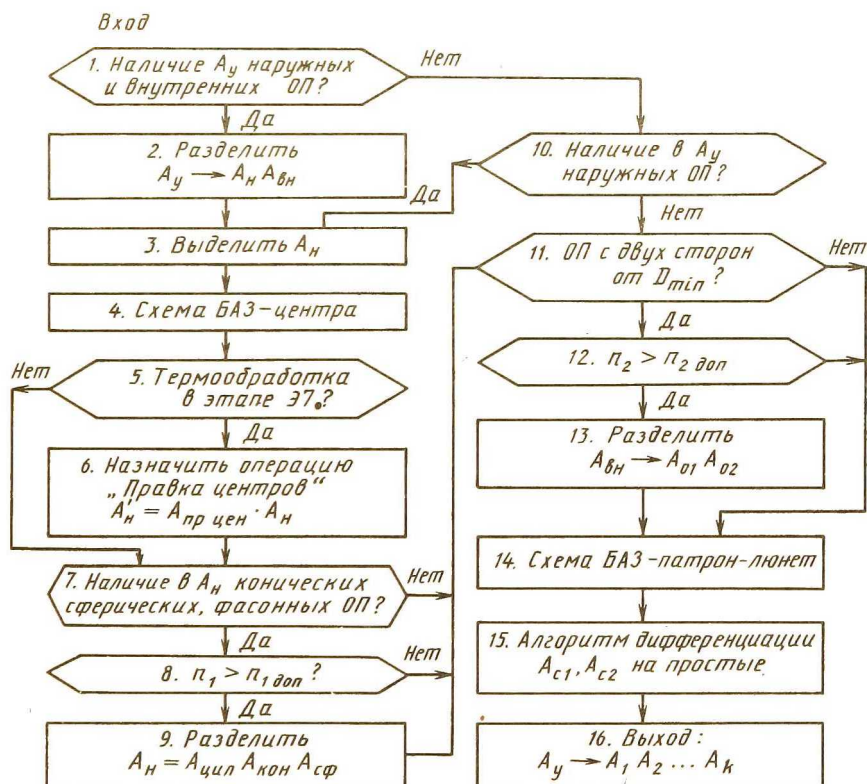


Рис. 7.10. Алгоритм дифференциации шлифовальных операций

термообрабатываемых деталей блоками 5 и 6 назначается операция правки центровых гнезд детали. Блоками 7, 8 и 9 в зависимости от размера партии множество переходов A_n разделяется на простые операции, состоящие только из переходов по обработке цилиндрических, конических, сферических и фасонных поверхностей.

От блока 11 начинается ветвь алгоритма по формированию внутришлифовальных операций. Посредством блоков 11, 12 и 13 набор переходов обработки центральных отверстий разделяется на две группы – A_{c1} и A_{c2} , в каждую из которых входят переходы по обработке поверхностей, расположенных с 1-й и 2-й стороны детали. Это связано с тем, что при $n_2 > n_{2\text{доп}}$ вспомогательное время на переустановку и выверку детали будет превышать время, связанное с выделением в отдельную операцию переходов по шлифованию поверхностей, расположенных с противоположной стороны детали.

Блоком 14 для группы операций $A_{\text{вн}}$ принимается схема базирования и установки детали (в примере – в патроне и люнете), а в качестве базовых поверхностей – две точные и наиболее удаленные шейки вала. Алгоритмом 15 производится дальнейшая дифференциация A_{c1} и A_{c2} до простых операций, содержащих обработку только цилиндрических, конических и других отверстий. Этот алгоритм включает в себя блоки, аналогичные блокам 7, 8 и 9. В результате дифференциации будут получены наиболее рациональные по составу простые операции и определены схемы базирования и установки для каждой из них.

Четвертой задачей при формировании технологического маршрута является *установление рациональной последовательности укрупненных операций одинакового ранга* (модуль 5 на рис. 7.8). Алгоритм решения этой задачи строится с учетом ряда положений и зависимостей. Если обрабатываемые поверхности не связаны жесткими допусками на координирующие (линейные или угловые) размеры и техническими требованиями на точность расположения или если значение указанных допусков настолько велико, что не влияет на последовательность обработки, то последовательность операций должна устанавливаться в первую очередь с учетом расстановки оборудования в цехе и прогрессивных технологических традиций на предприятии. Учет расстановки оборудования может обеспечить максимально возможную прямо-точность ТП, при которой встречные потоки и "петляние" деталей по

станкам цеха сводится к минимуму. Кроме того, использование в алгоритмах опыта проектирования технологии на конкретном предприятии дает возможность учесть влияние организационных и других факторов на последовательность операций, которые пока не поддаются расчету.

Однако в большинстве случаев в чистовых и финишных этапах размерные связи, регламентированные допусками на размеры и расположение, необходимо учитывать. Порядок операций обработки поверхностей одного ранга, например плоскостей, пазов, нецентральных отверстий, зубьев, шлицов и других, в таких случаях назначается на основе принципа совмещения конструкторских баз с технологическими (конкретно – с исходными). Это, как было показано в гл. 3, позволяет кратчайшим и наиболее экономичным путем обеспечить заданную по чертежу точность размеров и расположения поверхностей. Логически эта задача решается на основе анализа графа размерных связей детали. Поверхность, которая как вершина в графе имеет наибольшую степень, т.е. связанная с другими наибольшим числом размеров, должна обрабатываться первой. Порядок выполнения других операций определяется по графу размерных связей так, чтобы их базовые поверхности были обработаны в предшествующих операциях.

В то же время алгоритм должен иметь альтернативные ветви для тех случаев, когда принцип совмещения конструкторских и технологических исходных баз не может быть выполнен по техническим или экономическим изображениям. В ряде случаев (особенно при обработке корпусных деталей) экономически целесообразно отказаться от принципа совмещения конструкторских и технологических баз в пользу принципа постоянства баз.

Последняя задача – *определение типа оборудования* для каждой операции маршрута – решается при помощи простых табличных алгоритмов. В качестве условий, определяющих выбор типа оборудования, принимаются конфигурация и размеры обрабатываемой заготовки, требования по точности размеров и расположения поверхностей, шероховатость поверхностей, размер партии.

В результате проектирования ТМ в каждом этапе $\mathcal{E}_i$ устанавливается наиболее рациональный состав и последовательность операций

$$A_i, \mathcal{E}_i = A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n,$$

где

$$A_i = \text{СБ, СТ, } \{\mu_i(P_j)\},$$

т.е. по каждой операции устанавливается схема базирования детали СБ, тип оборудования СТ и набор методов обработки μ_i поверхностей P_j .

7.1.4. Методика и алгоритмы проектирования операций

Исходными данными для проектирования технологических операций являются: общие сведения о детали и ее поверхностях, программа выпуска, структурные характеристики операций, полученные при проектировании технологического маршрута. К числу этих характеристик относятся: вид преобразования, заданный набором методов обработки поверхностей; состояние детали C_q , которое нужно получить в результате выполнения операции; схема базирования детали СБ, тип оборудования СТ. Техническими ограничениями, определяющими возможные варианты проектируемой операции, служат множества моделей оборудования $\{\text{СТ}_i\}$, которое имеется в цехе, моделей (шифров) универсальных, унифицированных и ранее спроектированных приспособлений $\{\text{ПР}_j\}$ и инструментов $\{\text{ИН}_m\}$. Условиями выбора станков СТ_k , приспособлений ПР_q и инструментов ИН_i будут

$$\text{СТ}_k \in \{\text{СТ}_i\}, i = 1 \dots n_i;$$

$$\text{ПР}_q \in \{\text{ПР}_j\}, j = 1 \dots n_j;$$

$$\text{ИН}_i \in \{\text{ИН}_m\}, m = 1 \dots n_m.$$

В основу метода проектирования технологических операций положен принцип обеспечения минимальной технологической себестоимости.

Общий алгоритм проектирования операционной технологии представлен на рис. 7.11. Согласно его содержанию задача синтеза технологических операций расчленяется на четыре части. В первой (блоки 1, 2 и 3) определяются наиболее рациональная форма, припуски, напуски и межоперационные размеры заготовки, поступающей на

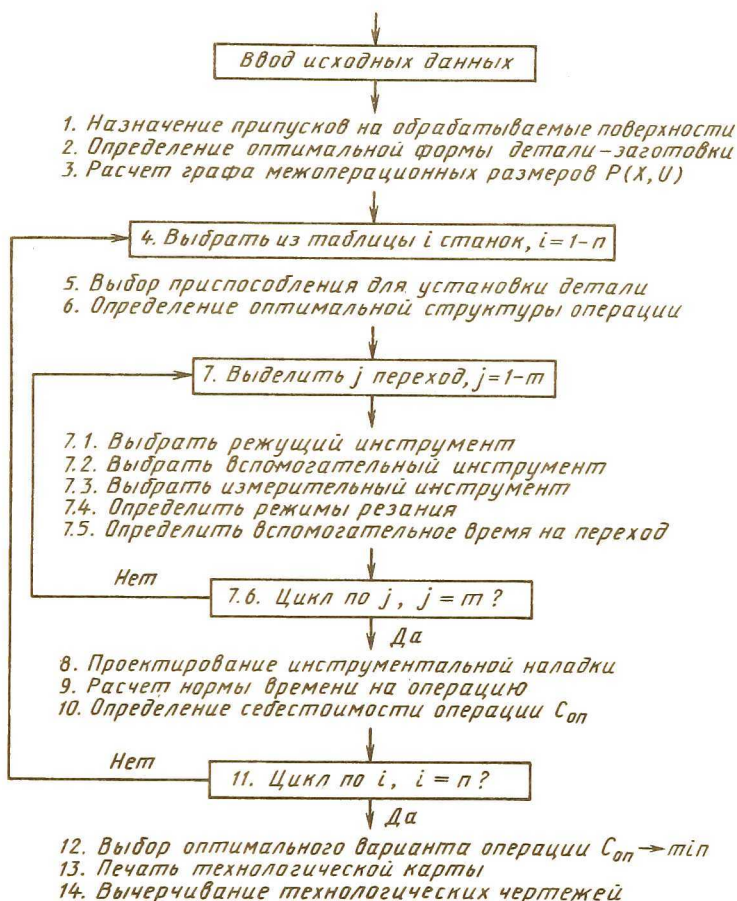


Рис. 7.11. Общий алгоритм проектирования операционной технологии

операцию, т.е. состояние C_{q-1} . Вторая часть алгоритмов (4, 5, 7.1, 7.2, 7.3, 8) связана с выбором элементов системы обработки детали (модели станка, приспособления, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента) и пространственной компоновкой инструментальной наладки станка. Алгоритмы третьей части (блок 6) осуществляют синтез временной структуры операции, т.е. уточняется состав переходов, определяются порядок их выполнения и характер совмещения во времени. В четвертую часть входят алгоритмы определения параметров и технико-экономических характеристик операции (блоки 7.4, 7.5, 9, 10, 12).

Рассмотрим коротко методы решения основных задач синтеза технологических операций. В описываемой системе принят нормативный метод определения припусков на обработку (блок 1 на рис. 7.11). Нормативы припусков представлены в виде информационно-логических таблиц и стандартных программ выбора решений из них.

Следующей задачей определения характеристик C_{q-1} состояния заготовки является формирование графа межоперационных размеров $P_{q-1}(\Pi, L)$ детали-заготовки, поступающей на операцию. Исходными данными служит граф $P_q(\Pi, L)$ межоперационных размеров детали, которые необходимо получить в результате выполнения операции (для операций окончательной обработки — это граф размерных связей детали), а также припуски и напуски на обрабатываемые поверхности. Для чистовых и получистовых операций структура графа размерных связей, как правило, не меняется (меняются значения дуг — операционных размеров и их допуски). Для этого случая (рис. 7.12, а) значение межоперационного размера $(l_i)_{q-1}$ может быть найдено по уравнению

$$(l_i)_{q-1} = (l_i)_q \pm z_j \pm z_k,$$

где z_j и z_k — припуски на обработку поверхностей (плоскостей, торцов), связанных размером l_i (рис. 7.12, а). Знаки припусков z_j

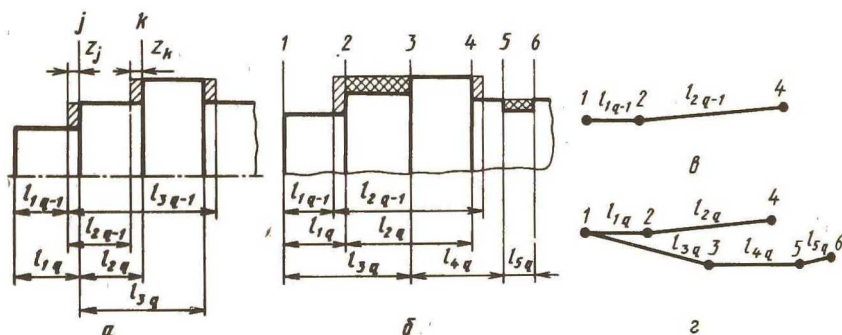


Рис. 7.12. Размерные схемы механической обработки и графы размерных связей:

а — при отсутствии напусков; б — при наличии напусков; в — искомый граф $P_{q-1}(\Pi, L)$; г — исходный граф $P_q(\Pi, L)$

и z_k определяются по отдельному алгоритму в зависимости от принадлежности поверхности (наружная, внутренняя) и направления снятия припуска.

Как известно, конфигурация исходной заготовки, а часто и конфигурация заготовки после черновых операций не эквидистантны конфигурации детали по чертежу (из-за наличия напусков). Поэтому при выполнении заготовительных операций меняется и структура графа размерной связи (появляются новые поверхности — вершины графа, новые дуги — операционные размеры) и меняются их параметры. На рис. 7.12, б напуски обозначены двойной штриховкой. Исходными являются размеры с индексом q , а искомыми — с индексом $q-1$. Ниже изображены графы размерных связей: исходный $P_q(P, L)$ (рис. 7.12, г) и искомый $P_{q-1}(P, L)$ (рис. 7.12, в). Задача сводится к преобразованию графа $P_q(P, L)$ в граф $P_{q-1}(P, L)$ для каждого этапа обработки поверхностей. Эта задача решается по отдельному алгоритму. Расчет припусков и операционных размеров ведется в направлении от готовой детали (от окончательных операций) до исходной заготовки.

Из остальных задач проектирования операций наибольший интерес представляет задача *формирования оптимальной структуры операций* (блок 6 на рис. 7.11). Формирование структуры черновых и чистовых операций производится на базе различных подходов. В черновых операциях последовательность переходов выбирается такой, чтобы обеспечить наиболее производительный съем металла. Точность здесь, как правило, не выступает в качестве технического ограничения. В то же время при определении структуры чистовых операций получение требуемой точности размеров и относительного положения поверхностей является основной задачей.

Определение оптимальной последовательности установов и переходов в *черновых операциях* начинается с выбора стороны детали, с которой необходимо начать обработку. Предназначенный для решения этой задачи алгоритм учитывает конфигурацию заготовки (гладкий вал, односторонняя ступенчатость, двусторонняя ступенчатость), конфигурацию детали после черновой операции и положения поверхностей (наружные или внутренние). Принято, что для заготовок и деталей с односторонней ступенчатостью обработка наружных поверхностей начинается со стороны шейки детали минимального диаметра. Для остальных заготовок и деталей с двусторонней ступенчатостью

обработка начинается со стороны минимального диаметра заготовки. В других случаях в первую очередь обрабатывается сторона детали с наибольшим числом поверхностей.

Алгоритм определения последовательности переходов в черновых операциях строится из условия обеспечения наиболее рационального съема металла. В связи с этим для удобства обработки и уменьшения числа переналадок принято, что в каждом установе вначале обрабатываются уступы и выступы детали, затем — выемки и в последнюю очередь производится обработка конусов.

Формирование *структуры чистовых операций* направлено в первую очередь на получение требуемой точности размеров и относительного взаимного расположения поверхностей детали. Задача заключается в синтезе рациональной структуры операции, обеспечивающей получение требуемой точности операционных размеров с наименьшим значением структурной составляющей технологической себестоимости

$$E_{\text{стр}} \rightarrow \min.$$

Исходными данными при решении этой задачи являются множество переходов, выполняемых в операции $M = \{a_i\}$; граф $P(\Pi, L)$ размерных и точностных связей обрабатываемых поверхностей $C_{i,j}$, состояние детали, которое должно быть получено в результате выполнения операции; схема базирования и базовые поверхности в операции.

В основу алгоритма синтеза структуры чистовых операций должен быть положен принцип совмещения технологических баз с конструкторскими. Как отмечалось уже в гл. 3, для обеспечения требуемой точности конструкторских размеров в условиях несовмещения баз необходимо будет ужесточить допуски на некоторые размеры в рассматриваемой операции, а в ряде случаев и в предшествующих операциях.

Из принципа совмещения баз вытекает ряд требований, основными из которых являются:

а) в качестве базовой поверхности может быть принята любая поверхность, связанная с обрабатываемой поверхностью размером $l_{i,j}$, если она была обработана ранее в этой или в предшествующих операциях;

б) в операции или установе первой по порядку должна обрабатываться поверхность Π_i , имеющая в графе $P(\Pi, L)$ максимальную сте-

пень вершины, т.е. поверхность, связанная с другими наибольшим числом размеров

$$q_{Pi} = (q_{вх} + q_{вых}) \rightarrow \max,$$

где $q_{вх}$ и $q_{вых}$ — число входящих в вершину и выходящих из нее дуг.

Поверхность P_i в дальнейшем принимается за технологическую (исходную) базу;

в) последовательность обработки поверхностей, координируемых от указанной выше поверхности, устанавливается по убыванию точности координирующих размеров (от наиболее точных к наименее точным);

г) последовательность обработки поверхностей одинаковой точности взаимного расположения устанавливается по возрастанию их расстояний от базы.

В качестве примера реализации приведенных выше принципов и требований рассмотрим алгоритм определения структуры чистовых токарных и шлифовальных операций, приведенный на рис. 7.13. Входной блок 1 формирует исходные данные: множество переходов, выполняемых в операции $\{a_n\}$ и граф размерных связей обрабатываемых поверхностей между собой и с базами $P(\Pi, L)$.

Если первичная база, от которой начинается обработка поверхностей в операции, назначена ранее, то оператором 3 номер этой поверхности засылается в массив базовых поверхностей M_5 . В противном случае управление передается модулю выбора первичной базы (блоки 19, 20, 21, 22).

Операторами 4 и 5 выделяется группа поверхностей, обрабатываемых с одной стороны детали. Из массива M_5 выбирается очередная поверхность, которая используется в качестве начальной или промежуточной базы. В графе размерных связей $P(\Pi, L)$ среди группы поверхностей одной стороны детали выделяются все поверхности, непосредственно связанные с базой (оператор 6). Оператором 7 проверяется число таких поверхностей. Если $m > 1$, то операторами 8 и 9 производится упорядочение переходов по их обработке в порядке возрастания точности координирующих размеров, а в группе поверхностей одинаковой точности — по возрастанию их расстояний от базы. Оператором 10 уточняются виды и состав переходов по обработке каждой поверхности. При этом обработка промежуточных торцов выделяется в самостоятельный переход, если перепад соседних

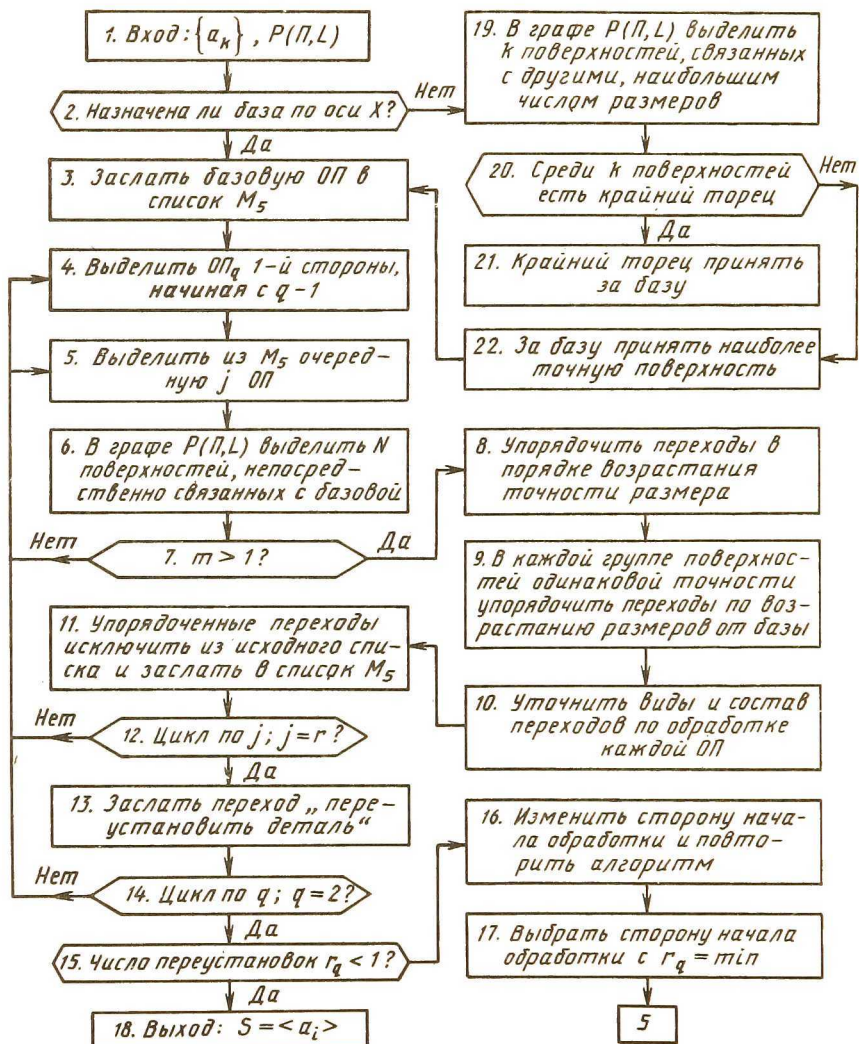


Рис. 7.13. Алгоритм определения последовательности переходов в чистовых токарных и шлифовальных операциях

ступеней $D_{i+1} - D_{i-1} > h$. В остальных случаях торцы обрабатываются в одном переходе с прилегающей ступенью.

Упорядоченные переходы исключаются из исходного списка (оператор 11). В результате для анализа всегда остается неупорядоченный массив переходов.

Оператором 12 осуществляется циклическое повторение блоков 4–11 до тех пор, пока все переходы, относящиеся к обработке одной стороны детали, не будут упорядочены. После этого оператором 13 засылается вспомогательный переход – переустановить деталь, а оператором 14 для анализа выделяется массив поверхностей, расположенных с другой стороны детали, и так до тех пор, пока не будут упорядочены все обрабатываемые в операции поверхности.

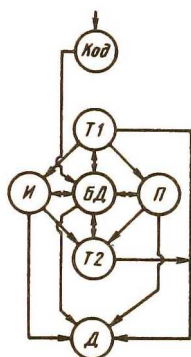
В ряде случаев характер РЦ таков, что число переустановок детали будет зависеть от того, с какой стороны начата обработка. Оператор 16 изменяет сторону начала обработки и повторяет рассмотренный выше алгоритм. Критерием выбора начала стороны обработки (блок 17) служит минимальное число переустановок в операции. Алгоритм блока 17 содержит анализ возможности выполнения обработки при несовмещении конструкторских и технологических баз, если это дает сокращение числа установов и если при пересчете допусков на операционные размеры они остаются в пределах экономической точности обработки.

Блоки 19–21, как уже отмечалось, предназначены для выбора первичной базы в тех случаях, когда она не выбрана ранее (на этапе проектирования маршрутной технологии).

7.2. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА "ТЕХНОЛОГ"

Как указывалось, наиболее существенная тенденция развития САПР – их комплексирование, объединение отдельных автономных систем, каждая из которых может решать отдельные крупные задачи проектирования, в единую систему на общей методологической основе и на единой информационной базе. Можно отметить два направления комплексирования. Первое – создание *интегрированных систем* автоматизированного проектирования (ИСАПР) для решения всех задач *технической подготовки производства* – от проектирования (конструирования) изделий, сборочных единиц, деталей до разработки всего комплекса технологической документации – технологического маршрута, операционной технологии и управляющих программ для оборудования с программным управлением. Второе направление – создание *комплексных автоматизированных систем технологической подготовки производства* (КАС ТПП). КАС ТПП по замыслу

Рис. 7.14. Структура КАС ТПП "Технолог"



разработчиков [3, 11] в окончательном развитии объединяет в единый непрерывный процесс автоматизацию и механизацию работ по всем основным функциям ТПП, т.е. проектирование ТП изготовления и сборки изделия и его деталей (включая и УП для станков с ЧПУ), проектирование средств технологического оснащения (приспособлений, вспомогательных, режущих и измерительных инструментов), проектирование ТП изготовления оснастки,

изготовление технологической оснастки, отладку всего процесса изготовления нового изделия. В связи с тем, что технологическая подготовка составляет часть технической подготовки производства, можно сказать, что КАС ТПП должна являться составной частью ИСАПР.

На рис. 7.14 показана структура комплексной автоматизированной системы технологической подготовки производства КАС ТПП "Технолог". Система имеет подсистемы общего назначения ("Код", Д – "Документ", БД – "Банк данных"), функциональную подсистему первого уровня (Т1 – "Технолог-1"), подсистемы второго уровня для проектирования средств технологического оснащения (П – "Приспособление", И – "Инструмент"), подсистему третьего уровня – проектирование технологии изготовления технологической оснастки (Т2).

Все подсистемы, входящие в КАС ТПП "Технолог" представляют собой четко оформленные модули, имеющие согласованные входы и выходы.

7.2.1. Общая характеристика подсистемы "Технолог-1"

Подсистема "Технолог-1" выполняет в КАС ТПП ведущую и трудоемкую часть работ – проектирование ТП изготовления деталей основного производства класса "тела вращения". Деталям этого класса свойственно большое многообразие конструктивных элементов: цилиндрические, конические, плоские (торцы), криволинейные и комбинированные поверхности вращения, кулачки различной формы, лыски, грани, пазы, резьбы, элементы шлицевых и шпоночных соединений, зубчатых зацеплений и др. Все эти элементы могут встречаться в деталях класса "тела вращения" в различных сочетаниях.

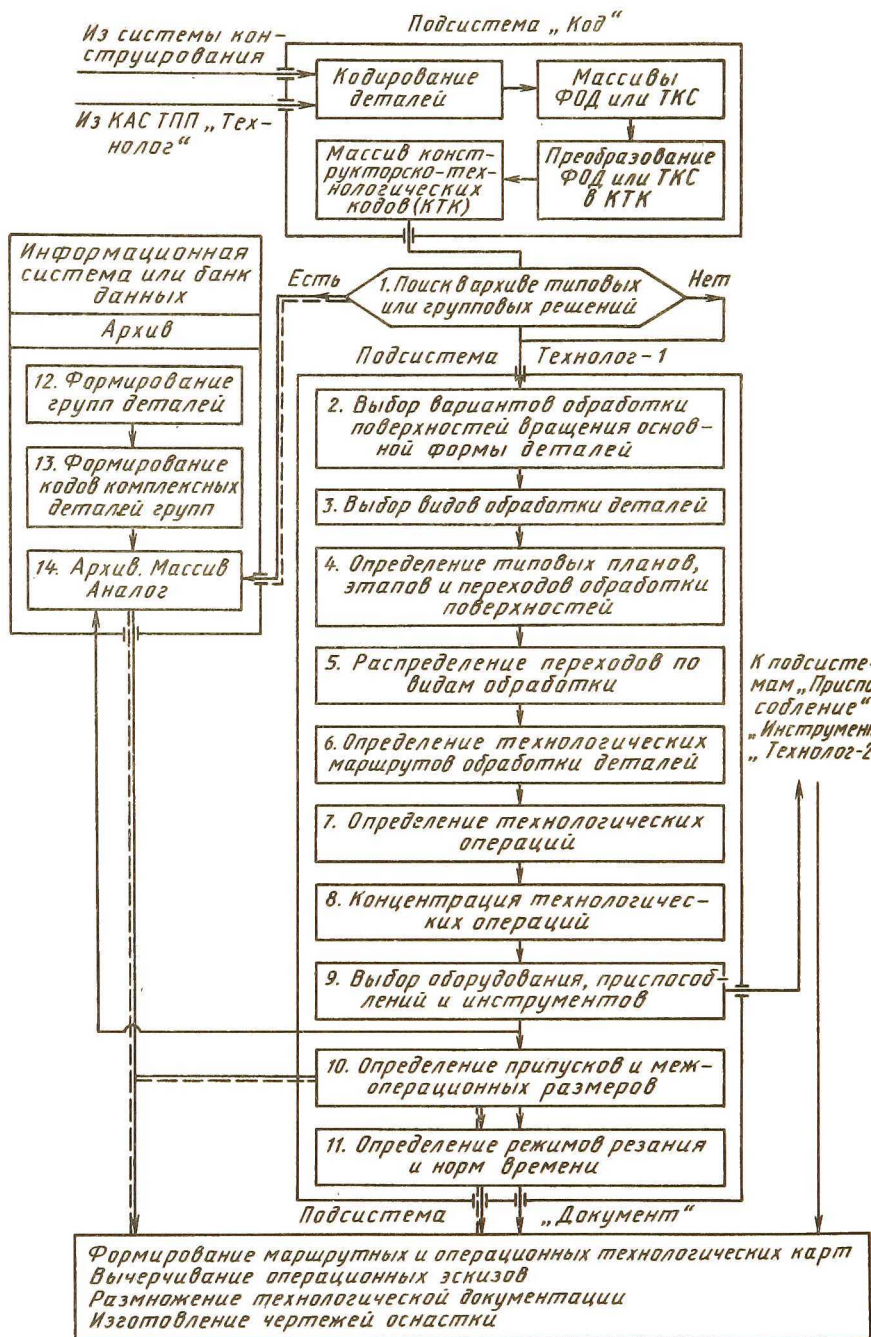
На рис. 7.15 показана укрупненная функциональная схема технологического проектирования в системе "Технолог-1". Она включает подсистемы общего назначения "Код", "Информационная система" (Архив) и "Документ" (они являются общими для всей КАС ТПП "Технолог") и основную функциональную подсистему "Технолог-1". Каждый блок схемы предназначен для выполнения определенного этапа (шага) проектирования.

Подсистема "Код" играет важную роль в первичном преобразовании необходимой для проектирования исходной информации. Как следует из схемы на рис. 7.15, информация, поступающая с чертежами деталей и планово-производственными документами, накапливается в этой подсистеме, проверяется, сортируется, кодируется, т.е. преобразуется из текстовой или графической формы в приемлемую для ЭВМ буквенно-цифровую форму (формальное описание данных – ФОД или ТКС) и проходит первичную обработку (группирование, выборку, преобразование ФОД или ТКС в конструктивно-технологический код КТК).

Основная функциональная подсистема "Технолог-1" предназначена для проектирования как индивидуальных, так и типовых технологических процессов механической обработки деталей. Методологически возможно проектирование ТП как на основе процессов аналогов, хранящихся в Архиве (левая ветвь блок-схемы), т.е. на основе принципа типизации, так и в основном по принципу синтеза технологического процесса из его элементов. Блоки для расчета параметров технологического процесса (9, 10, 11 на рис. 7.15) являются общими для обоих вариантов. Основная ветвь блок-схемы, работающая по методу синтеза, имеет стыковку с подсистемами "Инструмент", "Приспособление" и "Технолог-2".

Подсистема "Документ" – подсистема формирования и выпуска (с помощью набора штатных периферийных устройств, АЦПУ и чертежно-графического автомата) комплекта технологических документов: маршрутных и операционных карт, карт эскизов ТП, чертежей оснастки, спецификаций, ведомостей, которые затем с помощью обычной множительной техники тиражируются.

Подсистема ИС (информационная) обеспечивает информацией функциональные подсистемы проектирования. Она осуществляет сбор, накопление, хранение, замену, поиск и преобразование всех видов информации, циркулирующей в системе, что позволяет существенно упростить алгоритм и программы проектирующих подсистем и тем самым сократить затраты машинного времени.



7.2.2. Исходная (входная) информация и ее кодирование

В КАС ТПП "Технолог" первичная входная информация для решения задач на всех этапах проектирования, во всех ее подсистемах, вводится один раз в начале проектирования. Эта информация является переменной, она готовится, вводится и используется не на каждую деталь отдельно, а на определенный массив обрабатываемых деталей и заменяется новой при переходе к другому массиву деталей.

Кодирование входной информации производится сразу на внутреннем языке системы. Описание объектов (деталей) на таком языке представляет их полную математическую модель. Метод описания объектов, положенный в основу внутреннего языка КАС ТПП "Технолог", имеет целью создание условий для получения удобных и компактных алгоритмов проектирования, облегчение всех процедур обработки информации внутри системы. Принципиальной особенностью этого метода является то, что с его помощью описываются непосредственно пространственные образы – поверхности детали, сборочные единицы и узлы машин и их взаимное расположение в пространстве, а не их чертежи. При кодировании геометрических образов на основе чертежа, проекций, разрезов и сечений технолог-кодировщик синтезирует пространственный образ, который и кодирует с помощью принятого в системе языка. Обратный процесс преобразования пространственных образов в проекции чертежа значительно проще и производится один раз в конце проектирования.

При описании детали с помощью внутреннего входного языка проектирования деталь рассматривается как объект, состоящий из *элементов*, между которыми по определенным правилам устанавливаются отношения. Элементы детали делятся на *элементы формы*: поверхности и их сочетания и *качественные элементы*, к которым относятся различные свойства деталей и поверхностей – твердость, шероховатость, покрытия, предельные отклонения и др. Примерами отношений могут служить размерные связи, предельные отклонения взаимного расположения поверхностей и др. Любые элемент и отношение характеризуются конечным набором свойств, описываемых с помощью параметров. Каждый параметр имеет наименование и область допустимых

Рис. 7.15. Укрупненная функциональная схема технологического проектирования "Технолог-1"

значений. Тогда кодирование детали сводится к описанию набора параметров, осуществляемому в соответствии с синтаксисом входного языка КАС ТПП. Алфавит языка определяется символами, имеющимися на клавиатуре устройств подготовки данных.

Элементарными единицами информации об объектах на внутреннем языке являются наименования и значения параметров. Для их записи необходимы следующие виды слов: целые числа, действительные числа, угловые величины, простые алфавитные слова, составные алфавитные слова, диапазоны значений величин.

Простые алфавитные слова записывают в виде совокупности букв, цифр и точек. Такие слова используют для представления с помощью языка наименований и значений параметров в виде легко запоминающихся мнемонических обозначений. Например, параметру "условное обозначение резьбы" можно присвоить мнемоническое наименование УОР. Значениями этого параметра являются условные обозначения: М – метрическая резьба, ТРАП – трапецидальная резьба и т.д.

Составные алфавитные слова записывают в виде совокупности простых алфавитных слов или целых чисел, разделенных символом $\square$ (пробел). Такие слова используют для записи наименований и условных обозначений, состоящих из нескольких слов или содержащих символы "тире" и "точка", которые в этом случае заменяют символом $\square$. Например, выражение "характер обработки" запишется как ХАРАКТЕР $\square$ ОБРАБОТКИ.

Процессу кодирования информации о детали предшествует *подготовка чертежа* к кодированию в соответствии с определенными правилами. Эта подготовка состоит из двух этапов: определение положения базовой системы координат детали и нумерация ее элементов. Базовой системой координат детали может служить правая прямоугольная пространственная (рис. 7.16, а) или плоская (рис. 7.16, б) система координат. Пример нумерации поверхностей показан на рис. 7.16; б (начиная с правого крайнего торца против часовой стрелки).

При кодировании деталь рассматривают как сложный объект состоящий из множества элементов. Различают элементы основной формы детали и элементы, находящиеся в отношении наложения к элементам основной формы. *Элементы основной формы* детали – это поверхности, образующие основной контур детали: наружные и внутренние, цилиндрические, конические, криволинейные поверхности вращения, плоские торцы, поверхности движения. *Элементы, находящиеся в отношении наложения*, расположены на элементах основной формы – это фаски,

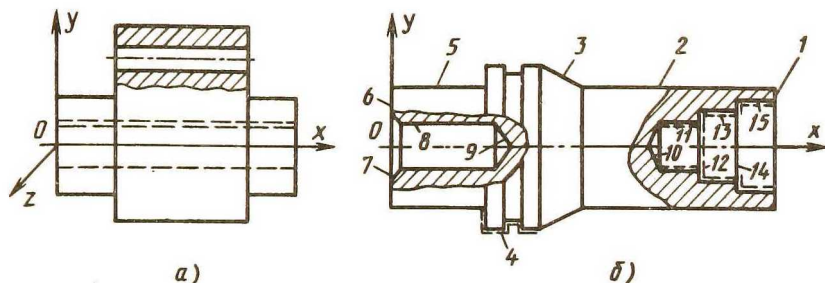


Рис. 7.16. Подготовка чертежа детали к кодированию (цифрами обозначены номера поверхностей)

лыски, резьбы, дополнительные отверстия, шлицы, зубья и т.п., а также различные покрытия и термическая обработка.

При подготовке чертежа к кодированию оператор может объединить несколько поверхностей в одну сложную комбинированную поверхность, предназначенную для обработки фасонным инструментом: резцом, сверлом, разверткой, шлифовальным кругом. Сложные комбинированные поверхности на чертеже обводят штриховой линией (см. рис. 7.16, б). Сложной комбинированной поверхности присваивают один номер. Например, поверхности 10, 11, 12, 13, 14, 15 при объединении их в одну сложную комбинированную поверхность, обрабатываемую фасонным инструментом, должны быть обозначены одним номером 10 (рис. 7.16, б).

В КАС ТПП "Технолог" формой представления входной информации является таблица кодированных сведений (ТКС). ТКС подразделяется на ряд массивов, содержащих информацию о различных свойствах деталей:

массив А – общие сведения о детали (50 параметров);

массив Б – общие сведения о поверхностях детали (51 параметр);

массив В – собственные размеры поверхностей вращения и движения основной формы детали (21 параметр);

массив Г – собственные размеры поверхностей вращения, находящихся в отношении наложения к поверхностям основной формы детали (8 параметров);

массив Д – собственные размеры дополнительных отверстий (11 параметров);

массив Е – собственные размеры некруглых фасонных поверхностей (8 параметров);

массив Ж – собственные размеры лысок и пазов (10 параметров);

- массив И – собственные размеры резьб (13 параметров);
- массив К – собственные размеры шлицевых соединений (16 параметров);
- массив Л – собственные размеры элементов зубчатых зацеплений (170 параметров);
- массив М – данные о металлических покрытиях (12 параметров);
- массив Н – данные о лакокрасочных покрытиях (11 параметров);
- массив П – данные о термической обработке (15 параметров);
- массивы Р, С, Т – кодирование плоского контура в естественном виде, в прямоугольных и полярных координатах (28 параметров);
- массив Ф – кодирование пространственных криволинейных поверхностей (21 параметр).

Каждый массив имеет одну или несколько таблиц. Каждая таблица представляет собой множество из n кортежей (строк), где n – число элементов детали, описываемых массивом. Кортеж состоит из m компонент (столбцов), где m – число параметров, описывающих тот или иной элемент детали. Таким образом, каждый элемент детали описывается строкой, а параметр – столбцом таблицы (матрицы). Подсчет показывает, что во всех массивах ТКС для описания детали предусмотрено очень большое число параметров (445). Но при оценке трудоемкости ручного кодирования (заполнения таблиц ТКС) нужно иметь в виду, что на каждую конкретную деталь заполняются не все массивы. В то же время большое число параметров описания детали, содержащихся в ТКС, дает возможность получить законченную и вполне исчерпывающую информационную совокупность сведений о детали, используемую в дальнейшем для целей проектирования.

О важной роли ТКС можно судить по тому, что разработчики системы [3] считают, что процесс технологического проектирования, отражающий процесс изменения размеров, формы и свойств элементов при изготовлении деталей, может быть формально представлен как процесс изменения ТКС заготовки, заключающийся в присвоении параметрам новых значений, определенных в процессе проектирования ТП, в образовании новых строк в связи с появлением новых элементов (поверхностей) при обработке. В результате таких преобразований по окончании проектирования последней технологической операции обработки детали ТКС заготовки должна стать тождественной ТКС детали.

При подготовке ТКС используются кодировочные таблицы и инструкции по кодированию. Следует также отметить, что каждая из таблиц (массивов) ТКС заполняется не на отдельную деталь, а на группу деталей. Это экономит время подготовки входной информации.

7.2.3. Унификация и классификация обрабатываемых деталей.

Структура конструкторско-технологического кода

Описание деталей с помощью ТКС дает все необходимые сведения как о детали в целом, так и об отдельных ее поверхностях, их количественные и качественные характеристики, данные, которые могут быть использованы при различных видах технологического проектирования и конструирования оснастки. Однако для решения многих задач необходимо более обобщенное синтезированное описание деталей, в целом представляющее не столько их точные количественные и качественные характеристики, сколько данные о наличии у деталей тех или иных признаков. Такими описаниями являются массивы конструкторско-технологических кодов, создаваемые на основе рассматриваемой ниже технологической классификации деталей и их поверхностей. Классификация деталей в КАС ТПП "Технолог" имеет технологическую направленность, так как она предназначена для последующего совершенствования процессов автоматизированного проектирования.

Содержание и характер классификации можно уяснить по структуре конструкторско-технологического кода (КТК), приведенного на рис. 7.17. КТК состоит из трех частей:

- обозначение детали (ОД) по принятой системе обозначений;
- конструкторский код (К), подразделяемый на основной код (КО) и дополнительный код (КД);
- технологический код (ТК).

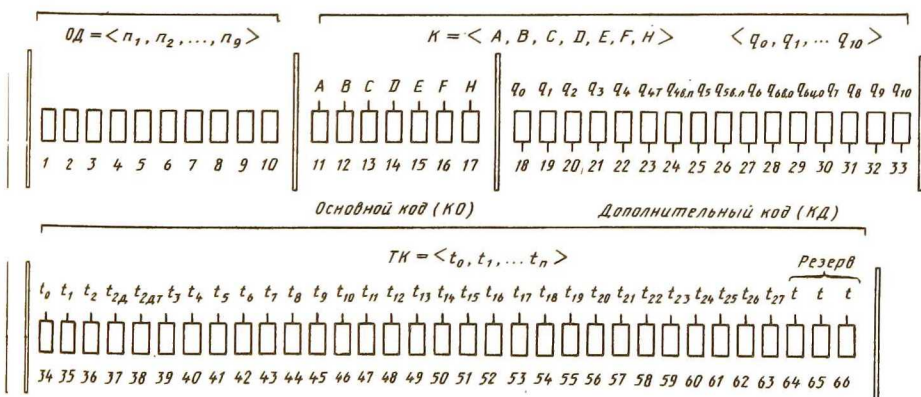


Рис. 7.17. Структура конструкторско-технологического кода

Каждая часть кода содержит постоянный состав элементов, расположенных в строго определенной последовательности и составляющих в совокупности 63 элемента. КТК в полном объеме необходим для автоматизированного решения целого ряда технологических задач: группирование деталей по различным признакам или по их сочетаниям; проектирование технологического маршрута; выбор заготовки; выбор оборудования; выбор оснастки и др. Отдельные задачи технологического проектирования решаются с использованием только части кода.

Как уже отмечалось, в подсистеме "Технолог-1" задачи проектирования ТП решаются поэтапно для массивов обрабатываемых деталей. В связи с этим КТК деталей представляются также в виде массивов этих кодов (см. подсистему "Код" на рис. 7.15). Массивы КТК не являются входной информацией (т.е. их не вводят до начала проектирования), они формируются путем переработки данных, содержащихся в ТКС, с помощью комплекса специальных программ.

Вернемся теперь к рассмотрению структуры конструкторско-технологического кода. *Основная часть конструкторского кода* (КО) содержит семь основных конструкторских признаков:

А – признак конфигурации деталей, оцениваемой по отношению длины L к диаметру D . По этому признаку все детали общемашиностроительного применения разделяются на четыре группы:

$$L \geq 12D; 12D > L \geq 2,5D; 2,5D > L \geq 0,5D$$

$$\text{и } 0,5D > L;$$

В – признак формы основных наружных поверхностей. Предусмотрено 27 значений признака для оценки форм наружных поверхностей и их сочетаний (0 – цилиндрические, 1 – конические, ..., А – цилиндрические, конические и криволинейные поверхности и т.д.);

С – признак формы основных поверхностей центрального отверстия, который имеет 28 значений (0 – цилиндрические, 1 – конические, ..., В – конические, криволинейные и комбинированные поверхности и т.д.);

Д – признак структуры детали. В зависимости от сочетания форм наружной поверхности (гладкая, с одно- и двухсторонними уступами) и отверстия (сквозное, глухое, с одно- и двухсторонними уступами) все детали класса "тела вращения" подразделяются на 20 подклассов (20 значений признака D);

Е – признак наличия и вида эксцентричных поверхностей вращения (4 значения);

F – признак наличия, формы и расположения торцов (16 значений);
 H – признак наличия и расположения закрытых уступов (4 значения).

Дополнительный конструкторский код содержит 15 дополнительных конструкторских признаков: g_0 – наличие, форма и расположение кольцевых и криволинейных выточек на плоских торцах; g_1 – признак наличия, расположения и характеристики резьбы на наружных поверхностях вращения и в центральных отверстиях (10 значений); g_2 – признак наличия и местоположения кольцевых и криволинейных канавок; g_3 – признак наличия, формы и местоположения фасок и галтелей; g_4 – признак наличия и расположения прямолинейных (в том числе шпоночных) пазов и криволинейных канавок на поверхностях вращения (16 значений); $g_{4т}$ – признак наличия прямолинейных и криволинейных пазов на наружных и внутренних плоских торцах (16 значений); $g_{4в.п}$ – признак вида прямолинейного паза на поверхностях вращения и на плоских торцах; g_5 – признак наличия лысок или граней; $g_{5в.л}$ – признак вида, протяженности и формы лыски или грани; g_6 – признак дополнительных (нецентральных) и центровых отверстий (16 значений); $g_{6в.о}$ – признак вида дополнительного отверстия; $g_{6ц.о}$ – признак вида центровых отверстий; g_7 – признак вида дополнительной обработки (29 значений: 2 – накатка сетчатая, 8 – алмазное выглаживание и т.д.); g_8 – признак вида и расположения шлицевого соединения (19 значений); g_9 – признак зубчатого зацепления (31 значение: 1 – цилиндрическое на наружной поверхности с термообработкой и т.д.); g_{10} – признак элементов зубчатого зацепления (10 значений признака в зависимости от модуля, вида и степени точности);

Технологический код (ТК) содержит 30 технологических классификационных признаков: t_0 – признак наибольшего наружного диаметра детали в мм (29 значений признака, соответствующих 29 интервалам размера диаметра от 2,5 до 950 мм); t_1 – признак длины детали в мм

(20 значений признака, соответствующих 20 интервалам длины от 6 до 10 000 мм); t_2 — признак, характеризующий диапазон диаметров центрального отверстия (12 значений признака, соответствующих 12 диапазонам диаметров от 2,5 до 8000 мм); $t_{2д}$ — признак наибольшего диаметра дополнительного отверстия на цилиндрической и т.п. поверхности вращения (11 значений признака для диаметров от 0 до 120 мм); $t_{2д.т}$ — признак наибольшего дополнительного отверстия на плоском торце, в том числе центровое; t_3 — признак массы детали (29 значений от 0,003 кг до 20 000 кг); t_4 — признак группы материала (10 значений признака: 0 — стали углеродистые, 1 — стали легированные и т.д.); t_5 — признак вида исходной заготовки (10 значений признака); t_6 — наивысший класс точности (кавалитет) размеров диаметров наружных поверхностей вращения; t_7 — то же для внутренних поверхностей вращения; t_8 — признак наивысшей степени точности отклонений формы или расположения наружных поверхностей вращений деталей (10 значений); t_9 — то же для внутренних поверхностей вращения; t_{10} — тоже для плоских поверхностей и пазов; t_{11} — признак наивысшего класса точности линейных размеров (8 значений); t_{12} — то же для размеров, координирующих положение дополнительных отверстий; t_{13} — признак наивысшего класса точности угловых размеров (10 значений); t_{14} — то же для угловых размеров, определяющих положение дополнительных отверстий;

Признаки наивысшего класса шероховатости $t_{15}, \dots, t_{20}$. Для каждого из признаков предусмотрено по 15 значений. t_{21} — признак термической обработки детали (12 значений); t_{22} — признак лакокрасочного покрытия; t_{23} — признак покрытий металлических и неметаллических; t_{24} — признак способа обработки некруглых и криволинейных поверхностей, лысок, пазов и граней. Предусмотрено 16 значений t_{24} : 1) точение по копиру, 2) растачивание по копиру и

т.д.; t_{25} – признак способа обработки резьбы. Предусмотрено 12 значений этого признака: 1) на токарном станке резцом и т.д.;

t_{26} – признак способа отделочной обработки наружных и внутренних поверхностей вращения. По этому признаку предусмотрено максимальное число значений – 33: 1) прецизионное (тонкое, алмазное) точение наружное; 2) прецизионное (тонкое, алмазное) растачивание; 3) тонкое шлифование наружное круглое и т.д.; t_{27} – признак числа деталей в партии.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что большая номенклатура и большое число значений технологических признаков предопределяют решение многих технологических задач проектирования. Так, задавая значение признака t_5 , технолог при заполнении ТКС определяет вид заготовки; задавая значение признака t_{26} , технолог вносит решения о виде отделочной (окончательной) обработки поверхностей и т.д.

7.2.4. Типизация и унификация элементов технологического процесса

На уровне маршрутного ТП в КАС ТПП "Технолог" предусмотрено выделение **технологических вариантов обработки** основных поверхностей деталей и видов обработки. Перечень вариантов, их наименования, особенности и коды приведены в табл. 7.6. Принято 10 вариантов обработки; при их реализации основное внимание обращено на обработку поверхностей основной формы деталей. При этом попутно могут быть обработаны и другие поверхности вращения, **концентричные** с общей осью детали: фаски, галтели, канавки, выточки и т.д., находящиеся в отношении наложения к поверхностям основной формы.

Структура технологических вариантов ТП показана на рис. 7.18. Каждый вариант содержит заготовительные операции (верхний уровень схемы), токарно-винторезные операции (для вариантов 01–08), токарно-револьверные, многорезцовые и карусельные операции (для вариантов 03–08), сверлильные и протяжные операции (для вариантов 09 и 10). Кроме того, предусмотрен большой перечень дополнительных видов обработки, которые не являются частью какого-либо варианта,

*Технологические варианты обработки поверхностей
основной формы деталей класса "тела вращения" [3]*

Вариант	Особенность варианта	Код варианта <i>a</i>
Токарно-винто- резный (ТВ)	Обработка валов	01
	Обработка втулок и дисков	02
Токарно-револь- верный (ТР)	Обработка валов	03
	Обработка втулок и дисков	04
Токарно-много- резцовый (ТМ)	Обработка валов	05
	Обработка втулок и дисков	06
Токарно-кару- сельный (ТК)	Обработка на универсальных станках	07
	Обработка на вертикальных много- шпиндельных автоматах	08
Сверлильно- протяжный (СП)	С доработкой на токарно-револь- верных станках	09
	С доработкой на токарно-много- резцовых станках	10

но могут включаться в ТП. Цифры в кружках, нанизанных на вертикальные связи, обозначают коды *видов обработки*, которые можно назвать и видами технологических операций, и этапами ТП. Вид обработки может содержать одну или несколько операций. В табл. 7.7 приведены некоторые из видов обработки. Полный перечень насчитывает 143 вида обработки, включая такие виды, как зубошвингование, притирка, полирование, хонингование, суперфиниш, алмазное выравнивание, поверхностно-пластическое деформирование (ППД – упрочняющая обработка), обработка координатных отверстий и т.д.

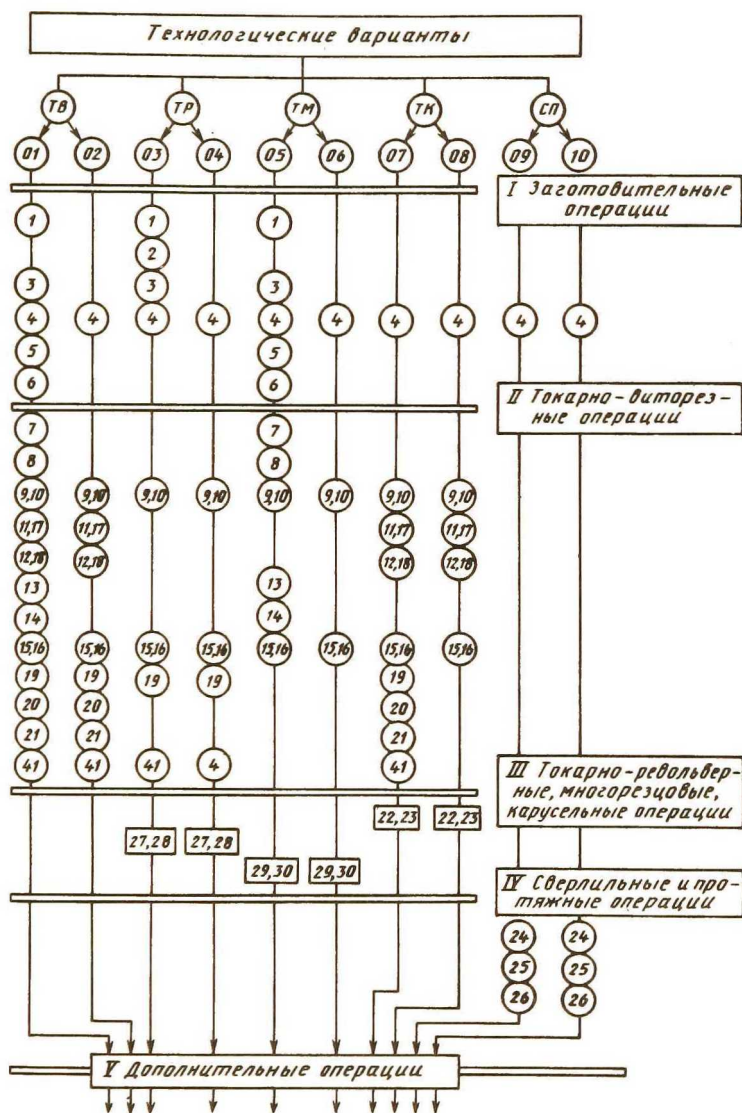


Рис. 7.18. Структура технологических вариантов и видов обработки основной формы деталей (обозначения вариантов см. в табл. 7.6, кодов видов обработки — в табл. 7.7)

"Ассортимент" видов обработки является настолько обширным, что позволяет проектировать ТП изготовления деталей с самыми высокими требованиями по точности и шероховатости.

Виды обработки и их применяемость (фрагмент)

Код вида обра- ботки	Вид обработки	Применение для деталей			
		вала А-0	вала А-1	втул- ки	дис- ков
01	Отрезка	+	+	+	+
03	Правка I	+	+		
04	Термообработка I	+	+	+	+
06	Центрирование	+	+		
09	Токарная обработка II (черновое обтачивание)	+	+	+	+
22	Токарно-карусельная обработка I (черновая и чистовая обработка)				+
24	Обработка центральных отверстий на сверлильных станках				+
25	Протягивание I				+
27	Токарно-револьверная обра- ботка I	+	+	+	+
29	Токарно-многолезцовая обработка I (обтачивание)	+	+	+	+
31	Фрезерование I	+	+	+	+
36	Сверление, зенкерование, развертывание	+	+	+	+
41	Резьбонарезание		+	+	+
43	Зубонарезание черновое	+	+	+	+
61	Круглошлифование черновое	+	+	+	+
74	Зубошлифование	+	+	+	+
79	Прецизионное точение (алмазная обработка)	+	+	+	+
99	Контроль	+	+	+	+

На основе типизации и унификации элементов операционной технологии в КАС ТПП "Технолог" разработаны две таблицы. Первая таблица – перечень операций механической обработки, используемых (именуемых) в качестве *этапов типовых планов* обработки поверхностей. Весьма полный набор этапов (операций) разделен на 13 групп (они указаны в правой колонке табл. 7.8).

I. Заготовительные и подготовительные операции (для деталей в целом 001–008);

Таблица 7.8

Типовые технологические маршруты обработки поверхностей и их сочетаний (фрагмент)

Код типового плана	Типовой технологический маршрут (перечень этапов ТП)	Код этапа типового плана
ТП Заг	<i>Заготовительные и подготовительные операции</i>	
09	Отрезка	001
	Правка I	040
	Фрезерование торцов	004
	Центрование	003
	Установка люнетов на втулки	007
ТП НПВ	<i>Обработка поверхностей вращения. Обработка наружных поверхностей вращения</i>	
06	Точение :	
	черновое	100
	чистовое	101
	Шлифование наружное :	
	черновое	500
	чистовое	501
	тонкое	640
ТП ВПВ	<i>Обработка внутренних поверхностей вращения в сплошном металле</i>	
04	Центровка	200
	Сверление	201

Код типового плана	Типовой технологический маршрут (перечень этапов ТП)	Код этапа типового плана
	Зенкерование	204
	Развертывание:	
	черновое	205
	чистовое	206
ТП ПЛП	<i>Обработка плоских поверхностей</i>	
29	Фрезерование торцовой фрезой:	
	черновое	432
	чистовое	433
	Шлифование периферией круга:	
	черновое	520
	чистовое	521
	тонкое	646
ТП Зуб-А-1	<i>Обработка элементов зубчатых зацеплений</i>	
11	Точение:	
	черновое	100
	чистовое	101
	Зубодолбление:	
	черновое	907
	чистовое	908

II. Токарные, токарно-револьверные, токарно-многорезцовые, токарно-карусельные операции (100–116);

III. Сверлильные и расточные операции (коды 200–217 с указанием применяемости);

IV. Протяжные операции (коды 300–307);

V. Фрезерные, строгальные и долбежные операции (коды 400–451);

VI. Шлифовальные операции (коды 500–551);

VII. Отделочные операции (коды 600–672);

VIII. Резьбообрабатывающие операции (коды 700–726);

IX. Шлифообрабатывающие операции (800–811);

Формирование технологических переходов (фрагмент)

Наименование перехода	Вариант изменяемой части наименования перехода		Код пере- хода
	{2}	{3}	
{2} поверхность НП до D (по D) на длину L {3}	Обточить	Начерно	110
		Начисто	111
		Тонко	112
		Начерно	113
		Начисто	114
	Шлифовать	Тонко	115
			116
		Притереть	117
		Суперфинишировать	118
		Поллировать	119
		Обкатать роликами (шариками)	120
		Выглаживать алмазом	

X. Зубообрабатывающие операции (900–999);

XI. Термическая обработка (020–028);

XII. Разные операции (коды 040–081);

XIII. Слесарные операции (090–097).

Вторая таблица – перечень *типовых технологических маршрутов* (ТТМ) или *типовых планов* обработки поверхностей или их сочетаний. Фрагмент такой таблицы приведен в табл. 7.8. Коды этапов (КЭ) типовых планов совпадают с кодами, указанными в перечне операций механической обработки.

Представляет интерес также таблица унифицированных *наименований технологических переходов* и их кодов, фрагмент которой приведен в табл. 7.9. Первая часть наименования перехода является изменяемой, она формулируется так, как записано в колонке 2, затем идет постоянная часть, записанная в колонке 1 с указанием номера или наименования поверхности НП и заданных операционных размеров D и L . Последняя часть перехода формируется так, как записано в колонке 3. Например, первый переход (код 110) может быть записан так: обточить поверхность НП до размера D на длину L начерно.

7.2.5. Алгоритмы проектирования индивидуальных технологических процессов

Методика, положенная в основу проектирования ТП в КАС ТПП "Технолог", является универсальной. Она применима для любого типа производства и любых деталей определенного класса с различной степенью нормализации и унификации обрабатываемых поверхностей.

Проектирование индивидуальных ТП базируется на классификации и типизации деталей и их элементов, а также элементов ТП, о чем говорилось в предыдущих разделах. В основу алгоритмов для принятия проектных решений положены связи между элементами деталей и элементами ТП, формализованные в виде таблиц соответствий. Для решения почти всех задач проектирования ТП в рассматриваемой системе используется стандартная программа "Группа", основанная на сравнении данных об обрабатываемой детали с данными об условиях, от которых зависит выбор оптимальных решений.

Следует отметить следующие особенности метода проектирования индивидуальных ТП.

1. Все процессы принятия и оптимизации частных проектных решений выполняются на стадии подготовки информационных массивов при разработке или внедрении КАС ТПП (см. гл. 5);

2. Информационное обеспечение КАС ТПП "Технолог" построено с учетом возможностей перехода к централизованным банкам данных или к другим крупным информационным системам высшего уровня;

3. Программное обеспечение состоит из отдельных модулей и стандартных программ, имеющих согласованные входы и выходы;

4. Проектирование индивидуальных ТП объединено с процессами группирования обрабатываемых деталей и поверхностей по различным признакам. Это создает предпосылки для использования преимуществ идей групповой технологии, для широкого внедрения групповой организации производства. Важно отметить, что создаются не стабильные группы деталей на весь период проектирования и обработки, а мобильные переменные группы, наиболее рациональные для каждого типа производства. Одна и та же деталь на протяжении процесса проектирования (и последующей обработки) может быть включена в различные группы, отличающиеся видами обработки, применяемым оборудованием и другими признаками;

5. В КАС ТПП "Технолог" каждая задача решается одновременно для всего введенного в ЭВМ множества обрабатываемых деталей; затем также для всего множества деталей решается следующая задача и так

поочередно для всех задач проектирования. При этом существенно уменьшается число обращений к внешней памяти ЭВМ, массивы информации и программы вызывают только один раз на протяжении обработки заданного множества деталей.

Содержание и последовательность решения задач проектирования ТП представлены на рис. 7.15. Сначала (блок 1) производится проверка наличия в архиве типового или группового ТП. Можно сказать, что в этом блоке производится сортировка всех деталей на два массива: массив деталей, для которых найден типовой или групповой ТП, и массив ГРИНД, куда заносятся номера или шифры деталей, для которых необходимо проектировать индивидуальные ТП.

При проектировании индивидуальных ТП первой решается задача *выбора технологических вариантов обработки поверхностей вращения* основной формы деталей (блок 2 на рис. 7.15). Кроме того, в задачу этого этапа проектирования входит группирование деталей по этим вариантам. Перечень вариантов приведен в табл. 7.6, а их структура — на рис. 7.18. Фрагмент таблицы соответствий для решения задачи выбора варианта обработки представлен в табл. 7.10. Выбор варианта обработки зависит от следующих факторов: типа производства или числа деталей, обрабатываемых в партии (т.е. от значения признака t_{27} технологического кода); конфигурации деталей (валы,

втулки, диски), т.е. от значения признаков A, B, C, D основного конструкторского кода, видов обрабатываемых наружных и внутренних поверхностей, структуры детали, габаритных размеров деталей, вида исходной заготовки и др. В качестве условий выбора того или иного варианта являются сочетания значений признаков конструкторско-технологической классификации (значений элементов КТК). Таблицы соответствий, подобные приведенной в табл. 7.10, составляются применительно к конкретным производственным условиям.

Следующим шагом проектирования технологического маршрута является *определение видов обработки деталей* (блок 3 на рис. 7.15). В КАС ТПП "Технолог" под видами обработки подразумеваются совокупности технологических операций, применяемых для обработки поверхностей определенного вида и качества, например точение, фрезерование и т.п. Вид обработки (например, точение детали) может представлять собой несколько операций, если обточка выполняется на разных станках. В последующем, если это будет необходимо и возможно, такие операции могут быть объединены в концентрированные операции. Некоторые из видов обработки приведены в табл. 7.7.

Массив ГРН21. Таблица соответствий для выбора технологического варианта обработки (фрагмент)

Вариант обработки α	Значение параметров деталей (элементов КТК), определяющих выбор варианта обработки				
	$\wedge$				
	t_{27}	A	B	C	D
ВАР1	1, 2	0,1	—	—	—
ВАР2	1, 2	2,3	—	—	—
ВАР3	3, 4, 5	1		—	—
.....					
ВАР9	4, 5	3		O+B	1+5
ВАР10	4, 5	3		O+B	1+5
				Д+Ф	7+C

Продолжение табл. 7.10

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
ВАР1	O+И	O+Ж	—	—	—
ВАР2	O+И	O+Ж	—	—	—
ВАР3	O+A	0+6	0+5	0+6	5, 6, 8, 9
.....					
ВАР9	O+A	0+8	4,5	0+6	0+4
ВАР10	Б+Д	9, A	4,5	0+6	0+4

Таблица соответствий для выбора видов обработки (табл. 7.11) строится по такому же принципу, как и для выбора вариантов обработки. Как следует из табл. 7.11, на выбор вида обработки влияет большое число конструкторских и технологических факторов, учитываемых через значения признаков (элементов) КТК. В результате выполнения этого этапа проектирования будут созданы массивы видов обработки ГРВОБ по форме, приведенной в табл. 7.12. Массивы

создаются для групп деталей, сформированных по каждому технологическому варианту обработки. В массиве ГРВОБ для каждой детали содержится кортеж видов обработки, как это показано в табл. 7.12 для детали № 15.21.06.

После выбора основных видов обработки решается задача *выбора доделочных видов обработки основных поверхностей вращения*. Необходимость ее решения объясняется тем, что оборудование, которое используется в каждом из 10 вариантов обработки, имеет ограниченные возможности. Так, например, на токарно-многолезцовых станках (варианты 05 и 06) нельзя нарезать резьбу, обработать центральное отверстие и т.д. В связи с этим может возникнуть необходимость после обработки на основном оборудовании выполнения некоторых дополнительных (доделочных) операций на другом оборудовании. Доделочные виды обработки выбирают из того же перечня (массива), что и основные (см. табл. 7.7). Задача о включении доделочных видов обработки в технологический маршрут решается на основе анализа значений элементов конструкторско-технологических кодов деталей, содержащихся в массиве КТТ и указывающих на наличие у детали тех или иных элементов, которые не могут быть обработаны на оборудовании основного варианта. Таблица соответствий для выбора доделочных видов обработки имеет такую же структуру, как и табл. 7.10 и 7.11, и здесь не приводится.

Полученное на этом этапе решение в виде перечня кодов доделочных видов обработки заносится в массив ГРВОБ в порядке возрастания значений этих кодов β после значений кодов основных видов обработки поверхностей вращения (после значений β , равных 22, 23 или 24, 25 или 27, 28 или 29, 30), требующих доделочных видов обработки.

Следующий этап проектирования технологического маршрута содержит несколько задач: *группирование поверхностей* обрабатываемых деталей по их видам, *определение типовых планов обработки поверхностей*, *этапов типовых планов* и переходов (блок 4 на рис. 7.15). В КАС ТПП "Технолог" все поверхности разбиты на группы (ГРП) по их видам. Виды обрабатываемых поверхностей (ВОП) обозначаются кодами (КВОП). Присвоение КВОП поверхностям деталей производится на этапе заполнения ТКС с использованием иллюстрированного классификатора поверхностей (здесь не приводится). *Группирование обрабатываемых поверхностей* по их видам (1-я задача) производится с целью сокращения числа обращений к одной и той же программе и одному и тому же информационному обеспечению: одно-

Массив ГРН22 (НПВ). Таблица соответствий для выбора видов

Вид обработки	Код β	Значение эле				
		$\wedge$	$\vee$			
		A	B	F	g_0	g_1
Проточка под люнеты	07	0	—	—	—	—
Установка люнетов	08	0/1	—	—	—	—
Точение черновое правой стороны	09	—	$0+B$ $D+\Phi$	1, 2, 3 7+E	1, 2, 3 7+E	1, 2, 3 7+E
Точение чис- товое левой стороны	16	—	$0+B$ $D+\Phi$	1, 2, 3 7, 3+E	1, 2, 3 7+E	1, 2, 3 7+E

Таблица 7.12

Массив ГРВОБ видов обработки

Номер (шифр) детали	Кортеж видов обработки, необходимых для детали	Число видов обработки
ОД	$V_{\text{од}} = \langle \beta \rangle_{\text{од}}$	$N_{\text{в}}$
15.21.06	$V_{15.21.06} = \langle 1, 9, 10, 34, 62, 63, 78, 99, 100 \rangle$	9

обработки наружных поверхностей вращения (фрагмент)

ментов КТК

Λ				V					Λ
g_3	D	E	g_7	$t_t \leq$	$t_8 \leq$	$t_{11} \leq$	$t_{15} \leq$	$t_{17} \leq$	t_{21}
-	6+Л	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1+5 7+Г Е+Л	-	-	-	-	-	-	-	-
1+Е	0+Л	-	-	9	9	7	3	3	-
1+Е	3, 5, 8 А, Б Г+Л	-	-	6	8	5	6	6	-

типные задачи решаются сразу для всего множества обрабатываемых деталей и их поверхностей.

Сначала для каждой детали из ТКС определяют номера (шифры) деталей (ОД), номера поверхностей деталей (МП) и соответствующие им коды поверхностей (КВОП), которые заносят в столбцы 1-3 массива МК ТЭП (табл. 7.13). Затем производят группирование поверхностей и деталей, которым они принадлежат, по видам поверхностей. Результаты группирования заносят в массив ГРВОП. Запись множества деталей и поверхностей группы может иметь следующий вид:

$$M_{\text{ГРП}} \{ \langle \text{ОД}, \{ \text{МП}_{\text{о.д}} \} \rangle \}_{\text{ГРП}}$$

или в более конкретизированном виде

$$M_{\text{НПВ}} - \{ \langle 2, \{6, 12, 17\} \rangle, \langle 5, \{1, 3, 6\} \rangle \dots \\ \dots \langle 64, \{1, 2, 14, 22\} \rangle \}_{\text{НПВ}}.$$

Напомним, что индекс НПВ означает наружные поверхности вращения, первое число в $\langle \rangle$ – номер (шифр) детали, а числа в $\{ \}$ – номера обрабатываемых поверхностей детали. Для каждой группы поверхностей (ГРП) формируют свой массив ГРН00 с учетом особенностей признаков этих поверхностей и их связей с технологическими методами обработки. Этот массив применяют при проектировании один раз для всех поверхностей определенной группы всего множества обрабатываемых деталей.

Следующая задача этапа – *выбор типовых планов обработки поверхностей* – решается с помощью стандартной программы "Группа". Для каждой группы поверхностей (ГРП) разрабатывают массив ГРН24, содержащий значения параметров поверхностей, при которых тот или иной типовой план обработки поверхностей является технически возможным и экономически эффективным. Такой массив является по существу таблицей соответствий, предназначенной для выбора типовых планов обработки поверхностей. На выбор типовых планов влияют следующие факторы (они указываются в области отправления таблицы соответствий): вид обрабатываемой поверхности, вид дополнительной обработки, наибольший диаметр поверхности, длина поверхности, глубина криволинейного (комбинированного) профиля, группа материала детали, шероховатость поверхности, степень точности отклонения формы и расположения поверхности, вид заготовки, вид термообработки. Найденные значения кодов типовых планов обработки заносятся в четвертый столбец массива МКТЭП (табл. 7.13).

После выбора типовых планов обработки поверхностей *определяют коды этапов* выбранных типовых планов. Эта задача решается с помощью таблицы решений, составленной на основе табл. 7.8. Множества кодов этапов для каждого типового плана заносят в пятый столбец массива МКТЭП (табл. 7.13).

При наличии у детали некоторых признаков появляется необходимость ввести *дополнительные этапы* обработки поверхностей и детали в целом, не вошедшие в типовые планы. Выбор дополнительных этапов (правка, термообработка, балансировка, слесарная обработка, покрытие и т.д.) производится по таблице решений, на входе которой указаны значения соответствующих элементов КТК или массива ТКС. Полученные коды дополнительных этапов ($K_{\text{Э доп}}$) к типовым планам

Массив МКТЭП (фрагмент)

Номер (шифр) деталей	Номер поверх- ности	Код вида обработки поверх- ности	Код		
			типового плана об- работки	этапов ти- пового плана	переходов
ОД	№ _{о.д}	КВОП	{ТП}	{КЭ}	{КП}
16	3	П2	103	{100, 102, 115}	{120, 124, 310}
	9	П4	106	{100, 101, 120}	{111, 113, 280}

включают в множества кодов этапов для заданных поверхностей деталей и также заносят в пятый столбец массива МКТЭП. Затем по таблице определяют (точнее, доопределяют) виды обработки β , соответствующие КЭ_{доп} и вносят их в массив КРВОБ.

Последней задачей рассматриваемого этапа проектирования является **выбор кодов технологических переходов**. Выбор кода технологического перехода для каждой поверхности детали производится с помощью таблицы (табл. 7.14), на вход которой заносятся коды этапов КЭ и коды вида обрабатываемой поверхности (КВОП). Коды переходов заносят в столбец 6 массива МКТЭП в виде их множества {КП} для каждого этапа типового плана.

Следующий этап проектирования — распределение **переходов по видам обработки** (блок 5 на рис. 7.15). Для одной и той же детали одинаковые переходы (КП) могут встретиться при обработке различных ее поверхностей №_{од}, но при этом они будут принадлежать одному и тому же виду обработки β . Задачей этого этапа является распределение переходов обработки различных поверхностей детали по видам обработки. Схема, иллюстрирующая содержание этого этапа, приведена на рис. 7.19. На предыдущих этапах проектирования для каждой детали ОД были выбраны виды обработки, зафиксированные в массиве ГРВОБ (см. табл. 7.12). В примере на рис. 7.19 показано пять видов

ТВКДП (НПВ). Таблица выбора кодов переходов (фрагмент)

Код этапа	Код вида обрабатываемой поверхности КВОП (любой из множества)	Код перехода
005	{П2, П3, П4, П5, П6, Д1, Д2,	100
006	КР, ВЫТН, КАНН1 – КАНН10, ФАСН, ГАЛН}	101
007		102
008		103
100	{П4}	110
101	и т.д.	111
600		112

П р и м е ч а н и е. Значения КВОП: П2 – плоский торец правый; П3, П5 – коническая поверхность; П4 – цилиндрическая поверхность; П6 – плоский торец левый и т.д.

обработки (точки 1–5 на вертикали II). Для каждой поверхности детали (точки 1–4 на вертикали IV) выбраны переходы, зафиксированные в массиве МКТЭП (см. табл. 7.13). На рис. 7.19 переходы изображены точками на вертикали III, например для поверхности I установлены переходы 1.1, 2.1, 3.1 и 4.1. Установленные ранее связи между вертикалями I и II и между IV и III изображены на рис. 7.19 тонкими линиями. На этом этапе проектирования требуется установить связь между переходами и видами обработки, показанные жирными линиями между вертикалями III и II (т.е. отнести каждый переход к соответствующему виду обработки). Определение видов обработки $\beta_{о.д}$, соответствующих каждому переходу КП, производится с помощью стандартной программы "Группа" и таблиц соответствий, разрабатываемых для каждого вида поверхностей КВОП (здесь не приводятся). Результаты этого этапа проектирования заносятся в массив МОПХ (табл. 7.15). Как следует из структуры массива, в нем зафиксированы связи между параметрами, в числе которых: номер детали ОД, коды видов обработки детали $\langle \beta_{о.д} \rangle$, коды множества переходов $\{КП_{\beta}\}$ и номера поверхностей, обрабатываемых в этих переходах.

Массив МОППХ является исходным для реализации наиболее важного и ответственного этапа проектирования – определения *технологических маршрутов обработки деталей* (блок 6 на рис. 7.15). Следует отметить, что хотя задача установления структуры ТП на этом этапе решается не до конца (в последующих этапах структура ТП будет уточняться), но здесь решаются многие вопросы и структуры операций.

Укрупненный алгоритм определения технологических маршрутов обработки деталей приведен на рис. 7.20. В блоке 1 производится анализ видов обработки детали и весь кортеж $\beta_{o.d} < \beta_{o.d} >$ разделяется на две группы – на однопереходные (выход "Да") и многопереходные виды обработки. Однопереходные β состоят из одного перехода обработки одной поверхности детали или обработки детали в целом (например, мойка, закалка, консервация и др.). Для таких видов обработки в блоке 2 выдается решение: "Принять для вида обработки $\beta_{o.d}$ один переход $KП_{\beta_{o.d}}$ обработки поверхности или детали в целом".

Таблица 7.15

Массив МОППХ

Номер (шифр) детали	Код вида обработки	Код перехода	Номер поверхности детали
ОД	$\beta_{o.d}$	$KП_{N_{ПОД}}$	$N_{П_{o.d}}$
1	2	3	4
ОД1	$\beta_{1,1}$	121	6
		121	8
	$\beta_{2,1}$	130	4
		130	11
		130	26
ОД2	$\beta_{1,2}$		

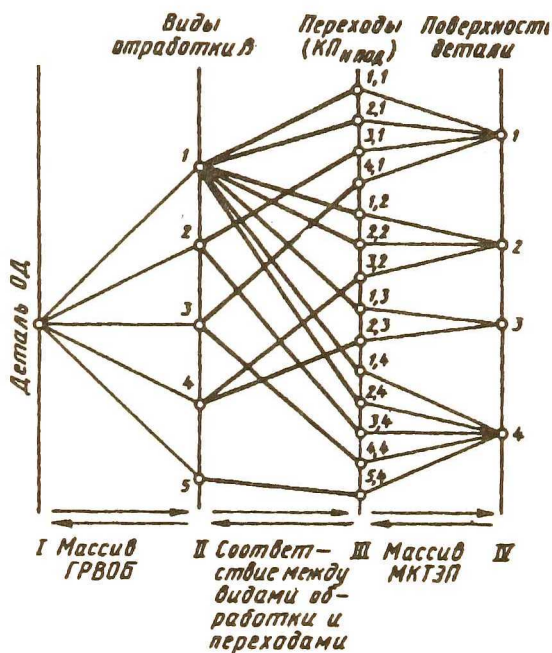


Рис. 7.19. Схема связей между видами обработки, переходами и поверхностями детали

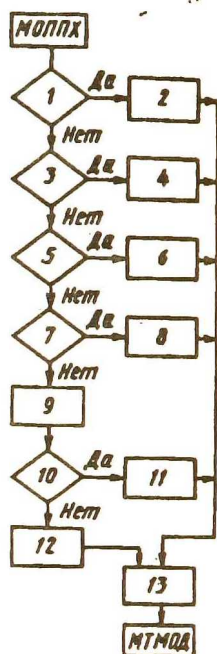


Рис. 7.20. Укрупненная схема определения технологических маршрутов

Многoperеходные виды обработки в блоке 3 подвергаются дальнейшему анализу и разделяются на две подгруппы по числу обрабатываемых с их помощью поверхностей. Для видов обработки, когда обработке в нескольких переходах (например, шлифование черновое и чистовое) подвергается одна поверхность МП_{β_d} (выход "Да" из блока 3), в блоке 4 принимается решение: "Принять для вида обработки β_{β_d} последовательность переходов $\langle \text{КП1}\beta, \text{КП2}\beta, \dots \rangle$ ", определяемую типовым планом $\text{ТП}_{\text{МП}}$ обработки поверхности в порядке возрастания кодов переходов $\text{КП1}\beta < \text{КП2}\beta < \dots < \text{КП}N\beta$ ". В другую подгруппу входят виды обработки, в которых несколько поверхностей МП_{β_d} детали обрабатываются в несколько переходов

КП β (например, черновое и чистовое нарезание резьб на нескольких поверхностях и т.п.). Эта подгруппа β в блоке 5 (см. рис. 7.20) анализируется по вопросу, имеет ли значение последовательность обработки поверхностей. Для тех случаев, когда последовательность обработки поверхностей в операции безразлична (выход "Да" из блока 5), в блоке 6 принимается решение: "Все поверхности МП $_{\text{о.д}}$, обрабатываемые с помощью вида обработки β , разделить на группы по кодам переходов КП β (одна и та же поверхность, обрабатываемая в нескольких переходах, может быть в нескольких группах). Обработку групп производить в порядке возрастания кодов переходов, объединяющих детали в группах. Последовательность обработки поверхностей в каждой группе (для одного вида перехода) принять: при обработке правой стороны детали в порядке возрастания номеров МП $_{\text{о.д}}$ поверхностей; при обработке левой стороны — в порядке убывания номеров поверхностей. Решение о том, какую сторону детали считать правой, а какую левой, принимается при заполнении ТКС на деталь.

К изложенному решению следует дать следующее дополнение. Если при обработке поверхностей применяют один и тот же переход КП β , то последовательность переходов устанавливают как было сказано выше, в порядке возрастания (для правой стороны) или убывания (для левой) номеров поверхностей. Если переходы различные, то сначала для всех поверхностей выполняют переходы, имеющие меньшее значение КП, а затем переходы в порядке возрастания значений их кодов.

В тех видах обработки, когда последовательность обработки поверхностей играет существенную роль ($\beta = 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30$) и т.д., т.е. токарные чистовые, карусельные, револьверные, многорезцовые, сверлильные, фрезерные, долбежные и строгальные), все переходы разделяются на группу черновых переходов (выход "Да" из блока 7) и группу чистовых переходов (выход "Нет" из блока 7 на рис. 7.20). В группы включаются номера поверхностей, обрабатываемых в черновых и чистовых переходах. В результате должны быть сформированы массивы {<МП $_{\text{о.д}}$, КП β — черн.>} и {<МП $_{\text{о.д}}$, КП β — чист.>}. Определение последовательности черновых переходов (блок 8 на рис. 7.20) производится в соответствии с решением блока 6, изложенным выше. Имеется в виду, что последовательность выполнения черновых переходов безразлична.

В блоке 9 для всех поверхностей, вошедших во множество $\{<MP_{o.d}, KP_{\beta} - \text{чист.}>\}$, выбираются из ТКС виды отношений (линейный координирующий размер ЛКР, угловой размер УКР, отклонения расположения поверхностей ВОР, отношения наложения НАЛ), формируется массив МВОМП. Затем в блоке 10 все поверхности $MP_{o.d}$, обрабатываемые с помощью вида обработки $\beta_{o.d}$, разделяются на три

группы: 1) поверхности основной формы детали, кроме торцовых КВОП = (ПО, П1, П3, П4, П5, П7, ПД, КРН, КРВ, КМБН, КМБВ); 2) поверхности торцовые (П2, П6, П20, П60, П2В, П6В); 3) поверхности, находящиеся в отношении наложения к поверхностям основной формы. Для поверхностей основной формы деталей и для поверхностей наложения (выход "Да" из блока 10) в блоке 11 принимается решение: "Принять последовательность обработки поверхностей в порядке возрастания их номеров для правой стороны детали и убывания для левой". При этом обработка поверхностей основной формы детали должна предшествовать обработке поверхностей наложения. Для торцовых поверхностей в блоке 12 строится матрица смежности графа размерных связей и принимается решение о последовательности обработки. Первыми должны быть обработаны поверхности, выполняющие роль исходной базы. Затем обрабатываются поверхности, связанные размерами с исходной базой; затем эти поверхности принимают за базовые и обрабатывают связанные с ними поверхности и т.д. до тех пор, пока не будут обработаны поверхности, не являющиеся базами для других поверхностей ("висячие вершины"). Если некоторая поверхность является базой для нескольких поверхностей, то последние обрабатываются в порядке увеличения их номеров для правой стороны детали и убывания для левой.

В блоке 13 (см. рис. 7.20) производится формирование технологического маршрута детали по следующим правилам: 1) последовательность видов обработки детали $\beta_{o.d} = \langle \beta_{o.d} \rangle$ принимается в порядке возрастания значений их кодов; 2) внутри каждого вида обработки группы переходов и обрабатываемых с их помощью поверхностей располагать в следующей последовательности: группа черновых переходов, группа чистовых переходов обработки поверхностей основной формы деталей (кроме торцовых), затем торцовые, группа чистовых переходов обработки поверхностей наложения и, наконец, переходы дополнительной обработки. Данные о маршруте заносятся в массив МТМОД.

Следующим шагом проектирования технологического маршрута является *определение технологических операций* для видов обработки (блок 7 на рис. 7.15). Значительный ряд видов обработки из числа применяемых в КАС ТПП "Технолог" выполняется с помощью одной операции или одного перехода, который носит наименование, совпадающее с наименованием вида обработки или близкое к нему. Типовые виды обработки: правка, термообработка, пескоструивание, балансировка, контроль, покрытие и т.д. Во многих же случаях обработка одного и того же вида β , выполняемая над одной и той же деталью, в связи с разнообразием поверхностей, способов установки может быть осуществлена с помощью различных операций ψ . Например, фрезерование лыски поверхности вращения, фрезерование паза на торце детали и т.д. — разные операции, принадлежащие одному виду обработки — фрезерованию. Каждая из операций характеризуется своими типами станков, приспособлений, инструментов и кинематикой резания. Делению на отдельные операции подлежат следующие виды обработки: точение и обработка центральных отверстий на токарных станках, шлифование, фрезерование, долбление, строгание, обработка на сверлильных станках, резьбонарезание. При этом в КАС ТПП "Технолог" принимается, что обработка производится на настроенных станках, а также используется дифференцированный метод построения операций.

Решение вопроса о числе операций в пределах одного вида обработки для конкретной детали производится на основе выявления и анализа факторов (значений параметров), требующих наличия различного оборудования, приспособлений, инструментальных наладок. Такими параметрами являются: виды, расположение и собственные размеры обрабатываемых поверхностей; характер обработки (черновая, чистовая, тонкая); структура (конфигурация) детали; требования к точности расположения поверхностей; вид обработки; вид заготовки, код вида поверхности основной формы, на которую наложена обрабатываемая поверхность; вектор формообразования (направление обработки); эксцентриситет поверхности. Все эти параметры заносятся в область отправления таблицы соответствий, предназначенной для разделения вида обработки на операции.

Алгоритм решения задачи определения технологических операций предполагает использование (на входе) выборки из ТКС и КТК, а также массив технологических маршрутов обрабатываемых деталей (МТМОД), сформированный на предшествующем шаге проектирования. На выходе алгоритма в результате решения рассматриваемой задачи

**МТМРШ-1. Массив технологических маршрутов
обработки деталей (до концентрации операций)**

Номер (шифр) обрабатыва- емой детали	Номер обраба- тываемой по- верхности	Вид обра- ботки	Код техно- логической операции	Код техно- логического перехода
ОД	Нп о.д., β о.д	β о.д	βψ	{кп}

формируется массив технологических маршрутов обработки деталей до концентрации операций МТМРШ-1 (табл. 7.16). Операции внутри каждого вида обработки обозначаются трехзначным кодом ψ от 101 и далее. Полное обозначение операции ψ внутри вида обработки β будет βψ (например, βψ = 31102 и т.д.).

Вопрос о *концентрации технологических операций* (блок 8 на рис. 7.15) в КАС ТПП "Технолог" решается для условий применения универсального металлорежущего оборудования. Такая концентрация характерна для мелкосерийного и единичного производств: обработка выполняется с помощью универсальных приспособлений и инструментов. На предыдущем этапе при решении задачи о разделении некоторых видов обработки на отдельные операции исходным был принцип дифференциации операций. После выбора маршрута производят его анализ и в тех случаях, когда это технически возможно и экономически выгодно, выполняют концентрацию операций.

В пределах одного вида обработки могут быть операции, допускающие и не допускающие их концентрацию. Концентрировать можно операции, для которых необходим один вид оборудования и один тип приспособлений, но не требующие переналадки станка в процессе обработки одной детали при переходе от одной операции к другой. Например, при токарной обработке может быть произведена обточка детали черновая и чистовая с одной и с другой стороны при установке ее в центрах или в патроне. На одношпиндельных сверлильных станках при использовании быстросменных патронов и кондукторов с быстросменными втулками в одну операцию могут быть объединены сверление, зенкерование, развертывание и другие операции обработки отверстий. В противоположность этому при фрезеровании на универсальном станке нельзя объединить в одну операцию фрезерование

пазов на поверхности вращения и на торце, так как эти операции требуют разных приспособлений для установки детали, а если размеры или форма разные, то и разных инструментов.

Для уменьшения рабочих программ проектирования в КАС ТПП "Технолог" анализ видов обработки на возможность концентрации операций выполнен заранее: определен массив видов обработки, допускающих концентрацию операций, который в виде готового решения вводится в алгоритм. К числу таких видов относятся черновая и чистовая обточка деталей с обеих сторон ($\beta = 9, 10, 15, 16$), дополнительные операции, выполняемые на токарных станках, – притупление острых кромок, притирка, полирование, обкатка роликами или шариками, накатывание рифлений или сетки ($\beta = 63, 82, 84, 86, 88, 90$) и др. Токарно-револьверные, токарно-карусельные, токарно-многолезцовые операции ($\beta = 22, 23, 27, 28, 29, 30$) по своему характеру являются концентрированными, и это учитывается уже при формировании первого варианта технологического маршрута МТМРШ-1.

Для решения вопроса о технологической возможности объединения (концентрации) операций необходимо проверить в технологическом маршруте обработки детали наличие операций, допускающих их концентрацию. Такие операции выделяются в отдельную группу.

По такой же методике решается вопрос об экономической целесообразности концентрации операций. Заранее выполняются расчеты технологической себестоимости для концентрированного и дифференцированного вариантов построения процесса обработки и определяется критическая величина партии обрабатываемых заготовок $Q_{кр}$, являю-

щаяся границей между областями эффективности дифференцированных и концентрированных операций в пределах того или иного вида обработки. Результаты таких расчетов сводят в таблицу, которую используют в алгоритме концентрации операций.

На выходе получают массив МТМРШ-2 откорректированных технологических маршрутов для всех деталей.

Следующий этап проектирования – *выбор оборудования, приспособлений и инструментов* (блок 9 на рис. 7.15). Условно этот этап проектирования можно разделить на две части:

согласованный выбор металлорежущих станков и стандартных и нормализованных станочных приспособлений;

согласованный выбор режущих, вспомогательных и измерительных инструментов для оснащения технологических переходов.

Совместное решение задач выбора универсальных металлорежущих станков и выбора закрепленных за ними универсальных и нормализованных приспособлений является особенностью КАС ТПП "Технолог". Такой подход предопределен тем, что указанные в паспортах данные о габаритных размерах устанавливаемых и обрабатываемых на них заготовок, а также другие характеристики станков приведены без учета ограничений, накладываемых на них оснасткой при применении той или иной схемы установки, закрепления и обработки. Поэтому задачу выбора оборудования нельзя решать относительно к оснащению технологических операций. В противном случае выбор оборудования будет неточным или ошибочным. В КАС ТПП "Технолог" используется комплексный подход к выбору оборудования и приспособлений с использованием стандартной программы "Группа". Сущность этого подхода заключается в том, что за каждым станком закрепляют комплект приспособлений, включающий поставляемые со станком универсальные приспособления, а также нормализованные приспособления, расширяющие возможности установки и закрепления заготовок.

Решения задач выбора оборудования и приспособлений базируются на использовании ряда информационных массивов ГРН00. Созданию таких массивов должна предшествовать большая работа по выявлению и обработке имеющихся на предприятии нормативно-справочных материалов, касающихся универсального металлорежущего оборудования, приспособлений, схем установки и закрепления заготовок и т.д. Выявляются факторы, влияющие на выбор оборудования и приспособлений, устанавливаются связи, разрабатываются исходные таблицы соответствий. После их нормализации и оптимизации создают массивы ГРН00. В качестве примера в табл. 7.17 приведен фрагмент массива ГРН31 [3], являющегося таблицей соответствий для выбора схемы установки заготовок при токарной и токарно-многолезцово́й обработке. В области отправления таблицы находится набор признаков (элементов КТК), влияющих на схему установки. Расшифровку обозначений признаков КТК см. в подразд. 7.2.2. Всего в массиве выделена 51 схема установки (коды схемы СХУЗ-1...51). На следующем шаге, используя массив ГРН32 (ТВ), являющийся таблицей соответствий, определяются модель станка, шифр (обозначение) и наименование приспособления. Факторами, влияющими на выбор станка и приспособления для каждой из операций, являются вид обработки β , схема установки СХУЗ, наибольший диаметр детали $D_{\text{д}}$, наибольшая

Массив ГРН31. Таблица соответствий для выбора схемы установки

Код и описа- ние схе- мы СХУЗ	Значения параметров и кодов										Вид обра- ботки
	A	B	D	E	t_0	t_2	t_6	t_8	t_{15}	Q	
							t_7	t_9	t_{16}		
3. Установ- ка в цан- говом пат- роне	2	0,4+6 А, Б Г, Д К+М	—	0	О+Г	—	—	—	—	3, 4, 5	Точение чистовое и тонкое НПВ и ВПВ
18. Уста- новка в трехкулач- ковом пат- роне и вращающем- ся заднем центре	1	—	6+Л 7+Г Е+Л	0	—	—	—	—	—	—	Точение черновое НПВ

длина L_D , диаметр крайнего торца (правого $D_{П60}$ и левого $D_{П20}$), диаметр зажимаемой части заготовки $D_{зж}$ и диаметр базового центрального отверстия детали.

В случае, если необходимое универсальное или нормализованное приспособление в номенклатуре предприятия отсутствует, то вместо обозначения приспособления печатается СП — специальное приспособление. В таких случаях технолог записывает шифр типовой схемы специального приспособления из имеющихся в архиве системы. Такая запись является заданием для автоматизированного проектирования специального приспособления по типовой схеме. По аналогичной методике создаются информационные массивы ГРН00 для выбора режущих и измерительных инструментов.

8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ

САПР ТП лопаток компрессора (КЛ) предназначена для проектирования технологических процессов изготовления лопаток напорных ступеней компрессора (лопаток без антивибрационной полки на пере) с хвостовиками типа "ласточкин хвост", двузубая елка, шарнирное соединение. Система является широко универсальной в отношении материала лопаток (титановые сплавы, жаропрочные стали и сплавы), по габаритам лопаток (с длиной пера от 15 до 300 мм), по точности исходных заготовок (могут использоваться заготовки, получаемые ковкой, штамповкой, высокоскоростной штамповкой, изотермической штамповкой). В зависимости от заданных производственных условий проектируемые ТП могут быть реализованы на универсальных станках, агрегатных станках и на оборудовании с программным управлением при использовании наиболее прогрессивных методов обработки металлов (лезвийная, абразивная, электрохимическая обработки).

По результатам проектирования система выдает комплект маршрутных и операционных карт, комплект карт операционных эскизов и перфоленты для управления станками с ЧПУ.

Метод технологического проектирования, положенный в основу САПР ТП КЛ, предусматривает синтез структуры ТП на основе взаимосвязанной декомпозиции деталей (лопаток) на конструктивные модули и другие структурные элементы и декомпозиции технологического процесса на структурные элементы (этапы, операции и т.д.).

Принятый в системе метод проектирования является многоуровневым и имеет следующие стадии разработки ТП: 1) проектирование принципиальной схемы ТП; 2) проектирование технологического маршрута; 3) проектирование операций; 4) подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ.

Общая структурная схема САПР ТП КЛ приведена на рис. 8.1. Система является частью (подсистемой) интегрированной системы

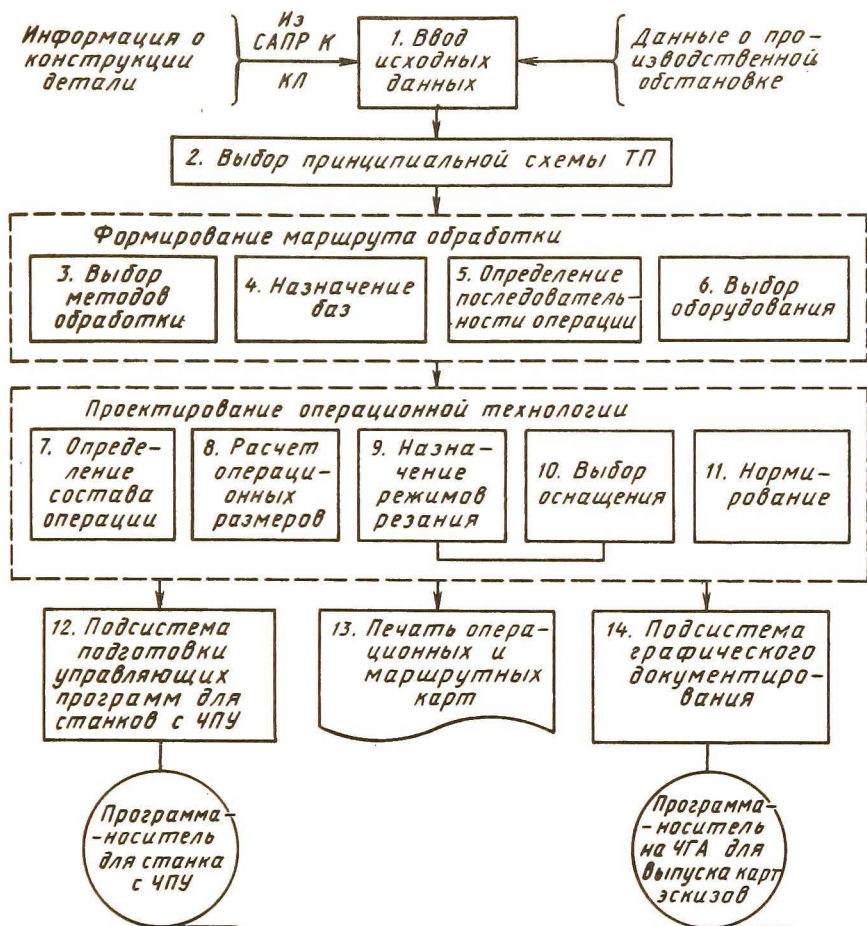


Рис. 8.1. Общая структурная схема САПР ТП изготовления компрессорных лопаток:

ЧГА — чертежно-графический автомат

ИСАПР КЛ "Лопатка". На схеме показана информационная связь рассматриваемой системы с системами проектирования (расчета) и конструирования (САПР К КЛ) лопаток компрессора.

Описываемая ниже САПР ТП КЛ ориентирована на проектирование ТП для различных типов производства (единичного, мелкосерийного и серийного). Лопатки компрессора и турбины обладают общностью многих классификационных признаков (о которых будет сказано ниже), что позволяет эффективно обрабатывать их на основе групповой

технологии. Благодаря этому изготовление лопаток даже в опытном производстве организовано как серийное: заготовки обрабатываются партиями, на специализированных участках с широким использованием специальных станков и приспособлений. В качестве методической основы автоматизации проектирования ТП в этом случае наиболее целесообразны типовые процессы.

В то же время САПР ТП КЛ в наибольшей степени (по сравнению с другими САПР ТП) учитывает особенности технологического проектирования в условиях опытного производства. Дело в том, что в ходе работы по созданию нового двигателя требования и критерии оценки качества проектируемого процесса меняются от обеспечения минимальной длительности цикла подготовки производства (вначале) до обеспечения минимальной трудоемкости и себестоимости изготовления (на последнем этапе). В САПР ТП КЛ изменчивость критериев качества при проектировании обеспечивается тем, что в основу проектных решений положена унификация на уровне технологического перехода. Кроме того, в системе имеется информационное и алгоритмическое обеспечение формирования вариантов ТП, отвечающих как требованиям минимального цикла ТПП, так и требованиям минимальной трудоемкости и себестоимости.

8.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ

На верхнем уровне декомпозиции целесообразно лопатку разделить на конструктивные модули (КМ), в качестве которых принимаются элементы лопатки, имеющие определенное функциональное назначение. Для лопаток рассматриваемого класса конструктивными модулями являются: 1) хвостовик (ХВ – замковая часть лопатки); 2) полка хвостовика (ПХ); 3) перо (П); 4) бандажная полка (БП); 5) технологическая бобышка (Б).

Конструктивные модули разделяются на виды:

ЛХ1 – хвостовик типа "ласточкин хвост", плоскость симметрии которого расположена под углом к оси вращения ротора;

ЛХ2 – хвостовик типа "ласточкин хвост", но плоскость симметрии хвостовика лежит в плоскости вращения ротора;

ЛХ3 – хвостовик типа "ласточкин хвост" с рабочими поверхностями, не доходящими до обода диска;

ДЕ – хвостовое соединение типа "двузубая елка";

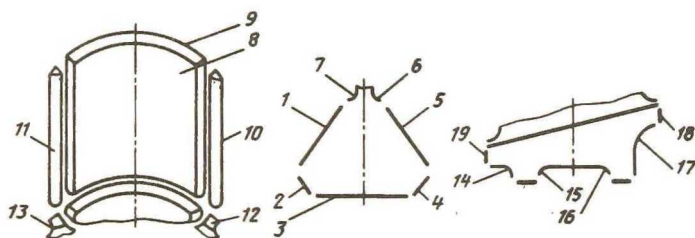


Рис. 8.2. Состав поверхностей, образующих лопатку с хвостовиком типа ЛХ1

ШС – вильчатый хвостовик для шарнирного соединения лопатки с диском.

Следует также отметить виды технологических бобышек: ПБ – прямоугольная, ЦБ – цилиндрическая, КБ – конусообразная и РП – реперная просечка.

На самом нижнем уровне декомпозиции выделяются элементарные поверхности (ЭП), часть из которых показана на рис. 8.2: 1 и 5 – рабочие поверхности хвостовика типа "ласточкин хвост", 2 и 4 – фаски; 3 – основание (подошва) хвостовика; 6 и 7 – радиусные поверхности перехода от хвостовика к перу и т.д. Структурными элементами конструктивных модулей (КМ) будут сочетания поверхностей (СЭП) и комплексы поверхностей (КП), показанные на рис. 8.3. Объединение ЭП в СЭП производится по принципу их одновременной обработки, поэтому эти элементы конструкции являются технологическими образованиями. В этом состоит принципиальное отличие ЭП, СЭП и КП от конструктивных модулей (КМ), являющихся

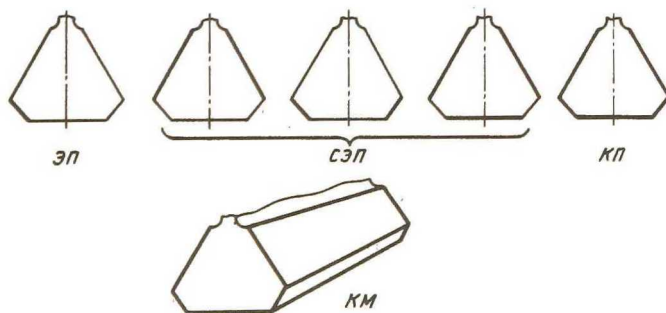


Рис. 8.3. Комбинации одновременно обрабатываемых поверхностей хвостовика ЛХ1

конструктивными образованиями. Как следует из рис. 8.3, СЭП названы две и больше одновременно обрабатываемых поверхностей, разделенные необрабатываемыми поверхностями, а КП – несколько примыкающих друг к другу одновременно обрабатываемых элементарных поверхностей.

8.3. ДЕКОМПОЗИЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК

По ГОСТ 3.1109–82 предусмотрены следующие структурные уровни ТП: операция (ОП) как законченная часть ТП, установ (У), позиция (П) и технологический переход (Пер). В зависимости от конкретных производственных условий предпочтительными могут оказаться ТП, различные по структуре. Например, обработку рабочих поверхностей хвостовика, его основания и торцов можно производить в одной операции на агрегатном станке (один установ, несколько позиций и переходов – рис. 8.4, а) либо за несколько операций на универсальном оборудовании (рис. 8.4, б).

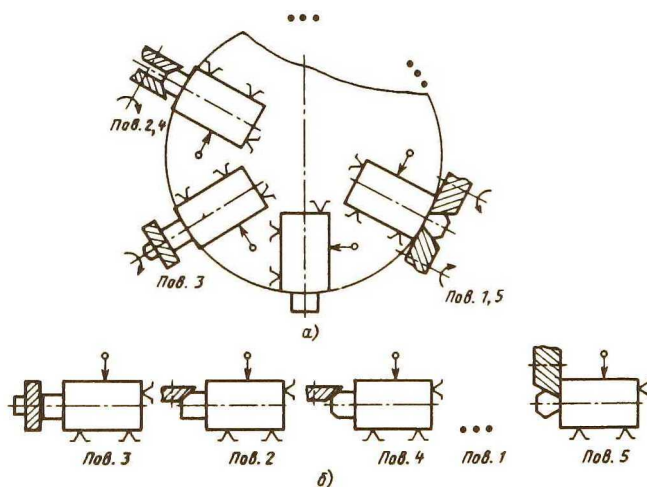


Рис. 8.4. Варианты обработки хвостовика лопатки:

а – за один установ в нескольких позициях (на агрегатном станке);
б – в нескольких операциях на универсальных станках (цифрами обозначены обрабатываемые поверхности)

Для обеспечения формализованного выбора решений при технологическом проектировании (а на этом основана любая автоматизация проектных работ) заранее описываются все возможные комбинации и сочетания ЭП, совместная обработка которых эффективна в различных условиях. Такие сочетания ЭП-КП названы протехнологическими структурными моделями (ПСМ) этого модуля, так как объединение поверхностей произведено по технологическому принципу – возможности совместной обработки. При описании ПСМ принято, что знак объединения (U) номеров поверхностей КМ, поставленный внутри круглых скобок, свидетельствует об обработке этих поверхностей в одном переходе, внутри фигурных скобок – в одной операции, между фигурными скобками – в двух и более операциях. При этих условиях пронумерованные (№ 1–18) на рис. 8.2 поверхности хвостовика позволяют отразить организацию его обработки по меньшей мере тремя вариантами ПСМ:

$$\begin{aligned} \text{ПСМ(ХВ)} = \{ & \text{ХВ(№1 U №2 U №3 U №4 U №5)} \} \text{ U} \\ & \text{U } \{ \text{ХВ(№18 U №19)} \}; \end{aligned} \quad (8.1)$$

$$\begin{aligned} \text{ПСМ(ХВ)} = \{ & \text{ХВ(№3)} \} \text{ U } \{ \text{№2 U №4} \} \text{ U} \\ & \text{U } \{ \text{№1 U №5} \} \text{ U } \{ \text{№18 U №19} \}; \end{aligned} \quad (8.2)$$

$$\begin{aligned} \text{ПСМ(ХВ)} = \{ & \text{ХВ(№9)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№2)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№4)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№1)} \} \text{ U} \\ & \text{U } \{ \text{ХВ(№5)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№5)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№18)} \} \text{ U } \{ \text{ХВ(№19)} \}. \end{aligned} \quad (8.3)$$

В соответствии с записанными ПСМ возможна обработка как одной ЭП на одном рабочем месте (8.3) в операции вида $\text{ОП}_m^l = y^m \text{ U Пер}_m$, так и последовательно нескольких ЭП (8.2) в операции

$$\text{ОП}_m^l = (y_i^m \text{ U } \{ \text{П}_j^{im} \text{ U } \text{П}_{\text{ер } k}^{ijm} \}) \vee \{ y_i^m \text{ U Пер}_i^m$$

и комплекса поверхностей (8.1) в операции вида $\text{ОП}_m^l = y^m \text{ U } \{ \text{Пер}_k^m \}$.

Варьируя степенью охвата одновременно обрабатываемых поверхностей, средствами оснащения и режимами обработки, можно найти для каждого случая наиболее рациональный вариант ТП.

8.4. ОСНОВЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК

В общей постановке задача проектирования ТП изготовления деталей ДЛА относится к числу трудноформализуемых прежде всего из-за отсутствия достоверных зависимостей структуры ТП от значений конструкторско-технологических признаков деталей. Одним из путей решения таких сложных задач является расчленение (декомпозиция) их на несколько подзадач (уровней), отличающихся последовательно возрастающей от уровня к уровню степенью детализации проектных решений, которые, в свою очередь, опираются на оправдавший себя производственный опыт.

В работах Г. К. Горанского, Н. М. Капустина, С. П. Мирофанова, В. Д. Цветкова [3, 4, 13, 14] и других по автоматизации технологического проектирования для формализации выбора проектных решений используются типовые ТП, типовые операции, типовые переходы и маршруты обработки элементарных поверхностей деталей, причем рациональный уровень унификации признается зависимым от условий производства. Выполняемые одна за другой операции, предназначенные для обработки поверхностей определенного КМ (или его части), обозначим *этапом* изготовления Ξ_s^w , который примем в качестве еще одного структурного элемента технологического процесса. В обозначении этапа индекс "w" означает название КМ, а индекс "s" — стадию (ступень) обработки. В зависимости от содержания формоизменяющих переходов задачи, возлагаемые на этап, могут быть решены в одной или нескольких m-х операциях, так что

$$(\Xi_s^w)^l \equiv \langle \text{ОП}_m^{sw} \rangle, \quad m = \overline{1, N_m^{sw}}. \quad (8.4)$$

Введение этапа как уровня технологической унификации (в дополнение к перечисленным выше уровням) не противоречит требованиям (ГОСТ 3.1109-82), ибо, приняв неизменным состав этапов обработки каждого w-го КМ и общую их последовательность при изготовлении деталей определенной группы, получим принципиальную схему (ПС) типового технологического процесса

$$\text{ТП}_l^{\text{ПС}} = \langle \Xi_s^{w,l} \rangle \equiv \langle \text{ОП}_m^{w,s} \rangle \quad \left| \quad w = \overline{1, N_{\text{КМ}}}, \quad s = \overline{1, N_s}, \quad (8.5)$$

описываемую через последовательность операций. В пределе этап Ξ_s^{ω} может состоять всего из одной типовой операции.

Исходя из приведенных доводов в основу формализации проектирования ТП обработки заготовок лопаток положены следующие уровни технологической унификации: 1) типизация этапов; 2) типизация переходов.

8.5. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрим методическую и информационную стороны проектирования ТП. Как уже отмечалось, принятый метод предусматривает четыре уровня проектирования: синтез принципиальной схемы процесса, формирование маршрута обработки лопатки, проектирование операционной технологии, получение управляющих программ для станков с ЧПУ и выпуск технологической документации.

Принципиальная схема. На выбор ПС процесса существенное влияние оказывают вид исходной заготовки и способ ее получения. Последний, будучи ограниченным из-за физико-механических свойств материала, во многом определяется трудноформализуемыми факторами: реальными возможностями заготовительного и механического производства, а также назначенным сроком изготовления комплекта деталей. Вследствие этих причин выбор вида и способа получения заготовок является, как правило, прерогативой высококвалифицированных технологов, механиков и металлургов и может считаться заданным в составе исходных данных на автоматизированное проектирование ТП.

Для алгоритмизации выбора ПС процесса воспользуемся промышленным опытом ТПП лопаток авиационных компрессоров и турбин. Из него следует, что применительно к заготовкам лопаток (любого вида) достаточным оказывается сравнительно небольшой набор этапов (табл. 8.1), использование которых позволяет генерировать множество структур ТП в зависимости от перечисленных в табл. 8.2 конструктивно-технологических признаков. Так, при изготовлении лопаток длиной $L = 70$ мм из заготовок, полученных высокоскоростной штамповкой (ВСШ) и поэтому имеющих припуск по перу в пределах $z_n = 0,1 \dots 0,2$ мм с реперной просечкой в качестве дополнительной базы, целесообразное решение отразится ПС ТП:

Этапы обработки заготовок лопаток

Назначение этапа	Обозначение этапа
Подготовка баз на пере	Э ₁ ^п
Предварительная обработка пера	Э ₂ ^п
Получистовая обработка пера	Э ₃ ^п
Чистовая обработка пера	Э ₄ ^п
Окончательная обработка пера	Э ₅ ^п
Подготовка баз на концевых элементах	Э ₁ ^{хв} , Э ₁ ^{б.п} , Э ₁ ^{п.хв.б.п}
Предварительная обработка хвостовика	Э ₂ ^{хв}
Окончательная обработка хвостовика	Э ₅ ^{хв}
Обработка выборок на хвостовике	Э ₄ ^{хв}
Обработка технологической бобышки	Э ₁ ^б
Отрезка технологической бобышки	Э ₂ ^б
Предварительная обработка полки хвостовика	Э ₁ ^{п.х}
Окончательная обработка полки хвостовика	Э ₂ ^{п.х}
Предварительная обработка бандажной полки	Э ₂ ^{б.п}
Окончательная обработки бандажной полки	Э ₃ ^{б.п}

*Конструктивно-технологические признаки
исходных заготовок лопаток*

Классификационный признак	Признак и его значение	Условное обозначение
Способ получения исходной заготовки	Высокоскоростная штамповка	ВСШ
	Изотермическая штамповка	ИТШ
	Объемная штамповка	ОШ
	Поковка	ПОК
	Точное литье	ТЛ
Габаритный размер (длина L), мм	<40	
	40 – 100	
	100 – 250	
	250 – 400	
	>450	
Тип технологической бобышки	Прямоугольная бобышка	ПБ
	Цилиндрическая бобышка	ЦБ
	Конусообразная бобышка	КБ
	Реперная просечка	РП
Значение припуска по перу z_p , мм	0,1 – 0,2	
	0,2 – 0,5	
	0,5 – 1,0	
	1,0 – 1,5	
	1,5 – 2,5	
	2,5 – 4,0	
Обрабатываемость материала холодным деформированием	Вальцуемый	Д
	Невальцуемый	НД

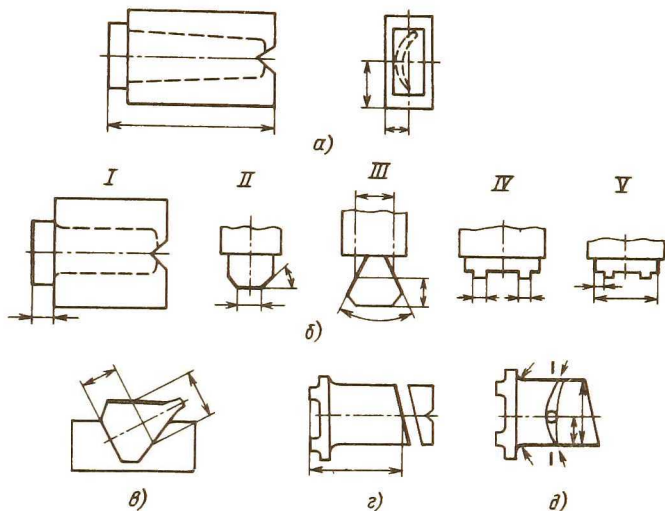


Рис. 8.5. Эскизы к ТП, формируемому по принципиальной схеме (8.6):
 а — подготовка баз на пере $\mathcal{E}_1^n$; б — обработка хвостовика $\mathcal{E}_3^{хв}$ (I — V — позиции стола на агрегатном станке); в — окончательная обработка хвостовика $\mathcal{E}_4^{хв}$; г — отрезка технологической бобышки $\mathcal{E}_2^б$; д — окончательная обработка пера $\mathcal{E}_5^n$

$$\text{ТП}_l^{\text{ПС}} = \langle \mathcal{E}_1^n, \mathcal{E}_3^{хв}, \mathcal{E}_4^{хв}, \mathcal{E}_2^б, \mathcal{E}_5^n \rangle, \quad (8.6)$$

иллюстрируемой на рис. 8.5. Если же $100 < L < 250$, способ получения заготовки — объемная штамповка с припуском $z_n = 1,5 \dots 2,5$ мм на сторону, а за дополнительную технологическую базу принята конусообразная, либо цилиндрическая бобышка, то предпочтение отдается следующей схеме:

$$\text{ТП}_l^{\text{ПС}} = \langle \mathcal{E}_1^б, \mathcal{E}_1^{хв}, \mathcal{E}_2^n, \mathcal{E}_2^{хв}, \mathcal{E}_3^{хв}, \mathcal{E}_3^n, \mathcal{E}_4^n, \mathcal{E}_2^б, \mathcal{E}_4^{хв}, \mathcal{E}_5^n \rangle. \quad (8.7)$$

Наконец, ПС процесса изготовления из точного литья лопаток с двумя концевыми элементами (ХВ и БП) представляется последовательностью

$$ТП_l^{ПС} = \langle \mathcal{E}_1^{п.хв.б.п}, \mathcal{E}_2^{б.п}, \mathcal{E}_2^{хв}, \mathcal{E}_1^{п}, \mathcal{E}_3^{хв}, \mathcal{E}_2^{п.х}, \mathcal{E}_3^{б.п} \rangle. \quad (8.8)$$

Для сформированной схемы процесса детальная разработка маршрутной технологии сводится к определению черновых баз и базовых поверхностей в этапах, последовательности и способов обработки внутри этапа, оборудования и оснащения для выполнения операций.

Технологические базы и последовательность обработки поверхностей. Весьма распространена схема ТП, по которой вначале обрабатываются рабочие поверхности замковой части хвостовика, причем за базы принимаются поверхность спинки и входная кромка пера, торцовые поверхности хвостовика и технологической бобышки. Затем, установив заготовку по обработанным поверхностям, создают вспомогательную базу – центровое отверстие в бобышке, которое вместе с поверхностями хвостовика используют в качестве баз для выполнения последующих этапов процесса. Снятие припуска по перу осуществляется при базировании по одному из трех вариантов: по рабочим поверхностям хвостовика и его торцу (рис. 8.6, а); по одной из рабочих поверхностей хвостовика, его основанию и входному торцу (рис. 8.6, б); в третьем варианте заготовка базируется по основанию хвостовика, его входному торцу и оси лопатки (рис. 8.6, в). Все эти решения оказываются допустимыми, если речь идет об обработке заготовок, у которых припуск по перу лопатки более 0,5 мм на сторону. При $0,2 < z_n < 0,5$ операциям подготовки

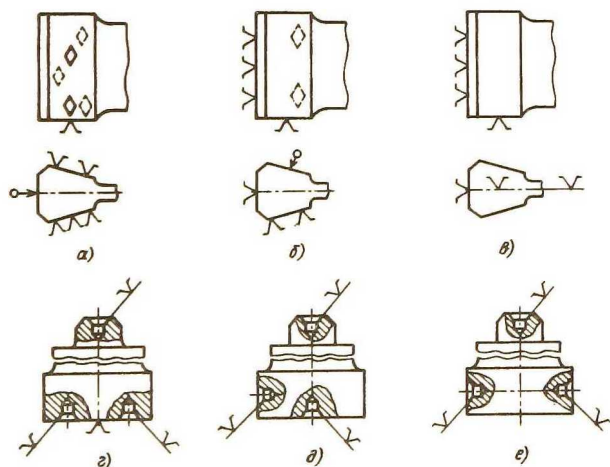


Рис. 8.6. Базы и базирование при обработке лопаток компрессора

установочных баз предшествует поиск такого положения заготовки, при котором достигается равномерное распределение припуска по перу. Для этого лопатка выставляется в специальном приспособлении с опорой по поверхности пера и верхнему торцу хвостовика¹, регулируется и при достижении заданного положения закрепляется, после чего производится обработка трех базовых отверстий по одному из вариантов, показанных на рис. 8.6, *г*, *д*, *е*. Отверстия используются затем в качестве установочных баз на всех последующих операциях.

При обработке точных заготовок с малыми припусками по перу (0,1 – 0,2 мм на сторону) также используется метод поиска положения заготовки с целью выравнивания припуска на обработку пера. Отличие состоит в том, что по достижении требуемого положения заготовка заливается в брикет из легкоплавкого металла или закрепляется в кассете. Последующие операции обработки поверхностей хвостовика выполняются с установкой по базовым поверхностям брикета или кассеты. Комбинированное приспособление для распределения припуска и заливки сплавом настраивается по эталону. Следующим шагом при формировании маршрута является выбор методов обработки поверхностей КМ в каждом из этапов ПС.

Методы обработки поверхностей в этапе. Под методом понимается не только рациональное сочетание поверхностей, одновременно обрабатываемых тем или иным способом (отражающим физическую основу взаимодействия инструмента и заготовки), но и рациональное сочетание способов обработки для получения поверхностей определенного вида и качества, а также обеспечения требований их взаимного расположения. Известно, например, что перо и поверхность перехода к хвостовику получают путем фрезерования, шлифования, вальцевания либо комбинацией этих способов, а в последнее время – с помощью электрохимической размерной обработки (ЭХО). Для обработки поверхностей хвостовика и полок применяют протягивание, точение, шлифование и их комбинации.

Обозначим методы обработки: M_{s1}^w – фрезерование, M_{s2}^w – шлифование, M_{s3}^w – протягивание, M_{s4}^w – точение, M_{s5}^w – вальцевание, M_{s6}^w –

¹ Предварительно контактные штыри приспособления настраиваются по эталонной лопатке.

ЭХО, M_{s7}^w – полирование некоторой совокупности поверхностей w -го конструктивного модуля на s -й стадии процесса. В обозначениях этапов индекс w может принимать значение хв, п, п.х, б, а индекс s_i определяет метод и степень обработки: 1 – черновая обработка, 2 – чистовая обработка. Тогда содержание этапа раскроется в используемых методах, а именно:

$$\mathcal{E}_s^w \rightarrow M_{s1}^w \vee M_{s2}^w \vee \dots \vee M_{sl}^w \vee \dots \vee M_{sk}^w \vee \dots \vee (M_{sl}^w \wedge M_{sk}^w).$$

Сам путь выбора метода может быть схематизирован следующим образом: через формирование множества вариантов протехнологических структурных моделей (отражающих различные комбинации описаний КМ), множества возможных способов обработки – к определению метода, отвечающего заданному критерию качества проектируемого ТП.

Судя по публикациям, из показателей (критериев) качества процесса основное внимание уделяется вопросам снижения трудоемкости, себестоимости изготовления, а также сокращению сроков подготовки производства и изготовления машинокомплекта лопаток при безусловном обеспечении требований чертежа.

Состав операций в этапе. Состав операций в этапе (маршруте) по существу продиктован выбранными методами обработки, из которых следует порядок выполнения формоизменяющих операций и как производная этого порядка – состав и месторасположение неформоизменяющих операций. В числе последних – геометрический и металлургический контроль, упрочнение, термообработка, вспомогательные операции (обезжиривание, мойка, сушка). Их расположение устанавливается по принципу: по завершению любой из формоизменяющих операций проводить контроль геометрии; если операция сопровождается интенсивным местным нагревом (например, при шлифовании), дополнительно вводится металлургический контроль; упрочнение поверхности имеет смысл производить по окончании ее механической обработки, а искусственное старение заготовки для снятия внутренних напряжений – после предварительной механической обработки или вальцевания.

Применительно к лопаткам, если, например, на этапе получистовой обработки пера ($\mathcal{E}_3^n$) принято решение использовать фрезерование его поверхностей (M_{31}^n), то это решение реализуется в следующем составе

операций: фрезерование (заходных фасок) – слесарная (снятие заусенцев) – фрезерование (поверхностей спинки и корыта) – слесарная (снятие заусенцев) – фрезерование (поверхностей перехода пера к хвостовику). Если для тех же целей используется вальцевание (M_{35}^n), то последуют: вальцевание I – термическая обработка – шлифование кромок (восстановление их формы, нарушенной в результате интенсивного силового воздействия) – слесарно-полировальная (восстановление поверхностей перехода от пера к ХВ) – моечная – вальцевание II – вальцевание III. Задачи того же этапа могут быть решены и в двух операциях: ЭХО поверхностей пера и фрезерование поверхностей перехода пера к ХВ.

Аналогично по каждому из этапов, решается задача определения всего состава операций, т.е. формируется маршрутная технология изготовления лопаток. Методика выполнения следующего этапа проектирования операционной технологии будет рассмотрена позже, одновременно с обоснованием алгоритмов проектирования операций.

8.6. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ В САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК

Изложенные выше методы решения основных задач технологического проектирования положены в основу алгоритмического и программного обеспечения системы. Подготовке алгоритмов предшествовала разработка системы классификации компрессорных лопаток по конструктивно-технологическим признакам и группирование лопаток обладающих общими признаками, с целью создания групп деталей, предназначенных для изготовления их по общему ТП. Схема классификации представлена на рис. 8.7. На самом верхнем уровне класс компрессорных лопаток КЛ разделяется на два подкласса: лопатки, имеющие полку пера (ПП) и не имеющие такой полки (¬ ПП).

По типу замкового соединения хвостовика лопатки разделяются на пять группировок: ЛХ1, ЛХ2, ЛХ3, ДЕ и ШС. Признаки каждой группировки были описаны в 8.2.

По применяемым материалам выделяются две группы: лопатки из титановых сплавов (ТС) и лопатки из жаропрочных сталей (СТ).

По способу получения исходной заготовки образуются четыре классификационные группировки: ПОК, ОШ, ИТШ, ВСШ. Признаки этих группировок были описаны в табл. 8.2.

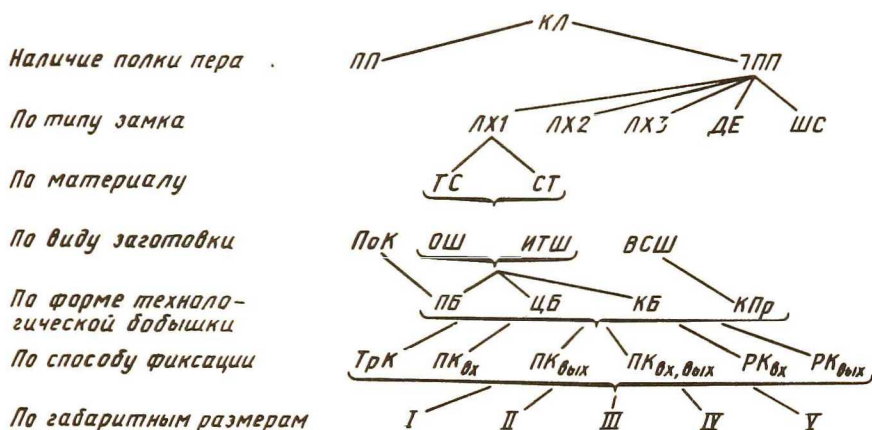


Рис. 8.7. Схема классификации лопаток (I – V – группы лопаток)

По форме технологической бобышки на исходной заготовке лопатки разделяются на четыре группы: ПБ (прямоугольная бобышка), ЦБ (цилиндрическая), КБ (конусообразная), КПР (треугольная просечка).

По способу фиксации лопатки в диске от перемещения под действием газовых и центробежных сил они разделяются на шесть классификационных группировок: ТрК – лопатки, фиксируемые в диске с помощью трактовых колец, ПК_{вх} – то же с помощью пластинчатой контровки с оттибом на входе, ПК_{вых} – то же на выходе, ПК_{вх,вых} – то же на входе и выходе, РК_{вх} – лопатки, фиксируемые с помощью разжимных колец со стороны входа, РК_{вых} – то же со стороны выхода.

На самом нижнем уровне классификации лопатки разделяются на пять групп по длине: I группа – длина до 35–40 мм, II группа – 40–120 мм, III группа – 120–300 мм, IV группа – 300–700 мм и V группа – длиной свыше 700 мм.

Конструкции лопаток, на которые сориентирована САПР ТП КЛ, различаются длиной пера от 10 до 200 мм и вариантами исполнения хвостовиков (ЛХ1, ЛХ2, ЛХ3), в которых по-разному выполнены облегчающие выборки и пазы под фиксирующие элементы (пластинчатые контровки, разжимное кольцо). В двух вариантах (ЛХ2, ЛХ3) хвостовик включает в себя полку и удлиненную ножку. Материалы – гамма титановых сплавов и жаропрочных сталей и сплавов.

Состав компонентов и схема функционирования этой версии САПР ТП КЛ были приведены на рис. 8.1. Поиск решения реализован следующим образом: синтез принципиальной схемы процесса осуществляется из заранее сформулированного множества этапов $\{\mathcal{E}_s^w\}$; выбор методов обработки поверхностей алгоритмизирован на основе анализа экспертных решений, обеспечивающих экстремальное значение одного из заданных критериев; формирование состава и последовательности операций осуществляется из обобщенного маршрута (ОМ), охватывающего возможные сочетания принципиальных схем и методов изготовления выделенных групп лопаток, тексты переходов выбираются из сводного операционного технологического процесса (СОТП), необходимые сведения об оборудовании, приспособлениях и инструментах выбираются из массивов условно-постоянной информации, хранящихся в виде таблиц соответствий.

Система позволяет по заданным геометрическим и физическим параметрам лопатки и информации о возможностях производства спроектировать ТП ее изготовления из заготовок применяемого вида, сформировать модели и изготовить на АЦПУ и ЧГА комплекты маршрутных, операционных карт и карт эскизов. В тех случаях, когда проектом технологического процесса предусмотрена обработка пера или хвостовика на станках с ЧПУ, итоги проектирования и необходимые данные по конструкции передаются в подсистему автоматической подготовки управляющих программ, после чего выпускается перфолента с командами управления станком.

Рассмотрим алгоритмы решения основных задач.

Синтез принципиальной схемы осуществляется исходя из отличительных признаков конструкции лопатки, выбранного способа получения заготовки, припуска по перу (z_n) и хвостовику ($z_{хв}$). По принятому в системе алгоритму формирования ПС из выделенного состава этапов (см. табл. 8.1) генерация их происходит в обратном порядке: от окончательной обработки — к подготовке баз. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 8.8. В начале (блок 1) анализируется конструкция хвостовика: если это ЛХ1, то решение идет по ветви 1 и в ПС включаются этапы окончательной обработки пера и хвостовика ($\mathcal{E}_5^n \wedge \mathcal{E}_3^{хв}$); если должны обрабатываться хвостовики с полками (ЛХ2, ЛХ3) (выход 0), то решение передается в блок 2, в котором анализируется форма полки: если боковые грани полки расположены

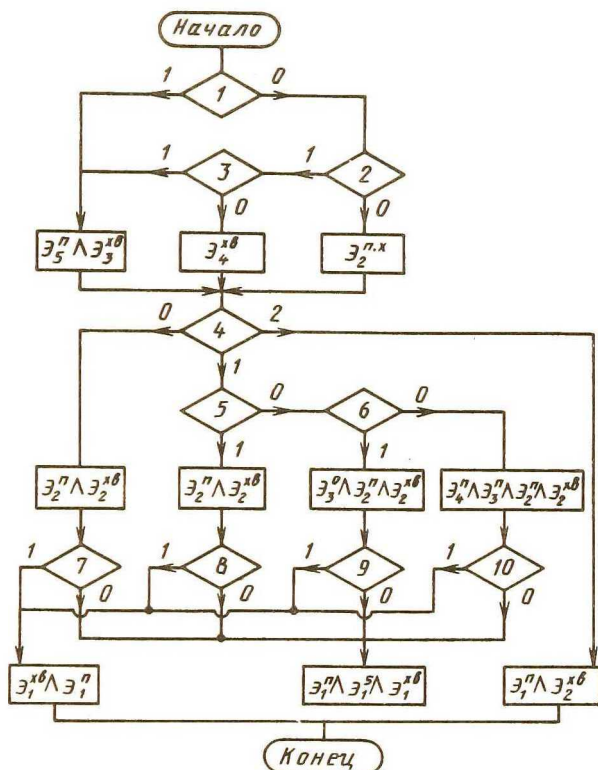


Рис. 8.8. Блок-схема алгоритма синтеза принципиальных схем ТП изготовления компрессорных лопаток

под углом к оси вращения ротора (выход 0) следует $\mathcal{E}_2^{n \cdot x}$, иначе – обращение к блоку 3. Здесь при наличии выборок на хвостовике – передача по линии 0 – выбор этапа $\mathcal{E}_4^{xb}$, иначе – $\mathcal{E}_5^n \wedge \mathcal{E}_3^{xb}$. Чтобы установить необходимое число этапов промежуточной обработки профиля пера, в блоке 4 производится анализ принятого способа получения заготовки: при ИТШ решение передается по ветви 0, при ОШ – по ветви 1, при ВСШ – по ветви 2. В последнем случае назначаются этапы $\mathcal{E}_1^n \wedge \mathcal{E}_2^{xb}$, начинающие процесс изготовления лопаток с таким набором признаков. Решение по ветви 0 предусматривает назначение $\mathcal{E}_2^n \wedge \mathcal{E}_2^{xb}$ и переход к блоку 7, в котором анализируется величина

габаритного размера лопатки: если $L < 40$ мм, то решение следует по ветви 1 и назначается $\mathcal{E}_1^{xb} \wedge \mathcal{E}_1^n$, иначе – выбираются $\mathcal{E}_1^n \wedge \mathcal{E}_1^b \wedge \mathcal{E}_1^{xb}$, чем и завершается синтез ПС. Решение, направляемое блоком 4 по ветви 1, предусматривает анализ (в блоке 5) значения припуска z_n . Если $0,5 \leq z_n \leq 1,0$, то назначаются этапы $\mathcal{E}_2^n \wedge \mathcal{E}_2^{xb}$, иначе – следуют решения, регулируемые блоком 6. Блоки 8, 9 и 10 имеют то же назначение, что и блок 7.

Таким образом по ограниченному числу конструктивно-технологических признаков лопаток синтезируются десятки ПС процессов их изготовления.

Проектирование технологического маршрута. Решение этой задачи достигается путем отбора из обобщенного маршрута (ОМ): наименований тех операций, с помощью которых реализуются синтезированная ПС и выбранные методы обработки поверхностей в этапах. Чтобы ОМ был достаточно компактным (т.е. обладал большой мощностью пересечения индивидуальных маршрутов), оказалось целесообразным создать и включить в САПР ТП КЛ семь обобщенных маршрутов, каждый из которых предполагает использование заготовки определенного вида и учитывает конструктивные отличия хвостовиков лопаток (табл. 8.3).

Для решения задачи проектирования индивидуальных маршрутов в системе имеется "матрица истинности" $T-F$ и алгоритм выбора варианта маршрута. Верхняя строка матрицы содержит последовательность операций обобщенного маршрута. Число столбцов (длина строки матрицы) соответствует числу операций, содержащихся в ОМ. Кроме того, имеется n строк, соответствующее числу возможных вариантов инди-

Таблица 8.3

Выбор обобщенного маршрута

Конструкция хвостовика	Вид заготовки			
	ПК	ОШ	ИТШ	ВСШ
ЛХ1	ОМ1	ОМ2	ОМ3	ОМ4
ЛХ2, ЛХ3	ОМ2	ОМ6	ОМ7	—

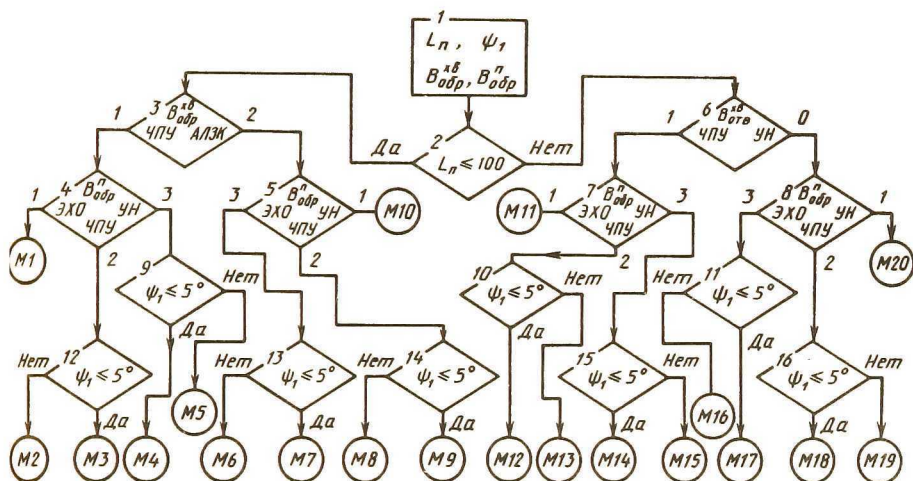


Рис. 8.9. Блок-схема алгоритма выбора из обобщенного маршрута (ОМ1) индивидуального маршрута обработки лопаток из заготовок, получаемых ковкой:

В — вариант обработки; УН — универсальное оборудование; АЛЗК — агрегатный станок (цифры в кружках — номера вариантов индивидуальных маршрутов)

видуальных маршрутов (в ОМ1-20). Эти строки заполнены символами T и F . Символ T (TRUE) в столбце означает, что соответствующая операция (формоизменяющая или неформоизменяющая) из ОМ включается в индивидуальный маршрут проектируемого ТП, а символ F (FALSE) — что такая операция не включается. Определение номера строки матрицы $T-F$ (т.е. номера индивидуального маршрута) производится по алгоритму, приведенному на рис. 8.9. Основными факторами (признаками) для выбора варианта индивидуального маршрута (т.е. строки матрицы) являются: длина пера лопатки L_n , метод обработки (ЭХО) пера, обработка на станке с ЧПУ, на универсальном оборудовании (УН), на агрегатных станках (АЛЗК), угол подъема трактовой поверхности хвостовика ψ_1 .

При выборе индивидуального маршрута из ОМ1 сначала в блоке 2 анализируется длина пера лопатки: если $L_n \leq 100$ мм, то возможна обработка хвостовика на агрегатном станке или раздельная обработка на станке с ЧПУ — блок 3 (решение по этому вопросу может прини-

маться технологом-пользователем системы). На следующем шаге алгоритма (блоки 4 и 5) выбирается способ обработки поверхностей пера – ЭХО либо фрезерование на станке с ЧПУ или на универсальном копировальном станке. Если выбрана обработка резанием, то дальнейшее разветвление поиска определяется величиной угла подъема ψ_1 траекторной поверхности хвостовика (блоки 9 и 12), при $\psi \leq 5^\circ$ поверхности пера обрабатываются совместно с поверхностью перехода к хвостовику.

Осуществляемое в системе **проектирование операционной технологии** (см. рис. 8.1) состоит из решения следующих задач: 1) определение состава, последовательности выполнения переходов и формирование текстов каждого из них; 2) расчет операционных размеров; 3) расчет (выбор) режимов обработки; 4) определение шифров и выдача заказов на проектирование приспособлений и инструментов, необходимых для выполнения операции; 5) нормирование операции. Для решения первой задачи разработан справочник типовых переходов, на основе которого осуществлена генерация сводного операционного ТП изготовления лопаток выделенных групп конструкций. Включение (оператор *TRUE*) конкретной операции в уже сформированный индивидуальный маршрут служит сигналом обращения в СОТП и извлечения из него соответствующих текстов переходов.

При определении операционных размеров используется два способа расчета: прямое наложение припусков (для определения размеров заготовки пера) и путем построения и решения технологических РЦ (при определении размерно-точностных характеристик операций обработки хвостовика).

Рассмотрим задачу определения операционных размеров обработки поверхностей хвостовика, закоординированных в плоскости меридианального сечения (рис. 8.10, *а*). Обработка выполняется в две операции. Заготовка лопатки устанавливается по поверхностям пера и закрепляется в кассете или заливается в брикет. Поверхность 01 выполняет роль установочной и исходной базы. Первая операция выполняется по настройке набором (блоком) мерных режущих инструментов (фрез или протяжек), обрабатывающих поверхности 03, 04, 06 и 07. На рис. 8.10, *б, в и г* показаны варианты простановки операционных размеров в этой операции. Во второй операции обрабатываются поверхности 02 и 08 также по настройке набором инструментов (фрез или протяжек). Возможные варианты простановки операционных размеров в этой операции показаны на рис. 8.10, *д*

Рис. 8.10. Размерные схемы обработки хвостовика лопатки:

а — эскиз хвостовика лопатки с конструкторскими размерами; *б*, *в* и *г* — варианты выполнения первого перехода; *д* и *е* — варианты выполнения 2-го перехода

и *е*. По чертежу заданы следующие допуски на конструкторские размеры:

$$T_{к1-5} = 0,2;$$

$$T_{к2-3} = 0,4;$$

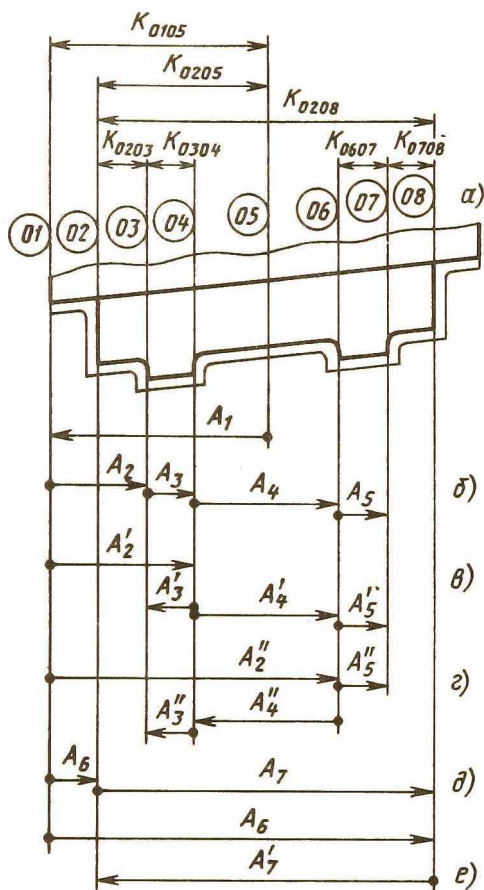
$$T_{к2-5} = 0,4;$$

$$T_{к2-8} = 0,05;$$

$$T_{к3-4} = 0,3;$$

$$T_{к6-7} = 0,3$$

$$\text{и } T_{к7-8} = 0,4 \text{ мм.}$$



Сопоставление конструкторских и операционных размеров показывает, что конструкторские размеры K_{1-5} , K_{3-4} , K_{6-7} и K_{2-8} по всем вариантам простановки размеров выполняются непосредственно. Из этих размеров только K_{2-8} задан с высокой точностью, поэтому примем допуск на соответствующий ему операционный размер $A_7 T_{A7} = T_{к2-8} = 0,05$ мм. В связи с невысокой точностью размеров K_{1-5} , K_{3-4} и K_{6-7} примем допуски на соответствующие им операционные размеры A_1 , A_3 и A_5 на уровне экономической точности: $T_{A1} = 0,25$ мм (П12), $T_{A3} = T_{A5} = 0,07$ мм (П10). Конструкторские

размеры K_{2-3} , K_{2-5} и K_{7-8} по технологии непосредственно не выдерживаются, относительно них, как замыкающих звеньев, следует построить размерные цепи, решение которых позволит определить операционные размеры $A_2(A'_2, A''_2)$, $A_4(A'_4, A''_4)$ и $A_6(A'_6)$. Учитывая, что 1-я операция имеет три, а 2-я — два варианта простановки размеров, получается $3 \times 2 = 6$ вариантов размерной структуры. Построение и анализ цепей показывает, что малозвенные цепи получаются лишь при простановке размеров по вариантам $г$ и $д$ на рис. 8.10. Уравнения замыкающих звеньев для такого сочетания будут иметь вид

$$K_{1-5} = A_1; \quad (8.9)$$

$$K_{2-3} = A_2 - A_4 - A_3 - A_6; \quad (8.10)$$

$$K_{2-5} = A_1 - A_6; \quad (8.11)$$

$$K_{2-8} = A_7; \quad (8.12)$$

$$K_{3-4} = A_3; \quad (8.13)$$

$$K_{6-7} = A_5; \quad (8.14)$$

$$K_{7-8} = A_6 + A_7 - A_2 - A_5. \quad (8.15)$$

Учитывая ранее принятые значения допусков $T_{A7} = 0,05$, $T_{A1} = 0,25$ мм, $T_{A3} = T_{A5} = 0,07$ мм, используя основное уравнение допусков размерных цепей $\Sigma T_{Ai} \leq T_{\Delta}$ и принимая для размеров A_2 , A_4 и A_6 одинаковый уровень точности, для уравнения (8.10) получим

$$T_{K_{2-3}} = T_{A2} + T_{A4} + T_{A3} + T_{A6}; \quad T_{A2} + T_{A4} + T_{A6} = \\ = T_{K_{2-3}} - T_{A3} = 0,4 - 0,07 = 0,33 \text{ мм.}$$

Тогда $T_{A2} = T_{A4} = T_{A6} = \frac{0,33}{3} = 0,11$ мм.

Аналогично этому для уравнения (8.15), получим $T_{A2} = T_{A6} = 0,14$ мм. Сравнивая результаты, принимаем $T_{A2} = T_{A4} = T_{A6} = 0,11$ мм.

8.7. ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ИТОГОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В соответствии с требованием ЕСТД сформированный в САПР ТП прообраз процесса изготовления лопаток отражается в трех видах документов: в маршрутных и операционных картах и в картах эскизов.

Так как результаты решения задач, возникающих при проектировании ТП, хранятся в системе отдельными массивами, то целью алгоритма формирования моделей операционных карт является извлечение из массивов соответствующей информации и распределение ее по операциям. Вначале формируются коды текстовой части содержания операций. Далее последовательно выбираются соответствующие каждому переходу модель оборудования, классификационные шифры оснащения, режимы обработки.

Задача получения моделей построения операционных эскизов весьма сложна, так как требует организации синтеза изображений заготовки, изменяющейся в процессе ее обработки. Для решения задачи предложена и осуществлена разработка модели комплекта карт эскизов, в котором иллюстрируется вся последовательность изменения формы и параметров исходной заготовки до готовой лопатки.

Так как число вариантов процессов изготовления лопаток многократно превышает число их конструктивных схем, то для построения моделей карт эскизов использован блочно-модульный принцип. Комплект карт эскизов иллюстрирует 36 операций ОМЗ, 24 операции ОМ4, 47 операций ОМ6. Индивидуальные маршруты требуют меньшего числа графических иллюстраций, их состав формируется в системе автоматически.

Режимы эксплуатации САПР ТП КЛ. Система рассчитана для работы на ЕС ЭВМ в операционных системах ОС ЕС и СВМ, состоит из 32 программ, написанных на языке ФОРТРАН; для получения моделей карт эскизов и управления чертежно-графическим автоматом используется пакет прикладных программ (ППП) ПАД ЕС.

8.8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛОПАТОК НА СТАНКАХ С ЧПУ

Составной частью САПР ТП КЛ является подсистема проектирования управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ. Работа по автоматизированной разработке УП содержит решение следующих задач.

1. Математическое моделирование поверхности обрабатываемого элемента лопатки. Так как информационная емкость модели поверхности пера, обычно задаваемой в чертеже лопатки ограниченным набором поперечных сечений и точек их контуров, явно недостаточна для получения самой поверхности приходится идти по пути преобразования ее исходной модели в другую, с более загущенной сеткой координат.

2. Формирование массива опорных точек, определяющих строку обработки.

3. Построение эквидистанты к номинальной получаемой поверхности лопатки.

Тексты операций, в которых обработку детали предусмотрено производить на станках с ЧПУ, должны содержать необходимые для этого директивы: о способе установки лопатки на станке, границах участков профиля и режимах (t , s , V) обработки, о типоразмере инструмента, данные о привязочном сечении (NPS) пера лопатки, о величинах допустимых отклонений получаемой поверхности в продольном (D) и поперечном (E) направлениях.

4. Формирование модели (траектории) перемещения рабочих органов станка.

5. Перевод управляющей программы, сформированной на языке машинных кодов, на язык конкретного ЧПУ (КОН2ПТ, НЗЗ и др.) и вывод программы на программоноситель. В процессе подготовки УП, на которую затрачивается не более 10 мин машинного времени ЕС 1045, имеется возможность контроля промежуточных результатов по информации, представленной в форме: изометрического чертежа каркаса аппроксимированной поверхности; распечатки таблиц координат эквидистантных к поверхности точек (XE , YE , ZE); массива координат строк обработки и значений подач; карты наладки (диктуемого способа и параметров установки детали); изображения траектории движения центра инструмента; собственно программоносителя для проверки программы на станке путем получения контрольного образца детали. С помощью такого рода систем и станков с ЧПУ можно получить поверхности лопаток с погрешностью не более 0,05 мм, а также для некоторых типоразмеров лопаток осуществлять обработку поверхностей спинки и корыта с одного установа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** проектирования технологических процессов в машиностроении/ В. С. Корсаков и др. Под общ. ред. Н. М. Капустина. М.: Машиностроение, 1985. 104 с.
2. **Автоматизированное** проектирование технологических процессов/ А. М. Гордон, А. П. Сергеев, В. П. Смоленцев и др. Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1986. 196 с.
3. **Горанский Г. К., Бендерова Э. И.** Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 455 с.
4. **Диалоговое** проектирование технологических процессов/ Н. М. Капустин и др. М.: Машиностроение, 1983. 255 с.
5. **Иващенко И. А.** Проектирование технологических процессов производства двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1981. 224 с.
6. **Комиссаров В. И., Леонтьев В. И.** Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
7. **Маталин Л. А.** Технология машиностроения. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. 496 с.
8. **Митрофанов С. П.** Групповая технология машиностроительного производства. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. Т.1: Организация группового производства. 408 с.
9. **Размерный** анализ технологических процессов/ В. В. Матвеев и др. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.
10. **Системы** автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов в машиностроении/ Под общ. ред. Р. А. Аллика. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. 320 с.
11. **Системы** автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов/ С. Н. Корчак. М.: Машиностроение, 1988. 352 с.
12. **Старостин В. Г., Лелюхин В. Е.** Формализация проектирования процессов обработки резанием. М.: Машиностроение, 1986. 136 с.
13. **Технологическая** подготовка гибких производственных систем/ С. М. Митрофанов, Д. Д. Куликов, О. Н. Миляев, Б. С. Падун; Под общ. ред. С. П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.
14. **Цветков В. Д.** Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 262 с.

- Автоматизированное проектирование ТП 141
- Автоматизированные системы технологической подготовки производства 138
- База конструкторская 102
 - технологическая 102, 318
 - — исходная 103
 - — установочная 103
 - — рекомендации по выбору 104, 234
- Базирование 102
- Виды обработки заготовок 283
- Граф размерной связи детали 247
 - — структуры ТП 205
 - — — — — возможный 209
 - — — — — допустимый 213
 - — — — — оптимальный 217
 - — формы детали 247
- Группирование деталей 86
 - способы 87
 - автоматизация 88
- Групповая информация 179
 - операция 33
- Декомпозиция конструкции детали 309
 - ТП изготовления лопаток 311
- Дифференциация операций 111
- Допуски на операционные размеры 50
 - таблица для выбора 52
 - формы и расположения поверхностей 56
 - правила выбора 59
 - таблица для выбора 62
- Информационно-поисковые системы
 - классификация 160
 - состав 159
 - языки 161
- Исходная информация для проектирования ТП 72
 - — — — — базовая 72
 - — — — — руководящая 73
 - — — — — справочная 73
- Карта информации о детали 222
 - заполнение 225
- Классификация деталей 80
- Код детали конструкторский 82, 278
 - — технологический 85, 279
 - — конструкторско-технологический 85, 277
- Кодирование деталей
 - методы 81
 - признаки 86
- Комплексный представитель 182, 231
- Конструктивный модуль 309
- Концентрация операций 111, 113
- Коэффициент закрепления операций 20
- Критерии оптимизации 175, 216
- Маршрутный технологический процесс 256
 - методы автоматизированного проектирования 141, 325
- Обеспечение САПР
 - — информационное 153
 - — лингвистическое 151
 - — математическое 151
 - — методическое 151
 - — программное 152
 - — техническое 154
- Операция 23

- структура 114
- Операционная технология
 - методы проектирования 262
- Параметрическая САПР 141
- Погрешности обработки 51
 - установки 51
- Принципиальная схема ТП 97, 323
 - методы разработки 248, 314
- Припуск на обработку общий 66
 - — операционный 66
 - возможные значения 67
 - методы определения 119
- Производство единичное 21
 - массовое 21
 - серийное 21
- Размерные цепи 37
 - выявление и построение 41
 - проверочная задача 44
 - проектная задача 125
 - расчет вероятностный 46
 - — — на максимум-минимум 40, 44
- Ранг поверхности 95
- САПР ТП АДРЕС-СМ 227
 - — компрессорных лопаток 307
 - — на основе многоуровневого итерационного синтеза 239
 - — "Технолог-1" 269
 - — типовых технологических решений 177
- Системы автоматизированного проектирования 149, 308
 - — — интегрированные 227, 269
 - — — комплексные 145
 - — — классификация 148
 - — — структура
- Системы простановки допусков на операционные размеры 51
 - — линейных размеров 108
- Структуры (схемы) операций 114
- Таблицы кодированных сведений 275
 - соответствий 16, 173
 - оптимизация 173
 - преобразование 172
 - применение 200, 290
- Технологические варианты обработки 282
- Технологический процесс
 - — групповой 22, 32
 - — единичный 22
 - — типовой 22
- Типизация ТП 29
- уровни 30
- Типовой план обработки поверхности 29
- Типовые технологические решения 186
- использование 193
- Уточнение технологической операции 93
 - — процесса 93
- Этапы ТП 315
 - использование 314
 - типовых планов обработки поверхностей 285

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	3
Глава 1. Двигатель как объект производства	5
1.1. Типы и конструктивные схемы двигателей летатель- ных аппаратов	5
1.2. Технологическая классификация деталей двигателей	7
1.3. Особенности конструкции и технологии изготовле- ния деталей и узлов деталей	8
1.4. Перспективы и задачи автоматизации проектирова- ния технологических процессов в авиационном двигате- лестроении	14
Глава 2. Основы автоматизированного проектирования деталей технологических процессов изготовления двигателей летательных аппаратов	18
2.1. Технологическая подготовка производства	18
2.2. Машиностроительное производство и его характе- ристики	19
2.3. Виды технологических процессов и виды операций	21
2.4. Состав (элементы) операции	25
2.5. Технологическая унификация	26
2.6. Технологические размерные цепи	37
2.7. Припуски и допуски на обработку	50
Глава 3. Основные задачи проектирования технологических процессов и методы их решения	72
3.1. Исходная информация для разработки технологичес- ких процессов	72
3.2. Общие правила и основные этапы разработки тех- нологических процессов	73
3.3. Изучение и анализ исходной информации	78
3.4. Классификация и группирование объектов производ- ства	80
3.5. Выбор исходной заготовки и методов ее изготов- ления	89
3.6. Установление планов обработки поверхностей	91
3.7. Установление последовательности обработки по- верхности детали	95

3.8. Разработка принципиальной схемы технологического процесса	97
3.9. Проектирование технологического маршрута	99
3.10. Проектирование операционной технологии	114

Глава 4. Общие принципы и направления автоматизации технологической подготовки производства	138
4.1. Технологическая подготовка производства как объект автоматизации. Структура и состав автоматизированной системы технологической подготовки производства	138
4.2. Методы автоматизированного проектирования технологических процессов	141
4.3. Классификация САПР	145
4.4. Состав и структура САПР	148
4.5. Тенденции развития САПР	149
4.6. Компоненты видов обеспечения САПР	151

Глава 5. Информационно-поисковые системы технологического назначения	158
5.1. Назначение и состав информационно-поисковых систем	158
5.2. Классификация информационно-поисковых систем технологического назначения	160
5.3. Формальная модель нормативно-справочной информации	163
5.4. Таблицы соответствий	168
5.5. Оптимизация принимаемых решений при подготовке таблиц соответствий	173

Глава 6. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки на основе типизации	176
6.1. Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки на основе типовых технологических решений	177
6.2. Система автоматизированного проектирования технологического процесса на основе адресации	227

Глава 7. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов по методу синтеза структуры технологического процесса	239
--	------------

7.1. САПР технологического процесса на основе много- уровневого итерационного метода проектирования	240
7.2. Комплексная автоматизированная система техноло- гической подготовки производства "Технолог"	269

Глава 8. Система автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления лопаток компрессора ГТД	307
8.1. Общая характеристика системы	307
8.2. Технологическая декомпозиция конструкции де- тали	309
8.3. Декомпозиция технологического процесса изготов- ления лопаток	311
8.4. Основы формализации проектирования технологичес- кого проектирования изготовления лопаток	313
8.5. Формирование структуры технологического процесса	314
8.6. Алгоритмы решения основных задач в САПР техно- логических процессов изготовления компрессорных ло- паток	321
8.7. Формирование моделей итоговых документов проек- тирования	330
8.8. Технологическая подготовка и вопросы организации производства лопаток на станках с ЧПУ	331
Список литературы	332
Предметный указатель	333

Учебное издание

**Иващенко Иван Александрович,
Иванов Герман Васильевич,
Мартынов Владимир Андреевич**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Редактор *Н. В. Корженевская*
Художественный редактор *В. В. Лебедев*
Технический редактор *О. В. Рожкова*
Корректор *П. В. Нерода*

ИБ № 6281

Сдано в набор 21.02.90.	Подписано в печать 06.03.92.
Формат 60×88 1/16.	Бумага № 2 офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20,58.	Усл. кр. - отт. 20,71. Уч. - изд. л. 19,27.
Тираж 580 экз.	Заказ 1340 «С»

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Отпечатано в московской типографии № 9

НПО "Всесоюзная книжная палата"

Министерства печати и информации Российской Федерации,
109033, Москва, Волочаевская ул., 40

с оригинала-макета, изготовленного в издательстве "Машиностроение"
на персональных ЭВМ