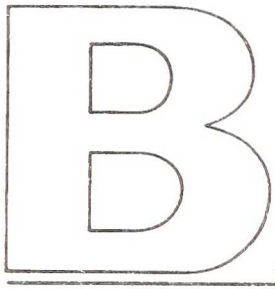
629.7.052
Б 246



В.А. Барвинок
П.Я. Пытьев
Е.П. Корнев

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рекомендовано
Госкомитетом Российской Федерации
по высшему образованию
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
"Авиа- и ракетостроение"
и специальностям "Производство
летательных аппаратов",
"Самолето- и вертолетостроение"

Москва
Машиностроение
1995

ББК 39.53
Б24
УДК 629.7.002(075.8)

Р е ц е н з е н т ы: кафедра производства летательных аппаратов МАТИ
и проф. д-р техн. наук В.С. Камалов

Издание выпущено в счет дотации, выделенной Комитетом РФ по печати

Барвинок В.А и др.
Основы технологии производства летательных аппаратов:
Б24 Учебник для высших технических учебных заведений / В.А. Барвинок, П.Я. Пытьев, Е.П. Корнев. — М.: Машиностроение, 1995. — 400 с: ил.

ISBN 5-217-02622-7

Изложены теоретические основы технологии и технологической подготовки производства летательных аппаратов. Рассмотрены вопросы формирования и технологического обеспечения качества летательных аппаратов, даны основные понятия о геометрической увязке элементов конструкции и образовании их размеров. Описаны современные технологические методы обеспечения геометрической взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц.

Для студентов авиационных вузов. Может быть полезен для слушателей факультетов повышения квалификации инженеров предприятий авиационного профиля.

Б $\frac{2705140400-068}{038(01)-95}$ Без объявл. ББК 39.53

ISBN 5-217-02622-7 © Издательство "Машиностроение", 1995 г.

Учебник посвящен курсу "Основы технологии производства летательных аппаратов", который читается в Самарском аэрокосмическом университете.

Курс разделен на три части. В первой из них рассмотрены основные понятия и определения в технологии, общая структура технологического процесса изготовления летательного аппарата, изложены основные факторы, от которых зависит характер, содержание и экономическая целесообразность частных технологических процессов, содержание и структура производственного процесса и его связь с технологическим процессом изготовления летательного аппарата.

В первой части также рассмотрены вопросы технологической подготовки производства авиационной техники, общие принципы отработки конструкции летательного аппарата и его элементов на технологичность, основные правила разработки технологических процессов и выбора средств технологического оснащения, механизации и автоматизации производственных процессов.

Во второй части рассмотрены общие принципы формирования и технологического обеспечения качества летательных аппаратов. В ней изложены основные положения и понятия о качестве летательных аппаратов, показателях качества, формировании качества и его экономической оценке, роли технологии в обеспечении качества машин. Рассмотрены вопросы геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции летательных аппаратов и достижения точности их изготовления, погрешности и допуски размеров, экономическая оценка геометрической точности деталей и сборочных единиц.

Третья часть посвящена технологическим методам обеспечения взаимозаменяемости и геометрической увязки сопрягающихся элементов конструкции планера и технологической оснастки,

применяемым в современном производстве летательных аппаратов.

Курс "Основы технологии производства летательных аппаратов" является необходимой базой для дальнейшего изучения студентами последующих технологических дисциплин, предусмотренных учебным планом, по технологиям заготовительно-штамповочных работ, механической обработки, сборочно-монтажных и испытательных процессов, с использованием единых понятий, определений, правил и законов.

Учебник базируется на использовании и обобщении опыта чтения лекций в Самарском авиационном институте, а также многолетней работы авторов П.Я. Пытьева и Е.П. Корнева на авиационном заводе в его технологических службах. В учебнике учтены современные научно-методические приемы обучения и прогрессивные направления развития технологии производства летательных аппаратов как науки.

Авторы приносят искреннюю благодарность профессору д-ру техн. наук В.С. Камалову и коллективу кафедры "Производство летательных аппаратов" Московского авиационного технологического института за большую работу по рецензированию рукописи, за ряд ценных замечаний, учтенных в ее окончательной редакции.

Авторы с большой благодарностью примут все критические замечания по содержанию книги и методике изложения ее разделов, которые помогут в дальнейшей работе над совершенствованием курса и учебника.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

1.1. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Технология машиностроения непосредственно связана с производством различной машиностроительной продукции и обеспечивает возможность высококачественного ее изготовления с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов. Слово технология происходит от двух греческих слов: techne — мастерство, умение, искусство и logos — учение, знание.

Таким образом, технология в дословном переводе означает учение об искусстве или мастерстве. Этот термин появился, когда еще не было промышленности и существовали только отдельные ремесла.

Очевидно, что современное машиностроительное производство, к которому относится и производство летательных аппаратов, ни в коей мере не может быть отнесено к ремесленному искусству. Поэтому в исторически сложившийся термин "Технология машиностроения" должно быть вложено иное понятие, отличное от дословного перевода, отвечающее реальной действительности и современному уровню развития машиностроения, науки и техники. Под *технологией машиностроения* мы будем понимать науку о сущности процессов производства изделий машиностроения, взаимной связи этих процессов и закономерностях их развития [53]. Из этого определения следует, что технология машиностроения представляет собой самостоятельную науку, которая изучает сущность свойственных только ей процессов и явлений, происходящих при изготовлении машиностроительных изделий, и совершенствует эти процессы. Многочисленные и разнохарактерные процессы производства машиностроительных изделий тесно связаны между собой, зависят друг от друга и оказывают взаимное влияние. Технология машиностроения, как наука, изучает характер этих связей и степень взаимного влияния отдельных процессов производства.

Процессы производства изделий машиностроения систематически совершенствуются и находятся в непрерывном развитии. Поэтому

технология машиностроения, как наука, изучает закономерности развития этих процессов в зависимости от достигнутого уровня развития производительных сил.

В различных машиностроительных изделиях имеется много однотипных деталей и сборочных единиц. Процессы их изготовления в различных отраслях машиностроения имеют много общего. Вместе с тем в каждой типовой группе машин имеются свойственные только ей элементы конструкции, применяются характерные способы их изготовления, монтажа и регулирования. Поэтому процессы производства различных видов машин существенно отличаются друг от друга, обладают специфическими особенностями, что позволяет технологически разграничить их, выделить процессы, характерные для каждого типа изделий.

В связи с этим обычно изучают не технологию машиностроения вообще, а технологию производства отдельных типов машин, рассматривая ее как отдельную самостоятельную область технологии общего машиностроения. Исходя из понятия о технологии машиностроения как науки, определяют понятие о технологии любой отрасли машиностроения. Следовательно, технология производства летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, космических кораблей) является областью технологии общего машиностроения, представляющей собой науку о сущности процессов производства летательных аппаратов (ЛА), о взаимной связи этих процесссов и закономерностях их развития [49].

Технология производства ЛА — самостоятельная наука, отличающаяся известной сложностью, но имеющая тесную связь с другими науками. Она возникла и развивается с возникновением и развитием самолетостроительного производства. Основной ее базой является технология машиностроения, в основу которой положены результаты изучения отдельно взятых процессов, их теоретического исследования и обобщения опыта. Как и другие науки, технология производства ЛА имеет свои, присущие только ей, объекты изучения, научные направления, законы и методы.

Основным объектом, изучаемым технологией производства ЛА, является производство самолетов, вертолетов, космических кораблей с его сложными, многочисленными и разнообразными объективно существующими и закономерно развивающимися процессами. Именно из производства технология как наука черпает практические материалы и идеи, для производства разрабатывает теории процессов

и дает научно-обоснованные рекомендации, и в процессе производства проверяет установленные теоретические положения и выводы [53]. При этом следует иметь в виду, что производство ЛА, являющееся основным предметом изучения, включает не только процессы, непосредственно участвующие в преобразовании материалов в изделие, но и процессы, связанные с подготовкой и обслуживанием производства.

Занимаясь изучением процессов производства, технология как наука должна изучать также сами объекты производства, их соответствие требованиям технологии, применяемые орудия труда, организацию и экономику производства.

Изучение экономики производства необходимо потому, что изготовление любого изделия, в том числе и ЛА, должно осуществляться с минимальными трудовыми и материальными затратами при наиболее высокой производитсльности труда.

Следовательно, технология ЛА как наука имеет значительно более тесную связь с производством, чем какая-либо другая наука. Основным законом технологии производства ЛА как науки, является закон преобразования исходных материалов в элементы конструкции и ЛА в целом с наименьшими для данных условий и времени затратами труда на единицу продукции и с наиболее высокой производительностью труда. Согласно этому закону технология производства ЛА изучает свойства материи переходить из одного состояния в другое, обеспечивающее преобразование ее в детали, сборочные единицы и летательные аппараты заданных конструкций и назначения. Она изучает сущность явлений, возникающих и протекающих при этом переходе, а также связи между ними.

Метод технологии производства ЛА с научной точки зрения заключается в единстве структурного качественного и количественного анализа и синтеза конструкции изделий и процессов их изготовления [53]. При этом имеется в виду, что свойства такого сложного и многодетального изделия, каким является ЛА, и свойства процессов его производства характеризуются не только качественным составом их частей, но также структурой и связями первичных образующих их элементов, их взаимным влиянием.

Научная база развития технологии машиностроения определилась в текущем столетии. Большой вклад в создание научных основ и развитие технологии общего машиностроения как науки внесли российские ученые-технологи Б.С. Балакшин, А.И. Каширин,

А.П. Соколовский, В.М. Кован, И.А. Бородачев и др. Результаты их основополагающих исследований находят широкое применение в современном производстве ЛА. Существенную роль в развитии технологии самолетостроения, в частности технологии сборочных и заготовительно-штамповочных работ, играют труды российских ученых В.В. Бойцова, В.П. Григорьева, С.А. Вигдорчика, М.И. Разумихина, М.И. Лысова и др.

Значительные заслуги в становлении и развитии технологии производства ЛА как науки имеют также специалисты предприятий, инженеры, осваивающие и организующие производство новой авиационной техники, работники специализированных научно-исследовательских и проектно-технологических институтов (НИАТ, ВИАМ и др.).

1.2. ПОНЯТИЕ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ И ЧАСТНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛА

Процессы изготовления элементов конструкции и летательного аппарата в целом называют технологическими процессами. В основе технологических процессов лежат результаты исследований, выводы и рекомендации технологии производства ЛА как науки.

Технологический процесс изготовления ЛА представляет собой сложный комплекс действий исполнителей и орудий производства по преобразованию исходных материалов в готовое изделие [53].

В процессе этого преобразования последовательно изменяются, достигая заданных значений, состояние и форма элементов конструкции летательного аппарата, их физические свойства.

Основу технологического процесса изготовления любой детали самолета составляет вполне определенный процесс формообразования или обработки, являющийся следствием необходимого и целесообразного устранения различий между свойствами (в основном геометрическими параметрами) заданной проектом детали и свойствами принятого для изготовления полуфабриката или заготовки [49].

Из понятия технологического процесса следует, что одним из основных признаков последнего является преобразование исходных материалов, заготовок, полуфабрикатов и комплектующих изделий в готовую продукцию. Другим основным признаком процесса является наличие и сложность комплекса действий орудий производ-

ства и исполнителей, связанных с преобразованием исходных материалов, заготовок и полуфабрикатов в готовое изделие, отвечающее заданным техническим условиям. Эти основные признаки технологического процесса в равной степени относятся как к процессам изготовления деталей, так и к процессам сборки, монтажа, регулирования и испытания ЛА в целом и его составных частей.

Отметим еще одну характерную особенность технологических процессов: каждый из них определяет последовательность преобразования исходных материалов в готовые детали или сборочные единицы и, следовательно, характеризует последовательность (строго определенную очередность) действий исполнителей и орудий производства при изготовлении изделия.

Технологический процесс изготовления любого машиностроительного изделия является интегральным процессом производства, который состоит из комплекса взаимно связанных частных технологических процессов. *Частным технологическим процессом* называют комплекс действий орудий производства и исполнителей, составляющий специфическую часть технологического процесса изготовления основного изделия предприятия [53]. Так же, как и технологический процесс изготовления основного изделия предприятия, он представляет собой сложный комплекс действий исполнителей и орудий производства по преобразованию исходных материалов в законченную в конструктивном и технологическом отношениях часть основного изделия. Каждый частный технологический процесс включает лишь часть общего процесса преобразования исходных материалов в основное изделие предприятия.

Частные технологические процессы обладают теми же основными свойствами и признаками, какие имеет общий технологический процесс изготовления основного изделия. Характерной особенностью частных технологических процессов является то, что именно для них разрабатываются теоретические основы. В настоящее время каждый частный технологический процесс базируется на теории, которая дает возможность выполнять соответствующие технологические и конструкторские расчеты при технологическом проектировании (теория резания при механической обработке, теория обработки металлов давлением при листовой холодной и горячей объемной штамповках и др.).

Для каждого частного технологического процесса требуются специфические, свойственные только ему, орудия производства —

оборудование, технологическая оснастка — (см. п. 1.4) и исполнители соответствующей специализации и квалификации. Благодаря членению общего технологического процесса на частные технологические процессы появляется возможность привлекать к их разработке и исполнению высококвалифицированных специалистов, обладающих знаниями соответствующей теории и практики — этим в значительной мере облегчается подготовка производства и изготовление основных изделий на предприятиях.

Поясним отдельные термины, использованные при определении понятия о технологии и о технологическом процессе и при характеристике их основных признаков. Под *исходным материалом* понимают как природные материалы, так и материалы, переработанные в полуфабрикаты (листы, прутки, прессованные профили, трубы, литые заготовки и т.д.). В соответствии с ГОСТ 2.101—68 *изделием* называют законченный продукт данного производства. В авиационном производстве изделиями могут быть не только готовые ЛА, которые являются основной продукцией предприятия, но и их детали, сборочные единицы, полуфабрикаты, заготовки, готовые комплектующие изделия. *Заготовкой* называют предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и материала получают деталь или неразъемную сборочную единицу (ГОСТ 3.1109—82). *Полуфабрикат* — изделие предприятия-поставщика, которое дополнительно обрабатывается или идет на сборку основного изделия на заводе-изготовителе ЛА. *Комплектующее изделие* — готовое изделие предприятия-поставщика, применяемое как самостоятельная часть другого более крупного изделия, выпускаемого другим предприятием. Такими частями могут быть как детали, так и сборочные единицы (ГОСТ 2.101—68). В частности для ЛА комплектующими изделиями являются двигатели, навигационные приборы, радиоаппаратура, электродвигатели, гидроаппаратура и другие изделия, изготовляемые на смежных заводах-поставщиках. *Деталью* называют монолитную, самостоятельную в конструктивном и технологическом отношениях часть ЛА, изготовленную из однородного материала без применения сборочных операций. Деталь не может быть разделена на другие более мелкие составные части.

Сборочной единицей называют самостоятельную в конструктивном и технологическом отношениях часть ЛА, состоящую из нескольких деталей, соединенных между собой каким-либо способом. Детали и сборочные единицы являются, как правило, законченным продуктом производства.

1.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЧАСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основу частных технологических процессов изготовления изделий (деталей, сборочных единиц) составляют технологические методы, которые определяют их содержание и структуру. Технологическим методом называют способ преобразования исходных материалов в готовое изделие (заготовку, полуфабрикат, деталь, сборочную единицу). Технологические методы, применяемые в производстве ЛА, так же, как и в других отраслях машиностроения, могут быть разделены на методы формообразования, обработки и сборки. В связи с этим ГОСТ 3.1109—82 дает понятие о *технологическом методе* как о совокупности правил, определяющих последовательность и содержание действий при выполнении формообразования, обработки или сборки, перемещения, включая технический контроль, испытания в технологическом процессе изготовления или ремонта, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру или исполнению изделия.

Таким образом сущность каждого технологического метода устанавливается безотносительно к конкретному изделию, последовательность изготовления которого определяется частным технологическим процессом.

Классификация технологических методов, применяемых в производстве ЛА, приведена на рис. 1.1. Методами формообразования и обработки изготовляют заготовки и детали, методами сборки —

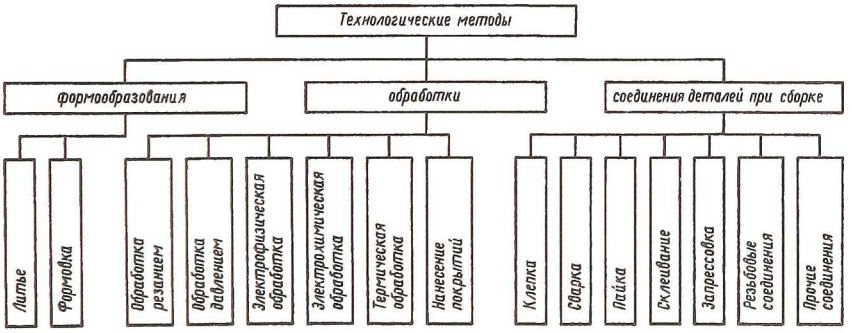


Рис. 1.1. Классификация технологических методов формообразования и сборки, применяемых в производстве летательных аппаратов

сборочные единицы. *Формообразованием* называют методы изготовления изделий из жидких, порошкообразных и волокновых материалов. К формообразующим методам относятся: литье и формование. *Литьем* называют формообразование из жидкого материала путем заполнения им полости заданной формы и размеров с последующим его затвердением. Методы литья различаются в основном конструкцией и способом изготовления литейных форм и видами материалов, применяемых для их изготовления. В производстве летательных аппаратов находят применение следующие методы литья: в песчаные и оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, центробежное литье и др. Литьем изготовляют заготовки и детали из литейных металлических сплавов и пластических масс.

Формованием называют формообразование из порошкового и волокнового материала путем заполнения ими жесткой полости заданной формы и размеров с последующим сжатием (прессованием) и спеканием. Формованием изготовляют детали из металлических и полимерных материалов. Нагрев при спекании осуществляется до температуры близкой к температуре плавления основного компонента или связующего состава. В последнем случае порошок и волокна из высокопрочных материалов являются наполнителями, обеспечивающими заданные механические свойства конечного продукта. Инструменты, с помощью которых осуществляется прессование, называют пресс-формами.

Обработкой называют действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении технологического процесса. К видам обработки относятся: обработка резанием и давлением, а также термическая, электрофизическая, электрохимическая обработка и нанесение покрытий. Обработку резанием и давлением называют также механической обработкой (ГОСТ 3.1109–82).

При обработке резанием образование новых поверхностей обеспечивается за счет пластического деформирования и последующего отделения (разрушения) поверхностных слоев материала с образованием стружки. Воздействие на материал при обработке резанием осуществляется жестким режущим инструментом. В процессе обработки резанием размеры и форма заготовок за счет удаления припуска последовательно приближаются к размерам и форме готовых деталей. Резание сопровождается теплообразованием, изменением шероховатости и физических свойств поверхностного слоя.

Обработку резанием в зависимости от вида применяемого инструмента подразделяют на лезвийную и абразивную. Первую из них применяют для грубой (черновой) и чистовой обработок, вторую — в основном для чистовой заключительной обработки. К абразивной обработке относят шлифование, полирование, хонингование, суперфиниширование, притирку и др.

Обработка давлением заключается в пластическом деформировании материала до заданной формы или в ориентированном разрушении заготовки без образования стружки. Механическое воздействие на обрабатываемый материал при этом осуществляется штамповочным инструментом. Обработка давлением может выполняться при холодном и горячем состоянии заготовки. Ее нагревание осуществляется для повышения пластичности металла и уменьшения остаточных напряжений. К методам обработки давлением относят ковку, штамповку монолитных объемных заготовок, листовую штамповку. Последняя применяется для изготовления деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб и делится на формоизменяющую (гибка, вытяжка, рельефная штамповка, обжим, отбортовка и др.) и разделительную (вырубка, пробивка, отрезка, разрезка, обрезка и др.). Применяют также специальные методы обработки давлением такие, как прокатка между роликами и валками, редуцирование, обжатие фильерами, гибка с растяжением, обтяжка, надрезка и др.

Термической называют обработку, обеспечивающую заданное изменение структуры и свойств материала заготовки, детали или сборочной единицы вследствие теплового воздействия (закалка, отпуск, отжиг, нормализация).

При химической обработке удаление излишков материала (припуска) и придание заготовке заданной формы происходит за счет размерного растворения его в кислотах или щелочах. Наиболее широкое применение получил метод размерного травления, названный химическим фрезерованием. При этом методе металл удаляется с открытых поверхностей. Те места заготовки, где не должна происходить обработка, изолируются предохранительной пленкой или специальным нейтральным смазочным материалом.

При электрохимической обработке заданное изменение формы, размеров и (или) шероховатости поверхности происходит за счет растворения обрабатываемого материала в электролите под воздействием электрического тока.

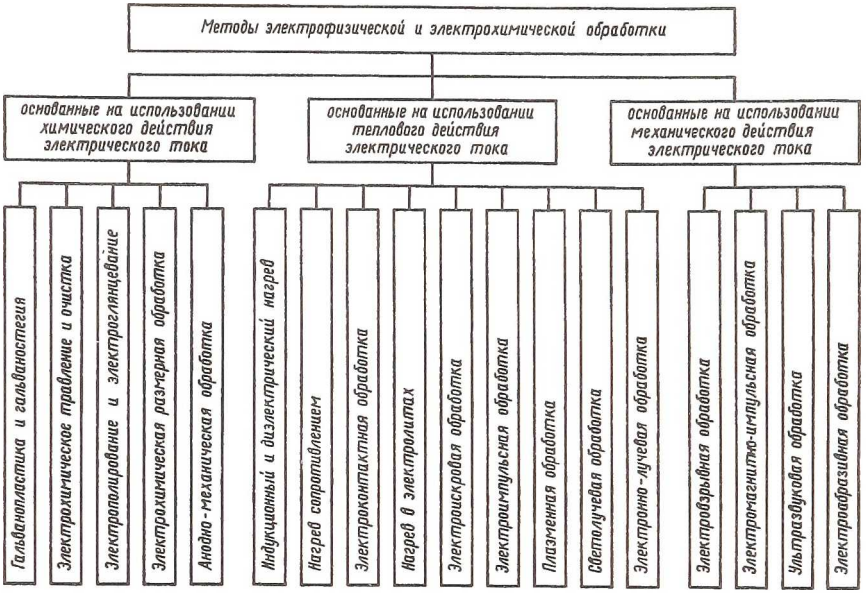


Рис. 1.2. Классификация электрофизических и электрохимических методов обработки

К электрофизической обработке относится обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров и (или) шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, импульсного магнитного поля, электронного и оптического излучения (электронно-лучевая и лазерная обработка), плазменной струи и др. Классификация методов электрохимической и электрофизической обработки, применяемых в производстве летательных аппаратов, приведена на рис. 1.2.

Среди многочисленных методов электрохимической обработки одним из наиболее перспективных является метод размерной электрохимической обработки, основанный на удалении излишков обрабатываемого металла анодным растворением в движущемся электролите, обладающий высокой производительностью. При обработке в стационарном электролите метод позволяет получить поверхности с высоким классом чистоты.

Анодно-механическая обработка включает различные способы размерной обработки, основанные на одновременном использовании анодного растворения и механического удаления продуктов распада с обрабатываемой поверхности. Применяется для чистового тонкого

шлифования, затачивания твердосплавных инструментов, обдирочного шлифования и разрезания заготовок.

Электроконтактная обработка относится к размерной обработке, при которой съем металла с обрабатываемой поверхности происходит за счет нестационарных контактно-дуговых процессов между электродами. Метод применим для круглого, торцового и плоского шлифования заготовок точных твердосплавных деталей, обдирочного шлифования, разрезки стальных труб, листовых материалов, прессованных профилей и других работ.

К электроэрозионной относится обработка, в которой поверхностное разрушение материала происходит под действием выделяемой теплоты при электрическом разряде. К ней относятся электроискровая и электроимпульсная обработки. При электроискровой обработке используется широкий диапазон режимов, обеспечивающий как черновую, так и отделочную обработки простых и сложных поверхностей; обработка сопровождается относительно большим износом электрода-инструмента. Электроимпульсная обработка обладает высокой производительностью при черновой обработке за счет введения в зону обработки значительных мощностей при относительном малом износе электрода-инструмента.

Плазменная обработка основана на использовании концентрированного потока тепловой энергии, которой обладает плазменная струя. Она применяется для заготовительных работ и черновой обработки, когда необходимо быстрое удаление значительных объемов металла, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов. Применяется для резки, сварки, наплавки и напыления.

Электронно-лучевая обработка основана на применении электронного пучка, создающего высокую плотность тепловой энергии, которая вызывает плавление и испарение материала в месте его столкновения с обрабатываемой поверхностью, при этом обеспечивается возможность обработки любого материала. Применяется для поверхностной обработки, прошивки отверстий, сварки и др.

Светолучевая (лазерная) обработка основана на использовании концентрированной тепловой энергии, возникающей в специально сформированном световом пучке в зоне его соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. Метод более дешевый в сравнении с электронно-лучевой обработкой, применяется для резки металлических и неметаллических материалов, обеспечивает большую точность обработки.

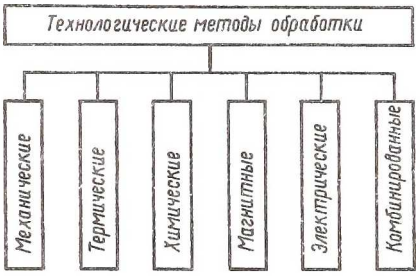


Рис. 1.3. Классификация методов обработки по видам применяемой энергии

Ультразвуковая обработка основана на применении энергии ультразвуковых колебаний для абразивной обработки различных материалов. Для создания колебаний с ультразвуковой частотой применяют специальные устройства, преобразующие электрические колебания в механические (например при использовании магнитострикционного эффекта). Применяют для размерной обработки поверхностей деталей и интенсификации электрохимических процессов.

Нанесением покрытия называют обработку, заключающуюся в образовании на заготовке или детали поверхностного слоя из инородного материала. Нанесение покрытия осуществляется электролитическим способом, напылением, окраской и др.

Исходя из изложенного, приведенные выше технологические методы обработки можно классифицировать по видам энергии, вводимой в зону обработки, разделив их на шесть групп (рис. 1.3).

Сборкой называют методы образования разъемных и неразъемных соединений составных частей изделия. Примерами видов сборки являются клепка, сварка, склеивание и т.д. Применяется сборка с помощью резьбовых элементов (болтов, винтов, шурупов) или резьбовых поверхностей, образованных непосредственно в деталях. *Клепка* — образование неразъемных соединений с помощью заклепок. *Сварка* — образование неразъемных соединений за счет взаимного расплавления и совместного затвердевания материала соединяемых деталей или заготовок в зоне их контакта. На таком принципе основаны методы точечной и роликовой сварки. При электродуговой и газовой сварке используется дополнительный материал в виде электрода или проволоки, который в зоне сварки расплавляется совместно с материалом соединяемых деталей. Существуют и другие методы сварки, основанные, например, на диффузии материала соединяемых деталей. Применяется также сварка трением, контактная и др. *Склеиванием* называют образование неразъемных соединений с помощью различных клеев. Этот прогрессивный метод является весьма перспективным. Следует отметить, что перечисленные

технологические методы могут быть совмещены, образуя комбинированные методы, позволяющие повысить эффективность обработки. К комбинированным, по существу, относится большинство электрохимических и электрофизических методов обработки.

Технологические методы, примененные при изготовлении конкретных изделий (заготовок, деталей, сборочных единиц), составляют основу частных технологических процессов их изготовления. Каждому частному технологическому процессу, входящему в состав технологического процесса изготовления летательного аппарата, соответствуют свойственные только ему технологические методы выполнения. Так, в основе частных технологических процессов изготовления деталей лежат свойственные им методы формообразования или обработки, в основе частных технологических процессов сборки — свойственные им методы образования неразъемных и разъемных соединений, предусмотренные конструкцией сборочных единиц.

Следует отметить, что при разработке частных технологических процессов необходимость применения тех или иных технологических методов определяется в основном в зависимости от конструкции изделия. Изготовление простейших изделий может осуществляться с применением какого-либо одного свойственного ему технологического метода. Частные технологические процессы изготовления изделий сложной конструкции могут включать в свой состав несколько различных технологических методов. Каждой самостоятельной части технологического процесса, выполняемой на одном рабочем месте, при этом будет соответствовать какой-либо один технологический метод.

1.4. СРЕДСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Для осуществления частных технологических процессов в производственных условиях кроме объектов труда, к которым относятся любые элементы конструкции изделия, подлежащего изготовлению (заготовки, детали, сборочные единицы), нужны еще средства (орудия) производства, к которым относят технологическое оборудование и технологическую оснастку (рис. 1.4).

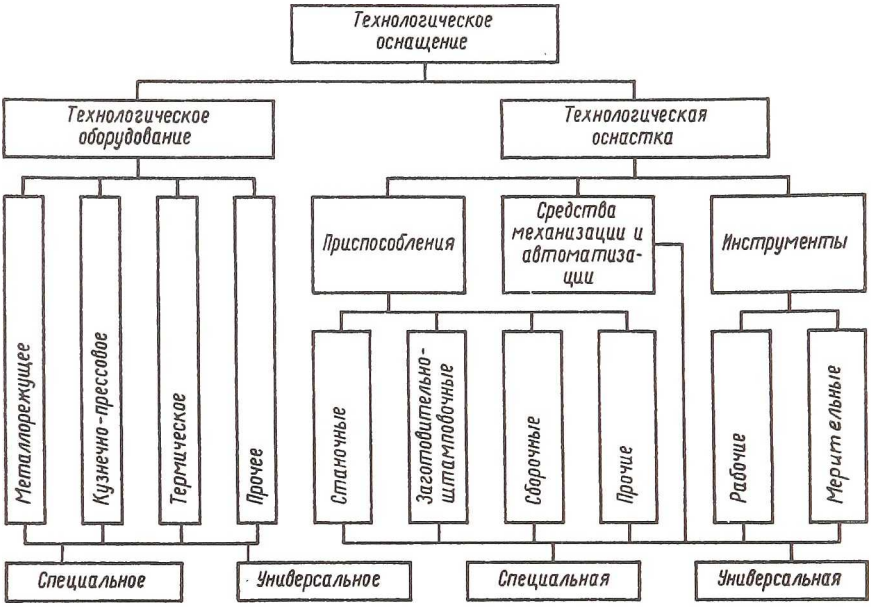


Рис. 1.4. Классификация средств производства, применяемых в производстве летательных аппаратов

Технологическим оборудованием называют средства технологического оснащения, необходимые для выполнения определенной части технологического процесса, в которых размещают и закрепляют материалы, полуфабрикаты и заготовки, средства воздействия на них и при необходимости источники энергии, а также технологическую оснастку (ГОСТ 3.1109—82). К технологическому оборудованию относят металлорежущие станки универсального и специального назначения, прессы, молоты, литейные машины, термические печи и ванны, испытательные стенды, оборудование для электрохимических и электрофизических методов обработки и т.д. С помощью технологического оборудования осуществляется подвод энергии (механической, электрической, тепловой и т.п.) к рабочим инструментам и затем в зону обработки (зону преобразования исходных материалов в готовое изделие).

Следует отметить, что технологическое оборудование может быть использовано по назначению только с применением соответствующей универсальной или специальной технологической оснастки.

Технологической оснасткой называют средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование и необходимые для выполнения определенной части технологического процесса. К технологической оснастке относятся инструменты, приспособления, средства механизации и автоматизации процессов производства.

Инструменты делят на две категории: рабочие и мерительные (контрольные). Рабочие инструменты применяют для непосредственного воздействия на обрабатываемый материал с целью преобразования его в готовые детали или сборочные единицы.

Каждому технологическому методу обработки, положенному в основу частного технологического процесса, соответствует свой вполне определенный вид рабочего инструмента. К рабочим относятся, например, режущие инструменты, используемые при обработке на металлорежущих станках (резцы, сверла, фрезы, развертки, протяжки, шлифовальные круги и др.), штампы для листовой и объемной холодной и горячей штамповки на прессах и молотах, литейные формы, специальные и универсальные клепальные и сварочные инструменты и др.

Для осуществления электрофизической и электрохимической обработок применяют разнообразные специфические виды рабочих инструментов. Причем, название "инструмент" хотя и сохраняется, но функции его существенно отличаются от функций инструментов, применяемых при механической обработке, так как он не воспринимает и не передает заметные нагрузки и силы. В методах электрофизической обработки с непосредственным подводом электрической энергии в рабочую зону инструментом является электрод с негативным изображением получаемого профиля изделия или отверстия (при электроискровых и электроимпульсных методах формоизменения). При других методах электрофизической обработки жесткий токопроводящий инструмент (электрод) может вообще отсутствовать. Например, при электронно-лучевой обработке роль инструмента выполняет пучок электронов, при лазерной (светолучевой) обработке — лазерный луч, при электрогидравлической штамповке — ударная волна, возникающая в результате электрического искрового разряда в гидравлической среде (электрического взрыва), при магнитоимпульсной штамповке инструментом служит магнитное поле, оказывающее давление на обрабатываемый материал.

Мерительный инструмент применяют для измерения размеров и формы изделий в процессе изготовления и для контроля геометрических параметров готовых изделий. К нему относятся универсальные

инструменты для измерения линейных и угловых размеров (линейки, штангенциркули, микрометры, угломеры и др.) и специальные, предназначенные для измерения геометрических параметров определенных видов изделий (калибры, шаблоны, макеты и др.).

Приспособление — технологическая оснастка, предназначенная для установки и закрепления в заданном рабочем положении заготовок и полуфабрикатов в технологическом оборудовании и для направления инструментов при выполнении технологической операции или для установки и закрепления деталей в сборочном положении при сборке. Приспособления могут быть универсальными, пригодными для установки и закрепления многих однотипных заготовок или деталей, и специальными, применяемыми при изготовлении только какого-либо одного изделия. К универсальным приспособлениям относятся, например, тиски для закрепления обрабатываемых заготовок на столе фрезерного станка, патроны и планшайбы для закрепления заготовок и полуфабрикатов при обработке на токарном станке и т.п.

Средства механизации и автоматизации, как свидетельствует их название, применяют для механизации и автоматизации процессов производства с целью облегчения и повышения производительности труда исполнителей, повышения качества изделий и снижения трудоемкости их изготовления.

Технологическое оборудование, технологическую оснастку и средства механизации и автоматизации процессов производства в совокупности называют технологическим оснащением. Вид и число применяемых элементов технологического оснащения определяются технологическим процессом изготовления того или иного элемента конструкции ЛА.

Технологическое оборудование и оснастка перед практическим использованием подвергаются наладке. *Наладкой* называют подготовку и соответствующую настройку технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению определенной технологической операции. К наладке относятся установка и регулирование приспособления на станке, переключение частоты вращения и подачи в соответствии с заданным режимом обработки, установка штампа на столе пресса и его настройка, регулирование и установка заданной температуры в печи при термообработке и т.д. Применяется также термин *подналадка*, под которым понимается дополнительное регулирование технологического оборудования и (или) оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И ЕГО УКРУПНЕННАЯ СТРУКТУРА

2.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ЧАСТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Членение планера летательного аппарата на составляющие конструктивные элементы

Любой летательный аппарат представляет собой весьма сложное машиностроительное изделие; не меньшей сложностью и трудоемкостью отличается и технологический процесс его изготовления. Поэтому в целях облегчения конструкторской разработки, технологического проектирования, производства и эксплуатации летательного аппарата его планер в процессе проектирования расчленяют на законченные в конструктивном и технологическом отношениях составные части, которые после изготовления соединяют методами общей сборки в готовый ЛА. Характер и степень членения определяют на стадии разработки технического задания на проектирование ЛА и на последующих стадиях конструкторской подготовки производства отражают в рабочей конструкторской документации.

Принятую степень членения для удобства изображают в виде специальной схемы, которая после утверждения служит директивным документом для конструкторской и технологической подготовки производства ЛА. Схема членения представляет собой изображение планера ЛА, всех выделенных самостоятельных его сборочных единиц и части типовых деталей (или чаще без них) в таком порядке и масштабе, чтобы можно было ясно представить общую компоновку ЛА [55] (рис. 2.1). Иногда для облегчения схему членения строят упрощенно без эскизного изображения элементов членения, что дает возможность представить общее число и взаимную связь этих элементов, но лишено наглядности.

Членение конструкции планера ЛА осуществляют исходя из конструктивных и технологических требований, поэтому его называют конструктивно-технологическим.

Места соединения расчлененных элементов конструкции планера называют разъемами, при конструктивном членении их называют

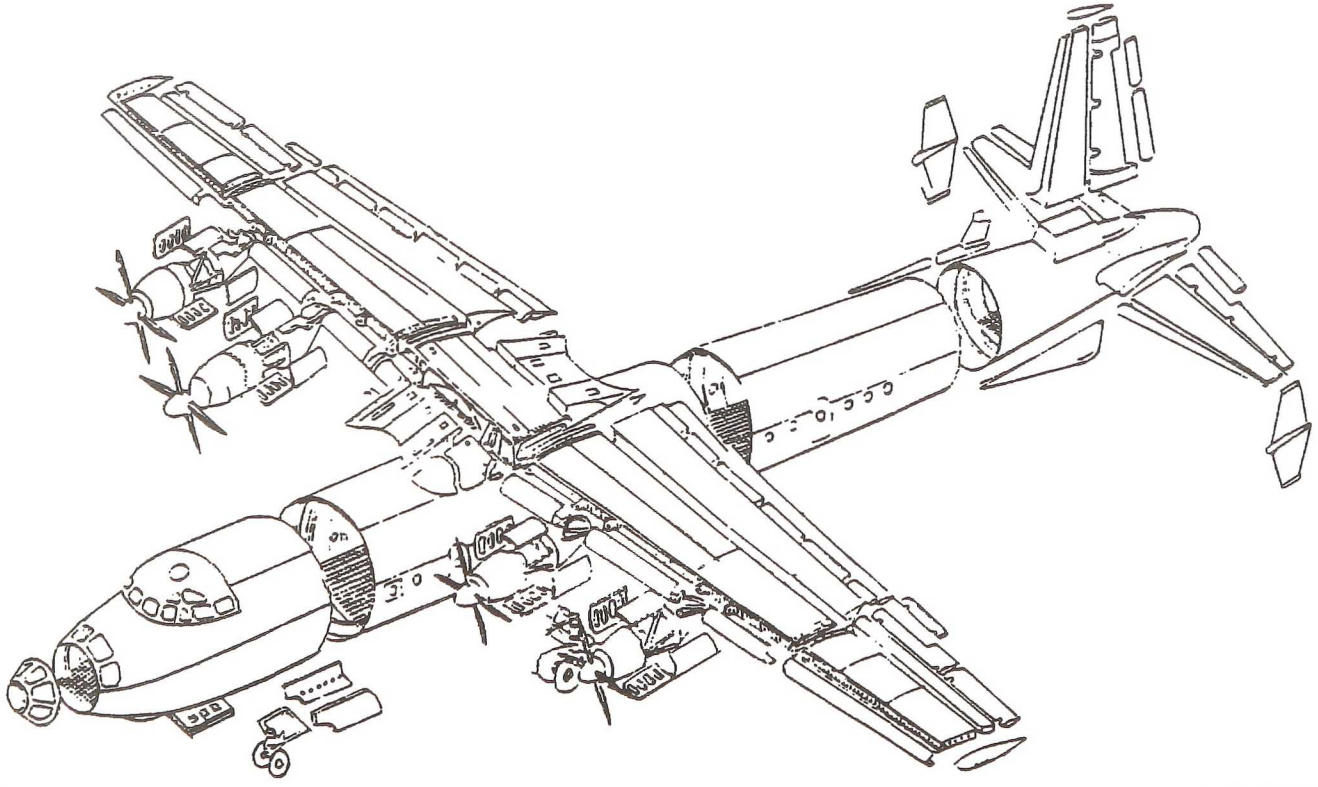


Рис. 2.1. Схема членения планера самолета на составляющие элементы, самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях

конструктивными разъемами, при технологическом — технологическими.

По конструкции и условиям эксплуатации соединения подразделяют на подвижные и неподвижные. Первые обладают возможностью относительного перемещения составных частей, вторые такой возможностью не обладают. Подавляющее большинство соединений при конструктивно-технологическом членении относятся к категории неподвижных. Подвижные соединения применяют в основном в механосборочных единицах общемашиностроительного характера (элементы шасси, стойки амортизаторов и т.д.). Все соединения элементов членения делятся на разъемные и неразъемные.

При конструктивном членении применяют обычно разъемные соединения, т.е. такие, которые позволяют разбирать и вновь собирать конструкцию без разрушения соединяемых или соединяющих деталей. При достаточно высоком уровне взаимозаменяемости один элемент конструкции, вышедший из строя в процессе эксплуатации, по конструктивным разъемам может быть отсоединен от планера летательного аппарата и заменен новым. Конструктивные разъемы, как правило, вызывают утяжеление конструкции в связи с необходимостью применения специальных крепежных деталей для обеспечения надлежащей прочности и в производстве требуют применения дополнительной сборочной оснастки (стыковочных приспособлений, разделочных стендов и др.).

При технологическом членении применяют обычно неразъемные соединения. Элементы технологического членения в чертежах не выделяют в качестве самостоятельных конструктивных изделий, и поэтому разобрать готовую продукцию по этим соединениям без разрушения каких-либо ее составляющих элементов невозможно. Дополнительные крепежные детали в технологических разъемах отсутствуют. Технологические разъемы необходимы только на период сборки изделия для расширения фронта работы и облегчения процесса сборки. После сборки расчлененных элементов технологические разъемы теряют свое первоначальное назначение, по существу, исчезают, и поэтому не могут быть использованы повторно. Технологические разъемы в связи с отсутствием дополнительного крепежа, не вызывают утяжеление конструкции; их назначают технологи при разработке технологических процессов сборки.

В самолетостроении общепринятым является членение планера на следующие составные элементы: агрегаты, отсеки, секции, панели, узлы, детали. Принципиальная упрощенная схема членения без

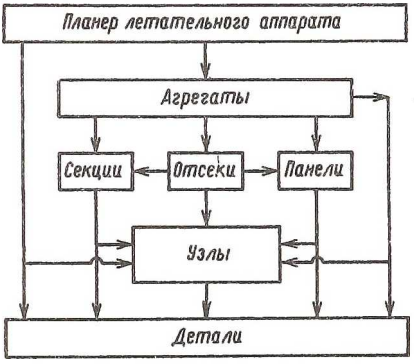


Рис. 2.2. Упрощенная схема членения планера летательного аппарата на составляющие элементы

изображения эскизов сборочных единиц при этом имеет вид, показанный на рис. 2.2.

Агрегат представляет собой наиболее крупную самостоятельную в конструктивном и технологическом отношении часть планера летательного аппарата (например, фюзеляж, крыло, центроплан, стабилизатор и т.п.).

Отсек — это самостоятельная в конструктивном и технологическом отношении часть агрегата, полученная отсечением плоскостью, перпендикулярной к его оси (например, носовая часть фюзеляжа, его средняя или хвостовая части).

Секция — это самостоятельная в конструктивном и технологическом отношении часть агрегата, выделенная продольными сечениями.

Панель — это самостоятельная часть отсека, секции, либо агрегата, имеющая незамкнутую открытую с одной стороны конструкцию, состоящую из листов обшивки и соединенных с ними элементов силового набора (например, панели средней части фюзеляжа, панели крыла и т.д.).

Узел — это часть панели, секции, отсека или агрегата, состоящая из нескольких соединенных между собой деталей (нервюры, шпангоуты, лонжероны и т.п.).

Агрегаты, отсеки, секции, панели и узлы являются сборочными единицами. Согласно принятой классификации узел представляет собой наиболее мелкую, а агрегат — наиболее крупную сборочную единицу. В различных конструкциях ЛА степень членения планера может быть различной. Например, есть ЛА, которые конструктивно членят только на агрегаты, без разделения последних на сек-

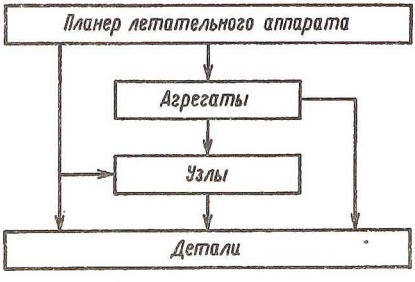
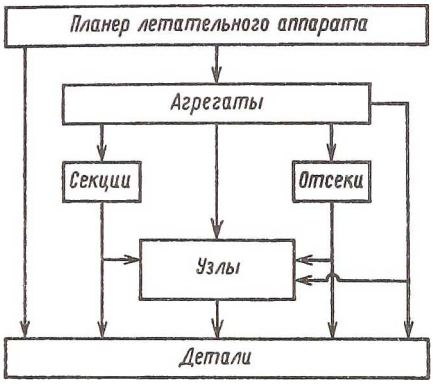


Рис. 2.3. Схема членения планера на агрегаты

Рис. 2.4. Схема членения планера без выделения панелей



ции, отсеки, панели (рис. 2.3). Существуют конструкции, в которых агрегаты делят на отсеки, но панели из них в самостоятельные сборочные единицы не выделяются (рис. 2.4). Иногда конструктивные и технологические разъемы совмещают, исходя из технико-экономических соображений, что уменьшает общее число разъемов в конструкции.

Частные технологические процессы изготовления элементов членения планера

Технологический процесс изготовления ЛА является весьма сложным. Он состоит из многих разнообразных, но взаимосвязанных частных технологических процессов изготовления многочисленных деталей, сборки из них узлов, панелей, отсеков, агрегатов и ЛА в целом, а также процессов выполнения большого объема работ по монтажу систем, их отладке и испытанию.

К частным технологическим процессам относятся процессы литья, обработки металлов давлением, обработки резанием на металлорежущих станках, клепки, сварки, склеивания, термической обработки и другие, привязанные к конкретным изделиям (заготовкам, деталям, сборочным единицам). Эти процессы имеют различную физическую сущность, каждый из них имеет свою специфику, для них необходимо применение специальных, присущих только им орудий производства, но в совокупности они составляют единый технологический процесс изготовления ЛА. Вместе с тем технологический процесс изготовления ЛА — это весьма сложная совокупность взаимосвязанных, закономерно чередующихся составляющих его элементов, предусматривающая их необходимое и целесообразное сочетание, обеспечивающее в конечном счете изготовление ЛА, отвечающего заданным техническим условиям.

Степень конструктивно-технологического членения планера ЛА оказывает существенное влияние на технологию его сборки, очеред-

ность изготовления и соединения его элементов и выполнения монтажных работ. Например, членение конструкции планера самолета на панели и узлы позволяет вынести их сборку из общесборочных стапелей для сборки агрегатов и собирать их как самостоятельные сборочные единицы в детально-сборочных приспособлениях, что обеспечивает значительное улучшение условий и повышение производительности труда. Стапелями называют приспособления для сборки таких крупных сборочных единиц, какими являются агрегаты, отсеки, секции и панели.

Членение планера ЛА на самостоятельные составные части обеспечивает разделение труда при их конструкторской разработке в ОКБ и при изготовлении на заводе, снижение затрат труда на проектирование, изготовление и эксплуатацию ЛА, облегчение и упрощение ремонтных работ при эксплуатации. Конструктивная и технологическая законченность элементов членения обеспечивает возможность разработки и осуществления технологических процессов их изготовления как самостоятельных машиностроительных изделий.

Технологические процессы изготовления элементов членения авиационных конструкций являются частными технологическими процессами. Причем технологический процесс изготовления агрегата будет частным технологическим процессом по отношению к технологическому процессу изготовления планера, технологический процесс изготовления отсека будет частным по отношению к изготовлению агрегата и планера, технологический процесс изготовления панели будет частным по отношению к процессам изготовления отсека, агрегата и планера, а технологический процесс изготовления узла будет частным технологическим процессом по отношению к технологическим процессам изготовления панели, секции отсека, агрегата и планера. Технологический процесс изготовления детали будет частным технологическим процессом по отношению к технологическим процессам изготовления всех сборочных единиц, в конструкцию которых входит данная деталь.

Технологический процесс изготовления сборочной единицы кроме того может быть разделен на частные технологические процессы сборки и испытания (контроля). Технологический процесс изготовления детали может быть тоже разделен на частные технологические процессы изготовления заготовки и ее обработки (например на частный технологический процесс изготовления заготовки методом литья и частный технологический процесс обработки заготовки на металлорежущем станке).

2.2. ОБЩАЯ СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Изложенные понятия о технологическом процессе изготовления ЛА, о частном технологическом процессе и о конструктивно-технологическом членении авиационных конструкций дают возможность воспроизвести общую типовую структуру технологического процесса изготовления ЛА.

На самолетостроительный завод поступают различные материалы, полуфабрикаты, основные комплектующие изделия, которые в результате производственной деятельности предприятия и осуществления частных технологических процессов перерабатываются в готовую продукцию. Технологический процесс изготовления летательного аппарата при этом может быть условно разделен на следующие самостоятельные и вместе с тем взаимосвязанные закономерно, следующие за друг другом типовые группы частных технологических процессов: получение заготовок; изготовление деталей; сборка элементов конструкции; общая сборка ЛА; выполнение монтажных работ; наземные и летные (для самолетов) испытания изделия и его систем.

Каждая из этих групп, в свою очередь, может быть разделена на характерные, более мелкие, группы частных технологических процессов изготовления конкретных элементов конструкции ЛА.

Типовую структуру общего технологического процесса изготовления летательного аппарата с учетом составляющих его групп частных технологических процессов и с указанием связей между ними можно представить в виде наглядной схемы (рис. 2.5). Изготовление изделия начинают с изготовления заготовок и деталей. При осуществлении именно этих частных технологических процессов исходные материалы и полуфабрикаты начинают перерабатывать в продукцию предприятия. Причем, в зависимости от вида материалов и полуфабрикатов и конструкции деталей технологические процессы их изготовления, а также получения заготовок для них, могут быть весьма разнообразными.

В основу технологических процессов изготовления деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб положены технологические методы заготовительно-штамповочных работ (обработки давлением), выполняемые на различном заготовительно-штамповочном оборудовании (ножницы, прессы, гибочное и обтяжное оборудование и др.). Листовые материалы вначале

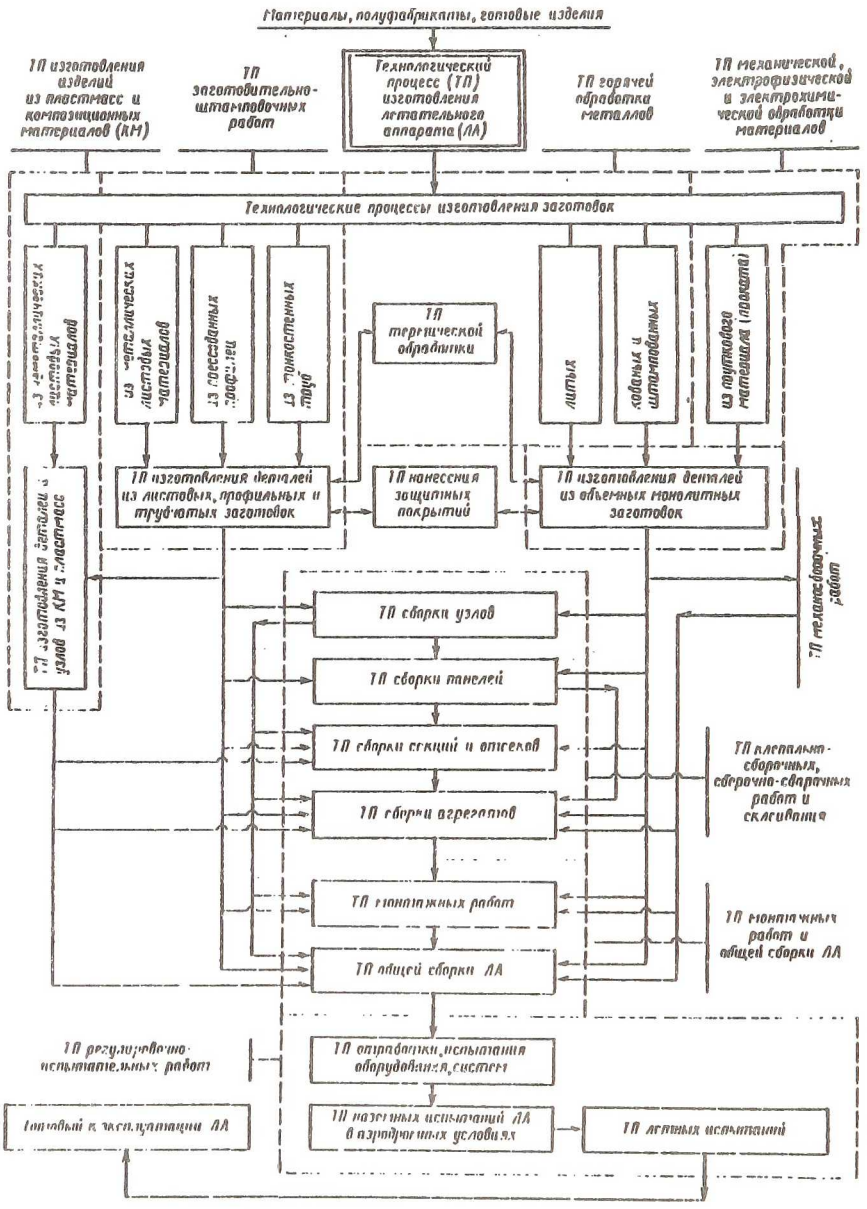


Рис. 2.5. Типовая структура технологического процесса изготовления летательного аппарата

раскраивают (делят) на заготовки: полосы или карточки. Затем из них изготовляют развертки и детали. Прессованные профили и тонкостенные трубы раскраивают по длине на мерные заготовки, которые могут быть с концевыми припусками на последующую обработку или без припусков.

Детали из круглого и фасонного проката, из литых, штампованных и кованых заготовок изготовляют на металлорежущих станках методами обработки резанием. Из этих же материалов и заготовок изготовляют детали методами электрохимической и электрофизической обработок. Сами литые и штампованные заготовки изготовляют литьем, горячей штамповкой и ковкой. Заготовки деталей, изготовляемых непосредственно из проката, получают путем отрезки их от прутков стандартной длины на токарных станках или на специальных дисковых пилах.

Детали из пластических масс изготовляют формованием или литьем с применением пресс-форм в качестве рабочего инструмента. В конструкциях современной авиационной и космической техники все больший удельный вес занимают полимерные композиционные материалы, изделия из которых изготовляют склеиванием, формованием и намоткой с применением специальных оборудования и технологической оснастки.

В соответствии с принятым в производстве летательных аппаратов конструктивно-технологическим членением планера из общего технологического процесса сборки изделия можно выделить относительно самостоятельные частные технологические процессы сборки узлов, панелей, отсеков, секций, агрегатов и общей сборки планера ЛА. В случае, если конструкция последнего полностью расчленена на указанные элементы, сборку начинают с изготовления самых малодетальных сборочных единиц — узлов (узловая сборка). Затем из узлов собирают панели (панельная сборка), из панелей, узлов и деталей собирают секции, отсеки и агрегаты (агрегатная сборка). Последние стыкуются в планер ЛА (окончательная или общая сборка).

Часть деталей идет непосредственно на сборку каждой из указанных сборочных единиц, минуя узлы. Часть узлов идет на сборку секции, отсеков либо агрегатов или на общую сборку планера, минуя панели. Отдельные панели могут идти непосредственно на сборку агрегатов, минуя секции и отсеки.

Особую категорию составляют механосборочные процессы, связанные с производством сборочных единиц, состоящих из жестких

монолитных деталей, изготовляемых на металлорежущем оборудовании. Эти процессы имеют общемашиностроительный характер и выполняются свойственными им технологическими методами.

При изготовлении ЛА по специальным частным технологическим процессам выполняется большой объем различного рода монтажных работ по установке поступивших на завод в виде комплектующих изделий двигателей, шасси, органов управления, источников питания топливом и электроэнергией, радиоаппаратуры, различных приборов, оборудования, монтажу коммуникаций и т.п. Технологические процессы этих работ тоже могут быть условно выделены из общего технологического процесса изготовления ЛА в самостоятельные (частные) технологические процессы. Причем все эти работы ведутся не только после или в процессе общей сборки планера ЛА, но и в процессе сборки его агрегатов, секций, отсеков и некоторых достаточно крупных узлов. На схеме они выделены условно в самостоятельные работы, выполняемые после общей сборки ЛА.

Заключительным этапом технологического процесса изготовления ЛА являются проверка, регулирование и испытание различных его систем и, наконец, испытание изготовленного изделия в наземных и летных условиях.

В рассмотренной типовой структуре технологического процесса изготовления ЛА приведены только основные частные технологические процессы, трудоемкость которых в общей трудоемкости изделия имеет достаточно большой удельный вес. Часть процессов со сравнительно небольшой трудоемкостью для упрощения на схеме не показана.

Из общего технологического процесса изготовления летательного аппарата в целях дальнейшего изучения выделяют следующие самостоятельные группы частных технологических процессов:

технологические процессы изготовления заготовок для монолитных объемных деталей;

технологические процессы механической обработки резанием;

технологические процессы заготовительно-штамповочных работ;

технологические процессы изготовления изделий из композиционных материалов;

технологические процессы клепально-сборочных работ;

технологические процессы сборочно-сварочных работ;

технологические процессы механосборочных работ;

технологические процессы общей сборки ЛА и монтажных работ;

регулировочно-испытательные технологические процессы.

В отдельную группу выделяют также частные технологические процессы электрохимической и электрофизической обработки материалов, применяемые пока при изготовлении сравнительно небольшой номенклатуры деталей.

Конкретное изучение названных технологических процессов и методов их выполнения осуществляется в курсах "Физико-химические основы технологии", "Технология механической обработки резанием", "Технология заготовительно-штамповочных работ", "Технология сборочных и монтажных работ", "Технология сборочно-сварочных работ", "Технология изделий из композиционных материалов".

2.3. ЧЛЕНЕНИЕ ЧАСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Частные технологические процессы относятся к процессам труда, имеющим сложную структуру. Как всякий сложный процесс труда каждый частный технологический процесс изготовления детали или узла, сборки агрегата или отсека, монтажа или испытания систем изделия может быть разделен на составляющие элементы. К их числу в условиях производства ЛА, независимо от структуры технологического процесса, принятых методов обработки и технологического оснащения, относятся: технологическая операция; технологический переход, рабочий ход, прием.

Технологическая операция является первичным элементом любого частного технологического процесса. *Технологическая операция* представляет собой наиболее крупную законченную часть технологического процесса, которая выполняется непрерывно в конкретных производственных условиях на одном и том же рабочем месте одним или несколькими рабочими. Например, вырубка штампом заготовки по контуру будет представлять собой операцию вырубки, гибка детали штампом — операцию гибки, соединение деталей узла заклепками — операцию клепки, обработка заготовки на токарном станке — токарную операцию, сверление в заготовке отверстия на сверлильном станке — сверлильную операцию и т.д.

Технологическая операция может быть простой и сложной. Простой называют операцию, выполняемую одним рабочим, сложной — выполняемую одновременно несколькими рабочими. Простыми являются, например, операции, выполненные при

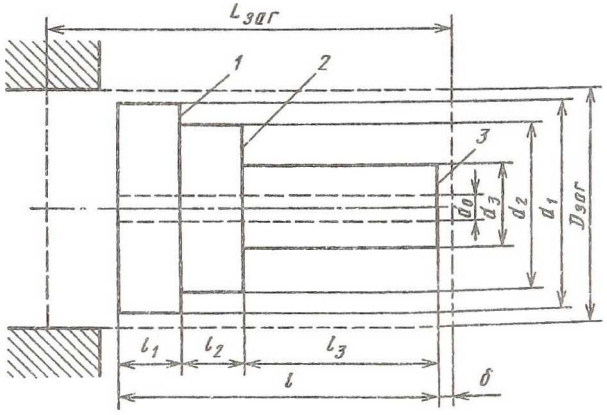


Рис. 2.6. Типовая деталь типа тела вращения

изготовлении деталей на металлорежущих станках или на прессах. Примером сложных операций могут служить сборочные операции, входящие в состав технологических процессов сборки летательных аппаратов, их агрегатов, отсеков и узлов, когда при выполнении каждой из них на одном и том же рабочем месте занято несколько рабочих.

Технологическая операция отражает организационно-экономическую сущность технологического процесса и преследует цель его оснащения, нормирования, планирования, регулирования, учета и контроля. Деление технологического процесса на операции определяется достигнутым техническим уровнем предприятия-изготовителя изделия, его технологическими возможностями (производственной обстановкой), принятыми организационными формами и объемом производства. Технологическая операция по существу представляет собой комплекс непрерывно чередующихся действий оборудования и исполнителей на одном рабочем месте, обеспечивающих заданное изменение свойств предмета производства в конкретных производственных условиях [53].

Для иллюстрации рассмотрим операцию токарной обработки заготовки детали вращения, показанной на рис. 2.6. Деталь изготовляют из заготовки длиной $L_{заг}$, отрезанной от пруткового материала. Диаметр $D_{заг}$ берется с припуском по отношению к диаметру d_1, для последующей обработки. *Припуск* — это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности (ГОСТ 3.1109—82).

Поскольку все поверхности этой детали можно получить обработкой на токарном станке с одного установа при непрерывно чередующихся действиях станка и исполнителя, то токарная операция, как законченная часть технологического процесса, будет включать полное изготовление детали по всем указанным на чертеже размерам. В случае если в конструкции детали будут предусмотрены отверстия малого диаметра, оси которых нормальны к оси, то в технологическом процессе появится вторая операция — сверление отверстий. Точение при этом будет закончено, сверление будет выполняться на сверлильном станке на другом рабочем месте.

В состав частных технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц входят операции трех категорий: подготовительные, основные и завершающие (финишные). Подготовительные операции обеспечивают подготовку материалов, полуфабрикатов, заготовок, деталей, комплектующих готовых изделий к выполнению основных операций. При выполнении основных операций осуществляется непосредственная переработка исходных материалов и изделий в продукцию предприятия. Основная операция при этом составляет ту часть технологического процесса, характер которой определяется принятым технологическим методом обработки. Операции одного и того же частного технологического процесса могут выполняться различными методами. Причем, каждая операция может выполняться только одним присущим ей технологическим методом. Заключительные (финишные) операции предусматривают окончательную доводку изготовленных изделий и контроль их качества.

Например, в состав частных технологических процессов изготовления деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб в качестве подготовительных операций входят: расконсервация, контроль и транспортирование к рабочим местам исходных материалов и полуфабрикатов. В качестве основных применяются операции: разделительные (раскрой листовых материалов на полосы, либо на карточки, раскрой прессованных профилей и труб по длине на мерные заготовки, разделительная штамповка, изготовление деталей и заготовок на копировально-фрезерных станках, на ленточных пилах и т.д.) и формоизменяющие (изготовление деталей гибкой, вытяжкой, отбортовкой, обтяжкой, гибкой с растяжением, гибкой на роликовых станках и др.). Завершающими являются операции обрезки технологических припусков, зачистки заусенцев, доводки деталей, связанной с устранением мелких

дефектов, термической обработки, нанесения защитных покрытий, клеймения и контроля качества деталей.

При изготовлении заготовок методом литья в песчаные формы в состав частных технологических процессов в качестве подготовительных операций входят: приготовление формовочных и стержневых смесей, составление шихты, плавка металла. Основными операциями являются: изготовление форм и стержней, заливка металла в формы и обеспечение заданного режима его затвердевания, выбивка, обрубка и зачистка литья. К категории завершающих относятся операции удаления и зачистки приливов, контроль готового литья.

В состав частных технологических процессов механической обработки резанием в качестве подготовительных операций входят: расконсервация и очистка пруткового материала или расконсервация и очистка специальных заготовок и полуфабрикатов (литых, кованых, штампованных, катаных), термообработка (отжиг, закалка, в случае необходимости): транспортирование к рабочим местам. В качестве основных применяются операции раскроя прутков на заготовки (при изготовлении деталей из пруткового материала), формообразование деталей обработкой заготовок на металлорежущих станках, а в качестве завершающих — операции зачистки, клеймения и контроля готовой продукции.

При выполнении частных технологических процессов сборки клепаных конструкций в качестве подготовительных применяют операции подбора, сортировки и комплектации деталей, входящих в состав сборочной единицы, их транспортирования к рабочим местам. В состав основных операций входят установка деталей в сборочное положение по базовым элементам сборочного приспособления и предварительное закрепление деталей с помощью зажимных устройств, сверление и зенкование отверстий под контрольные заклепки, постановка контрольных заклепок, извлечение сборочной единицы из приспособления, сверление и зенкование всех остальных отверстий и постановка остальных заклепок (внестапельные работы). Завершающими являются операции контроля качества клепки и доработка заклепочных соединений (замена некондиционных заклепок, выявленных при контроле), герметизация заклепочных соединений, окраска сборочной единицы и окончательный контроль ее качества и клеймение.

Аналогичное членение операций на подготовительные, основные и завершающие осуществляется и в других частных технологических процессах.

Технологический переход представляет собой законченную часть технологической операции, выполняемую одними и теми же средствами технологического оснащения относительно одних и тех же поверхностей, образуемых обработкой или соединением деталей при сборке, при неизменном режиме обработки или сборки. Таким образом, при выполнении перехода остаются неизменными обрабатываемая поверхность, инструмент и режим обработки.

Для детали, показанной на рис. 2.6, переходами будут: точение по диаметру d_1 на длине $l_1 + l_2 + l_3 + \delta$, точение по диаметру d_2 на длине $l_2 + l_3 + \delta$, подрезка торца *1*, точение по диаметру d_3 на длине $l_3 + \delta$, подрезка торца *2*, подрезка торца *3* с удалением припуска δ, отрезка по длине l. Применяется также термин "вспомогательный переход", под которым понимают законченную часть технологической операции, состоящую из действий оператора или оборудования, не сопровождаемых изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей, но необходимых для выполнения технологического перехода (установка заготовки, смена инструмента и т.п.).

В общем машиностроении, а иногда и в самолетостроительном производстве из технологической операции выделяют также установ и позицию. В соответствии с ГОСТ 3.1109—82 *установом* называют часть технологической операции, которая выполняется при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или сборочной единицы в процессе ее сборки. *Позицией* называют фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Ход — это часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно обрабатываемой заготовки. При механической обработке резанием, например, переход делят на ходы тогда, когда весь слой материала, подлежащий удалению, за одно перемещение инструмента снять нельзя.

Для детали, показанной на рис. 2.6, в случае, если припуск на обработку $(D_{заг} - d_1)/2$ и высота ступенек $(d_1 - d_2)/2$ и $(d_2 - d_3)/2$ будет больше предельно допустимой глубины резания, каждый из переходов необходимо будет выполнить за несколько перемещений резца относительно каждой обрабатываемой поверхности, т.е. за несколько ходов.

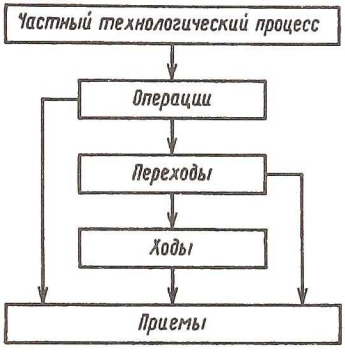


Рис. 2.7. Схема членения частного технологического процесса на составляющие элементы

Ходы назначают также при высоких требованиях к чистоте поверхности и повышенной точности размеров детали. В этом случае выделяют черновой ход, при выполнении которого снимается основная часть припуска, и чистовой, при котором снимается оставшаяся после чернового хода небольшая часть припуска и достигается заданные точность размеров и качество поверхности детали. Ходы (кроме первого) являются вынужденной, но нежелательной частью перехода, так как они увеличивают трудоемкость и снижают экономическую эффективность процессов.

При выполнении перехода или хода могут быть выделены рабочий и вспомогательный ход инструмента. *Рабочим ходом* при этом называют законченную часть технологического перехода, которая состоит из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств материала заготовки. *Вспомогательным ходом* называют законченную часть технологического перехода, состоящую из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств материала заготовки.

Прием — это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением, например: взять полосу штампуемого материала, вставить ее в направляющие штампа, произвести штамповку (включить пресс), передвинуть полосу на шаг штамповки и т.д. Каждое из этих элементарных действий оператора будет являться приемом.

Иногда в частных технологических процессах могут отсутствовать ходы и переходы, тогда операция сразу делится на приемы. Это чаще всего бывает при выполнении заготовительно-штамповочных работ, т.е. при изготовлении деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб. Членение частного технологического процесса на составляющие элементы для наглядности можно представить в виде схемы, показанной на рис. 2.7.

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ХАРАКТЕР, СТРУКТУРУ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОТ КОТОРЫХ ЗАВИСЯТ ЧАСТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ. ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТ КОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТА ПРОИЗВОДСТВА

Каждый частный технологический процесс проектируется, оснащается и осуществляется с конкретной целью — обеспечить изготовление заданного изделия (детали, сборочной единицы) высокого качества, соответствующего требованиям рабочего чертежа и технических условий, в необходимом количестве и с наименьшими затратами труда и материалов. Поэтому реальный технологический процесс, осуществляемый на предприятии, всегда органически связан с каким-либо определенным элементом конструкции изделия, последовательность изготовления которого он определяет. Отвлеченных технологических процессов, не связанных с изготовлением конкретных изделий, не существует.

Наряду с этим, каждый технологический процесс совершается при вполне определенных внешних (производственных) условиях, с которыми он тоже непосредственно связан. Существенное значение при этом имеет объем производства и производственная программа предприятия. Поэтому и сам элемент конструкции и внешние условия, при которых происходит его изготовление, оказывают весьма существенное влияние на структуру и технико-экономические показатели технологических процессов.

Из всего многообразия факторов, от которых зависит характер технологических процессов, можно выделить и отнести к категории главных следующие:

конструкция объекта производства;

объем производства и программа выпуска изделий;

производственная обстановка на конкретном предприятии, на котором организуется изготовление изделия;

требования техники безопасности, промсанитарии и экологии.

Рассмотрим в общих чертах характер влияния на технологические процессы каждого из этих основных факторов.

Общая характеристика влияния конструкции на технологию

Конструкция машиностроительного изделия определяется совокупностью таких его свойств, как состав и назначение его частей, их взаимное расположение в пространстве, форма, размеры и точность их выполнения, материалы и методы соединения составных частей между собой. Каждое из этих свойств оказывает соответствующее влияние на технологический процесс изготовления изделия, а их совокупность по существу определяет его содержание и структуру. Для изготовления каждого изделия, представляющего собой самостоятельную в конструктивном и технологическом отношениях часть ЛА, требуются свои технологические методы и специфические условия, которые определяют вид необходимого оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочих и мерительных инструментов), организацию и структуру рабочего места и его обслуживания.

Технологические методы изготовления изделия и его элементов по существу закладываются в конструкцию в процессе ее проектирования. Например, если деталь имеет плоскую конфигурацию и выполнена из листового алюминиевого сплава, то изготовить ее можно либо с применением заготовительно-штамповочных работ, т.е. либо на механических ножницах, либо на специальном двухкоординатном фрезерном станке, либо вырубкой штампом на прессе. Если же листовая деталь имеет прямолинейные бортики, то их гибка может быть произведена только с применением соответствующего технологического оборудования и оснастки. Листовую деталь двоякоизогнутой полой конструкции или с криволинейными в плане бортами можно изготовить либо вытяжкой на прессе, с применением специальных вытяжных штампов, либо на специальном формообразующем оборудовании путем обтяжки. Методы штамповки, применяемая оснастка и оборудование в зависимости от конструкции детали могут быть различными.

Если деталь имеет пространственную монолитную конструкцию, то изготовить ее можно только с применением механообработки на металлорежущих станках. Причем и в этом случае конкретный технологический метод обработки определяется конструктивными особенностями детали и, по существу, заложен в ее конструкцию:

если деталь имеет форму тела вращения, то ее изготовляют на станках токарной группы с применением соответствующих приспособлений и инструментов; при наличии в детали цилиндрических отверстий относительно малого диаметра их получают сверлением на тех же токарных станках, либо на универсальных сверлильных станках. Для обработки отверстий большого диаметра применяют расточные станки. Если монолитная деталь имеет плоские или криволинейные поверхности с линейчатыми образующими, то ее изготовляют на горизонтально-фрезерном станке, если ее поверхность имеет сложную форму двоякой кривизны — на вертикально-фрезерном станке и т.д.

Существенное влияние на технологический процесс изготовления деталей на металлорежущем оборудовании оказывает конструкция и материал заготовки или полуфабрикатов. Если чертеж детали в качестве материала для ее изготовления предусматривает сплав АЛ9 (литейный), то заготовку для нее следует получить методом литья, если сплав АК6 — методом горячей штамповки или ковки и т.д.

Точность изготовления и чистота поверхностей заготовок в значительной мере определяются заданной в чертеже детали точностью размеров и формы, качеством поверхностей, не подвергаемых в дальнейшем механической обработке. Чем точнее эти размеры и выше качество поверхностей, тем более точные и трудоемкие методы изготовления заготовки должны быть применены. В связи с тем, что каждый из методов получения заготовок обладает вполне определенными точностными возможностями, точность и качество поверхностей заготовок, заданные в проекте, определяют те методы, которые должны быть применены для ее изготовления.

Технологический процесс сборки узла зависит от принятого конструктором метода соединения входящих в конструкцию деталей. При соединении деталей заклепками основным будет технологический процесс клепально-сборочных работ, при соединении сваркой — технологический процесс сварочных работ и т.д.

Из изложенного следует, что конструкция изделия определяет не только содержание и структуру технологического процесса его изготовления, но и оказывает существенное влияние на экономические показатели технологии.

Конструктивные особенности современных летательных аппаратов и их влияние на технологию производства

Современные летательные аппараты, как объекты производства, от других машиностроительных изделий отличаются рядом специфических особенностей, оказывающих существенное влияние на технологию их изготовления. Именно это дало нам право говорить о технологии производства летательных аппаратов как о самостоятельной науке. Отметим главные отличительные особенности конструкции ЛА, оказывающие наиболее существенное влияние на структуру, содержание и технико-экономические показатели технологических процессов их изготовления.

1. Большая номенклатура разнообразных по конструкции и размерам деталей, идущих на изготовление планера. Например, число деталей, изготовляемых из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб, в конструкции планера современного тяжелого самолета достигает 90 — 100 тыс.; деталей, изготовляемых на металлорежущих станках — нескольких десятков тысяч, а различных нормализованных и стандартизованных крепежных деталей (заклепок, винтов, болтов) — нескольких миллионов. Все это требует разработки огромного числа различных частных технологических процессов, проектирования и изготовления весьма большого числа технологической оснастки.

Для характеристики укажем, что для серийного изготовления такого крупного самолета, как ТУ-154, требуется около тысячи различных сложных по конструкции, сборочных и сварочных приспособлений и испытательных стендов, до 150 тыс. различных шаблонов и другой специальной контрольной оснастки, около 12 тыс. станочных приспособлений, более 15 тыс. штампов для листовой штамповки, болес 20 тыс. наименований различного специального, нормализованного и стандартизованного рабочего инструмента, много литейной, кузнечной и другой технологической оснастки.

2. Насыщенность летательных аппаратов весьма сложным, различным по конструкции и назначению оборудованием, приборами, специальными механизмами. Для их монтажа, испытания и наладки как в отдельности, так и в комплексе, необходимо разрабатывать и осуществлять большее число специфических технологических процессов и специальных регламентных работ, проектировать и изготовлять испытательные стенды и другие устройства.

Задача усложняется тем, что к системам, монтируемым на ЛА, предъявляются высокие требования качества и надежности. Все системы в процессе эксплуатации должны работать безотказно; это требует весьма тщательной их отработки, что составляет большую технологическую сложность.

3. Большая номенклатура используемых материалов с весьма разнообразными физико-механическими свойствами. Для производства ЛА требуются различные металлы и сплавы, как цветные, так и черные, неметаллические материалы (пластмассы, резины, ткани, древесина), металлокерамические, спеченные и другие материалы, для изготовления деталей из которых необходимо применение специальных технологических методов.

В современных конструкциях ЛА все более широкое применение находят композиционные материалы с углеродными и боровыми волокнами, обладающие высокой направленной прочностью, технология изготовления изделий из которых отличается большой сложностью и наличием особого технологического оснащения.

С появлением космических летательных аппаратов и повышенными требованиями к их надежности и долговечности в тяжелых условиях эксплуатации, связанных с резкими изменениями температуры от значений, близких к абсолютному нулю до нескольких сотен градусов тепла, с космическим облучением, глубоким вакуумом, потребовались новые высокопрочные и стойкие материалы, многие из которых трудно поддаются обработке обычными технологическими методами (сплавы на основе титана, циркония, бериллия) и требуют разработки новых, как правило, весьма сложных технологических процессов.

4. Сложность пространственных форм как отдельных элементов конструкции, так и летательного аппарата в целом. Высокие скорости полета современных самолетов предъявляют высокие требования к форме и точности выполнения аэродинамических обводов планера с целью уменьшения его аэродинамического сопротивления. В связи с этим усложнились пространственные формы элементов обшивки агрегатов и сопрягающихся с ними деталей каркаса, повысилась их точность, что значительно увеличило сложность их изготовления. Все это потребовало разработки специальных технологических методов формообразования деталей, новой сложной технологической оснастки и технологического оборудования, которые в других отраслях машиностроения не применяются

(обтяжные пресса, оборудование для гибки с растяжением, обтяжные пуансоны и др.).

5. Малая жесткость вследствие ограниченной массы большинства отдельно взятых деталей обшивки и каркаса планера, особенно имеющих большие габаритные размеры, которая приводит к изменению формы и размеров деталей под действием собственной массы в зависимости от их положения в пространстве. Это вызвало необходимость разработки новых технологических процессов изготовления деталей такого типа и их контроля, новой, особо жесткой технологической оснастки, новых технологических методов обеспечения необходимой точности и взаимозаменяемости, характерных только для производства ЛА.

6. Большая трудоемкость изготовления деталей, узлов, агрегатов и ЛА в целом. Эта отличительная особенность является следствием рассмотренных выше других отличительных особенностей конструкции ЛА. Особой сложностью, следовательно и наиболее высокой трудоемкостью отличаются монтажно-сборочные, регулировочные и испытательные работы.

7. Высокие требования к качеству ЛА в целом и отдельных его частей. Требования к качеству ЛА существенно превышают требования к качеству, надежности и долговечности других машиностроительных изделий. Все это в значительной мере усложняет технологию изготовления элементов конструкции летательных аппаратов, особенно монтажно-регулировочные и контрольно-испытательные операции и, следовательно, повышает требования к качеству и стабильности выполнения технологических процессов.

8. Большой объем работ по непрерывной модернизации и частая смена объектов производства характерны для ЛА любой конструкции. Авиационная и космическая техника непрерывно совершенствуются и развиваются высокими темпами. Если конструкцию самолета, находящегося в серийном производстве, оставить стабильной, то в течение непродолжительного времени она морально устареет, и производство самолета станет нецелесообразным. Поэтому постоянное совершенствование и модернизация конструкций ЛА является одной из важнейших задач.

В результате непрерывной модернизации ЛА для авиационного производства характерны частые изменения конструкции отдельных деталей и сборочных единиц планера, что вызывает необходимость разработки большого числа новых технологических процессов,

проектирования и изготовления многочисленной технологической оснастки, т.е. влечет за собой частую повторяемость работ по технологической подготовке производства. Поэтому на заводах авиационного профиля технологическая подготовка производства происходит непрерывно и при серийном производстве ЛА.

Указанные отличительные особенности конструкции и производства ЛА требуют наличия на авиационных предприятиях мощных служб и цехов технологической подготовки производства.

Влияние технологии на конструкцию изделия. Взаимосвязь развития конструкции и технологии

Ранее было показано, что конструкция изделия оказывает определяющее влияние на технологический процесс его изготовления. Это обусловлено тем, что основные параметры технологического процесса и принятые в нем технологические методы формообразования или обработки закладываются в конструкцию при ее проектировании. Вместе с тем технология изготовления изделия, технологические методы формообразования и обработки оказывают не менее существенное влияние на его конструкцию, так как последняя при всех условиях должна соответствовать технологическим возможностям современных технологических методов, положенных в основу технологического процесса.

Каждый технологический метод обладает определенными технологическими возможностями, которые ограничивают сферу его применения, и поэтому предъявляют свои специфические требования к конструкции изделия. Только при условии, что последняя будет отвечать им, изделие может быть изготовлено с минимальными затратами труда, материалов, времени и будет иметь высокое качество.

Например, на выбор материалов для деталей, изготовляемых методами листовой штамповки, а также на выбор конструктивных форм их элементов и допусков размеров, наряду с эксплуатационными требованиями существенное влияние оказывают технологические возможности этих методов, характер физических явлений, происходящих в материале при их практическом осуществлении. В связи с этим детали, изготовляемые разделительными операциями, выполняемыми на двухкоординатных фрезерных станках, должны иметь одни

соотношения размеров и форму конструктивных элементов, при разделительных операциях, выполняемых штампами с жесткими рабочими частями — другие, с применением эластичных сред — третьи, при магнитоимпульсной разделительной штамповке — четвертые и т.д. Различными будут и производственные погрешности (погрешности размеров) элементов конструкции.

При конструировании монолитных деталей, заготовки которых подвергают обработке резанием, существенное влияние на выбор материала для них, кроме чисто конструктивных и эксплуатационных требований, оказывает обрабатываемость материалов резанием, которая зависит от химического состава, физико-механических свойств и структуры.

Значительное влияние на конструктивные формы изделий оказывают методы получения заготовок для последующей обработки резанием. Очевидно, что литые заготовки должны иметь одни геометрические параметры, кованые — другие, штампованные — третьи. Причем и литые заготовки (детали), в зависимости от применяемых методов литья (литье в песчаные формы, в корковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением), будут иметь различные конструктивные формы и различные припуски на дальнейшую механическую обработку, что соответственно должно быть отражено в конструкции заготовок и деталей. Не менее существенные требования к конструкции изделий предъявляются в соответствии с методами соединения деталей при сборке (клепка, сварка, склеивание).

Таким образом, применяемые технологические методы по существу определяют, какой должна быть конструкция. Поэтому технологические возможности технологических методов, положенных в основу технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, в процессе проектирования изделий приобретают характер обязательных технологических требований к их конструкции.

Взаимное влияние конструкции и технологии хорошо прослеживается в процессе анализа развития авиационной техники в России и за рубежом. В первые годы становления отечественной авиации (1919 г. и начало 20-х гг.) самолеты имели простую деревянную конструкцию с полотняной обшивкой. Для их изготовления была использована известная в то время технология деревообработки, применяемая в мебельной промышленности. Конструктивные формы деталей и

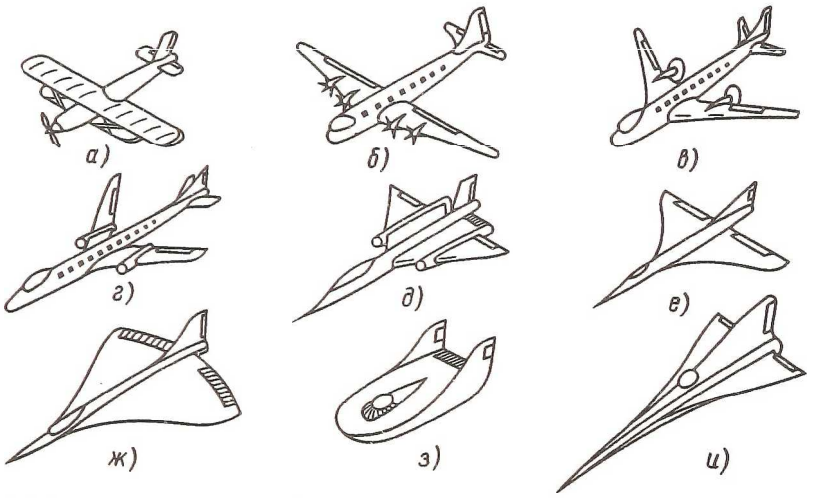


Рис. 3.1. Эволюция внешнего облика самолетов в зависимости от скорости полета: *а* — до 300 км/ч; *б* — от 300 до 500 км/ч; *в* — от 500 до 900 км/ч; *г* — от 900 до числа 1М полета; *д* — от 1М до 2М; *е* — от 2М до 3М; *ж* — от 3М до 4М; *з* — от 4М до 6М; *и* — свыше 6М

сборочных единиц соответствовали технологическим возможностям существовавших тогда методов деревообработки. Для изготовления сборочных единиц применялись методы соединения деталей с помощью винтов, болтов, а также склеивания известными в то время органическими клеями.

За несколько десятилетий авиационная техника получила значительное развитие, которое непосредственно связано с совершенствованием конструкций отечественных самолетов и технологии их изготовления, созданием новых материалов и общим развитием науки и техники. Анализ конструкций самолетов за весь период, начиная с 1919 г. до наших дней, показывает, что решающее значение в их развитии имел постоянный рост скоростей полета, оказывающий весьма большое влияние на форму планера и точность выполнения его поверхностей.

Связь внешней формы самолета со скоростью полета показана на рис. 3.1. Агрегаты первых самолетов имели в основном простую форму с линейчатыми образующими. С появлением и развитием реактивной техники произошло резкое увеличение скоростей полета. Рост скорости и достижения в области аэродинамики больших

скоростей привели к коренным изменениям конструкции самолетов. Внешние обводы планера в значительной мере усложнились в связи с требованиями обтекаемости. Этот процесс продолжается и в настоящее время. Линейчатые формы конструкции переходят в более сложные для практического осуществления поверхности двоякой и знакопеременной кривизны со сложными законами формообразования.

Наряду с усложнением изготовления обшивок планера усложняется и изготовление деталей внутреннего силового набора, сопрягающихся с обшивкой. С ростом скоростей непрерывно повышаются требования к точности внешних обводов, что еще более усложняет изготовление планера самолета. Если при скоростях полета 200—300 км/ч отклонения от номинальной формы, заданной конструктором, были допустимы в пределах 5—10 мм, то уже при скорости 400—600 км/ч они не должны превышать 3—5 мм, а у сверхзвуковых самолетов 1—3 мм. Резко уменьшается допустимая волнистость поверхности планера, выступа и ступеньки в стыках обшивки [14]. Все это предъявляет новые требования к технологии изготовления деталей, выходящих на аэродинамическую поверхность и их сборки, приводит к необходимости разработки и внедрения новых технологических методов, обеспечивающих изготовление элементов конструкции с требуемой точностью. В результате появились новые методы, обеспечивающие более высокую геометрическую точность изготовления сложных листовых деталей, такие, как обтяжка, изгиб с растяжением, химическое размерное травление, электроимпульсные методы обработки материалов, штамповка деталей резиной. Появились новые эластичные материалы взамен резины, более стойкие и позволяющие передавать на штампуемую заготовку большие давления, что повысило точность изготовления деталей и улучшило их качество.

Для изготовления деталей самолета и технологической оснастки все более широко стали применяться копировально-фрезерные станки и станки с числовым программным управлением.

Вместе с тем, новые технологические методы предъявляют свои специфические требования к конструкции деталей и сборочных единиц, удовлетворение которых приводит к соответствующему изменению конструкции. Например, для штамповки эластичными средами потребовались принципиально новые конструкторские решения при проектировании листовых деталей, учитывающие

особенности выполнения как разделительных, так и формообразующих операций. Такие детали современных самолетов, как стенки нервюр крыла, стабилизатора, рулей управления и шпангоутов фюзеляжа имеют конструкцию, специально приспособленную для штамповки эластичными средами.

Требования к точности внешних обводов и обеспечению взаимозаменяемости элементов конструкции самолетов привели к разработке и внедрению новых методов образования размеров и формы изделий. Плазово-шаблонный метод производства самолетов, внедрение которого началось в 1937—1939 гг., позволил в значительной мере повысить точность изготовления планера самолета, обеспечить высокий уровень взаимозаменяемости элементов его конструкции, сократить сроки подготовки и освоения производства. Плазово-шаблонный метод существенно повлиял на все этапы создания, освоения и производства авиационной техники и, в первую очередь, на процесс проектирования самолетов и технологию их изготовления.

Вместе с тем, плазово-шаблонный метод в ряде случаев уже не обспечивает повышенные требования к точности и качеству современных самолетов, поэтому появились новые методы обеспечения точности и взаимозаменяемости на базе современной вычислительной техники — программные методы, которые не имеют недостатков, присущих плазовым методам, но требуют нового подхода к проектированию летательных аппаратов и технологии их изготовления.

Существенные требования в современной авиации и тем более космической технике предъявляются к конструкционным материалам, из которых изготовляют планер. Новые материалы должны обладать большей удельной прочностью (т.е. прочностью, приходящейся на единицу массы), теплопроводностью, износоустойчивостью и обеспечивать более высокую надежность в процессе эксплуатации конструкций. С ростом этих показателей усложняются технологические методы изготовления деталей, а в ряде случаев возникает необходимость разработки и внедрения новых методов, которые, как правило, для высокопрочных материалов значительно сложнее и дороже ранее применявшихся. Так, например, при изготовлении элементов конструкции из сплавов бериллия стоимость обработки по сравнению с дюралюминиевым сплавом Д16 возрастает в 15—20 раз, а из композиционных материалов на металлической основе — в 25—35 раз [14].

Появление новых материалов влечет за собой изменение технологических методов и процессов изготовления полуфабрикатов, заготовок, деталей и сборочных единиц. Возникает необходимость в новых средствах производства — оборудовании, технологической оснастке. Вместе с тем с возникновением новых материалов предъявляются соответствующие требования к конструкции как деталей, так и сборочных единиц, что в свою очередь сказывается на технологии производства.

Так было, например, при переходе авиационной промышленности на производство цельнометаллических самолетов. С созданием у нас в стране цельнометаллических самолетов АНТ-2, а затем АНТ-4 (ТБ-1), открывших путь к применению легких и высокопрочных алюминиевых сплавов в отечественных конструкциях саомлетов, потребовалась коренная перестройка технологии, разработка принципиально новых методов переработки исходных материалов в изделия. Объясняется это тем, что цельнометаллические самолеты в конструктивном и технологическом отношениях резко отличались от изготовляемых ранее деревянных самолетов.

При изготовлении самолетов ТБ-1 впервые разрабатывались и проверялись в условиях производства технологические процессы изготовления деталей из листовых алюминиевых сплавов, профилей и тонкостенных труб, накапливался опыт проектирования, внедрения и эксплуатации сборочных и монтажных приспособлений и различного рода вспомогательной оснастки. Возникла необходимость в новых металлорежущих станках с большой частотой вращения, позволяющих вести обработку при высоких скоростях резания, что свойственно алюминиевым сплавам, в специальном оборудовании для пластического деформирования листовых материалов, профильных и трубчатых заготовок при изготовлении из них деталей.

Существенное влияние на современную технологию самолетостроения оказывает тенденция к увеличению монолитности элементов конструкции планера. С повышением степени монолитности заметно сокращается трудоемкость сборки, но возрастает сложность и трудоемкость изготовления монолитных деталей, заменяющих сборочные узлы и панели клепаной конструкции. Особенно резко увеличивается объем работ, выполняемых на фрезерных станках. Проблема снижения трудоемкости и упрощения обработки монолитных элементов конструкции в настоящее время стоит очень остро и полностью еще не решена.

Из приведенного краткого анализа следует, что новые конструкции летательных аппаратов обуславливают необходимость разработки и внедрения новых методов производства и принципиально новых технологических процессов изготовления изделий, расширяющих технологические возможности предприятия. Это, в свою очередь, обеспечивает необходимые условия и предпосылки для создания новых, более прогрессивных конструкций, способствующих дальнейшему развитию технологии.

Таким образом, конструкция и технология — это, по существу, элементы единого процесса создания изделия. В связи с этим следует признать справедливым мнение, что расчет на прочность и конструирование изделия являются элементами технологии. Если эти дисциплины оторвать от процессов производства, то они становятся беспредметными. Через них, в основном, технология производства летательных аппаратов обладает необходимой преемственностью от таких наук, как механика, физика, химия и других, являясь в то же время относительно самостоятельной наукой, так как имеет характерный, свойственный только ей, предмет изучения [53].

Совместное развитие конструкции ЛА и технологии их изготовления являются основой технического прогресса авиационной и космической техники, под которым, как известно, понимают процесс непрерывного совершенствования и развития технологии, орудий производства, предметов труда, материалов и конечной продукции, т.е. летательных аппаратов.

3.2. ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ОТ ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА

Общая характеристика

Под *объемом производства* понимают общее число деталей, сборочных единиц или изделий в целом, которое предстоит изготовить на заводе в соответствии с потребностями народного хозяйства, либо обороны страны. Объем производства делят на программы выпуска, представляющие собой число изделий, изготовляемых за определенный календарный промежуток времени, чаще всего — в течение года (годовая программа) или месяца (месячная программа).

Объем производства и программа выпуска существенно влияют на технологию. Они определяют целесообразные первоначальные затраты на технологическую подготовку производства и освоение изделия. Чем больше объем производства и программа выпуска, тем больше может быть изготовлено и применено технологической оснастки и высокопроизводительного оборудования, т.е. степень оснащенности и степень механизации технологических процессов могут быть выше. Объясняется это тем, что с увеличением числа изготовляемых изделий доля стоимости технологической оснастки, приходящаяся на одно изделие, будет уменьшаться, а это дает возможность повышать степень экономически целесообразной оснащенности изделия.

Вместе с тем, при увеличении степени оснащенности и уровня механизации технологических процессов, снижаются затраты времени на изготовление самого изделия и, следовательно, растет производительность труда в основном производстве, т.е. повышаются технический уровень производства и технико-экономические показатели технологических процессов.

Степень оснащенности может быть оценена количественно отношением числа единиц технологической оснастки $N_{осн}$ к числу наименований деталей или узлов $N_д$, изготовляемых с помощью этой оснастки

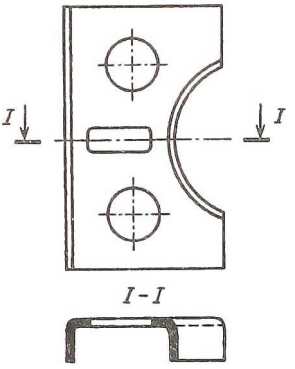
$$K_{осн} = N_{осн} / N_д,$$

где $K_{осн}$ — коэффициент оснащенности технологического процесса.

Для изготовления одной и той же детали (сборочной единицы) можно разработать и практически осуществить несколько вариантов технологических процессов с применением различных методов обработки (сборки) и с различной степенью их оснащенности, но экономически целесообразным для заданного объема производства будет только один технологический процесс.

Например, листовую деталь, показанную на рис. 3.2, можно изготовить различными методами. Наиболее простым будет изготовление вручную. Ее можно изготовить также штамповкой на прессе инструментальными штампами. Вручную деталь можно изготовить практически без специальной технологической оснастки: заготовку разметить по чертежу, вырезать на ножницах и по разметке обрабо-

Рис. 3.2. Деталь из листового материала



тать напильником. Отогнуть бортики можно либо на универсальном гибочном оборудовании, либо вручную деревянным молотком (киянкой) по универсальной угловой оправке.

При изготовлении детали штамповкой сначала надо спроектировать и изготовить вырубной и гибочный штампы, затем вырубить и согнуть заготовку на прессе. Очевидно, что первый технологический процесс будет экономически целесообразен при единичном изготовлении изделия, когда годовая программа составляет небольшое число деталей, например 2 — 20 шт. Проектировать и изготовлять сложную технологическую оснастку в этом случае нет смысла, так как детали будут изготовлены вручную значительно быстрее, чем оснастка. Если штампы все же будут изготовлены, доля их стоимости, приходящаяся на одну деталь, будет большой, намного превышающей стоимость изготовления деталей вручную.

Второй технологический процесс экономически целесообразен при большом объеме производства, когда число изготовляемых деталей измеряется тысячами. При этом доля стоимости оснастки, приходящаяся на одну деталь, будет незначительной, а производительность труда при штамповке высокой, намного выше, чем при ручном изготовлении деталей.

Таким образом, для каждого конкретного объема производства и годовой программы существует свой оптимальный технологический процесс, который характеризуется применением целесообразных при заданных условиях технологических методов обработки и соответствующей степени оснащенности. Поэтому технологические процессы разрабатывают всегда применительно к заданным объему производства и производственной программе. В каждом конкретном случае применяют такие технологические методы, технологическое оборудование и оснастку, которые обеспечивают наиболее экономичное производство и наименьшую себестоимость изготовляемых изделий при заданном их качестве.

Организационные формы (типы) производства и их влияние на технологические процессы

В зависимости от объема производства, годовой программы, номенклатуры, регулярности и стабильности выпуска изделий на предприятиях-изготовителях летательных аппаратов могут быть применены различные организационные формы (типы) производства, для каждой из которых характерны свои специфические требования к содержанию и структуре технологических процессов, уровню их оснащенности, механизации и автоматизации, конструктивной сложности, стоимости и производительности технологического оборудования, инструментов и приспособлений. Под *типом производства* при этом понимают классификационную категорию производства, представляющую собой совокупность форм организации производственных процессов, труда и управления производством, которые при данной специализации и объеме производства, на базе соответствующего им технологического оснащения, обеспечивают наиболее высокий уровень использования средств производства и производительности труда, наименьшую себестоимость продукции [44]. Тип производства выделяется по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий.

В соответствии с ГОСТ 14.004—83 различают следующие типы производства, классификационная категория которых выделяется по указанным выше признакам: единичное, серийное и массовое. Одной из основных характеристик типа производства (кроме объема производства и производственной программы выпуска) является коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$, который согласно ГОСТ 3.1121—84:

$$K_{з.о} = n/m,$$

где n — число всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение определенного календарного промежутка времени (например, месяца); m — число рабочих мест, на которых выполняются эти операции.

Рабочее место — элементарная единица структуры предприятия, где размещаются исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, средства механизации или автоматизации, приспособления, инструменты и предметы труда (ГОСТ 14.004—83).

Единичное производство характеризуется разовым выпуском небольшого числа (одного или нескольких экземпляров) каждого из изготовляемых изделий при большой и разнообразной их номенклатуре, либо большой номенклатуре входящих в их конструкцию деталей и сборочных единиц. Процесс изготовления изделий при этом, как правило, не повторяется и носит неустойчивый, индивидуальный, прерывистый характер. Уровень технологического оснащения при единичном производстве весьма низкий и характеризуется применением наипростейшей технологической оснастки, низким уровнем или полным отсутствием механизации технологических процессов, большим объемом ручных работ, как при изготовлении деталей, так и при их сборке. При выполнении сборочных работ возможна ручная подгонка деталей по месту и совместная доработка сопрягаемых деталей в зоне их соединения.

Наиболее целесообразными для этого типа производства являются универсальная и переналаживаемая технологическая оснастка и универсальное технологическое оборудование общего назначения, т.е. такие средства производства, которые при соответствующей переналадке могут быть использованы для изготовления достаточно большой номенклатуры различных элементов конструкции (деталей, сборочных единиц). Характерно также широкое применение стандартизованного, нормализованного и универсального рабочего и мерительного инструмента.

Специальная оснастка, т.е. такая, которая изготовляется для каждого в отдельности наименования детали или сборочной единицы, применяется только в случае крайней необходимости, когда без нее трудно или практически невозможно изготовить деталь, собрать узел или какую-либо другую сборочную единицу. Многие детали и узлы изготовляют без технологической оснастки непосредственно по чертежам либо по шаблонам.

Технологическое оборудование при единичном производстве устанавливается не в последовательности выполнения технологических процессов изготовления деталей, а по его видам и назначению (например, в механических цехах выделяются в самостоятельные группы токарные, фрезерные, шлифовальные и другие станки, в заготовительно-штамповочных цехах — мелкие эксцентриковые, крупные кривошипные, гидравлические и другие прессы и т.д.).

Цикл технологической подготовки производства при единичном производстве непосредственно примыкает к циклу изготовления

изделия. Оба эти цикла по существу сливаются в один общий цикл. При технологическом проектировании для подавляющего большинства элементов конструкции определяются только маршруты их изготовления без разработки подробных технологических процессов. Большинству рабочих приходится выполнять различные работы, для которых необходимы разнообразные профессиональные навыки и знания. В этих условиях рабочие должны обладать высокой квалификацией и по существу быть универсалами.

Узкая специализация работ, а следовательно и исполнителей, при единичном производстве в связи с разнообразием и большим числом операций, выполняемых на каждом рабочем месте, практически недостижима. Поэтому коэффициент закрепления операций здесь не регламентируется. Все это приводит к относительно высокой трудоемкости изделий. Типичным представителем единичного производства является опытное производство, которое создается в системе конструкторского бюро (отдела) по проектированию летательных аппаратов.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом ограниченной номенклатуры изделий периодически повторяющимися партиями через определенные календарные промежутки времени и сравнительно большим объемом выпуска.

По ГОСТ 14.004—83 под объемом серии понимается перечень наименований изготовляемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и срока выполнения по каждому наименованию. При серийном производстве периодически повторяются технологические процессы как изготовления деталей, так и сборки из них узлов, отсеков и агрегатов. Весь объем работ по технологическому проектированию и изготовлению технологического оснащения выполняется не для каждой серии, а только один раз для изделия данной конструкции.

В зависимости от числа изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций, различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство. Мелкосерийное производство занимает промежуточное положение между единичным и среднесерийным, а крупносерийное производство — между среднесерийным и массовым.

Мелкосерийное производство по своей структуре близко к единичному производству. Характеризуется оно небольшими сериями (по 2—3 изделия в каждой) и малым числом серий в

планируемом периоде (2—3 серии в течение года), а также применением несложной технологии и сравнительно низким уровнем оснащенности (несколько большим, чем при единичном производстве). Помимо универсальной и переналаживаемой технологической оснастки в ряде случаев целесообразно применять простейшие специальные инструменты и приспособления.

При мелкосерийном производстве сборка узлов, панелей, а иногда и отсеков осуществляется в приспособлениях для сборки агрегатов без выделения их в самостоятельные сборочные единицы и оснащения детально-сборочными приспособлениями. Поэтому при мелкосерийном производстве экономически и технологически обоснована сравнительно небольшая степень членения планера на составляющие конструктивные элементы. Коэффициент закрепления операций $K_{з.о}$ для мелкосерийного производства принимается равным свыше 20 до 40 включительно.

Технологическое оборудование на производственных площадях расставляется так же, как и при единичном производстве, т.е. по его типам и назначению.

Среднесерийное производство характеризуется более крупными, чем при мелкосерийном производстве, сериями и большим числом серий в планируемом периоде. Для самолетостроения каждая из серий в зависимости от размеров самолетов может включать от 4 до 20 машин при 4—10 сериях в планируемом периоде. (Меньшие числа относятся к тяжелым самолетам).

В целях повышения производительности труда при среднесерийном производстве экономически оправдывается некоторое усложнение технологической оснастки и увеличение коэффициента оснащенности. Более широкое применение, чем при мелкосерийном производстве, приобретает специальная технологическая оснастка. С технологической и экономической точек зрения при этом целесообразно некоторое расширение фронта сборочных работ за счет выделения из агрегатов в самостоятельные сборочные единицы сложных узлов с оснащением их детально-сборочными приспособлениями и выносом их сборки из общесборочных приспособлений.

В связи с увеличением объема выпуска изделий создается экономически целесообразная возможность осуществления более глубокой, чем в мелкосерийном производстве, специализации работ, что способствует сокращению цикла и трудоемкости изготовления машин. *Циклом изготовления или производственным циклом*

называют интервал календарного времени от начала до окончания процесса изготовления изделия.

Для среднесерийного производства коэффициент $K_{з.о}$ принимается равным свыше 10 до 20 включительно. В отдельных случаях (при изготовлении элементов конструкции, идущих на изделие в большом количестве) целесообразно расставлять технологическое оборудование в последовательности выполнения технологического процесса. Однако, большинство деталей изделия и при этом типе производства изготовляют на участках, специализируемых по видам обработки и оборудования.

Крупносерийное производство характеризуется изготовлением изделий большими по объему сериями, каждая из которых для самолетостроительного производства включает свыше 5 до 10 машин, и большим числом серий в планируемом периоде (более десяти в течение года). При крупносерийном производстве целесообразно применять специальную высокопроизводительную технологическую оснастку, проводить выборочную механизацию и автоматизацию технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, а также применять специальное автоматизированное оборудование. Экономически оправдывается применение поточной формы организации технологических процессов и производства.

При крупносерийном производстве целесообразно широкое членение планера летательного аппарата с выделением в самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях сборочные единицы не только крупных и сложных, но и более мелких и простых узлов с оснащением их специальными детально-сборочными приспособлениями, что позволяет значительно расширить фронт работы и повысить производительность труда. Для крупносерийного производства коэффициент $K_{з.о}$ принимают равным свыше 1 до 10 включительно. Технологическое оборудование при этом расставляют обычно в последовательности выполнения технологических процессов изготовления однотипных деталей. В отдельных случаях для изготовления крупногабаритных деталей, идущих на изделие в небольших количествах, применяют расстановку оборудования по видам выполняемых работ (оборудования).

Массовое производство — производство, характеризуемое большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготовляемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. При

этом экономически и технологически оправдывается применение специального технологического оборудования с автоматическим циклом работы и сложных специальных высокопроизводительных механизированных и автоматизированных приспособлений и инструментов. Целесообразно широкое применение поточных конвейерных и автоматических линий. Поточное производство является наиболее прогрессивным и экономически целесообразным; оно может быть как автоматическим, так и неавтоматическим. Для массового производства коэффициент $K_{з.о}$ равен единице, т.е. на каждом рабочем месте выполняется непрерывно одна и та же повторяющаяся операция. В отдельных случаях коэффициент закрепления операций может быть и меньше единицы, когда операция выполняется на нескольких рабочих местах, а на одном рабочем месте оператор выполняет только отдельный переход. Технологическое оборудование при массовом производстве располагается в последовательности выполнения операций.

Предприятий, полностью отвечающих крупносерийному и массовому производству основных изделий, в самолетостроении, и тем более при изготовлении космических аппаратов, практически нет, так как в таких изделиях нет такой потребности, как, например, в легковых автомобилях. Вместе с тем, в практике отечественного самолетостроения есть примеры крупносерийного производства целых самолетов. В Великую Отечественную войну 1941—1945 гг. производство штурмовиков ИЛ-2 и ИЛ-10 носило характер крупносерийного производства с применением конвейерных и поточных линий на сборке фюзеляжа и крыла, а также на общей сборке самолетов.

Следует отметить, что на предприятиях авиационного профиля с единичным и мелкосерийным производством основных изделий существуют подразделения, имеющие характер крупносерийного производства, а на предприятиях среднесерийного производства основных изделий имеются участки, организованные по принципу массового производства. К ним относятся, например, механические цехи по изготовлению нормальных и стандартизованных крепежных элементов (заклепок, винтов, болтов, гаек), где установлено специальное технологическое оборудование, работающее непрерывно в автоматическом цикле (автоматы для изготовления заклепок, высадки винтов и накатки на них резьбы и др.). Таким образом, производство в различных цехах одного и того же авиационного завода может быть отнесено к разным типам.

Отметим также, что тип производства на различных этапах освоения и изготовления авиационной техники не остается постоянным, так как завод от начала освоения до установившегося стабильного серийного производства проходит ряд стадий технологического развития. В период освоения и изготовления первых машин производство на предприятии имеет обычно мелкосерийный и даже единичный характер. Коэффициент оснащения при этом обычно небольшой (меньше единицы, так как изготовлена только оснастка первой очереди, без которой изготовить самолет практически невозможно), а уровень ручных работ — высокий. Средства механизации и автоматизации технологических процессов на этом этапе обычно отсутствуют.

По мере освоения изделия, осуществления более узкой специализации обработки и сборки, изготовления и использования дополнительной технологической оснастки (вторая очередь), адаптации исполнителей, трудоемкость изделия снижается, производительность труда при его изготовлении растет и число новых изделий в серии увеличивается. Производство приобретает среднесерийный характер.

В случае, если потребность народного хозяйства или обороны страны в основных изделиях большая, то на предприятии осуществляют дальнейшую модернизацию производства, изготовляют и внедряют дополнительную технологическую оснастку (третья очередь), средства механизации и автоматизации, обеспечивающие более высокую эффективность труда; производство переходит в категорию крупносерийного.

На серийных авиационных предприятиях запуск в производство деталей осуществляется обычно партиями. *Партия* представляет собой число деталей, запускаемых в производство одновременно и изготовляемых при одной настройке оборудования и оснастки без последующей их переналадки. Размер партии существенно влияет на экономические показатели производства. С увеличением партии запуска сокращается доля времени, затрачиваемого на переналадку оборудования и настройку оснастки, приходящаяся на одну деталь, и сокращается число переналадок в планируемом периоде. При больших партиях запуска упрощается планирование и учет, улучшается использование оборудования.

Вместе с тем, увеличение партий запуска связано с увеличением числа деталей, хранящихся на складах, что требует, в свою очередь, больших складских площадей и оборотных средств.

Размер партии запуска

$$n_{п.з} = T_{пз}/KT_{ш},$$

где $T_{пз}$ — подготовительно-заключительное время, отнесенное к операции; $T_{шт}$ — штучное время, затрачиваемое на выполнение операции; K — коэффициент, зависящий от объема производства; при серийном производстве в зависимости от размера серии он равен 0,03—0,1 (с увеличением размера серий K уменьшается), среднее значение K берется равным 0,055—0,065.

В зависимости от условий работы и общей загрузки оборудования размер партии корректируется с таким расчетом, чтобы партия была кратной годовой программе. Не рекомендуется применять партии, превышающие четверть программы годового выпуска изделий так же, как и малые партии, вызывающие более двух переналадок оборудования в течение смены.

Общее число переналадок оборудования в планируемом периоде

$$P = N/n_{п.з},$$

где P — число переналадок; N — производственная программа.

Иногда экономически целесообразно размер партии запуска принимать равным объему серии или кратным ему.

Влияние объема производства на конструкцию изделия

Объем производства и производственная программа существенно влияют не только на содержание, структуру и экономические показатели технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, но и на конструкцию объектов производства. Это проявляется через технологию изготовления элементов конструкции. В зависимости от объема производства в технологических процессах применяются те или иные свойственные им технологические методы обработки и формообразования, которые заложены в конструкцию изделий при их проектировании. В связи с тем, что каждый технологический метод обладает определенными технологическими возможностями, он предъявляет соответствующие технологические требования к конструкции изделия, влияя на его геометрические параметры,

предельную точность размеров и формы, физико-механические свойства материала, примененного для его изготовления, способы базирования и соединения деталей при сборке, характер и степень членения конструкции планера ЛА на самостоятельные в конструктивном отношении, элементы.

Например, при малой производственной программе, когда в течение года выпускается всего несколько единиц изделий (единичное и мелкосерийное производство), отдельные монолитные детали целесообразно изготовлять из целого куска металла в виде заготовки, отрезанной от прутка, профиля или плиты. Другие методы получения более точных заготовок (литье, объемная горячая штамповка) в этом случае применять невыгодно, поскольку они связаны с необходимостью изготовления дополнительной технологической оснастки (литейной, кузнечной), стоимость которой ложится большими накладными расходами на стоимость изготовления каждой детали, значительно превышающими стоимость материала, переведенного в стружку при ее изготовлении из прутка.

При большой годовой программе стоимость металла, переводимого в стружку, и низкая производительность труда при обработке на универсальных металлорежущих станках делают этот процесс экономически невыгодным.

В этом случае более целесообразным будет процесс изготовления деталей из заготовок, полученных литьем в кокиль или в оболочковую форму, имеющих более высокую точность и значительно меньшие припуски на последующую механическую обработку резанием. При этом имеется возможность часть поверхностей оставлять необработанными, что резко снизит объем работы на металлорежущих станках.

При различных методах изготовления детали из прутка и литой заготовки предъявляются различные требования к конструкции и форме ее элементов. Поэтому конструкция детали при ее изготовлении из прутка и литой заготовки будет различной. При большой производственной программе для изготовления заготовок целесообразно также применять методы горячей штамповки, которые предъявляют к конструкции детали свои специфические требования. Эти требования отличаются от требований методов точного литья, и, следовательно, конструкция детали при горячей штамповке будет отличаться от конструкции литой детали и детали, изготовленной из прутка. Соответствующее влияние объем производства оказывает и

на конструкцию деталей из листовых материалов. Совершенно очевидно, что при изготовлении деталей методами листовой штамповки конструкция их элементов будет отличаться от конструкции при изготовлении деталей вручную. Штамповка целесообразна при больших объемах производства, изготовление вручную — при единичном производстве.

Экономически целесообразная степень членения планера летательного аппарата на самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях составляющие элементы, а следовательно, и на его конструкцию зависит от объема производства и производственной программы. При небольшой производственной программе, когда в течение года изготовляют два — три летательных аппарата, экономически целесообразно минимально возможное членение планера, требующее минимального числа сборочной оснастки.

При большой производственной программе, предусматривающей изготовление в течение года нескольких сотен ЛА, экономически и технологически выгодна более члененная конструкция планера. Причем с увеличением объема производства целесообразная степень членения возрастает, увеличивается экономически оправданный коэффициент оснащения и уровень механизации за счет изготовления многих детально-сборочных приспособлений, средств механизации и автоматизации технологических процессов; появляется возможность включения в процесс сборки большого числа рабочих.

Экономически оправдывается применение не только конструктивных, но и технологических разъемов. Благодаря этому расширяется фронт работы, появляется возможность более узкой специализации рабочих и применения параллельных во времени процессов сборки отдельных узлов, панелей на большем числе рабочих мест, что укорачивает производственный цикл изготовления летательного аппарата.

Таким образом, для каждого конкретного объема производства имеется своя экономически целесообразная степень членения планера ЛА на составляющие элементы, критерием которой могут служить себестоимость изделия и срок окупаемости технологической оснастки. Изменение степени членения в зависимости от объема производства, в свою очередь, влечет за собой соответствующее изменение технологии сборки и конструкции планера, а также входящих в его состав сборочных единиц.

Из изложенного следует, что в процессе создания летательного аппарата его конструкция, технология изготовления и объем производства (тип производства) между собой тесно связаны. Конструкция непосредственно влияет на технологию, технология предъявляет свои требования к конструкции, и вместе с тем технология и конструкция находятся в непосредственной зависимости от объема производства. Их связь и взаимная зависимость определяют взаимосвязанное развитие конструкции и технологии, которое является основой прогресса современной авиационной и космической техники.

3.3. ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Производственная обстановка предприятия-изготовителя летательных аппаратов характеризуется его технологическими и производственными возможностями, которые определяются типами и числом имеющегося технологического оборудования, его соответствием особенностям конструкции объекта производства, структурой и специализацией производственных цехов, специализацией и квалификацией исполнителей (рабочих) и инженерно-технических работников, мощностью, структурой и специализацией служб, осуществляющих технологическую подготовку производства.

Производственная обстановка существенно влияет на содержание, структуру и технико-экономические показатели технологических процессов. Она ограничивает применение одних технологических методов и частных технологических процессов и расширяет возможности применения других, предъявляя тем самым соответствующие требования к конструкции изготовляемых на заводе изделий. Это объясняется тем, что для получения необходимого технико-экономического эффекта на предприятии в основе частных технологических процессов лежат обычно такие технологические методы, которые соответствуют его производственным возможностям.

Например, если завод имеет большой парк горизонтально-фрезерных станков и незначительное число станков вертикально-фрезерных, то очевидно, что методы фрезерования на горизонтально-фрезерных станках в технологических процессах механической

обработки будут доминирующими. Завод вынужден будет применять (приспосабливать) имеющиеся станки для изготовления и таких деталей, для которых экономически и технологически более целесообразно использование вертикально-фрезерных станков. Продукция будет дороже, качество ниже. Очевидно, что для этого завода конструкция механообрабатываемых заготовок и деталей должна быть такой, которую наиболее целесообразно изготовлять на горизонтально-фрезерных станках.

На заводах авиационного профиля с высоким техническим уровнем производства применяют обычно многие высокоэффективные технологические методы и частные технологические процессы изготовления деталей и сборочных единиц. К ним относятся, например, методы листовой штамповки эластичными средами и импульсным магнитным полем, электрогидравлическая штамповка, обработка на металлорежущих станках с числовым программным управлением, механизированное и автоматизированное образование заклепочных и сварных соединений с применением высокоэффективного оборудования и соответствующих средств механизации и др.

Очевидно и естественно, что эти технологические методы и процессы завод будет применять при изготовлении вновь осваиваемого изделия, даже в том случае, если они не предусмотрены в директивных технологических материалах и рабочей конструкторской документации. Они найдут отражение в разрабатываемых на заводе частных технологических процессах, окажут соответствующее влияние на их содержание, структуру и технико-экономические показатели. Вместе с тем эффективность этих методов будет значительно выше, если конструкция деталей и сборочных единиц будет предусматривать необходимость их применения.

Поэтому в конструкции изделия и технологии его изготовления должна быть учтена имеющаяся специализация основных подразделений предприятия и установившиеся в них технологические традиции. Только при этом условии технологические процессы будут выполняться наиболее квалифицированно на высоком техническом уровне, обладать оптимальной эффективностью и обеспечивать хорошее качество изделий.

Таким образом, для уменьшения трудоемкости технологической подготовки производства, сокращения сроков освоения изготовления нового изделия и обеспечения его высокого качества, необходимо, чтобы при проектировании изделия учитывались производственные

возможности предприятия, на котором намечается осваивать его производство, закладывались в конструкцию такие технологические методы его изготовления, к выполнению которых завод наиболее хорошо приспособлен.

Для соблюдения этого условия завод-изготовитель нового изделия определяется обычно на первой стадии конструкторской подготовки производства (т.е. на стадии разработки технического задания на проектирование) с тем, чтобы в процессе выполнения остальных ее стадий учитывалась производственная обстановка и технологические возможности завода-изготовителя.

Вместе с тем, следует иметь в виду, что производственная обстановка предприятия в той или иной мере может и должна быть прспособлена к заданному объекту производства. Поэтому в процессе проектирования ЛА конструкторские решения могут и должны базироваться на применении новых, более совершенных технологических методов, несмотря на то, что заводу нужно будет осваивать их заново.

Именно это предотвратит застой в технологическом развитии предприятия, обеспечит его технический прогресс.

3.4. Зависимость технологических процессов от требований техники безопасности и охраны окружающей среды

Изготовление любого элемента конструкции (детали, сборочной единицы) для исполнителя должно быть безопасно, неутомительно и не должно сопровождаться вредными, токсичными выделениями при его выполнении, т.е. не должно создаваться опасных и вредных для здоровья условий труда.

Кроме того, каждый технологический процесс должен быть экологически чистым, не создавать загрязнений окружающей среды. Степень соответствия этим требованиям характеризует качество и совершенство технологических процессов с точки зрения техники безопасности и экологии.

В технологическом процессе изготовления любого элемента конструкции и технологическом оснащении, необходимом для его выполнения, должны быть предусмотрены специальные меры и дополнительные устройства, обеспечивающие безопасные условия

труда и предотвращающие загрязнение окружающей среды (защитные щитки, экраны, предохранительные устройства, отсосы и местная вытяжная вентиляция, очистные сооружения и др.). Причем, если в этом есть настоятельная необходимость, указанные меры должны осуществляться за счет дополнительных затрат на технологическую подготовку производства.

Таким образом, требования техники безопасности и защиты окружающей среды оказывают существенное влияние на содержание, структуру и экономическую эффективность технологических процессов, и в ряде случаев их выполнение вызывает некоторое усложнение технологических процессов и оснастки, требует изготовления дополнительных средств оснащения и в связи с этим приводит к некоторому повышению трудосмкости и себестоимости изделий.

4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

4.1. ПОНЯТИЕ О ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ ПРЕДПРИЯТИЯ. СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Процесс производства современных ЛА отличается большой сложностью. Кроме непосредственной переработки исходных материалов и полуфабрикатов в готовые изделия, на заводах-изготовителях ЛА выполняют другие многочисленные процессы труда, отличающиеся друг от друга организацией, применяемой техникой, специализацией и квалификацией инженерно-технических работников и рабочих-исполнителей. Целью этих других процессов труда является технологическая подготовка и обслуживание производства для обеспечения бесперебойной работы предприятия по выпуску запланированных изделий.

Функционирование любого машиностроительного предприятия, в том числе и по производству ЛА, немыслимо без наличия и действия указанных взаимосвязанных процессов, обеспечивающих производство заданных изделий [53]. Сложный комплекс всех процессов труда, совершаемых на заводе и необходимых для изготовления ЛА (т.е. основной, выпускаемой заводом продукции), называют *производственным процессом предприятия.*

Таким образом, в производственный процесс авиационного предприятия включены все основные технологические процессы, связанные непосредственно с изготовлением элементов конструкции изделия и их сборкой, и все сопутствующие процессы труда, в которых не происходит непосредственная переработка исходных материалов в продукцию завода, но они связаны с изготовлением необходимых для осуществления основных процессов инструментов, приспособлений, технологического оборудования, средств механизации и автоматизации производства.

В состав производственного процесса предприятия включаются также работы по обслуживанию всех его подразделений, такие как ремонт металлорежущих станков и кузнечно-прессового оборудова-

ния, ремонт электротехнических устройств и электродвигателей, обеспечение материальными ресурсами, транспортирование материалов и изделий, контроль и хранение материалов, полуфабрикатов и готовых изделий, обеспечение энергетическими ресурсами (электроэнергией, теплотой, сжатым воздухом, паром, водой) и т.д. Совершенно очевидно, что все эти многочисленные разнохарактерные, но взаимосвязанные процессы авиационного предприятия подчинены единой цели — обеспечению выпуска заданного числа летательных аппаратов надлежащего качества, в установленные сроки, с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов. Это является первым основным признаком производственного процесса предприятия, его главной задачей. Решить ее можно только в том случае, если все указанные процессы будут представлять собой необходимое и целесообразное сочетание не только физического, но и умственного труда людей, работающих на заводе. Это является вторым основным признаком производственного процесса. И наконец третьим его признаком является то, что все входящие в его состав процессы труда, органически связаны между собой и действуют взаимосвязанно для достижения единой цели.

Исходя из изложенного можно сказать, что производственный процесс предприятия — это сложный комплекс трудовых процессов, совершаемых в основных, вспомогательных и обслуживающих подразделениях предприятия и обеспечивающих своевременный выпуск его продукции [53].

Следует отметить, что каждое подразделение предприятия, выполняющее как основные процессы, связанные с непосредственной переработкой исходных материалов в продукцию предприятия, так и необходимые сопутствующие им, но не связанные непосредственно с указанной переработкой, имеет свой специфический производственный процесс, содержание и структура которого определяются характером задач, решаемых подразделением, исходя из потребностей основного производства.

Из приведенной характеристики производственного процесса следует, что он является основой производственно-хозяйственной деятельности любого предприятия авиационного профиля.

4.2. СВЯЗЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ И С ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Технологический процесс изготовления ЛА, т.е. процесс непосредственного преобразования исходных материалов в продукцию предприятия, является главной частью производственного процесса, основой его функционирования. В связи с этим ГОСТ 3.1109—82 дает следующее определение технологического процесса: *технологический процесс* представляет собой часть производственного процесса, содержащую действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. Все остальные составляющие части процесса производства, как указывалось выше, являются сопутствующими, т.е. такими, в которые не входят процессы непосредственного преобразования исходных материалов в продукцию предприятия; они призваны обеспечивать бесперебойное и полноценное выполнение главной его части — технологического процесса.

Таким образом, производственный процесс находится не только в связи, но и в непосредственной зависимости от технологического процесса изготовления изделия. При этом технологический процесс является определяющей основой организации и функционирования производственного процесса, его базой, на основе которой строятся все остальные трудовые процессы.

Производственной структурой предприятия называют состав его цехов и служб с указанием их специализации и связей между ними. Цех является структурной основой машиностроительного завода и представляет собой совокупность производственных участков. Производственный участок объединяет группу рабочих мест, организованных по предметному, технологическому или предметно-технологическому принципам.

Ввиду того, что производство ЛА связано с выполнением не только технологических процессов их изготовления, но и всех остальных трудовых процессов, осуществляемых при освоении и выпуске заданных летательных аппаратов и в комплексе составляющих производственный процесс предприятия, в системе последнего должны функционировать соответствующие службы и подразделения (цехи), обеспечивающие выполнение всех стадий производственного процесса. Таких служб (подразделений) на каждом машиностроитель-

ном предприятии много, их специализация и структура зависят от структуры производственного и технологического процессов. Однако, все эти службы, несмотря на их разнообразие, можно объединить в три характерные группы:

1) подразделения, в которых происходит непосредственная переработка исходных материалов и полуфабрикатов в готовые элементы конструкции и летательные аппараты в целом, т.е. те подразделения, в которых осуществляются технологические процессы изготовления деталей, сборка узлов, панелей, секций, отсеков, агрегатов и общая сборка летательного аппарата, наземные и летные испытания его систем и их совместного функционирования. Эту группу подразделений называют *основным производством предприятия*, а сами подразделения — *цехами основного производства*;

2) подразделения, в которых изготовляют вспомогательные изделия, необходимые для осуществления технологических процессов производства основной продукции предприятия, т.е. изделия, к которым относится технологическая оснастка (инструменты, приспособления, стенды), специальное технологическое оборудование, средства механизации и автоматизации технологических процессов. Эту группу подразделений называют *вспомогательным производством предприятия*, а сами подразделения — *цехами вспомогательного производства.*

Отличительной особенностью предприятий авиационного профиля в сравнении с предприятиями других отраслей машиностроительной промышленности является то, что в совокупном производственном процессе трудовые процессы, осуществляемые в подразделениях вспомогательного производства, составляют относительно большой удельный вес;

3) подразделения, которые создают условия для нормального, бесперебойного функционирования, основного и вспомогательного производства, обеспечивают их материалами, электроэнергией, теплом, сжатым воздухом, транспортом, ремонтом основных фондов и т.п. Эту группу подразделений называют *обслуживающим производством*, а сами подразделения — *цехами и службами обслуживающего производства.*

Из сказанного видно, что производственный процесс оказывает весьма существенное влияние на производственную структуру предприятия, определяет характер подразделений, в которых выполняются все трудовые процессы, входящие в производственный процесс.

4.3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ, ВЫПОЛНЯЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Анализ процессов труда, составляющих производственный процесс предприятия, дает возможность воспроизвести его общую производственную структуру, которая может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 4.1. Из схемы видно, что производственный процесс предприятия по существу определяет его структуру. В основу организации различных групп подразделений предприятия, осуществляющих производственный процесс, кладутся различные признаки. Цехи основного производства создаются по технологическому признаку.

Технологический процесс ЛА состоит из многих частных технологических процессов, которые применяют для изготовления всех элементов его конструкции. Все эти процессы, как было показано выше, делятся на характерные группы, к которым относятся технологические процессы заготовительно-штамповочных работ, механической обработки резанием, изготовления различных сборочных единиц, монтажно-испытательные процессы и др. Именно по этим основным технологическим направлениям создаются цехи основного производства и организуется их производственный процесс.

На каждом заводе по производству авиационной техники создаются заготовительно-штамповочные цехи, цехи механической обработки резанием, клепально-сборочные и сборочно-сварочные цехи, цехи монтажные и испытательные. Создается цех аэродромных наземных и летных испытаний [летно-испытательная станция (ЛИС)].

Цехи вспомогательного производства организуют не по технологическим признакам, а по видам изготовляемой в них технологической оснастки: инструментальный, штамповой оснастки, станочных приспособлений, деревянной и пластмассовой заготовительно-штамповочной оснастки, сборочных и сварочных приспособлений и др.

Цехи и службы обслуживающего производства организуют по видам работ, которые выполняются для цехов основного и вспомогательного производства, обеспечивающих их нормальное функционирование. На заводах авиационного профиля обычно создаются цехи и службы по ремонту технологического оборудования, электрооборудования, зданий и сооружений. Кроме того, создаются электроцех, транспортный цех, компрессорная и др.

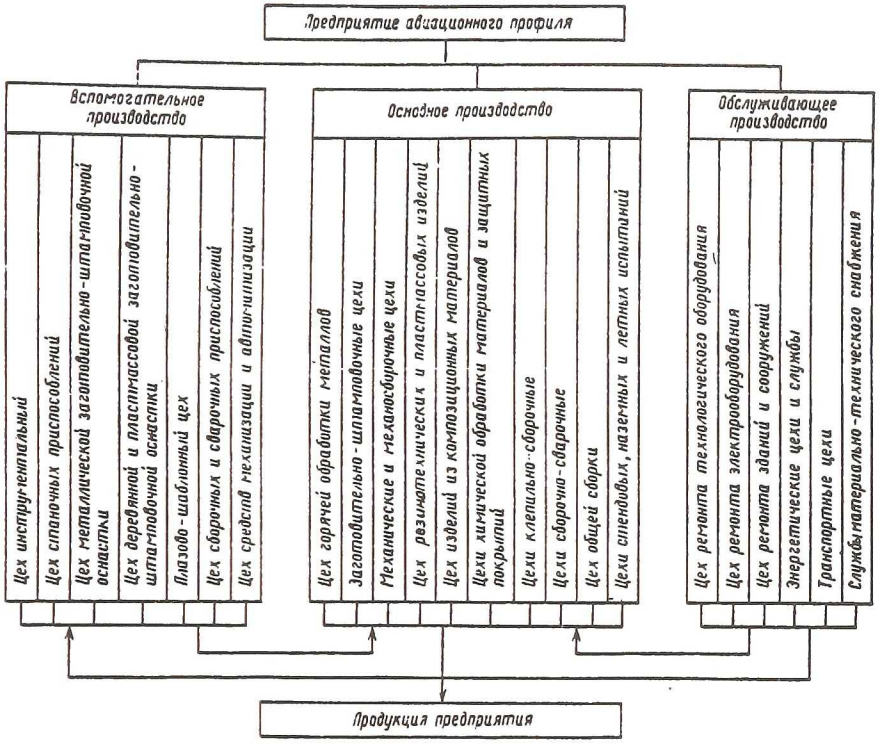


Рис. 4.1. Укрупненная типовая производственная структура предприятия авиационного профиля

Число цехов основного производства по каждому технологическому направлению зависит от объема производства и производственной программы выпуска летательных аппаратов. При небольшом числе изготовляемых машин создается минимальное число цехов, в каждом из которых предусматривается осуществление нескольких различных технологических направлений. Так, в опытном производстве имеется обычно только один заготовительно-штамповочный цех, в котором выполняются многочисленные заготовительно-штамповочные работы. Один цех создается и для выполнения механической обработки.

Создается минимальное число сборочных цехов, которые организуются обычно по агрегатному принципу. В них реализуются технологические процессы сборки целых агрегатов (например, цехи сборки фюзеляжа, центроплана, оперения, общей сборки планера летательного аппарата).

С увеличением числа летательных аппаратов, изготовляемых в течение года, осуществляется более узкая специализация цехов в пределах основных технологических направлений, составляющих технологический процесс изготовления ЛА. Причем, чем больше объем производства, тем более узкую технологическую специализацию придают цехам основного производства. При характерных для современных серийных заводов авиационного профиля объемах производства создается обычно несколько заготовительно-штамповочных цехов по более узким технологическим направлениям: цехи раскроя листовых материалов и прессованных профилей, изготовления деталей из тонкостенных труб, мелких штампованных деталей, цехи листоштамповочных молотов, изготовления обшивок и др.

Создается также несколько механических цехов: цехи по производству мелких деталей, нормалей, арматуры, длинномерных и крупногабаритных механических деталей. Организуются механосборочные цехи по изготовлению деталей и сборке шасси, механизмов управления.

Более узкую специализацию приобретают клепально-сборочные и сварочные цехи. Выделяются самостоятельные цехи по сборке отсеков фюзеляжа, механизации крыла, рулей поворота, рулей высоты и т.д. Благодаря этому расширяется фронт работы, повышается производительность труда, создается возможность механизации, а в ряде случаев и автоматизации некоторых процессов сборки. При большем числе летательных аппаратов, изготовляемых в течение года, организуются самостоятельные цехи сборки более мелких элементов конструкции: панелей, шпангоутов, нервюр и других мелких сборочных единиц.

Независимо от производственной программы создаются такие цехи, как литейный, кузнечный, термической обработки, защитных покрытий, ЛИС.

4.4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИЕ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ

В каждом из подразделений авиационного предприятия функционируют свои, присущие только ему производственные процессы, которые для всех подразделений в комплексе и составляют производственный процесс предприятия. С этой точки зрения производственный процесс предприятия можно разделить на произ-

водственные процессы основного, вспомогательного и обслуживающего производств.

В состав производственного процесса подразделений основного производства, кроме технологических процессов изготовления элементов конструкции и ЛА в целом, входят ряд других процессов труда, которые не участвуют непосредственно в преобразовании исходных материалов в основные изделия предприятия (т.е. продукцию основного производства), но обеспечивают бесперебойное осуществление процессов этого преобразования (текущий ремонт оборудования, внутрицеховой транспорт, обеспечение материалами, полуфабрикатами, электроэнергией, теплотой и т.п.).

Главной частью производственного процесса подразделений вспомогательного производства являются технологические процессы изготовления технологического оснащения (т.е. процессы переработки исходных материалов в технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации основного производства, специальное технологическое оборудование). Кроме того, в производственный процесс этих подразделений входят ряд других трудовых процессов, которые не участвуют непосредственно в преобразовании исходных материалов в технологическое оснащение, но обеспечивают бесперебойное осуществление этого преобразования (обеспечение материалами, внутрицеховой транспорт, текущий ремонт и настройка оборудования и т.д.).

Основной частью производственного процесса подразделений обслуживающего производства являются процессы, непосредственно обеспечивающие нормальное функционирование цехов основного и вспомогательного производства предприятия. Кроме того, в состав производственного процесса этих подразделений входит ряд других сопутствующих процессов, которые непосредственного влияния на деятельность цехов основного и вспомогательного производства предприятия не оказывают, но обеспечивают нормальную деятельность самих подразделений обслуживающего производства (материально-техническое обеспечение, внутрицеховой транспорт, текущий ремонт оборудования и т.п.).

В состав производственных процессов вспомогательного и обслуживающего производства технологические процессы изготовления летательного аппарата не входят. Вместе с тем, деятельность этих производств и, следовательно, производственные процессы их подразделений, зависят от производственных процессов цехов

основного производства. Изменения в производственных процессах основных подразделений предприятия неизбежно вызывают соответствующие изменения в производственных процессах вспомогательных и обслуживающих подразделений. Эта зависимость обусловливается тем, что производственный процесс цехов основного производства предприятия является главным, во имя его осуществления организуются эти цехи, а все остальные подразделения предприятия должны обеспечивать их нормальное функционирование. Именно цехи основного производства предприятия осуществляют выпуск изделий в заданном количестве и в установленные сроки, в них обеспечивается необходимое качество летательных аппаратов, их надежность и долговечность. Но вместе с тем, на качество летательных аппаратов существенное влияние оказывают и производственные процессы вспомогательного производства, поскольку в цехах этого производства изготовляется технологическая оснастка, от точности и качества которой зависит точность и качество основных изделий.

Производственные процессы цехов и служб обслуживающего производства прямого влияния на качество летательного аппарата не оказывают. Однако они косвенно влияют на обеспечение качества, надежности и долговечности ЛА. Например, если ремонтный цех не обеспечит своевременный ремонт технологического оборудования, то цехи основного и вспомогательного производства будут вынуждены работать на изношенном оборудовании, что, естественно, скажется отрицательно на качестве изготовляемых изделий.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

5.1. СОСТАВ, СТРУКТУРА, ЭТАПЫ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Технологической подготовкой производства называют совокупность взаимосвязанных процессов, выполняемых на предприятии и обеспечивающих его технологическую готовность к выпуску летательных аппаратов заданного уровня качества в установленные сроки и в необходимом объеме выпуска при минимальных трудовых и материальных затратах (ГОСТ 14.004—83). Функционирование любого машиностроительного предприятия и постановка серийного производства нового изделия немыслимы без наличия и действия указанных взаимосвязанных процессов. Под *технологической готовностью предприятия* понимают наличие на нем полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения первой очереди, необходимых для осуществления заданного объема выпуска изделий с установленными технико-экономическими показателями.

Технологическая подготовка производства является частью технической подготовки производства, в состав которой кроме нее входят также научно-исследовательская, конструкторская и организационная подготовки производства. Между частями технической подготовки имеется тесная связь. Каждая из этих частей не может быть осуществлена в отрыве от других. Для технологической подготовки производства необходимо, чтобы предварительно были проведены или проводились параллельно научно-исследовательская и конструкторская подготовка производства.

Научно-исследовательские работы, которые входят в состав научно-исследовательской подготовки производства, осуществляются как в начале технической подготовки производства, так и в процессе проведения конструкторской и технологической подготовки производства, и выполняются обычно специализированными научно-исследовательскими организациями.

При конструкторской подготовке производства создается конструкция летательного аппарата, соответствующая современному уровню развития авиационной и космической науки и техники.

Конструкторская подготовка производства, кроме разработки конструкций новых авиационных изделий, включает изготовление, испытание и доводку опытных образцов в стендовых и летных условиях. При технологической подготовке производства обеспечиваются заложенные в конструкцию ЛА эксплуатационные свойства, создаются условия для его высококачественного изготовления в заданном числе при наименьших трудовых и материальных затратах. Как конструкторская, так и технологическая подготовки производства должны проводиться в короткие сроки, чтобы предотвратить опасность быстрого морального старения вновь создаваемого ЛА.

Из изложенного выше следует, что обеспечить строгую последовательность выполнения конструкторской и технологической подготовки производства и провести четкую границу между ними практически невозможно. Обе эти части технической подготовки производства во многом осуществляются не последовательно, а параллельно. Технологическая подготовка производства начинается при разработке технического задания на проектирование ЛА и продолжает осуществляться на всех последующих стадиях конструкторской подготовки, и даже тогда, когда уже начато серийное производство изделия, что связано с непрерывным улучшением конструкции и эксплуатационных свойств ЛА для предупреждения его морального старения. Возникающие при этом изменения конструкции вводятся обычно с определенных серий. (Доработка уже изготовленных ЛА проводится только в исключительных случаях). Поэтому технологическая подготовка производства на заводах авиационного профиля ведется непрерывно в течение длительного времени, хотя и в меньших объемах, чем в начале запуска ЛА в производство.

Основными функциями технологической подготовки производства на авиационном предприятии являются:

1) разработка директивных технологических материалов;

2) обеспечение технологичности элементов конструкции;

3) расцеховка деталей и сборочных единиц с целью распределения объемов работы между цехами основного производства предприятия;

4) проектирование и изготовление первоисточников и средств увязки и обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА;

5) разработка типовых и рабочих технологических процессов изготовления деталей, сборочных единиц, общей сборки ЛА, монтажа и испытания его систем (см. п. 5.4);

6) проектирование средств технологического оснащения (инструментов, приспособлений), специального технологического оборудования, средств механизации и автоматизации технологических процессов;

7) изготовление и отладка средств технологического оснащения первой и последующих очередей;

8) организация и управление процессами технологической подготовки производства ЛА.

К технологической подготовке производства относятся также: разработка норм расхода основных материалов, заготовок, полуфабрикатов, покупных изделий, согласование технических условий на их поставку; реконструкция цехов завода, связанная с особенностями конструкции нового изделия и технологии его изготовления, создание новых подразделений основного производства; изготовление головной серии осваиваемого изделия и отработка технологических процессов и оснастки при его изготовлении.

Директивные технологические материалы составляют высококвалифицированные технологи опытно-конструкторского бюро (ОКБ) и привлеченных организаций с участием заказчика и конструкторов на стадиях разработки технического задания и эскизного проектирования ЛА. Обеспечение технологичности конструкции деталей и сборочных единиц (см. п. 5.3) осуществляется на всех стадиях конструкторской подготовки. На стадиях разработки технологического задания на проектирование ЛА устанавливаются базовые показатели технологичности. На остальных стадиях с учетом базовых показателей и общих технологических требований к конструкции деталей и сборочных единиц при проектировании изделия ведется технологическая отработка его конструкции.

На предприятии-изготовителе ЛА при получении конструкторской документации от ОКБ осуществляется ее входной технологический контроль, по результатам которого в случае необходимости проводится ее корректировка. Проверка уровня технологичности и предъявление соответствующих технологических требований к конструкции деталей и сборочных единиц проводится на всех стадиях технологической подготовки производства и при изготовлении первых серийных машин. Соответствующие технологические требования могут

возникнуть при изготовлении первоисточников и средств увязки размеров и формы элементов конструкции.

Технологические процессы изготовления летательного аппарата и его элементов разрабатывают технологические службы предприятия, на котором организуется его серийное производство (см. п. 5.2). В начале анализируют и классифицируют элементы конструкции ЛА по конструктивно-технологическим признакам, разрабатывают типовые технологические процессы и в случае необходимости проводят их заводскую стандартизацию. Затем на чертежах сборочных единиц размечают технологические отверстия и составляют структурные схемы обеспечения геометрической взаимозаменяемости и увязки (см. п. 10.3).

По размеченным теоретическим и конструктивным чертежам с учетом структурных схем в плазово-шаблонном цехе завода создают первоисточники увязки (теоретические и конструктивные плазы, рабочие программы для их расчерчивания на графопостроителях с числовым программным управлением, эталоны поверхностей сборочных единиц) (см. п. 10.4).

По первоисточникам увязки изготовляют средства увязки (шаблоны, макеты и др.), которые используют при проектировании и изготовлении специальной технологической оснастки (см. п. 10.15) для переноса размеров и формы с первоисточников на объекты увязки.

На основе типовых технологических процессов, с учетом технологической проработки (разметки) чертежей, разрабатывают групповые процессы обработки и рабочие технологические процессы изготовления деталей, сборочных единиц, монтажных и испытательных работ (см. п. 5.4). Типовые и рабочие технологические процессы должны быть разработаны с использованием прогрессивных технологических решений и в них должны быть учтены современные достижения науки и техники в области технологии.

Параллельно разрабатывают всю остальную технологическую документацию, включающую ведомости расчета норм материалов, производственно-технологические планировки специализированных рабочих мест, участков и цехов основного, а в случае необходимости и вспомогательного производства, трудовые нормативы, рабочую документацию для решения задач с помощью ЭВМ, рабочие программы для оборудования с числовым программным управлением и др.

Выбирают средства технологического оснащения и составляют задания на проектирование специальных и универсальных приспособлений, инструментов, средств механизации и автоматизации производственных процессов, специального технологического оборудования, разрабатывают технические условия на их проектирование и изготовление.

В соответствии с заданиями и техническими условиями осуществляют конструкторскую разработку специальных и универсальных средств технологического оснащения, проводят их унификацию и внутризаводскую стандартизацию (см. п. 5.8). Технологическое оснащение изготовляют в соответствующих цехах вспомогательного производства. Технологические службы этих цехов предварительно ведут технологический контроль конструкции оснастки и разрабатывают технологические процессы ее изготовления. Параллельно с проектированием и изготовлением технологического оснащения осуществляют выбор специальных транспортных средств, их проектирование и изготовление.

Службами технологической подготовки производства выполняются опытное опробирование и отладка изготовленной технологической оснастки и специального технологического оборудования, а также типовых и рабочих технологических процессов изготовления деталей и групповой обработки, рабочих программ для ЭВМ и оборудования с числовым программным управлением. По результатам опробирования их корректируют, а в случае необходимости дорабатывают или изготовляют новую оснастку.

Вся технологическая подготовка производства должна осуществляться на основе применения современных методов ее организации и управления (системно-структурного анализа, моделирования процессов подготовки производства, применения экономико-математических методов). При ее проведении должны использоваться современные достижения отечественной и зарубежной науки, техники и передового опыта с учетом потребностей народного хозяйства либо обороны страны; технологическая подготовка производства должна быть направлена на ускорение темпов научно-технического прогресса в области производства ЛА, повышение качества и сокращение сроков их освоения, обеспечение высокой точности и стабильности технологических процессов их изготовления.

Весь комплекс работ по технологической подготовке производства должен выполняться в соответствии с требованиями безопасности труда и охраны окружающей среды.

На предприятиях авиационного профиля технологическая подготовка производства так же, как и в других машиностроительных отраслях, проводится строго в соответствии с установленной государственными стандартами единой системой организации и управления процессами технологической подготовки производства. Стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) установлены общие положения по осуществлению технологической подготовки производства (ТПП) новых изделий на основе широкого применения прогрессивных типовых и рабочих технологических процессов, стандартизованного технологического оборудования и оснастки, средств механизации и автоматизации инженерно-технических и управленческих работ. Ими определены основные требования к технологической подготовке производства, порядок организации научно-технических разработок в области ТПП, термины и определения основных понятий. Предусмотрены также правила организации и управления процессом ТПП, правила обеспечения технологичности конструкций деталей и сборочных единиц, правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения, определены основные правила применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ.

В соответствии с ЕСТПП технологическая подготовка производства должна проводиться по календарному плану, применительно к установленному типу производства и организационно-технической структуре предприятия. Контроль за ходом выполнения работ по ТПП должен вестись поэтапно с целью выявления отклонений фактических показателей от плановых и формирования информации о характере и причинах отклонений для своевременного принятия практических мер. Управление технологической подготовкой производства заключается в разработке и осуществлении мероприятий по обеспечению функционирования технологической подготовки производства изделия и ее корректировании при возникающих отклонениях (ГОСТ 14.004—83).

Организация технологической подготовки производства предусматривает формирование и совершенствование структуры служб технологической подготовки производства и подготовку информационного, математического и технического обеспечения, необходимого для выполнения функций технологической подготовки производства. *Циклом технологической подготовки производства* называют интервал календарного времени от ее начала до окончания.

5.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АВИАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ

Технологическая подготовка производства новых изделий на предприятиях авиационного профиля осуществляется специальными технологическими службами и цехами вспомогательного производства. Существенную роль играют также технологические службы цехов основного производства. Все технологические службы предприятия относятся к категории служб вспомогательного производства; создаются они, в основном, по технологическому принципу с учетом строгой специализации.

Технологические службы авиационного предприятия делятся на централизованные и децентрализованные (цеховые). Централизованные службы предприятий среднего размера подведомственны обычно непосредственно главному инженеру. Их возглавляют главные специалисты. Основным из них является главный технолог завода, который руководит практически всей технологической подготовкой производства. Отдельные специализированные технологические направления (заготовительно-штамповочные работы, обработка резанием, клепально-сборочные и монтажные работы) в его аппарате возглавляют начальники соответствующих отделов — отраслевые заместители главного технолога.

В качестве самостоятельных технологических направлений выделяют также горячую и химическую обработки металлов, к которым относят литейное и кузнечно-штамповочное производство, изготовление деталей из пластических масс, термическую обработку, нанесение защитных покрытий. Этими технологическими направлениями руководит главный специалист, которого условно называют главным металлургом предприятия.

В тех случаях, когда технология и конструкция изделия предусматривают большой удельный вес сварочных работ, на заводе вводится должность главного сварщика, который стоит во главе специализированного отдела сварки.

Централизованные технологические службы авиационного предприятия имеют в своем составе как технологов, которые занимаются разработкой технологических процессов основного производства, так и конструкторов, которые проектируют технологическую оснастку.

На средних предприятиях цеха вспомогательного производства обычно подчинены руководителям централизованных технологических служб. На крупных предприятиях технологической подготовкой производства руководят заместители главного инженера по подготовке производства и по новой технике. Заместитель главного инженера по подготовке производства руководит работой центральных технологических служб и вспомогательных цехов, планирует их работу. Заместитель главного инженера по новой технике осуществляет текущее и перспективное планирование и внедрение механизации и автоматизации производственных процессов, совместно с научно-исследовательскими организациями разрабатывает и внедряет новые технологические методы, оборудование, оснастку и материалы. Для проведения этих работ на заводах авиационного профиля имеется специальная технологическая лаборатория или опытный цех.

Централизованные технологические службы определяют техническую политику на предприятии и организуют ее практическое осуществление. Они разрабатывают основные (директивные) технологические указания, определяющие общие принципы изготовления летательного аппарата и его элементов, проектируют и руководят изготовлением технологического оснащения, разрабатывают нормы расхода материалов, а в ряде случаев и энергетических ресурсов, утверждают рабочие технологические процессы изготовления элементов конструкции и всего летательного аппарата в целом.

Децентрализованные технологические службы создаются в цехах основного, вспомогательного и обслуживающего производств. Административно они подчинены начальникам цехов. Однако, по вопросам техники и технологии ими руководят централизованные технологические службы. Основную роль в технологической подготовке производства играют технологические службы цехов основного производства. Именно они, руководствуясь директивами, указаниями и технологическими материалами централизованных технологических служб, разрабатывают типовые и рабочие технологические процессы изготовления деталей и сборочных единиц, общей сборки ЛА, монтажных работ и испытаний, которые затем утверждают соответствующие централизованные службы. Задача децентрализованных служб состоит также в руководстве практическим осуществлением технологических процессов в цехе на рабочих местах и контроле за соблюдением технологической дисциплины. *Технологической дисциплиной* называют соблюдение точного соответствия осуществля-

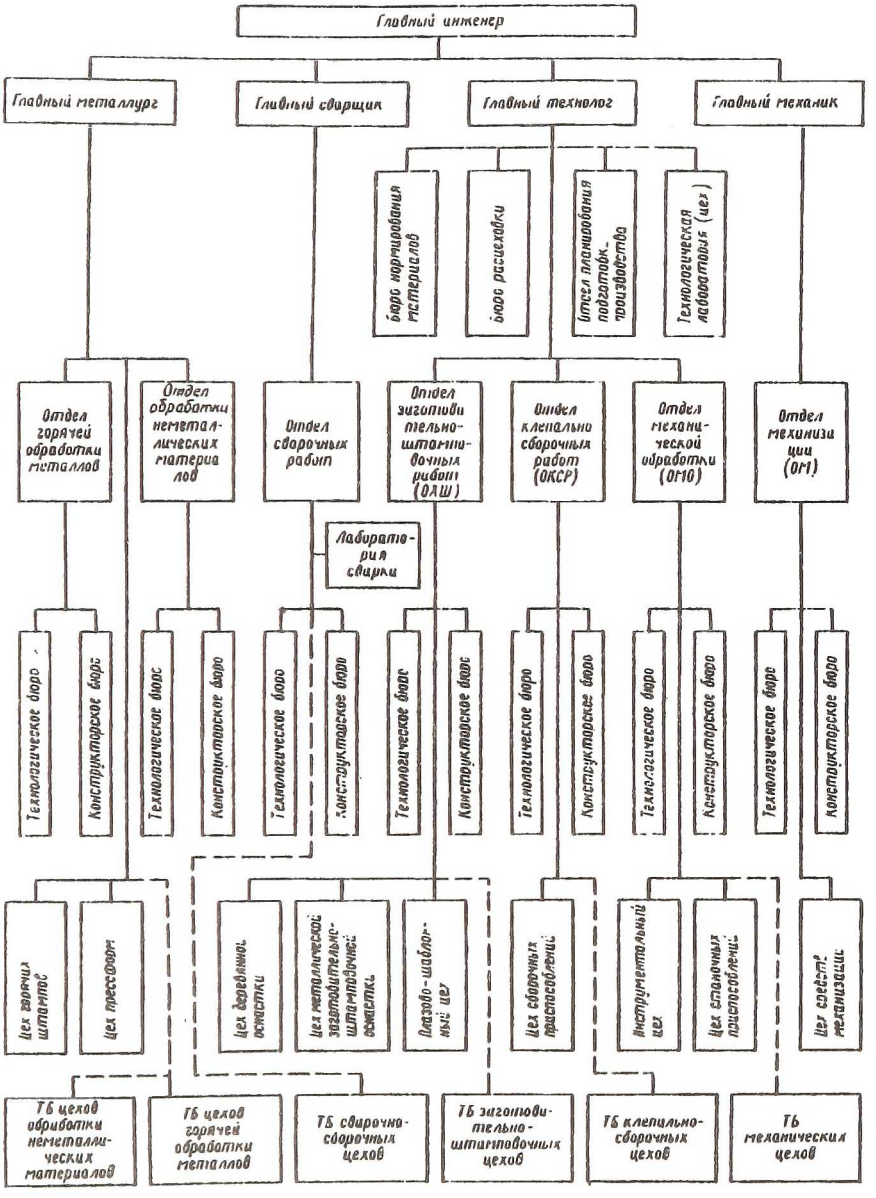


Рис. 5.1. Примерная структура технологических служб серийного авиационного завода

емого в цехе рабочего технологического процесса изготовления или ремонта изделия требованиям конструкторской и технологической документации.

Примерная типовая структура технологических служб серийного авиационного завода среднего размера показана на рис. 5.1.

5.3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Общие понятия и определения. Технологические требования к конструкции

Под *технологичностью конструкции* любого машиностроительного изделия, в том числе и летательного аппарата, понимают совокупность свойств его конструкции, обеспечивающих оптимальные затраты труда, средств, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте, по сравнению с соответствующими показателями однотипных конструкций изделий того же назначения при установленных значениях показателей качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта. К условиям изготовления и ремонта изделия при этом относят: тип, специализацию и организацию производства, объем производства, годовую программу и повторяемость выпуска, а также применяемые при изготовлении изделия технологические методы и процессы. Технологичность конструкции ЛА должна рассматриваться как совокупность его свойств, проявляемых на всех стадиях и этапах его проектирования, разработки технологических процессов оснащения, освоения, производства и эксплуатации. Технологичность конструкции определяет общетехническую и экономическую целесообразность конструкции изделия, ее соответствие оптимальным условиям изготовления и эксплуатации.

Технологичность по существу определяет пригодность конструкции для серийного производства наиболее простыми, дешевыми и производительными способами.

Таким образом технологичность конструкции является весьма важной характеристикой совершенства летательного аппарата, которая в значительной мере предопределяет уровень технической и экономической эффективности его освоения, производства и эксплуатации.

Вместе с тем следует отметить, что технологичность конструкции понятие сугубо относительное, приобретающее реальный смысл только при вполне определенных внешних условиях [50]. Технологичность конструкции непосредственно связана с уровнем развития авиационной техники и технологии как науки, которые непрерывно совершенствуются, развиваются, появляются новые технологические методы, расширяются их технологические и производственные возможности.

Поэтому то, что ранее было нетехнологичным, может стать технологичным в современных условиях при новых методах и приемах обработки с использованием новых высокоэффективных средств производства. И наоборот, то, что было технологичным ранее, при новых более эффективных технологических методах, может стать совершенно нетехнологичным.

Так, например, созданный в 1925 г. авиационным конструктором А.Н. Туполевым первый в мире цельнометаллический тяжелый бомбардировщик моноплан ТБ-1 (АНТ-4), резко отличавшийся в конструктивном и технологическом отношениях от построенных ранее самолетов, был высокосовершенной и технологичной по тому времени машиной. Он стал прототипом последующих цельнометаллических многомоторных бомбардировщиков аналогичной конструкции не только у нас в стране, но и за рубежом, и оказал существенное влияние на дальнейшее развитие технологии самолетостроения.

Однако с точки зрения возможностей современной технологии самолетостроения конструкция самолета ТБ-1 была бы совершенно нетехнологичной, так как в ней не предусмотрена возможность использования разработанных в последние 40—60 лет многих более эффективных, по сравнению с известными в то время, технологических методов, значительно расширяющих возможности конструкторов и технологов. К ним относятся, например, штамповка деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб эластичными средами и с применением импульсного магнитного поля, электрогидроимпульсная штамповка, размерное химическое травление, электрофизические и электрохимические методы обработки. В конструкции этого самолета не предусмотрена возможность применения высокопроизводительного оборудования для сборки планера клепаной конструкции: автоматизированных сверлильно-зенковальных установок, прессов для групповой клепки с автоматическим циклом работы и других средств производства, которых в то время не было.

Вместе с тем, современный пассажирский лайнер ТУ-154, конструкция которого хорошо отработана, обладает достаточно высоким уровнем технологичности и предусматривает применение для изготовления деталей и сборочных единиц многих новых высокоэффективных технологических методов, неизвестных в 20-е и 30-е годы, в условиях того времени имел бы совершенно нетехнологичную конструкцию, его было бы просто невозможно изготовить.

Относительность понятия технологичности конструкции характеризуется также неодинаковыми технологическими и производственными возможностями заводов-изготовителей ЛА (см. п. 3.3), одна и та же конструкция для одного завода может быть технологичной, а для другого — нетехнологичной. Например, если авиационный завод в течение длительного времени специализируется на производстве самолетов клепаной конструкции из легких алюминиевых сплавов, то вся его производственная обстановка будет приспособлена к изготовлению самолетов именно этого типа. Он будет иметь высокопроизводительное оборудование для прессовой клепки, сверлильно-зенковальные автоматизированные установки и другое оборудование, специально предназначенное для выполнения заклепочных соединений.

Такой завод будет располагать высококвалифицированными рабочими-сборщиками, имеющими узкую технологическую специализацию в области клепально-сборочных работ. Его инженерно-технические работники, технологи, мастера, руководители цехов и технологических служб будут иметь специализацию, связанную с изготовлением клепаных конструкций. Соответствующую специализацию и опыт работы будут иметь службы и цехи технологической подготовки производства.

Очевидно, что для такого завода будут наиболее технологичными самолеты клепаной конструкции из легких алюминиевых сплавов и будут совершенно нетехнологичными летательные аппараты, например, сварной конструкции из специальных сталей и жаропрочных сплавов. Для освоения и постановки производства машины сварной конструкции на таком предприятии потребуется коренная перестройка служб основного и вспомогательного производства, переоборудования клепально-сборочных цехов на сборочно-сварочные, их полная реконструкция, переквалификация рабочих и инженерно-технических работников, на что, естественно, будет затрачено много дополнительного времени, средств и труда. На таком

заводе летательный аппарат сварной конструкции будет осваиваться очень долго, его качество будет низким, освоение и рост объемов производства будет осуществляться крайне медленно.

Поэтому в целях обеспечения высокого уровня технологичности конструкции ЛА в процессе его проектирования, надо учитывать специализацию и технологические особенности предприятия-изготовителя, его производственную обстановку, для этого конструкторское бюро, приступая к проектированию летательного аппарата должно знать, на каком конкретно заводе будет организовано производство вновь создаваемой конструкции.

Существенное влияние на технологичность конструкции оказывает объем производства изделия и производственная программа его выпуска, с чем тоже связана относительность понятия технологичности конструкции. Конструкция, удовлетворяющая требованиям технологичности при единичном и мелкосерийном производствах, как правило, будет иметь низкую технологичность в условиях крупносерийного и массового производства. И наоборот, конструкция технологичная при массовом производстве может быть совершенно нетехнологичной при производстве мелкосерийном и тем более единичном.

Для мелкосерийного и единичного производства степень целесообразного использования высокопроизводительных технологических методов с применением средств механизации и автоматизации будет значительно ниже, чем для крупносерийного и массового производств. Очевидно, что для сборки крупных самолетов, изготовляемых обычно в небольшом количестве (их производство чаще всего носит мелкосерийный характер) экономически и технологически нецелесообразно будет применять конвейер. Однако для сборки легковых автомобилей (например, типа "Жигули", которые являются изделиями массового производства) применение конвейера будет единственно правильным решением. Вместе с тем, если самолет определенного типа в случае большой потребности народного хозяйства либо обороны страны будет необходимо изготовлять в большом количестве, и его производство будет носить крупносерийный характер, то для изготовления его агрегатов будет рационально применить поточные линии или даже конвейеры. Но технологические требования к его конструкции при таких методах изготовления будут иными, чем при единичном или мелкосерийном производствах. Поэтому конструкция его агрегатов должна быть изменена и приспособлена для поточных методов сборки.

Например, в 1938 г. отечественным конструктором С.В. Ильюшиным был создан оригинальный самолет-штурмовик ИЛ-2, который

впоследствии стал легендарной машиной, сыгравшей большую роль в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг. Самолет ИЛ-2 имел принципиально новую, невиданную в практике мирового самолетостроения, бронированную конструкцию. Его главной частью был бронекорпус, изготовленный из листовой стали толщиной 6 — 8 мм. Отличительной особенностью и основной целью бронекорпуса являлась не только защита от огня противника жизненно важных частей машины (двигателя, кабины экипажа, систем самолета и др.); он являлся также рабочим элементом самолета, так как в системе каркаса фюзеляжа воспринимал основные полетные нагрузки.

Бронекорпус имел сварную конструкцию и после изготовления подвергался специальной термообработке, в результате которой броня приобретала необходимые физико-механические свойства. Вместе с тем при термообработке бронекорпус деформировался, выправить его и довести до заданных в чертеже размеров было практически невозможно. Поэтому он поставлялся на авиационный завод со значительными отклонениями от заданных размеров. С точки зрения аэродинамики (корпус имел обтекаемую форму) и прочностных характеристик эти отклонения были допустимы. Однако большинство деталей и узлов каркаса фюзеляжа, сопрягающихся с броней, при сборке подвергалось доводке по месту в сборочном приспособлении. Для единичного и мелкосерийного производства самолетов того времени доводка по месту — явление обычное.

Поэтому в начале производства ИЛ-2, когда самолет выпускался в небольшом количестве (1 — 2 самолета в месяц), это не являлось большим недостатком конструкции и она считалась технологичной. Доводка была включена в технологический процес сборки, в сборочном цехе была создана специальная бригада слесарей-жестянщиков, которая успешно справлялась с поставленной задачей, и доводка по месту не служила в производстве узким местом.

Затем потребность в самолетах ИЛ-2 резко возросла. Было решено организовать их крупносерийное производство, но для этого конструкция самолета оказалась неприспособленной и совершенно нетехнологичной. Для доводки деталей при сборке потребовалась бы целая армия слесарей-жестянщиков, огромные дополнительные производственные площади и большое число сборочной оснастки, в которой проводилась бы доработка деталей при сборке, что обеспечить было практически невозможно.

Задачу удалось решить только после капитальной доработки конструкции самолета, многих его деталей и узлов, с целью приведения их конструкции в соответствие с требованиями технологии крупносерийного производства. Были введены в конструкцию специальные компенсаторы, поглощающие отклонения размеров бронекорпуса. Доводка деталей по месту была устранена и производство самолета ИЛ-2 удалось поставить на поток. Были созданы поточные и конвейерные линии для сборки крыла, фюзеляжа, фонаря кабины пилота и других крупных сборочных единиц. Выпуск самолетов на тех же площадях удалось довести до 20—25 штук в сутки.

Из изложенного выше следует, что понятие технологичности конструкции весьма широкое и емкое. Оно распространяется на всю техническую подготовку производства, т.е. как на процессы проектирования изделия, так и на технологическую подготовку и организацию его производства. В равной степени оно относится к производству изделия и его эксплуатации. Поэтому технологичность конструкции изделия делят обычно на несколько видов, рассматривая и оценивая конструкцию по каждому виду в отдельности.

По области проявления технологичность конструкции ЛА можно разделить на три основных вида: производственную, эксплуатационную и ремонтную. Производственная технологичность определяется применительно к проектированию и изготовлению ЛА. Она проявляется в сокращении затрат труда, средств, материалов и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства и на процессы изготовления изделия, включая контроль и испытание. Поэтому производственную технологичность конструкции изделия можно характеризовать, как степень соответствия его свойств, заложенных в конструкцию, требованиям и возможностям современного производства и достигнутому уровню развития технологии, как науки, при заданных условиях изготовления изделия. Производственная технологичность конструкции должна рассматриваться и определяться не только на изделие в целом, но и на все элементы его конструкции. Только при этом условии может быть получен наибольший технико-экономический эффект при его изготовлении.

Следовательно, для летательного аппарата производственная технологичность должна быть распространена на его планер в целом и на его агрегаты, отсеки, секции, панели, узлы и детали, а также на заготовки для деталей. Каждый из этих элементов конструкции

должен обладать оптимальной производственной технологичностью, что в конечном счете должно обеспечить оптимальную производственную технологичность конструкции всего летательного аппарата.

Поэтому следует различать производственную технологичность конструкции заготовки, детали, сборочной единицы. Под *технологичностью конструкции заготовки* понимают совокупность ее свойств, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при ее изготовлении в принятых условиях производства и при непременном обеспечении технологичности изготовляемой из нее детали или неразъемной сборочной единицы.

Под *технологичностью конструкции детали* понимают совокупность ее свойств, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, и изготовлении в принятых условиях производства и при непременном обеспечении технологичности конструкции сборочной единицы, в состав которой входит деталь.

И, наконец, под *технологичностью конструкции сборочной единицы* (узла, панели, секции, отсека, агрегата) понимают совокупность ее свойств, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке ее производства и при изготовлении (сборке) в принятых условиях производства и при непременном обеспечении технологичности изделия, в состав которого она входит.

Производственную технологичность конструкции изделий можно классифицировать по ряду дополнительных признаков, в соответствии с которыми могут быть выделены другие частные виды производственной технологичности. Производственная технологичность конструкции изделия может быть разделена на виды, применительно к какому-либо процессу его изготовления, форме его поверхности, его размерам, материалам, идущим на его изготовление в том случае, если эти признаки определяют необходимый уровень производственной технологичности. При этом вводятся следующие дополнительные понятия технологичности: 1) технологичность конструкции детали или сборочной единицы по процессу изготовления, под которой понимают технологичность, определяемую применительно к какому-либо одному из процессов изготовления с учетом возможности получения технологичной конструкции при последующих процессах обработки или сборки; 2) технологичность конструкции изделия по форме поверхности, под которой понимают технологичность,

определяемую выбором формы и качества обрабатываемой поверхности с учетом возможности применения высокопроизводительного технологического оборудования, инструментов, приспособлений; 3) технологичность конструкции изделия по размерам, под которой понимают технологичность, определяемую выбором размеров и точностью их выполнения; 4) технологичность конструкции изделия по материалам, под которой понимают технологичность, опрсделяемую свойствами, характеристиками (в том числе — обрабатываемостью), унификацией и стоимостью применяемых в конструкции материалов.

Эксплуатационная технологичность конструкции изделия (самолета, вертолета, космического корабля) определяется применительно к его эксплуатации и техническому обслуживанию. Она проявляется в сокращении затрат времени, труда и средств на эксплуатацию летательного аппарата, его техническое обслуживание и управление им при взлете, полете и посадке. Конструкция машины при всех условиях должна быть удобной для обслуживания и управления. Степень этого удобства определяется уровнем эксплуатационной технологичности.

Поэтому эксплуатационную технологичность можно характеризовать как свойство конструкции летательного аппарата, заключающееся в удобстве и легкости управления и безопасности его эксплуатации, в приспособленности к выполнению всего комплекса работ по техническому обслуживанию (заправка топливом, рабочими жидкостями, сжатыми газами, подготовка к полету и хранению между полетами и другие работы, выполняемые при техническом обслуживании) с использованием наиболее эффективной технологии.

Таким образом, в понятие эксплуатационная технологичность летательного аппарата входят два отличные друг от друга понятия, одно из которых характеризует удобство, легкость и безопасность эксплуатации и второе — приспособленность конструкции изделия к проведению различного рода работ, выполняемых при техническом обслуживании. В соответствии с этим и эксплуатационную технологичность конструкции можно разделить на два частных вида: 1) технологичность при эксплуатации в полете и 2) технологичность при техническом обслуживании и подготовке летательного аппарата к полету. Технологичность при эксплуатации в полете — эксплуатационная технологичность, определяемая применительно к обслуживанию и управлению ЛА при взлете, посадке и рейсовом полете. Технологичность при техническом обслуживании — эксплуатацион-

ная технологичность, определяемая применительно к подготовке ЛА к полету, его наземному обслуживанию, транспортированию, хранению.

Ремонтная технологичность конструкции ЛА определяется применительно к его текущему и капитальному ремонтам, связанным с доработкой или заменой изношенных частей новыми. Она проявляется в сокращении затрат времени, труда и средств на ремонт ЛА. Конструкция машин при всех условиях должна быть ремонтноспособной, обеспечивать возможность легкой замены изношенных частей без ручных подгоночных работ или с минимальным их объемом, иметь удобные подходы к ремонтируемым элементам.

Следует отметить, что технологичность при техническом обслуживании и ремонтная технологичность, в отличие от производственной технологичности, являются не только внутренним свойством конструкции, но в значительной мере зависят от принятой в эксплуатирующей организации системы технического обслуживания и ремонта ЛА, т.е. от внешних условий, при которых происходит его эксплуатация и ремонт.

Под *системой технического обслуживания и ремонта* при этом понимают совокупность организационно-технических мероприятий, в состав которых входит плановое техническое обслуживание и ремонт, выполняемые в порядке профилактики, а также работы по обнаружению и устранению внезапных отказов [45]. Эти мероприятия выполняются в определенной последовательности в процессе эксплуатации ЛА и предусматривают решение комплекса задач, связанных с обеспечением необходимой надежности, безопасности и регулярности полетов при высоких технико-экономических показателях работы эксплуатационных предприятий.

Из изложенного следует, что не только технолог должен хорошо знать технологию производства ЛА и требования, предъявляемые ею к конструкции, но и конструктор должен быть хорошо подготовлен в области технологии, уметь учитывать особенности и возможности производства и находить решения, которые приводили бы к уменьшению трудоемкости производственных процессов, повышению производительности труда и уменьшению себестоимости ЛА и его конструктивных элементов; конструктор должен также хорошо знать и учитывать при проектировании эксплуатационные требования к ЛА создаваемой конструкции.

Отработка конструкции летательного аппарата на технологичность

Решение технологической, экономической и эксплуатационной задач в процессе проектирования любого машиностроительного изделия, в том числе и ЛА, называют отработкой его конструкции на технологичность. Качество решения этих задач и глубина их проработки применительно к внешним условиям производства и эксплуатации ЛА определяют на сколько вновь создаваемая конструкция будет отвечать требованиям технологичности.

Отработка конструкции ЛА и его элементов на технологичность направлена на повышение производительности труда, снижение трудовых и материальных затрат и сокращение времени на проектирование, освоение, серийное производство, техническое обслуживание и ремонт изделия при заданных показателях качества и реальных условиях его изготовления и эксплуатации.

Таким образом, отработка изделий на технологичность представляет собой функцию технической подготовки производства, причем весьма важную, предусматривающую взаимное решение конструкторской, технологической, экономической и эксплуатационной задач. Чем лучше будет проведена отработка конструкции изделия на технологичность, тем меньше будут затраты средств и материалов на последующую технологическую подготовку производства, короче будут сроки постановки производства изделия, меньше будут трудовые и материальные затраты на его изготовление, ниже его себестоимость, меньше будут затраты труда и материалов на его эксплуатацию и ремонтное обслуживание.

Улучшая технологичность конструкции можно увеличить выпуск изделий при тех же средствах и условиях производства. Технологичность конструкции должна обеспечиваться на первых стадиях создания ЛА, т.е. при его конструкторской разработке и выпуске рабочей конструкторской документации. Поэтому проектирование технологических процессов изготовления ЛА и его элементов, конструирование и изготовление технологического оснащения, его отработка и освоение в производстве должны осуществляться только для тех изделий, конструкция которых прошла глубокую отработку на технологичность.

Недостаточно глубокая отработка конструкции изделий на технологичность на стадии конструкторской подготовки производства

неизбежно приводит к большим последующим изменениям конструкторской и технологической документации и изготовленных средств технологического оснащения, что в свою очередь приводит к большим дополнительным затратам труда, средств, материалов и времени на постановку и освоение производства изделия и к ухудшению его качества. Кроме того, это вносит известную дезорганизацию в процессы освоения и производства изделия. Экономическая эффективность отработки изделия на технологичность будет значительно ниже, если она будет выполняться не только при конструкторской подготовке производства, но и на последующей разработке технологических процессов, изготовлении и отладке технологического оснащения. Она будет еще ниже, если отработку на технологичность продолжить в начавшемся серийном производстве изделия.

Поэтому только своевременный и наиболее полный учет требований технологичности на стадиях конструкторской подготовки производства обеспечит создание летательных аппаратов, обладающих наиболее высокими технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками.

В производстве ЛА применяют два вида оценки технологичности: качественная и количественная. Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно на основе опыта исполнителя. Она проводится в сравнении с лучшими отечественными и зарубежными образцами или при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования. Количественная оценка технологичности конструкции выражается посредством системы базовых, комплексных и частных показателей, оптимальные значения которых указываются в техническом задании на проектирование ЛА. Она дает более точные результаты, чем качественная оценка.

Отработка конструкции ЛА и его составляющих частей на технологичность должна обеспечивать решение следующих задач (ГОСТ 14.201—83):

снижение трудоемкости и себестоимости изготовления деталей, сборочных единиц, монтажных работ и общей сборки ЛА;

снижение трудоемкости, цикла и стоимости работ по обслуживанию ЛА при эксплуатации, включающему подготовку ЛА к полету, контроль работоспособности систем, профилактическое техническое обслуживание и ремонт ЛА.

Комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости в общем случае включает:

повышение серийности при изготовлении заготовок, деталей и узлов посредством стандартизации, унификации и группирования их по конструктивным и технологическим признакам;

ограничение номенклатуры разнотипных деталей и применяемых материалов для их изготовления;

преемственность освоенных при изготовлении других ЛА конструктивных решений, соответствующих современным требованиям (деталей, узлов, секций, отсеков, агрегатов);

снижение массы деталей и ЛА в целом;

применение высокопроизводительных типовых технологических процессов и средств технологического оснащения;

панелирование конструкций агрегатов, секций и отсеков;

технологически и экономически целесообразное членение конструкций планера ЛА на составляющие элементы, самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях.

Снижение трудоемкости, цикла и стоимости работ при эксплуатации в общем случае достигается:

рациональным выполнением конструкции, обеспечивающим удобство технического обслуживания и ремонта;

повышением надежности и ремонтопригодности конструкции без снижения ресурса ЛА.

Отработку конструкции ЛА на технологичность в общем случае проводят в следующем порядке:

подбирают и анализируют исходные материалы для оценки технологичности проектируемой конструкции ЛА и его составляющих частей;

уточняют объем производства и динамику роста выпуска ЛА по годам;

анализируют показатели технологичности ЛА аналогичной конструкции;

определяют показатели производственной и эксплуатационной технологичности проектируемого изделия;

проводят сравнительную оценку и рассчитывают уровень технологичности конструкции разрабатываемого ЛА;

разрабатывают рекомендации по улучшению показателей технологичности конструкции ЛА.

Исполнителями отработки конструкции ЛА и его частей на технологичность являются разработчики конструкторской документации и технологические службы опытного конструкторского бюро. Отвечает за технологичность конструкции и ее уровень главный конструктор изделия. Для более качественной и всесторонней

технологической проработки конструкции главный конструктор привлекает высококвалифицированных специалистов отраслевых научно-исследовательских институтов (НИАТ, ВИАМ и др.) и предприятия, на котором планируется организация производства вновь создаваемого изделия. В результате совместной работы специалистов ОКБ, НИИ и серийного завода обеспечивается необходимый уровень технологичности конструкции ЛА и составляется его конструктивно-технологическая характеристика, которая является завершающим этапом работы по повышению технологичности конструкции изделия и содержит структуру заготовок по видам и методам их изготовления, структуру применяемых материалов, трудоемкость изделия и ее структуру по видам работ [52]. Конструктивно-технологическая характеристика изделия, кроме того, содержит основные показатели технологичности его конструкции.

Существенную роль в отработке конструкции ЛА и его частей играют технологические службы опытного завода ОКБ, на котором изготовляют первые опытные образцы изделий. В процессе всего периода изготовления опытных образцов и их испытаний непрерывно ведется их конструкторская и технологическая доработка, связанная с соответствующими изменениями конструкторской документации. Особенно тщательной технологической отработке подвергаются детали и узлы, имеющие сложную конструкцию и большую трудоемкость изготовления. Разработанные при этом технологические процессы используют не только при изготовлении опытных образцов; их принимают в качестве эталонных и наравне с конструкторской документацией передают на серийный завод в качестве директивных технологических материалов для обязательного использования в серийном производстве.

Следует отметить, что повышению уровня технологичности ЛА в значительной мере способствует проводимый технологическими службами на заводе-изготовителе вводный технологический контроль рабочих чертежей, полученных от ОКБ (ОКО), и последующая отработка чертежей, связанная с необходимостью устранения имеющихся в них неточностей, неувязок и ошибок. Такая отработка выполняется имеющимся в составе технических служб завода-изготовителя серийным конструкторским отделом (СКО).

Показатели технологичности

Для количественной оценки технологичности конструкции изделий (деталей, сборочных единиц и ЛА в целом) применяют систему расчетных показателей, численные значения которых характеризуют степень удовлетворения определенных требований к технологичности конструкции.

Указанная система включает:

базовые (исходные) показатели технологичности конструкции, в качестве которых принимают показатели лучшего отечественного или зарубежного представителя группы однотипных изделий, обладающих общими конструктивными признаками;

показатели технологичности конструкции, достигнутые при разработке нового изделия;

показатели уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Состав базовых показателей технологичности конструкции, их оптимальные значения и предельно допустимые отклонения определяются в начале проектирования изделия и вносятся в техническое задание на проектирование.

Показатели уровня технологичности конструкции определяются как отношение значений показателей технологичности разрабатываемого изделия к соответствующим значениям базовых показателей. Они вносятся как в техническое задание на проектирование, так и в технические условия на изделие.

Показатели технологичности конструкции применяют в следующих случаях:

для сравнительной оценки вариантов конструкции основного изделия и его элементов в процессе их проектирования;

для определения уровня технологичности изделия;

для накопления статистических данных по изделиям определенного типа в целях последующего использования при определении базовых показателей;

для построения математических моделей с целью прогнозирования технического развития конструкций ЛА.

Номенклатуру показателей технологичности конструкции выбирают в зависимости от вида изделия (заготовка, деталь, сборочная единица, бортовые системы, планер, ЛА в целом), специфики и сложности его конструкции, объема выпуска, типа производства и стадии разработки конструкторской документации.

Требования к технологичности конструкции изделий, а следовательно и показатели, характеризующие степень удовлетворения этим требованиям, будут различными в зависимости от примененных для изготовления деталей материалов, заготовок и полуфабрикатов, методов формообразования и обработки, видов соединения элементов конструкции при сборке, принятого метода обеспечения взаимозаменяемости и геометрической увязки и др. Существенные различия в требованиях к технологичности конструкции и показателях технологичности могут быть в зависимости от объема производства и программы выпуска.

Все показатели технологичности делят на две группы: основные и дополнительные.

К основным показателям относят: 1) абсолютную трудоемкость изготовления изделия; 2) уровень технологичности конструкции изделия по трудоемкости изготовления; 3) технологическую себестоимость изделия; 4) уровень технологичности конструкции изделия по технологической себестоимости.

Абсолютная трудоемкость характеризует количество труда, затраченного на изготовление и эксплуатацию изделия, определяемое в единицах рабочего времени (чел.ч. нормо-ч). По сфере проявления трудоемкость разделяется на производственную, технологического обслуживания (трудоемкость технологической подготовки производства), технического обслуживания и ремонта. Производственная трудоемкость изготовления и технологического обслуживания изделия применяется для оценки производственной технологичности его конструкции, трудоемкость технического обслуживания — для оценки эксплуатационной и ремонтной технологичности конструкции изделия.

Производственная технологичность определяется для изготовления всех деталей, сборочных единиц, монтажных работ и всех видов наладки и испытания систем ЛА. Суммарная трудоемкость этих работ является трудоемкостью изготовления всего ЛА.

Показатель уровня технологичности конструкции изделия по трудоемкости изготовления ($K_т$) определяется как отношение трудоемкости изготовления вновь создаваемого изделия ($T_и$) к базовому показателю трудоемкости $T_{и.б}$:

$$K_т = T_и / T_{и.б}.$$

Показатель технологической себестоимости ($C_т$) характеризует затраты труда, материалов, топливно-энергетических ресурсов на технологическое оснащение и производство изделия. Для оценки уровня эксплуатационной технологичности конструкции ЛА иногда применяют показатель технологической себестоимости эксплуатации изделия ($C_{т.э}$), который характеризует затраты труда, материалов, топливно-энергетических ресурсов на его техническое обслуживание, использование по назначению и ремонт.

Показатель уровня технологичности конструкции ЛА по технологической себестоимости (K_c) определяют как отношение себестоимости вновь создаваемого изделия к базовому показателю себестоимости.

Из анализа основных показателей следует, что единым общим критерием технологичности конструкции изделия является ее экономическая целесообразность при установленном качестве и принятых условиях производства.

К дополнительным показателям технологичности ЛА и их элементов относится ряд частных и комплексных, абсолютных и относительных технико-экономических и технических показателей. К ним относят, например, относительную трудоемкость изделия t_n по видам работ, являющуюся отношением трудоемкости данного вида работы к трудоемкости изготовления всего ЛА ($T_и$):

$$t_n = T_н / T_и,$$

где $T_н$ — трудоемкость работ определенного технологического направления (заготовительно-штамповочные, механической обработки, клепально-сборочные, сборочно-сварочные, монтажные, наладочно-испытательные и др.).

Аналогично для оценки эксплуатационной технологичности могут быть применены относительные трудоемкости подготовки ЛА к функционированию, профилактического обслуживания функционирующего ЛА, ремонтов изделия.

К дополнительным техническим показателям технологичности конструкции относят также:

коэффициент унификации конструктивных элементов изделия

$$K_{\text{у}} = Q_{\text{у.э}}/Q_{\text{э}},$$

где $Q_{\text{у.э}}$ — число унифицированных типоразмеров конструктивных элементов изделия (узла, панели, секции, отсека, планера); $Q_{\text{э}}$ — общее число типоразмеров конструктивных элементов в изделии;

коэффициент стандартизации

$$K_{\text{ст}} = Q_{\text{ст.э}}/Q_{\text{э}},$$

где $Q_{\text{ст.э}}$ — число стандартизованных элементов конструкции в изделии (узле, панели, секции, отсеке, планере);

коэффициент применяемости типовых технологических процессов

$$K_{\text{т.п}} = Q_{\text{т.п}}/Q_{\text{п}},$$

где $Q_{\text{т.п}}$ — число примененных для изготовления изделия типовых технологических процессов; $Q_{\text{п}}$ — общее число технологических процессов изготовления изделия и его элементов.

Для оценки уровня технологичности конструкции деталей и некоторых механосборочных единиц применяют в качестве дополнительного показателя коэффициент точности обработки

$$K_{\text{тч}} = 1 - (1/A_{\text{ср}}),$$

где $A_{\text{ср}}$ — средний квалитет обработки, $A_{\text{ср}} = \Sigma A_{n_i}/\Sigma n_i$, здесь n_i — число размеров соответствующего квалитета.

Иногда его определяют по формуле:

$$K_{\text{тч}} = 1 - (D_{\text{тч}}/D),$$

где $D_{\text{тч}}$ — число деталей (без учета крепежа) с точностью не выше 10-го квалитета; D — общее число деталей в изделии.

Аналогично определяют коэффициенты шероховатости поверхности ($K_{\text{ш}}$), сборности ($K_{\text{сб}}$) и др. [52]. Весьма высокими техническими показателями технологичности являются материалоемкость изделия, характеризующая количество материала, которое надо израсходовать

на производство изделия и его эксплуатацию (определяемое в единицах массы) и коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = m_и / m_н,$$

где $m_и$ — масса готового изделия (детали, сборочной единицы); $m_н$ — норма расхода материала на изготовление изделия.

В производстве ЛА в качестве дополнительных технических показателей технологичности конструкции применяют:

коэффициент панелирования

$$K_{пн} = F_{п.п} / F_{п.о},$$

где $F_{п.п}$ — площадь поверхностей панелей ЛА; $F_{п.о}$ — площадь всей поверхности планера ЛА;

коэффициент прессовой клепки

$$K_{п.к} = n_{п.к} / n_о,$$

где $n_{п.к}$ — число заклепок, которые можно расклепывать на специальных клепальных прессах; $n_о$ — общее число заклепок в планере ЛА.

Существенное влияние на уровень технологичности конструкции оказывают предельные возможности технологических методов, используемых в частных технологических процессах изготовления изделий. Требования к конструкции изделий, предъявляемые технологическими методами, исходя из их предельных возможностей, имеют частный характер. Таких требований очень много, но все они должны учитываться при отработке конструкций на технологичность. Изложить эти требования в настоящем учебнике вследствие ограниченности его объема практически невозможно. Это не предусмотрено и рабочей программой курса "Основы технологии производства летательных аппаратов". Их рассматривают в специальной литературе, посвященной изложению сущности и содержания современных технологических методов формообразования и обработки [4, 15, 17, 49]. Частично с этими требованиями студенты будут ознакомлены при изучении специальных технологических дисциплин: "Технология заготовительно-штамповочных работ", "Технология механической обработки", "Технология клепально-сборочных и монтажных работ" и "Технология сборочно-сварочных работ".

Исходные данные для проектирования технологических процессов

Исходные данные для проектирования технологических процессов делят на три категории: базовые, руководящие, справочные.

Базовые данные оказывают непосредственное и определяющее влияние на содержание, структуру и технико-экономические показатели технологических процессов. К ним относят: конструкторскую документацию на изделие; технические условия на его изготовление; директивные технологические материалы; объем производства и программу выпуска изделия.

К руководящим материалам относят: государственные и отраслевые стандарты на технологические процессы, правила их разработки и методы управления ими, системы обозначения технологических документов; стандарты на оборудование и оснастку; производственные инструкции; руководящие технологические материалы (РТМ).

К справочным материалам относят: каталоги, номенклатурные справочники прогрессивного технологического оборудования и технологической оснастки; паспортные данные на имеющееся в цехах завода оборудование; материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков и докусков, норм времени, норм расхода материалов и т.д.); методические материалы по расчетам точности технологических процессов; информационные данные о производственной обстановке предприятия, на котором организуется производство летательного аппарата, о его технологических и производственных возможностях; типовые технологические процессы и операции или проверенные практикой технологические процессы изготовления деталей и сборочных единиц других летательных аппаратов, ранее изготовлявшихся заводом или находящихся в производстве.

Рабочие чертежи, директивные технологические материалы и технические условия на изготовление изделия завод получает от ОКБ. В рабочих чертежах дается конструкция летательного аппарата, его агрегатов, отсеков, панелей и узлов, деталей и других элементов конструкции, подлежащих изготовлению. Детали из листовых материалов, профилей и тонкостенных труб специальными чертежа-

ми, как правило, не оформляются. Их изготовляют по сборочным чертежам с использованием либо специальных жестких носителей формы и размеров, либо специальных программ, записанных на магнитной ленте (перфокартах) к оборудованию с числовым программным управлением, на которые имеются ссылки в сборочных чертежах.

Рабочая конструкторская документация разрабатывается обычно в несколько этапов: 1) на опытный образец или небольшую партию опытных ЛА; 2) на установочные серии (первые две — три); 3) на установившееся серийное производство. В том случае, если опытные машины изготовляют на серийном заводе, то он получает последовательно все указанные чертежи. Если опытные машины изготовляют на опытном заводе ОКБ, то серийный завод получает в начале документацию на установочные серии, по которой разрабатывает технологические процессы и изготовляет технологическое оснащение первой очереди, а затем — рабочие чертежи (доработанные, измененные) для установившегося серийного производства, по которым разрабатывает технологию и оснастку второй и последующих очередей. Следует отметить, что в самолетостроении четкой границы между вторым и третьим этапами нет: третий этап обычно совмещается со вторым. Чертежи второго этапа при этом применяются и в установившемся, серийном производстве, но они подвергаются ряду уточнений и изменений по результатам изготовления и испытания самолетов и установочных серий и в связи с возросшей программой выпуска.

Директивные технологические материалы разрабатываются в ОКБ при подготовке технического задания на проектирование ЛА. В их разработке принимают участие научно-исследовательские и проектно-технологические отраслевые институты и технологические службы завода, на котором намечено организовать серийное производство ЛА. В случае необходимости уточнение директивных технологических материалов осуществляется на стадиях эскизного и рабочего проектирования изделия.

Главной частью директивных технологических материалов являются директивные технологические процессы сборки ЛА, которые включают перечень и описание принципиальных положений и методов сборки крупных сборочных единиц, оснастки и оборудования, которые должны быть применены при разработке и осуществлении серийных (рабочих) технологических процессов сборочных и

монтажных работ. Они учитывают технологические требования к основным элементам конструкции ЛА и его планеру в целом; принятые в них принципиальные технологические решения ложатся в основу не только серийных технологических процессов сборки ЛА; с их учетом осуществляется эскизное и последующее рабочее проектирование изделия. Все принципиальные технологические решения, принятые в директивных технологических материалах, должны быть отражены в рабочей конструкторской документации. Таким образом, директивные технологические материалы и включенные в них директивные технологические процессы сборки осуществляют органическую связь конструкции с технологией и обеспечивают возможность начинать технологическую подготовку серийного производства на заводе-изготовителе параллельно с проектированием ЛА и изготовлением его опытных образцов.

В состав директивных технологических материалов входят также: принципиальная схема членения планера ЛА на сборочные единицы, самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях и разбивка их на сборочные узлы (нервюры, шпангоуты и т.п.), принятый способ соединений по конструктивным и эксплуатационным разъемам, укрупненные схемы сборки агрегатов, основные методы базирования при изготовлении сборочных единиц, а также методы обеспечения взаимозаменяемости последних по стыкам и соединениям, принципиальные схемы и требования к сборочной оснастке, рекомендуемые методы и средства контроля сборочных единиц, программы испытаний изделия.

Кроме того, директивные технологические материалы включают базовые показатели технологичности конструкции ЛА, обеспечивающие технологическую и экономическую рациональность конструктивных решений и преемственность конструкции, применительно к ЛА, находящемуся или снимаемому с серийного производства. Они включают также основные принципы и технологические методы изготовления наиболее сложных и некоторых типовых деталей, главным образом изготовляемых на специальных металлорежущих станках (полки лонжеронов, каркас фонаря пилота и т.п.). В них приводятся принятые при проектировании методы и средства обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА и увязки заготовительно-штамповочной, станочной и сборочной оснастки, определяется общий объем технологического оснащения при серийном производстве и очередность его изготовле-

ния, выявляется потребность в новых материалах, а также в специальном технологическом оборудовании, основных средствах механизации и автоматизации производства. Иногда даются рекомендации, какие следует предусмотреть новые высокоэффективные специальные средства производства, применительно к конструктивным особенностям сборочных единиц и те изменения в производственной структуре завода, которые необходимо осуществить при запуске в серийное производство нового изделия.

Директивные технологические материалы оформляют в виде самостоятельных документов, входящих в состав рабочей конструкторской документации. Однако, на серийный завод они отправляются раньше, с тем, чтобы он мог начать технологическую и организационную подготовку производства до получения рабочих чертежей. Директивная технология сборки оформляется на специальных технологических картах.

Технические условия на изготовление и контроль деталей, сборочных единиц и ЛА в целом представляют собой текстовые конструкторские документы, разрабатываемые ОКБ и определяющие точность и заданное качество изготовления отдельных элементов конструкции и их геометрической увязки, точность теоретических обводов планера и способы их контроля, методы проверки качества выполнения отдельных монтажей, коммуникаций и целых систем, а также другие данные, касающиеся качества изготовления летательного аппарата, его надежности и долговечности. Технические условия приводят либо в чертежах изделия, либо оформляют в виде самостоятельного документа, входящего в состав рабочей конструкторской документации.

Кроме комплекта рабочих чертежей, директивных технологических материалов и технических условий на изготовление ЛА и его частей, завод-изготовитель получает от ОКБ ведомости покупных изделий, краткое техническое описание ЛА, инструкцию по его эксплуатации. Вместе с комплектом технической документации ОКБ обычно передает на серийное предприятие опытный экземпляр изделия, изготовленный на его опытном заводе. При разработке серийных технологических процессов изготовления изделия и его составных частей все эти материалы используют в качестве базовых исходных данных.

Сведения об объеме производства и производственной программе ОКБ и завод получают от вышестоящей административной организа-

ции (министерства, ведомства). Производственная программа, как было показано выше, оказывает существенное влияние на содержание и структуру технологических процессов, применение тех или иных методов изготовления элементов конструкции и их сборки, глубину проработки технологических процессов, коэффициент их оснащенности, уровень механизации и автоматизации производства. В связи с этим и директивные технологические материалы разрабатывают с учетом объема производства и производственной программы.

Различные справочные материалы и инструкции по тем или иным методам производства разрабатывают отраслевые научно-исследовательские и проектно-технологические институты. Информационные материалы о производственной обстановке предприятия, его "узких" местах готовят его технологические службы.

Обязательными для использования при разработке технологических процессов и проектировании технологической оснастки являются государственные стандарты ЕСТПП, ЕСТД и ЕСКД, а также ряд других стандартов, касающихся терминологии, основных правил разработки и применения технологических процессов, особенностей оформления конструкторской документации на отдельные виды технологической оснастки. При разработке серийных технологических процессов используют также опытно-статистические материалы, которые систематически накапливаются заводом при изготовлении других изделий.

Все указанные исходные данные позволяют выбрать наиболее целесообразное направление технологического проектирования и разработать серийные технологические процессы изготовления сборочных единиц и деталей, отвечающих заданным технико-экономическим требованиям, наметить состав необходимой для их осуществления технологической оснастки, специального и универсального технологического оборудования, средств механизации и автоматизации производства, а также определить специализацию и квалификацию рабочих производственных подразделений предприятия.

На основе спроектированных технологических процессов осуществляют нормирование трудовых затрат, необходимых для их практического осуществления, разработку норм расхода материалов, проектирование и изготовление технологической оснастки, специального технологического оборудования, средств механизации и автоматизации технологических процессов.

Технико-экономические требования к технологическим процессам

При разработке технологических процессов изготовления деталей, сборочных единиц и ЛА в целом должны учитываться все предъявляемые к конструкции технологические, конструктивные и эксплуатационные требования, и на этой основе обеспечиваться ее высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели, которые в процессе технологического проектирования приобретают характер основных требований к технологии. Каждый технологический процесс при этом должен предусматривать решение трех главных технико-экономических задач:

1. Технологически обеспечивать заданную точность и высокое качество изготовляемых изделий при полном соответствии их рабочим чертежам и техническим условиям. Изготовленный по разработанной технологии летательный аппарат обязан иметь предусмотренные проектом летно-технические характеристики, обладать необходимой прочностью, надежностью, долговечностью и безопасностью в эксплуатации, установленным ресурсом и необходимым уровнем взаимозаменяемости деталей, узлов, агрегатов и других сборочных единиц, обеспечивающим их простую замену в случае поломки и изнашивания с минимальным объемом или полным отсутствием ручных подгоночных работ. Эти показатели по существу определяют технический уровень изделия. Следовательно, технологические процессы должны разрабатываться с учетом требований, обеспечивающих необходимый технический уровень ЛА.

Сложность решения указанных задач определяется в основном сложностью конструкции изделия и характером предъявляемых к нему эксплуатационных требований. Существенное влияние на их решение оказывает также степень соответствия конструкции технологическим требованиям и возможностям современного производства. Вместе с тем технологические методы, принятые в технологических процессах изготовления деталей или сборочных единиц изделий, должны находиться в полном соответствии с теми требованиями качества и надежности, которые предъявляются к конструкции.

Следует отметить, что сам технологический процесс, каким бы совершенным он не был, не определяет технический уровень изделия. Основные показатели технического уровня, а следовательно и

качества изделия, закладываются в процессе его проектирования. Технология производства и само производство только обеспечивают те показатели качества, которые заложены в проект летательного аппарата. Поэтому хорошая конструкция вследствие несовершенной технологии ее изготовления может стать плохой. Но вместе с тем очевидно, что обратной зависимости здесь быть не может: плохая конструкция при изготовлении ее даже по самой высокосовершенной современной технологии никогда не станет хорошей.

2. Обеспечить экономически целесообразный выпуск заданного числа изделий в минимально короткие сроки при наименьших затратах труда и материалов. Иными словами, одной из основных задач технологии является достижение наилучших результатов при наименьших затратах. Решение этой задачи предусматривает достижение минимальной трудоемкости изготовления всех элементов конструкции и изделия в целом, максимально высокой производительности труда, наиболее низкой себестоимости изделия. Ее решение обеспечивается применением наиболее целесообразных для заданного объема производства современных высокоэффективных и прогрессивных технологических методов, передовых наиболее целесообразных для установленного плана выпуска изделий форм организации труда и производства. Существенное значение имеет также возможность достижения малой трудоемкости и длительности цикла технологической подготовки производства и освоения изготовления изделия.

3. Обладать высокой социальной значимостью, обеспечивать улучшение профессионального состава и повышение квалификации трудящихся, экономически целесообразное повышение уровней механизации и автоматизации труда. Технологический процесс должен предусматривать хорошие условия и безопасность работы, включая противопожарную безопасность при изготовлении всех элементов конструкции. Полная безопасность труда при осуществлении технологического процесса является одной из главных задач, которую должен решить технолог при технологическом проектировании.

Работа на технологическом оборудовании должна проводиться с применением различных защитных устройств, ограждающих опасную зону, конструкция технологической оснастки должна обеспечивать не только выполнение возложенных на нее технологических функций, но и быть безопасной в работе. Все разработанные технологические процессы должны быть экологически чистыми, не вызывать загрязне-

ния окружающей среды. Вредные выделения, дисперсная пыль, возникающие при выполнении технологических процессов, должны удаляться от рабочих мест вытяжной вентиляцией и с применением фильтров, предотвращающих распространение выделений в окружающей среде.

Указанные три основных требования при условии их выполнения обеспечивают высокие технико-экономические показатели технологических процессов, в значительной мере снижают трудоемкость и стоимость изделия и улучшают условия труда. Вместе с тем, они взаимосвязаны и до некоторой степени противоречивы. Ужесточение, например, требований к точности обработки и повышению качества изготовления элементов конструкции в связи с необходимостью обеспечения нормальной эксплуатации изделий неизбежно вызывает рост затрат труда на их изготовление.

Повышение требований к обеспечению безопасных условий труда при выполнении технологических процессов тоже связано с увеличением трудоемкости изготовления деталей, сборочных единиц, технологической оснастки, а в ряде случаев требует дополнительных расходов материальных и трудовых ресурсов для изготовления защитных средств и очистных сооружений. Поэтому обеспечить полноценное выполнение одновременно всех указанных требозаний при проектировании и оснащении технологических процессов трудно, а в ряде случаев практически невозможно.

Следует подчеркнуть, что первая задача является главной, для ее решения и организуется производство изделия, разрабатываются и осуществляются технологические процессы его изготовления. Ее полноценное решение должно обеспечиваться в первую очередь, иногда в ущерб второй задаче.

Созданию безопасных условий труда в нашем государстве уделяется исключительно большое внимание, поэтому решение этой задачи должно обеспечиваться безусловно даже в ущерб экономике производства. В результате практически достигнутая экономическая эффективность технологических процессов часто бывает ниже потенциально возможного уровня.

В целях достижения более высоких технико-экономических показателей технологических процессов их, как уже отмечалось ранее, разрабатывают в нескольких вариантах, дают технико-экономическую оценку каждого из них, и в качестве основного выбирают тот вариант, который обеспечивает достижение наиболее высоких технико-экономических показателей (см. п. 5.6).

Следует отметить, что для проведения глубокого и всестороннего анализа возможных вариантов технологических процессов с целью обеспечения высокого качества изделий, безопасности труда и экономической эффективности их изготовления необходимы хорошие знания технологии как науки, современных высокопроизводительных технологических методов формообразования, обработки материалов и сборки, процессов изготовления деталей и сборочных единиц, технологических возможностей этих методов и процессов не только технологами, но и конструкторами летательных аппаратов. Необходимо также, чтобы технологи и конструкторы хорошо владели методами технико-экономического анализа и определения экономической эффективности вариантов конструкции ЛА, их элементов и технологических процессов их изготовления.

Недостаточно глубокое знание технологии как науки, методов экономического анализа технологами предприятий, конструкторами летательных аппаратов и инженерами, работающими в технологических отделах и производственных цехах предприятий, нередко приводит к усложнению и удорожанию производства, затягиванию сроков освоения и постановки производства изделия, ухудшению качества летательных аппаратов, а иногда и к скрытому браку изготовленных конструкций (скрытые трещины, усталостное и коррозионное разрушение и др.).

Виды технологических процессов и области их применения

В зависимости от числа изделий, охватываемых процессом производства (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий), установлено два вида технологических процессов: единичный и типовой. *Единичным* называют технологический процесс, применяемый для изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. При этом для изготовления каждого такого изделия разрабатывают свой единичный технологический процесс.

Типовым называют технологический процесс, предназначенный для изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовой технологический процесс включает основные элементы единичных технологических процессов,

общие для всей группы изделий, такие как способ базирования и крепления при обработке или сборке, содержание и последовательность выполнения операций, типы оборудования и технологической оснастки и др. Применяют типовой технологический процесс либо как информационную основу при разработке рабочих технологических процессов, либо как рабочий технологический процесс при наличии в нем всей информации, необходимой для изготовления конкретного изделия; он может служить исходной базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы, либо для формирования соответствующих информационных фондов. Сведения о составе информационных фондов при этом сосредотачиваются в информационных службах организации и служб-разработчиков типовых и единичных технологических процессов.

Каждый вид технологических процессов (единичный, типовой) в зависимости от основного назначения может быть проектным или рабочим. Проектным называют технологический процесс, разработанный на базе предварительного проекта технологической документации, разработанной по конструкторской документации, созданной на стадии эскизного проектирования изделия, предназначенный для изготовления его опытных образцов. Проектными называют также технологические процессы, в которых применены новые технологические методы формообразования, обработки или сборки, проверка и уточнение которых необходимы при практическом выполнении. На базе проектных технологических процессов после их корректирования разрабатывают рабочие технологические процессы.

Рабочим называют технологический процесс, который применяют на рабочем месте для непосредственного изготовления конкретного изделия в соответствии с требованиями рабочей технической документации.

Применяют также понятия временного и перспективного технологических процессов. Временным называют технологический процесс, применяемый в течение ограниченного периода времени, когда по каким-либо причинам нельзя использовать более эффективный рабочий технологический процесс. Его разрабатывают и применяют в тех случаях, когда временно отсутствует технологическое оборудование (например, в связи с аварией), либо сложная в изготовлении технологическая оснастка, средства механизации и автоматизации, предусмотренные рабочим технологическим процессом.

На заводах авиационного профиля временную технологию применяют обычно в начале серийного производства, когда в связи с большим объемом технологической подготовки производства невозможно изготовить одновременно многочисленную и разнообразную технологическую оснастку, необходимую для установившегося серийного производства. Поэтому первую — головную серию ЛА обычно изготовляют по временной технологии, с применением только той оснастки, без которой невозможно изготовить изделие надлежащего качества с заданными техническими и эксплуатационными свойствами (оснастка первой очереди).

Перспективным называют технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии при техническом и организационном перевооружении производства. Он предусматривает применение более совершенных, по сравнению с действующими на предприятии, технологических методов изготовления изделий, более производительных, технологически и экономически эффективных средств технологического оснащения. Используют его также в качестве информационной основы для разработки рабочих технологических процессов.

Степень детализации технологических процессов

Глубина разработки и степень детализации содержания технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц может быть различной. Можно осуществить весьма глубокую разработку технологического процесса с подробным членением его на составляющие элементы. В этом случае изделие легче будет изготовить на производстве с меньшей затратой труда и при более низкой квалификации исполнителей. Но на разработку такого процесса потребуется больше времени и сложный инженерный труд. Сложность и трудоемкость будут расти по мере увеличения степени детализации и глубины проработки технологического процесса.

Можно ограничиться разработкой укрупненного технологического процесса с указанием только основных операций, т.е. так называемого технологического маршрута изделия. При этом значительно упростится инженерный труд, сократится продолжительность разработки технологического процесса, но усложнится изготовление

изделия, потребуются рабочие более высокой квалификации, так как при изготовлении изделия они сами будут детализировать технологический процесс.

Эти два технологических процесса имеют различную глубину проработки и степень детализации. Какой из них следует применить в конкретных условиях зависит от организационной формы производства, объема и программы выпуска изделий. Чем больше объем производства и программа выпуска, тем глубже и детальнее должна быть разработка технологического процесса. При единичном и мелкосерийном производстве во многих случаях достаточно наличия конструкторской документации и укрупненных технологических процессов (технологических маршрутов) с указанием только основных операций. В связи с этим в значительной мере сокращается и трудоемкость работ, выполняемых технологами при проектировании технологических процессов.

Для крупносерийного и тем более массового производства технологические процессы разрабатывают весьма подробно с указанием операций, переходов, рабочих ходов и приемов с расчетом режимов обработки и сборки.

По степени детализации содержания технологических процессов предусматривается их деление на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные. В маршрутном технологическом процессе приводятся только основные операции и последовательности их выполнения без указания переходов и режимов обработки. В операционном процессе, кроме операций приводятся входящие в них все более мелкие составляющие: переходы, ходы, приемы и режимы обработки.

В маршрутно-операционном технологическом процессе часть более сложных операций приводится с указанием переходов, ходов, приемов и режимов обработки, часть — без них. В связи с маршрутной технологией ГОСТ 14.004—83 вводит понятия: технологический маршрут и расцеховка. *Технологическим маршрутом* называют последовательность прохождения заготовки, детали или сборочной единицы по подразделениям предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта. Различают межцеховой и внутрицеховой маршруты. Разработку межцеховых технологических маршрутов для всех составных частей изделия называют *расцеховкой*. Внутрицеховой маршрут предусматривает последовательность прохождения изделия по рабочим местам цеха.

Типовые технологические процессы, общие правила их разработки

ЛА представляют собой сложное машиностроительное изделие, состоящее из большого числа взаимосвязанных деталей и сборочных единиц. Проектирование технологического процесса его изготовления является весьма сложной и трудоемкой задачей. С целью ее упрощения обязательным начальным этапом при постановке производства нового ЛА проводят типизацию технологических процессов, общая теория которой, как одного из научных направлений в технологии машиностроения, была разработана профессором А.П. Соколовским. Под типизацией технологических процессов понимают составление для каждой группы однотипных в конструктивном и технологическом отношениях изделий общего типового технологического процесса их изготовления. Широкое применение принципа технологической типизации и типовых технологических процессов оказывает значительное влияние на улучшение технико-экономических показателей производства ЛА, позволяет сократить сроки технологической и организационной подготовки производства, выполнять их на более высоком техническом уровне, более широко применять электронно-вычислительную технику при технологическом проектировании.

Основная цель технологической типизации заключается в том, чтобы изготовление однотипных деталей осуществлялось общими наиболее эффективными технологическими методами с максимально возможной производительностью при минимальной себестоимости изделий и с заданным их качеством.

Типовая технология позволяет уменьшить общее число имеющихся на предприятии технологических процессов и, следовательно, сократить время и затраты инженерного труда на их разработку и на проектирование технологической оснастки, облегчить и сократить сроки освоения изделия, снизить затраты труда на его изготовление и повысить его качество. Поэтому проектирование типовых технологических процессов изготовления изделий представляет собой важную и весьма ответственную задачу, для которой необходимо комплексное решение многих вопросов с учетом большого числа факторов. Решение такой задачи под силу только опытным квалифицированным технологам. На заводах эту работу выполняют инженеры-технологи.

Зада́ча по разработке и практическому применению типовых технологических процессов несколько облегчена тем, что в конструк-

ции сборочных единиц летательных аппаратов имеется много однотипных в конструктивном и технологическом отношениях деталей и узлов.

Типизация технологических процессов базируется на классификации объектов производства, сущность которой заключается в разделении изделий (деталей, сборочных единиц) по конструктивным и технологическим признакам на отдельные группы (классы), для которых можно разработать общие технологические процессы, характеризующиеся единством содержания и последовательности выполнения большинства технологических операций. Детали и узлы при этом сводятся к ограниченному числу типов, что дает возможность устранить многообразие действующих на заводе частных технологических процессов и свести их к сравнительно небольшому числу типовых процессов, разработанных применительно к имеющимся конкретным производственным условиям.

Типовые технологические процессы разрабатывают для изготовления типовых представителей изделий, которые обладают всеми технологическими признаками, характерными для изделий, входящих в каждую классификационную группу (класс) и для их изготовления необходимо наибольшее число основных и вспомогательных операций и технологической оснастки.

При типизации технологических процессов предусматривают типизацию технологических операций, повторяющихся при изготовлении однотипных деталей и сочетаний элементарных поверхностей, подвергаемых обработке.

Для изготовления отдельных наименований деталей, входящих в классификационную группу, могут требоваться как все операции, необходимые для изготовления типового представителя, так и их часть; поэтому отдельные операции в частных технологических процессах изготовления некоторых деталей группы могут отсутствовать, но общая структура остальных операций должна быть такой же, как и для типового представителя.

Разработка типовых технологических процессов базируется на результатах анализа действующих на предприятии и возможных вариантов процессов, на использовании научно-технических достижений в области технологии, передового опыта родственных предприятий и должна предусматривать рациональное использование материальных и трудовых ресурсов с учетом конкретных производственных условий. Кроме названных выше исходных данных при их разработке

используют справочную документацию на действующие и применен-ные на ранее изготовляемых ЛА типовые технологические процессы, отраслевые методики классификации и классификаторы заготовок, деталей, сборочных единиц, операций, способов базирования, а также прогнозы и планы научно-технического прогресса и повышения технического уровня производства.

Проектирование типовых технологических процессов начинают с классификации объектов производства (деталей, сборочных единиц) по конструктивно-технологическим признакам и выбора типовых представителей классов и групп, обладающих всеми технологически-ми признаками, свойственными изделиям, входящим в каждую из групп (классов). Затем определяют объем и тип производства для каждого типового представителя с учетом числа изделий в классифи-кационной группе и проводят технологический анализ конструкций изделий группы (класса) с учетом установленного объема производ-ства и в случае необходимости дают предложения по соответствующе-му изменению конструкции изделий.

После этого составляют основные маршруты изготовления объектов производства (последовательность прохождения изделия по подразделениям предприятия и цеха). В случае, если классифициру-ются детали, изготовляемые методами обработки резанием, то для каждого типового представителя определяют тип исходной заготовки, выбирают метод ее изготовления и обработки с определением технологических баз, необходимых для установки и закрепления заготовки в технологическом оборудовании или приспособлении и для проверки точности выполнения размеров.

Далее определяют последовательность выполнения операций, их структуру и группы оборудования по операциям. При этом выполня-ют все необходимые технологические расчеты, устанавливают режимы обработки и определяют силовые параметры, проводят расчеты точности, норм времени, определяют разряд работы, производительность и экономическую эффективность вариантов технологических процессов, выбирают оптимальный вариант, на который оформляют технологическую документацию в соответствии с ЕСТД.

Типизация должна охватывать не только основные операции технологических процессов, но также подготовительные и финишные операции, к которым в первую очередь относятся контроль и испытание изделий и монтажей. Типизировать рационально не только

контроль в основном производстве, но и входной контроль материалов, полуфабрикатов и готовых комплектующих изделий.

. Работы по типизации контрольных операций проводятся в два этапа:

1) классифицируют элементы операций, к которым относятся объекты, методы и формы организации контроля;

2) решают типовые технолого-метрологические задачи, связанные с технологией контроля [51]. Элементы контроля классифицируют после того, как проведены типизация технологических процессов изготовления изделий и их основных операций. Перед решением типовых технолого-метрологических задач классифицируют средства контроля, принятые в технологических процессах.

На базе проведенной типизации финишных операций разрабатывают типовые и рабочие операционные контрольные карты, инструкции и типовые программы контроля [51].

Для типовых операций (подготовительных, основных и финишных) разрабатывают типовую рабочую и контрольную технологическую оснастку, пригодную для изготовления деталей каждого наименования, входящего в классификационную группу.

На основании типовых технологических процессов можно составить конкретный технологический процесс изготовления любой детали определенного типа. Следует отметить, что результаты типизации технологических процессов рассматривают обычно в динамике, и они должны систематически дорабатываться и уточняться по мере развития технического прогресса в авиационной и космической технике и технологии.

Дальнейшим развитием идеи типизации технологических процессов является комплексная нормализация элементов производственного процесса, разработанная под руководством профессора В.В. Бойцова [7, 24]. В основу этого метода положена взаимосвязь технологического процесса, оснастки и оборудования, которые при классификации деталей и типизации технологических процессов подлежат нормализации. В начале, как и обычно, классифицируют изготовляемые детали и выбирают типовые представители выделенных групп. Затем определяют характер обрабатываемых поверхностей, классифицируют их по общности методов обработки, выбирают системы легкопереналаживаемой технологической оснастки и осуществляют широкую нормализацию всех ее элементов.

В дальнейшем с использованием типовых схем рабочих движений создают типовые компоновки специализированного агрегатного оборудования. Агрегатные станки имеют сборно-разборную конструкцию; их собирают из отдельных самостоятельных в конструктивном отношении нормализованных частей (агрегатов) применительно к технологическому процессу изготовления типового представителя соответствующей классификационной группы изделий, и поэтому они обладают большой технологической гибкостью, высокой производительностью и эффективностью, возможностью компоноваться в переналаживаемые поточные линии.

Разработанный метод комплексной нормализации элементов производственного процесса успешно применяют в мелкосерийном и среднесерийном производствах, обеспечивая существенное сокращение объема и сроков технологической подготовки производства [7, 24].

Групповые технологические процессы

При единичном и мелкосерийном производствах ЛА изготовление деталей в механических и заготовительно-штамповочных цехах весьма эффективно вести с применением групповых технологических процессов, которые разрабатывают на базе типовой технологии и являются дальнейшим ее развитием. Применение групповых технологических процессов позволяет повысить коэффициент загрузки оборудования, увеличить производительность за счет групповых приспособлений, применить поточные линии и гибкие производственные системы в мелкосерийном и единичном производствах, приблизив их к условиям крупносерийного и массового производства.

Методы групповой технологии разработаны профессором С.Н. Митрофановым [29]. Они предусматривают объединение деталей в типовые группы не только по общности основных конструктивных и технологических признаков, но и по общности операций технологических процессов их изготовления, технологической оснастки и оборудования.

Методы групповой технологии отличаются от методов типизации технологических процессов тем, что при типизации предусматривается создание детале-процессов, а при групповой технологии — детале-

операций. Типовая технология характеризуется общностью технологических процессов изготовления деталей, а групповая технология — общностью технологической оснастки и оборудования, необходимых для выполнения отдельных технологических операций или всего технологического процесса изготовления детали [24].

При групповой технологии применяют последовательную поэлементную обработку, позволяющую изготовить большое число разнообразных деталей, имеющих различные геометрические параметры, но состоящих из однотипных элементов. При этом детали группируют так, чтобы для изготовления каждой группы требовалось одинаковое оборудование, общие приспособления и инструменты, однотипная настройка станков. Наладка технологического оборудования и оснастки ведется последовательно для обработки одинаковых элементов всей группы деталей.

После того, как один элемент всех деталей группы будет обработан, оборудование и оснастку перестраивают для обработки другого элемента и т.д.

При классификации из деталей с общими технологическими свойствами выделяют наиболее сложную деталь, которая содержит все геометрические элементы и элементарные поверхности деталей, объединенных в типовую группу; ее называют комплексной деталью. Все детали, включенные в типовую группу, должны иметь полное или частичное сочетание поверхностей, имеющихся у комплексной детали. Технологический процесс, разработанный для изготовления комплексной детали, при соответствующей подналадке оборудования и приспособлений, может быть использован для изготовления любой другой детали данной классификационной группы.

Комплексная деталь может быть не только реальной, которая входит в данную группу, но и условной (искусственно созданной), содержащей все элементы деталей группы; при этом естественно, что условную комплексную деталь не изготовляют.

Групповой технологический процесс разрабатывают на базе более глубокой проработки и детализации типового технологического процесса с использованием комплексных и типовых специализированных настроек технологического оборудования, приспособлений и инструментов.

Содержание и последовательность разработки единичных технологических процессов

Единичные технологические процессы разрабатывают обычно на изделия одного наименования оригинальной конструкции, которые не могут быть объединены в типовые группы по конструктивным и технологическим признакам.

Каждый единичный технологический процесс должен проектироваться в строгой последовательности, которая определяется конструкцией объекта производства, его элементов и материалами, применяемыми для их изготовления. Эти факторы оказывают существенное влияние также на перечень, виды и содержание работ, выполняемых технологами в процессе технологического проектирования.

Перед разработкой технологического процесса независимо от того, какие технологические методы предполагается применить для изготовления объекта производства, технолог обязан внимательно изучить чертежи последнего и технические условия на его изготовление и поставку. После того, как будут выяснены назначение элементов конструкции, физико-механические свойства материалов, применяемых для их изготовления, требования к точности геометрических параметров и чистоте обработки, методы соединения элементов при сборке и требования к их выполнению, можно приступать к непосредственной разработке единичных технологических процессов изготовления детали или сборочной единицы.

В процессе изучения чертежей технолог проводит технологический анализ конструкции и в случае необходимости вносит предложения по ее изменению и корректированию требований к точности и отделке с целью использования более целесообразных и высокопроизводительных методов или существенного упрощения изготовления, но без ухудшения эксплуатационных качеств изделия. В соответствии с этими предложениями, в случае если они приемлемы, ОКБ изменяет конструкторскую документацию.

Разработка единичных технологических процессов в общем случае, кроме технологического анализа, включает комплекс следующих взаимосвязанных работ, состав и последовательность выполнения которых может меняться в зависимости от сложности изделия и типа производства:

выбор заготовок (для деталей);

выбор технологических баз;

определение последовательности выполнения и содержания подготовительных, основных и финишных технологических операций;

определение и выбор средств технологического оснащения (в том числе средств контроля и испытания);

назначение и расчет режимов обработки;

нормирование процесса (определение трудовых затрат);

определение профессий и квалификации исполнителей;

выбор средств механизации и автоматизации элементов технологического процесса и внутрицеховых средств транспортирования;

составление планировок производственных участков и разработка операций перемещений изделия и отходов;

оформление рабочей документации на технологические процессы.

Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения, а также возможного применения других этапов определяются разработчиком технологического процесса в зависимости от конструкции и технологических свойств изделия, а также объема производства и производственной обстановки предприятия. Следует отметить, что при разработке единичных технологических процессов кроме указанной выше исходной информации необходимо использовать отдельные стандарты, отраслевые и внутризаводские нормали на технологические операции, в том числе и операции группового метода обработки, а также на обратимую переналаживаемую оснастку. Специальная оснастка при единичном и мелкосерийном производстве, характерных для ЛА, используется в случае необходимости, когда без ее применения изделие изготовить сложно или практически невозможно.

Форма изложения единичных технологических процессов и степень их детализации такие же, как и групповых технологических процессов, и должны соответствовать стандартам Единой системы технологической документации (ЕСТД).

Разработка рабочих технологических процессов

Различают две стадии проектирования рабочих технологических процессов: начальную и конечную (заключительную). На первой из них разрабатывают временные технологические процессы, по которым с минимально допустимым уровнем технологического оснащения изготовляют головную серию изделий. Разработку

временных технологических процессов ведут обычно по чертежам опытного производства, которые подлежат уточнению в период освоения нового изделия.

На второй стадии разрабатывают рабочие технологические процессы для установившегося серийного производства с учетом полного технологического оснащения, обеспечивающего необходимую производительность труда и высокое качество серийных изделий. Конструкция изделия и его элементов к началу второй стадии должна пройти отработку по результатам изготовления опытных образцов и головной серии. В рабочих чертежах должны быть устранены все выявленные неточности, неувязки и ошибки. Конструкция должна быть отработана на технологичность как в процессе ее проектирования, так и по результатам входного технологического контроля рабочих чертежей на заводе-изготовителе ЛА.

Проектирование рабочих технологических процессов в общем случае включает следующие этапы:

расцеховка чертежей;

разработка технологических схем сборки ЛА и его составных частей;

разработка рабочих технологических процессов изготовления сборочных единиц и изделия в целом;

разработка рабочих технологических процессов изготовления деталей.

Расцеховка чертежей устанавливает технологический маршрут деталей и сборочных единиц по цехам предприятия в процессе их изготовления.

Технологический маршрут должен обеспечивать максимально возможную прямоточность движения деталей и сборочных единиц, создавать благоприятные условия для организации поточных методов работы в цехах основного производства.

Рабочие технологические процессы разрабатывают для изготовления изделий, конструкция которых отработана на технологичность (см. п. 5.3). Информационной основой при их разработке являются типовые и действующие единичные технологические процессы, а также стандарты (отраслевые, внутризаводские) на технологические операции. Разработка рабочих технологических процессов на основе типовых в общем случае включает: отнесение изготовляемого изделия к соответствующей классификационной группе технологического

классификатора, выбор типового технологического процесса на эту группу, уточнение состава и последовательности операций, уточнение выбранных средств технологического оснащения в зависимости от объема и типа производства.

Если типовой технологический процесс на аналогичные изделия отсутствует, то рабочий процесс разрабатывают на основе действующего единичного технологического процесса изготовления изделия такого же вида с его переработкой в соответствии с особенностями конструкции данного изделия, а также с учетом последних достижений науки, техники и передового опыта в области технологии.

Если имеется ранее разработанный перспективный технологический процесс на заданное изделие, то рабочий единичный технологический процесс разрабатывается с его использованием.

При серийном производстве рабочие групповые и единичные технологические процессы называют также серийными процессами.

При проектировании рабочих (серийных) технологических процессов изготовления характерных для ЛА деталей и сборочных единиц, проходящих последовательный цикл пооперационной обработки или сборки, выполняется целый комплекс различных видов работ, этапы и содержание которых зависят от конструкции изделия и объема производства.

При проектировании рабочих технологических процессов изготовления деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб, выполняют следующие основные работы (в их логической последовательности):

определяют форму и размеры заготовки, выбирают методы раскроя материала и тип раскройного оборудования. В случае необходимости устанавливают размеры припусков на межоперационную и окончательную обрезку заготовки;

с целью обеспечения эффективного использования материала для листовых деталей составляют карты раскроя стандартизованных листов на полосы или карточки, из которых в дальнейшем будут изготовляться плоские детали или развертки деталей сложной пространственной формы. Карты раскроя представляют собой экскиз листа с расчерченными на нем заготовками в виде полос или карточек с указанием размеров. Составляются они обычно в нескольких

вариантах для листов различного размера, из которых выбирается вариант, обеспечивающий наименьший расход материала на изготовление детали. Если развертку детали изготовляют штамповкой из полосы, то находят оптимальные размеры полосы с наиболее экономичным расположением в ней вырубаемых разверток или плоских деталей;

определяют нормы расхода материала на каждую деталь и на изделие. Норма расхода материала представляет собой то количество материала, которое необходимо затратить на изготовление детали с учетом всех технологических припусков и отходов. Нормы расхода лежат в основе составления заказов на материал. При выполнении этого этапа определяют также коэффициент использования материала (КИМ), который представляет собой отношение массы готовой детали к норме материала на ее изготовление. Чем больше значение КИМ, тем экономичнее расходуется материал и следовательно меньше материала идет в отход;

подбирают типовой или действующий единичный технологический процесс, которые можно применить при изготовлении заданной детали;

уточняют технологические методы типового или единичного технологического процесса, применительно к изготовлению заданной детали, составляют (уточняют) маршрутный технологический процесс изготовления детали в нескольких вариантах с указанием всех необходимых операций в последовательности их выполнения с учетом принятой их совмещенности;

определяют технические нормы времени на каждый вариант маршрутного технологического процесса изготовления детали по укрупненным нормативам;

определяют тип, число и ориентировочную стоимость технологической оснастки для каждого варианта технологического процесса и вид потребного технологического оборудования;

рассчитывают размер партии запуска деталей в производство и определяют число переналадок оборудования и оснастки в течение года;

нормируют варианты технологического процесса по укрупненным нормативам и рассчитывают технологическую себестоимость детали при каждом варианте технологического процесса (см. п. 5.6);

проводят сравнительный анализ вариантов технологического процесса и выбирают наиболее экономичный вариант при заданной производственной программе (см. п. 5.6);

разрабатывают операционный технологический процесс изготовления детали при оптимальном варианте, уточняют нормы времени, выполняют все необходимые технологические расчеты по каждой операции, определяющие силовые и геометрические параметры обработки;

конкретизируют необходимую для выполнения операционного технологического процесса рабочую технологическую оснастку и контрольно-измерительные инструменты;

окончательно выбирают технологическое оборудование с указанием его типа, модели, мощности, а также средств механизации и автоматизации технологического процесса или его элементов;

определяют профессии и квалификацию исполнителей по каждой операции;

заполняют бланки технологических карт установленного образца в соответствии с ЕСТПП (с вычерчиванием операционных эскизов);

разрабатывают технические задания и заказы на проектирование и изготовление нестандартизованной технологической оснастки (штампов, оправок, обтяжных пуансонов и т.п.), специального технологического оборудования и контрольно-измерительного инструмента. Составляют планировки рабочих мест.

При проектировании технологических процессов изготовления деталей на металлорежущих станках выполняют аналогичные этапы комплекса проектных работ:

выбирают вид заготовки и метод ее получения. Выбор заготовки зависит от конструкции детали (ее формы, размеров, исходного материала), объема и типа производства. Исходя из экономических и технологических соображений технологическими методами получения заготовки могут быть литье, горячая и холодная штамповка, отрезка от пруткового материала и некоторые другие. При всех условиях следует стремиться к тому, чтобы форма заготовки была максимально приближена к форме детали, однако степень этого приближения должна определяться с учетом экономических показателей;

рассчитывают припуски на обработку, определяют поверхности заготовки, которые можно оставить без последующей обработки на металлорежущих станках, определяют промежуточные размеры заготовки при ее обработке;

определяют норму расхода материала на деталь и КИМ;

выбирают исходные установочные и измерительные базы — это один из наиболее важных этапов проектирования рабочего технологического процесса. Установочные базы применяют для координации заготовки относительно опорных поверхностей приспособлений и осей металлообрабатывающего оборудования для каждой из обрабатываемых поверхностей, измерительные базы — для проверки точности выполненных размеров при обработке;

выбирают типовой или при его отсутствии действующий единичный технологический процесс, который можно применить для изготовления заданной детали;

уточняют методы обработки, число операций и составляют маршрутный технологический процесс изготовления детали в нескольких вариантах с указанием по каждому из них всех основных и финишных операций в последовательности их выполнения. Варианты могут отличаться друг от друга степенью концентрации или дифференциации операций, уровнем технологического оснащения, последовательностью операций;

определяют технические нормы времени по каждому варианту технологического процесса по укрупненным нормативам;

определяют тип, число и стоимость технологической оснастки и технологического оборудования для каждого варианта технологического процесса;

рассчитывают партию запуска деталей в производство и определяют число переналадок оборудования и оснастки в течение года;

рассчитывают технологическую себестоимость детали при каждом варианте технологического процесса (см. п. 5.6);

проводят сравнительный анализ вариантов технологического процесса изготовления детали, выбирают экономически наиболее целесообразный вариант при заданном объеме производства (см. п. 5.6);

разрабатывают операционный технологический процесс применительно к выбранному варианту маршрутного технологического процесса;

уточняют и конкретизируют необходимую технологическую оснастку (приспособление к металлорежущим станкам, режущий и мерительный инструменты, средства механизации и автоматизации технологического процесса);

конкретизируют выбор оборудования для каждой операции технологического процесса с определением его типа, модели, мощности электродвигателя;

рассчитывают режимы резания при обработке заготовки на металлорежущих станках и выполняют другие технологические расчеты;

определяют уточненные нормы времени на изготовление детали по каждой операции, переходу, рабочему ходу, приему;

определяют профессию и квалификацию исполнителей каждой операции;

заполняют бланки технологических карт с эскизами обработки по операциям и переходам в соответствии с ЕСТД;

разрабатывают технические задания на проектирование технологической оснастки, специальных видов технологического оборудования и оформляют заказы на их проектирование и изготовление. В случае необходимости составляют планировки рабочих мест.

Проектирование рабочих технологических процессов сборки и монтажа изделий представляет собой более сложную задачу, чем проектирование технологических процессов заготовительно-штамповочных работ и обработки резанием. Главным при этом является определение последовательности установки в сборочное приспособление соединяемых элементов конструкции, способа их взаимной фиксации, закрепления и соединения предусмотренными в чертежах методами (клепкой, сваркой, на болтах и т.п.).

Последовательность разработки, номенклатура и содержание выполняемых работ в процессе проектирования технологических процессов сборки в общем случае может быть следующей:

на основе конструктивно-технологического членения планера ЛА на составляющие элементы и их рабочих чертежей определяют степень дифференциации сборочных работ и номенклатуру сборочных единиц, подлежащих самостоятельной сборке. Выполнение этой технологической задачи обуславливается теми конструктивно-технологическими решениями, которые приняты в процессе проектирования ЛА в соответствии с заданным объемом производства и директивными технологическими материалами. В случае необходимости число самостоятельно изготовляемых сборочных единиц может быть уменьшено по сравнению с предусмотренным в конструкторской документации. Такую задачу приходится решать при небольшом объеме производства; например, при единичном производстве,

несмотря на то, что в конструкции планера может быть предусмотрено членение отсеков на узлы самостоятельные в конструктивном и технологическом отношениях, нет смысла изготовлять специальные приспособления для сборки узлов, а экономически целесообразнее сборку отсеков осуществлять непосредственно из деталей в общесборочных стапелях (приспособлениях для сборки), технологически не выделяя узлы в самостоятельные сборочные единицы. Создание новых сборочных единиц самостоятельных в конструктивном и технологическом отношениях, при большом объеме производства, представляет сложную задачу и, как правило, требует соответствующих конструктивных доработок;

выбирают типовой технологический процесс сборки аналогичных изделий или, при его отсутствии, действующий на предприятии единичный технологический процесс сборки аналогичной сборочной единицы;

составляют схемы сборки ЛА и входящих в его конструкцию сборочных единиц, в том числе и той, на изготовление которой составляется рабочий технологический процесс. Схемы сборки определяют порядок поступления на сборку и последовательность соединения деталей в узлы, а узлов в более крупные сборочные единицы. Составляют указанные схемы в нескольких вариантах, которые кладут в основу разработки соответствующих вариантов технологических процессов сборки элементов конструкции ЛА, включая заданную сборочную единицу;

определяют содержание и последовательность выполнения сборочных операций для каждой сборочной единицы в нескольких вариантах в соответствии с предусмотренными в чертежах методами соединения деталей, нормы времени на сборку по укрупненным нормативам;

дают экономическую оценку каждому варианту маршрутного технологического процесса сборки и выбирают наиболее целесообразный вариант с экономической и технологической точек зрения;

на выбранный вариант разрабатывают операционный технологический процесс сборки с указанием операций, переходов и, в случае необходимости, приемов, уточняют нормы времени;

уточняют степень и применяемые методы обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА и увязки технологической оснастки, строят соответствующие структурные схемы увязки на каждую сборочную единицу (см. п. 10.3). Схемы

взаимозаменяемости и увязки определяют последовательность образования размеров и формы элементов конструкции ЛА и перенесения их с первоисточников увязки на технологическую оснастку, детали и сборочные единицы;

устанавливают методы базирования деталей в процессе сборки и базирующие поверхности сборочных единиц и приспособлений;

уточняют номенклатуру и тип необходимой сборочной оснастки и специальных инструментов, применяемых при сборке;

рассчитывают точность сборки при принятой последовательности изготовления деталей и выполнения сборочных операций;

разрабатывают технические условия на поставку деталей и узлов, идущих на сборку более крупных сборочных единиц. В технических условиях устанавливается степень законченности деталей, поставляемых на сборку (наличие припусков, удаляемых при сборке, технологических и конструктивных отверстий, специальных вырезов и т.д.), требования к точности их изготовления;

выбирают оборудование для выполнения работ по соединению элементов конструкции в заданную сборочную единицу;

определяют профессии и квалификацию исполнителей;

разрабатывают линейные цикловые графики сборки, в которых приводятся перечень и содержание заданий, состоящих из нескольких операций технологического процесса сборки в последовательности их выполнения, указывается длительность выполнения каждого задания и его составных частей, число одновременно работающих исполнителей, трудоемкость и цикловое время выполнения каждого задания. Цикловой график характеризует продолжительность изготовления сборочной единицы и используется при планировании работ в сборочных цехах;

выбирают методы и средства контроля геометрических параметров собранных конструкций, в том числе контуров, выходящих на теоретическую поверхность;

выбирают транспортные и подъемные средства для транспортирования собранных конструкций;

заполняют бланки технологических карт и оформляют другую технологическую документацию в соответствии с ЕСТД;

разрабатывают задание на проектирование сборочных приспособлений, специальных инструментов, средств механизации и автоматизации, контроля и транспортирования собранных конструкций и оформляют заказы на их проектирование и изготовление.

Технологические процессы сборки, так же как и процессы изготовления деталей, разрабатывают в нескольких вариантах, из которых путем технико-экономического анализа выбирают оптимальный вариант при заданной производственной программе выпуска ЛА. Варианты маршрутных процессов могут различаться схемами сборки, содержанием и последовательностью выполнения операций, методами базирования деталей и узлов, средствами и методами выполнения отдельных операций, уровнем механизации и автоматизации технологических процессов и их элементов, средствами и методами контроля готовых сборочных единиц, методами обеспечения геометрической взаимозаменяемости их элементов, характером выполнения работ по соединению элементов конструкции, применяемым оборудованием.

Конкретное содержание каждого из этапов разработки рабочих технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, общей сборки ЛА, соответствующих технологических и экономических расчетов рассматривается при последующем изучении технологических дисциплин:"Технология заготовительно-штамповочных работ", "Технология механической обработки резанием", "Технология клепально-сборочных и монтажных работ", "Технология сварочно-сборочных работ".

Выбор технологического оборудования при технологическом проектировании

Одним из важных этапов разработки технологических процессов является выбор необходимого для выполнения его операций универсального и специального технологического оборудования. Характер, тип, модель и мощность оборудования при этом определяются, в основном, в зависимости от конструктивных и технологических признаков изготовляемых на нем деталей и сборочных единиц (размер, марка материала, форма поверхностей, элементы базирования и др.).

Поэтому перед выбором оборудования следует провести анализ формообразования типовых поверхностей деталей и сборочных единиц, и отдельных методов их обработки и сборки с целью определения наиболее эффективных методов, исходя из назначения и параметров изделия. Наиболее эффективным будет тот метод,

который при заданных условиях производства обеспечит наименьшие трудовые затраты на формообразование типовых поверхностей. Лучшим, очевидно, будет такой вид оборудования, который обеспечит полноценное выполнение именно этого технологического метода. При этом главные параметры изделия (размеры, формы, прочностные характеристики материала) должны определять функциональное назначение и необходимые технологические возможности оборудования.

Выбранное оборудование должно обеспечивать оптимальные режимы обработки при изготовлении деталей или соединения элементов конструкции при сборке, заданную точность и качество изготовления деталей и сборочных единиц. Мощность оборудования должна определяться в зависимости от затрат энергии для выполнения технологических операций. Кроме того, при выборе оборудования необходимо обеспечить выполнение следующих условий: приведенные затраты на выполнение технологического процесса и период окупаемости должны быть минимальными.

Годовая потребность в оборудовании определяется из годового объема работ, устанавливаемого статистическим анализом затрат средств и времени на изготовление изделий.

Выбор технологической оснастки

Не менее важной задачей чем выбор технологического оборудования при разработке технологических процессов является выбор технологической оснастки (приспособлений, рабочих инструментов). Технологическая оснастка должна обеспечить высокое качество изделий, заданную точность их размеров и формы с минимальными затратами на изготовление изделий и самой оснастки.

Выбор технологической оснастки должен быть основан на результатах анализа затрат на реализацию технологического процесса в установленный промежуток времени при заданном качестве изделий. Производится сравнение вариантов оснастки, отвечающих одинаковым требованиям и обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях, и выбираются варианты в соответствии с планом технического развития предприятия, техническими требованиями к изделию, качеством и сроками

изготовления изделий, техническими возможностями технологической оснастки и затратами на ее изготовление и эксплуатацию.

При выборе оснастки должны учитываться требования техники безопасности и промышленной санитарии. В зависимости от конструкции изделий и объема производства технологическая оснастка может быть специальной, предназначенной для выполнения только одной детале-операции или для изготовления только одной сборочной единицы, и универсальной, используемой для изготовления различных изделий за счет соответствующей переналадки или перекомпоновки оснастки. Применяемая в производстве ЛА технологическая оснастка по степени универсальности может быть разделена на следующие виды: неразборная специальная оснастка (НСО), универсально-наладочная оснастка (УНО), универсально-сборная оснастка (УСО), сборно-разборная оснастка (СРО), универсально-безналадочная оснастка (УБО) и специализированная наладочная оснастка (СНО).

При выборе технологической оснастки последовательно осуществляется комплекс взаимосвязанных работ, к которым относятся:

анализ конструктивных характеристик заданного изделия (габаритные размеры, материал, точность, конструктивные характеристики поверхностей и т.п.) и организационно-технологических условий изготовления изделия (схема базирования и фиксации, вид технологической операции, организационная форма процесса изготовления и т.д.);

группирование технологических операций с целью определения наиболее приемлемой системы технологической оснастки и повышения коэффициентов ее использования;

определение исходных требований к технологической оснастке;

отбор конструкций оснастки, соответствующей установленным требованиям, из имеющейся номенклатуры;

определение соответствующих установленным требованиям исходных расчетных данных для проектирования и изготовления новых конструкций оснастки;

составление и выдача технических заданий на разработку и изготовление технологической оснастки.

Группирование технологических операций проводят исходя из эксплуатационных характеристик системы оснастки, к которой относится выбранная конструкция, с учетом обеспечения ее рациональной загрузки на основе анализа объемов выпуска изделий на

заданный период, размера партии и периодичности запусков, суммарной трудоемкости технологических операций, выполняемых с применением оснастки выбранной конструкции. Конструкцию оснастки определяют с учетом имеющихся стандартов и типовых решений для данного вида технологических операций. При этом учитывают габаритные размеры изделий, вид заготовок, характеристики материалов, вид и точность обрабатываемых поверхностей, оказывающих влияние на конструкцию оснастки, технологические схемы базирования и фиксации заготовок, характеристики оборудования, объемы производства.

Порядок составления, согласования и утверждения технического задания на разработку новых конструкций технологической оснастки определяется в соответствии с ГОСТ 15.001—88.

Выбор средств технического контроля

Операции технического контроля изделий могут быть промежуточными и заключительными (финишными). Средства контроля при этом могут быть различными. Их выбор основывается на безусловном обеспечении заданных показателей качества и точности геометрических параметров изделия и на анализе затрат на реализацию процесса контроля, включающих затраты на проведение контроля и изготовление средств контроля. При этом должны учитываться: точность измерений, достоверность контроля, его трудоемкость и стоимость.

При анализе затрат на реализацию процесса контроля необходимо сравнивать варианты средств контроля, отвечающие одинаковым требованиям и обеспечивающие решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях. Варианты средств контроля надо выбирать основываясь на плане технического развития предприятия-изготовителя изделия, технических требованиях к изделию (деталям, сборочным единицам, в целом ЛА), числе изделий и сроках их изготовления, затратах на приобретение или изготовление средств контроля и их эксплуатацию. Следует также учитывать требования техники безопасности и промышленной санитарии.

Средства контроля должны быть рациональными для данных условий производства, экономически эффективными и удовлетворять требованиям стандартов (ГОСТ 12997—84, ГОСТ 3.1502—85).

Выбор средств технологического оснащения процессов испытаний

В производстве летательных аппаратов большой объем занимают работы по монтажу систем бортового оборудования, в состав которых входят различные приборы, специальные механизмы управления полетом, источники питания топливом, электроэнергией, посадочные устройства, трубопроводы, электрожгуты, тросы, тяги и т.д. Для проверки качества монтажных работ и работоспособности отдельных приборов, монтажей и целых систем кроме обычного технического контроля требуются еще специальные испытания, на проведение которых разрабатывают частные технологические процессы, либо специальные программы и регламенты с выбором соответствующих средств оснащения.

В производстве ЛА применяют контрольные, приемосдаточные, исследовательские, государственные и другие виды испытаний (см. п. 6.4). Комплектующие изделия бортового оборудования, поступающие на сборку агрегатов и общую сборку летательного аппарата, проходят обязательный входной контроль на соответствие не только заданным геометрическим, электрическим и другим параметрам, но и на работоспособность в условиях близких к эксплуатационным. Все системы бортового оборудования после выполнения монтажей для определения работоспособности, настройки и контроля основных параметров отрабатывают на функционирование. Такой отработке подвергают гидравлические, пневматические, газовые, электрические, радио и другие системы, различные аварийные линии и устройства.

Для определения надежности и долговечности бортового оборудования, его отдельных узлов проводят ресурсные испытания систем.

Испытания на правильность функционирования, работоспособность, надежность, долговечность требуют применения сложного и разного оснащения (приспособлений, испытательных и контрольных стендов, пультов), выбор которого определяется целью исследования, характером и точностью определяемых параметров. Существенное влияние на выбор средств оснащения оказывают трудовые и материальные затраты на их проектирование и изготовление. Сравнение затрат на осуществление возможных вариантов средств испытаний, отвечающих одинаковым требованиям и обеспечивающих решение одинаковых задач в конкретных производственных условиях, дает возможность выбрать из них оптимальный вариант.

В целях уменьшения материальных затрат при выборе средств испытания следует стремиться максимально использовать стандартизованные средства. Контрольно-измерительная аппаратура, применяемая в средствах испытаний, должна отвечать требованиям Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Средства испытаний должны обеспечивать: стабильность и заданную точность испытаний, простоту и удобство обслуживания, надежность работы в заданных пределах времени, возможность переналадки при изменении объектов производства.

Применение средств механизации и автоматизации технологических процессов

Под *механизацией* технологических процессов понимают частичную или полную замену ручного труда человека машинным на основных операциях, при выполнении которых осуществляется непосредственное изменение формы, размеров или качества изделий с сохранением участия человека в управлении машинами. При автоматизации технологических процессов кроме того предусматривается передача машинам и приборам функций управления, ранее выполнявшихся человеком.

Механизация и автоматизация могут быть подразделены на полную и неполную, единичную и комплексную. При полной механизации и автоматизации весь человеческий труд заменяется процессом работы машины в соответствующих ее функциях, при неполной — заменяется только часть труда человека.

Единичной механизации или автоматизации подвергается только один первичный структурный элемент из числа всех элементов системы (например, одна из операций технологического процесса). Комплексной механизации или автоматизации подвергается несколько структурных элементов системы либо все без исключения ее первичные структурные элементы (например, все операции какого-либо технологического процесса). Механизацию и автоматизацию того или иного вида в зависимости от конкретных условий можно применить на любом структурно-самостоятельном элементе членения технологического процесса. Для оценки состояния и уровня механизации и автоматизации установлена система основных и дополнительных показателей.

Необходимый уровень механизации или автоматизации зависит от заданных условий производства. После определения уровня механизации или автоматизации разрабатывается новый или корректируется ранее разработанный технологический процесс изготовления изделия в нескольких вариантах, из которых путем системно-структурного анализа и сопоставления его результатов выбирается наиболее целесообразный (оптимальный) вариант.

Оптимальный вариант технологического процесса должен обеспечивать заданный объем выпуска продукции, установленные сроки ее изготовления, необходимый уровень качества изделий, рациональные условия труда и производства; он должен обеспечивать также наибольшую экономию общественного труда и наименьшие материальные затраты. Для оптимального варианта технологического процесса осуществляется выбор средств механизации или автоматизации.

Основные формы организации технологических процессов

Форма организации технологических процессов изготовления изделия зависит от установленного порядка выполнения операций технологического процесса, расположения технологического оборудования, числа изделий в партии и направления их движения в процессе изготовления.

Применяются две формы организации технологических процессов: групповая и поточная. *Групповая форма* характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий (заготовок, деталей, сборочных единиц), единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализацией рабочих мест.

Основой при групповой форме организации технологических процессов служит группирование изделий по конструктивно-технологическим признакам. Группы изделий при этом устанавливаются с учетом трудоемкости обработки (сборки) и объема выпуска. По результатам анализа классификационных групп изделий и их относительной трудоемкости устанавливают профиль специализации каждого конкретного структурного подразделения предприятия, где организуется производство изделий (группы мастера, участки, цеха и т.д.), отбирают и закрепляют за ними сооответствующие классификационные группы с учетом загрузки оборудования.

Поточная форма организации технологических процессов характеризуется: 1) специализацией каждого рабочего места на выполнении определенной операции; 2) согласованным и ритмичным выполнением всех операций технологического процесса на основе постоянства такта выпуска; 3) размещением рабочих мест в последовательности, строго соответствующей технологическому процессу.

Поточная форма организации технологических процессов в зависимости от номенклатуры одновременно изготовляемых изделий может быть разделена на поточные линии: однономенклатурную и многономенклатурную.

Однономенклатурная поточная линия характеризуется изготовлением изделия одного наименования в течение длительного периода времени. В зависимости от числа одновременно изготовляемых объектов ее подразделяют на однопоточную и многопоточную. Однопоточная линия характеризуется изготовлением на каждой операции одного объекта одного наименования. Многопоточная линия характеризуется одновременным изготовлением на каждой операции двух и более объектов одного наименования. Выполнение операций при этом дублируется для каждого объекта.

Многономенклатурная поточная линия характеризуется последовательным изготовлением групп изделий двух и более наименований по типовому технологическому процессу. В зависимости от характера движения изделий по операциям различают поточные линии непрерывные и прерывные. Состояние изготовляемых изделий при этом может быть подвижным и неподвижным. Характер движения изделий по операциям может быть принудительным (механизированный), полусвободным и свободным (ручная подача).

Форму организации технологического процесса и соответствующие ей характеристики выбирают в следующей последовательности:

определяют вид изделий;

группируют изделия по общности конструктивно-технологических признаков;

устанавливают тип производства изделий и их составляющих частей;

учитывают программу выпуска каждого изделия и календарные сроки их изготовления;

определяют длительность производственных процессов и наладок технологического оборудования и оснастки;

определяют потребное число оборудования и коэффициент его загрузки;

определяют показатель относительной трудоемкости;

определяют рациональную для данных условий форму организации технологического процесса.

Выбранная форма организации технологического процесса должна обеспечивать ритмичный выпуск изделий при условии их движения по всем операциям с минимальными перерывами, т.е. максимально приближаться к поточной форме.

5.5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Общие положения

Летательные аппараты относятся к категории машин, имеющих весьма сложную многодетальную конструкцию и обладающих большой трудоемкостью как в проектировании, так и в изготовлении. Для современного состояния и развития авиационной и космической техники характерны наукоемкость, применение электроники, большого числа различных материалов, комплектующих изделий и систем. Все это в значительной мере затрудняет не только процесс изготовления такой техники, но и технологическую подготовку производства.

Задача усложняется еще и тем, что производство современных летательных аппаратов имеет в основном единичный и мелкосерийный характер; наряду с этим требования к качеству изделия, сокращению сроков постановки производства, повышению производительности труда и к экономному расходованию материальных, энергетических и трудовых ресурсов непрерывно растут. Сложность заключается также и в том, что требуется постоянная модернизация изделий в ходе производства, систематическое улучшение их конструкции с целью поддержания высокого технического уровня и предотвращения морального старения. Учесть и решить все эти проблемы общемашиностроительными средствами, характерными для стабильного крупносерийного и массового производства, практически невозможно.

Известно, что главными направлениями интенсификации и повышения эффективности любого производства является его комплексная автоматизация, обеспечивающая достижение максимальной производительности труда и оборудования, интенсивности

использования всех средств производства. В крупносерийном и массовом производстве это достигается применением узкоспециализированного автоматического оборудования, автоматических и конвейерных линий, полная загрузка которых обеспечивается большими объемами стабильного выпуска продукции.

В мелкосерийном производстве применение запрограммированных автоматических систем, характерных для массового и крупносерийного производства, не обеспечивает их полной загрузки; эти системы обладают ограниченными возможностями переналадки и при малых объемах производства большую часть времени будут простаивать, эффективность их использования будет весьма низкой, а себестоимость изготовляемой продукции высокой.

С появлением легко переналаживаемого оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), применением электронных вычислительных машин (ЭВМ), промышленных роботов (ПР), типизации технологических процессов и групповой технологии возможности автоматизации мелкосерийного производства и повышения его эффективности резко возросли. На станках с ЧПУ, например можно изготовлять самые разнообразные по форме детали, для каждой из которых требуется только специальная управляющая программа. Если деталь освоена и хотя бы раз изготовлена на станке с ЧПУ, переход к ее изготовлению через любой промежуток времени осуществляется простой заменой программы.

На базе использования и развития современных технических средств и, главным образом, станков с ЧПУ и ЭВМ, оказалось возможным существенно улучшить организацию и повысить эффективность мелкосерийного многономенклатурного производства; создались предпосылки перехода от создания отдельных систем, решающих частные вопросы автоматизации, к разработке интегрированных систем, охватывающих весь производственный комплекс.

Появилась возможность организации такого мелкосерийного производства, которое обладает мобильностью, динамичностью и способно быстро переналаживаться и переходить на выпуск другой продукции. Возникла новая концепция автоматизированного производства — гибкие производственные системы (ГПС). *Гибкое производство* — это такое производство, которое позволяет при минимальных трудовых и материальных затратах за короткое время на том же технологическом оборудовании без перерыва производственного процесса переходить на выпуск новой продукции в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования.

Под гибкостью производства понимают его приспособленность к изменениям и переналадке при выполнении производственной программы. Степень гибкости при этом можно оценить затрачиваемым временем и другими дополнительными затратами, необходимыми при переходе на выпуск новой продукции, а также разнообразием и номенклатурой выпускаемых изделий. Производственная гибкость ГПС определяется технологической, структурно-организационной и параметрической гибкостью.

Технологическая гибкость может быть оценена коэффициентом запуска нового изделия, который показывает, во сколько раз затраты на запуск очередного изделия в условиях ГПС меньше, чем при обычной технологии. Технологическая гибкость характеризуется также номенклатурой изделий и переналаживаемостью оборудования и технологической оснастки.

Структурно-организационная гибкость определяет в основном структуру ГПС, вариантность выбора последовательности обработки, возможность выполнять обработку на другом оборудовании в случае выхода из строя какого-либо станка или устройства, а также возможность наращивания ГПС на основе модульного принципа.

Параметрическая гибкость характеризует способность системы сохранять в заданных пределах основные параметры (производительность, экономическую эффективность, надежность и точность функционирования и др.) при переходе из одного устойчивого состояния в другое при изменении объекта производства. Определяется параметрическая гибкость показателями переходных процессов в ГПС, к которым относятся время, скорость и точность перехода системы в новое устойчивое состояние.

В настоящее время гибкие производственные системы считаются большим достижением в технологии и организации машиностроительного производства и являются реальным направлением перехода к автоматизированному мелкосерийному и среднесерийному производству, управляемому от ЭВМ [5].

В производстве летательных аппаратов гибкие производственные системы находят применение для изготовления деталей обработкой резанием. Имеются перспективные разработки по использованию ГПС для изготовления деталей из листовых материалов и прессованных профилей штамповкой на прессах. ГПС могут быть с успехом применены для изготовления простейших малодетальных сборочных единиц.

Основные определения и понятия

Гибкой производственной системой (ГПС) у нас в стране принято называть совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

В соответствии со структурно-организационными признаками ГПС может быть представлена в виде гибкой автоматизированной линии, гибкого автоматизированного участка, гибкого автоматизированного цеха.

В гибкой автоматизированной линии (ГАЛ) технологическое оборудование с необходимой технологической оснасткой расположено в принятой последовательности технологических операций. *Гибкий производственный участок (ГПУ)* функционирует по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования. *Гибкий автоматизированный цех (ГАЦ)* — это гибкая производственная система, представляющая собой в различных сочетаниях совокупность гибких автоматизированных линий, роботизированных технологических комплексов, гибких автоматизированных участков для изготовления изделий данной номенклатуры.

ГПС создается по блочно-модульному принципу в составе гибких производственных модулей и роботизированных технологических комплексов. *Гибкий производственный модуль (ГПМ)* является основной составной частью ГПС и представляет собой единицу технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик с программным управлением, автономно функционирующую, автоматически осуществляющую все функции, связанные с их изготовлением, имеющую возможность встраиваться в гибкую производственную систему.

ГПМ основаны на возможности использования систем автоматизированного числового программного управления технологическим оборудованием. Основным видом станков с ЧПУ в гибких производствен-

ных системах механической обработки являются обрабатывающие центры, обеспечивающие выполнение в автоматическом цикле операций фрезерования, сверления, растачивания, развертывания, нарезания резьб и др.

ГПМ обладают способностью автоматизированной переналадки на выпуск различных изделий в пределах освоенной номенклатуры и своих технических возможностей. С этой целью их оснащают автоматизированными устройствами (роботами), которые обеспечивают возможность подачи и замены инструментов и зажимных приспособлений. Применение робота позволяет автоматизировать загрузку заготовок и удаление деталей и отходов, выполнение измерений и контроля в процессе обработки (сборки), диагностику неполадок и отказов в работе.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) представляет собой совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующую и осуществляющую многократные циклы. РТК, предназначенные для работы в ГПС, должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему. В качестве технологического оборудования в РТК может быть использован промышленный робот. Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства (деталей, заготовок) и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

Основными характеристиками ГПМ и РТК являются: гибкость, удовлетворяющая требованиям мелкосерийного производства; простота наладки, устранения отказов основного оборудования и систем управления; способность работать автономно или некоторое ограниченное время без участия человека; автоматическое выполнение всех основных и вспомогательных операций; совместимость с оборудованием традиционного и гибкого производства; высокая экономическая эффективность; высокая степень завершенности изготовления деталей с одного установа и др.

Функционирование ГПС в автоматическом или автоматизированном режиме обеспечивается системами, которые имеют следующие структурные части:

автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), представляющая собой систему взаимосвязанных автоматизированных транспортных и складских устройств для укладки, хранения,

временного накопления, разгрузки и доставки предметов труда, технологической оснастки;

автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО), представляющая собой систему взаимосвязанных элементов (оборудования, систем управления), включающая участки подготовки инструмента, его транспортирования, накопления, устройства смены и контроля качества инструмента, обеспечивающие его (инструмента) подготовку, хранение, автоматическую установку и замену;

автоматизированная система удаления отходов (АСУО), представляющая собой устройства с системой управления для удаления стружки и других отходов из зоны ГПМ, РТК и другого оборудования, включенного в ГПС. В этих устройствах предусматривается, как правило, автоматическое разделение и сортировка стружки и других отходов для дальнейшей утилизации.

Применяется и ряд других систем, обеспечивающих нормальное функционирование ГПС в автоматическом или автоматизированном режиме. Интеграция всех этих систем в единую систему приводит к созданию гибкого автоматизированного производства.

Технологические особенности гибких производственных систем. Выбор деталей для изготовления в ГПС

Гибкие автоматизированные производственные системы характеризуются взаимодействием многих объектов, сложной связью информационных и материальных потоков, наличием случайных воздействий, что в значительной мере усложняет технологическое проектирование. Технологической основой создания ГПС является унификация технологических процессов, которая реализуется в виде типовой и групповой технологии.

Технологические процессы изготовления деталей применительно к ГПС при этом разрабатывают на базе установления соответствий между признаками деталей, их поверхностей и технологическими методами обработки, которые могут быть применены для их изготовления. С этой целью разрабатывают классификацию деталей и их поверхностей по технологическим признакам с учетом их изготовления в ГПС, определяют классы деталей, имеющих общие технологические признаки, из деталей каждого класса выделяются представители, обладающие всеми признаками, необходимыми для

технологического проектирования и свойственными большинству деталей класса, т.е. проводят все те работы, которые выполняют при разработке типовых и групповых технологических процессов.

Основными критериями выбора деталей для изготовления в ГПС и их классификации являются следующие [5]: 1) конструктивно-технологическое подобие. Чем выше степень подобия, тем больше возможностей для сокращения номенклатуры оснастки и применения методов групповой обработки; 2) подобие марок материалов. Чем больше изготовляется одновременно деталей из разнородных материалов, тем сложнее разделение стружки; 3) станкоемкость и число установов. Минимальная станкоемкость одной операции должна быть не менее 10 — 15 мин и не более 2 — 3 ч; 4) состав оборудования ГПС. Номенклатура деталей, выделенных в класс для изготовления в ГПС, должна по возможности обеспечить использование однотипного оборудования; 5) степень замкнутости маршрута обработки. Следует стремиться к тому, чтобы выбранные детали могли быть изготовлены полностью без прерывания маршрута для выполнения каких-либо операций вне системы; 6) стабильность технологических процессов. Процесс обработки в ГПС должен обладать высокой стабильностью по параметрам производительности и качества; 7) устойчивость номенклатуры. Переводу в ГПС подлежат только те детали, которые будут находиться в производстве в течение срока создания и эксплуатации системы, изменения их конструкции могут осуществляться в пределах технологических возможностей оборудования; 8) возможность выполнения большинства операций технологического процесса изготовления деталей на оборудовании с ЧПУ; 9) возможность максимальной концентрации переходов и операций; 10) возможность изготовления деталей без ручных операций доводки и обработки; 11) возможность совместной обработки заготовок для деталей заданной номенклатуры по общности операций на определенном оборудовании и приспособлениях с применением определенных типоразмеров инструмента; 12) наличие необходимых базовых поверхностей для применения промышленных роботов; 13) возможность организации многостаночного обслуживания; 14) экономическая целесообразность перевода на оборудование с ЧПУ.

Выбранная номенклатура деталей должна пройти глубокую проработку на технологичность конструкции применительно к условиям изготовления в ГПС. В отличие от технологических

процессов традиционного (неавтоматизированного) производства в условиях ГПС в их составе должны разрабатываться не только основные операции, связанные с непосредственной переработкой исходных материалов в заданную продукцию, но и должна быть осуществлена глубокая проработка подготовительных и финишных операций (переходов), включающих установ и смену деталей (заготовок) на станках и других устройствах, транспортирование материалов, заготовок и деталей, термическую обработку, мойку, измерение и контроль и др.

Разработка технологических решений должна быть очень глубокой с доведением до уровня подготовки и отладки управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Должны быть максимально сконцентрированы операции и переходы, минимизированы технологические базы и базы транспортирования и манипулирования заготовками и деталями.

Гибкие производственные системы для обработки резанием

ГПС для обработки резанием могут включать как отдельные операции технологического процесса изготовления деталей, так и все операции механической обработки, комплексно обеспечивающие полное изготовление деталей. Соответственно, ГПС механической обработки можно разделить на операционные и комплексные.

Операционные ГПС создают для отдельных видов технологических операций: токарных, фрезерных, шлифовальных, расточных и других, выполняемых на станках с ЧПУ, оснащенных роботами, накопителями деталей и управляющими вычислительными комплексами на базе ЭВМ.

Комплексные ГПС создают в качестве типовых или специальных разработок для изготовления отдельных видов деталей типа тел вращения, корпусных деталей и др. Основу комплексных ГПС составляют металлорежущие станки с ЧПУ и промышленные роботы, оснащенные необходимыми вспомогательными устройствами, к которым относятся накопители заготовок, межстаночные накопители полуфабрикатов, устройства ожидания для полуфабрикатов и заготовок, управляющие комплексы на базе ЭВМ.

После завершения технологического процесса в комплексной ГПС готовые детали автоматически транспортируются в специальные накопители.

Операционные и комплексные ГПС оснащаются стружкоуборочными конвейерами, а также системой фотоэлектронной защиты зоны работы, обеспечивающей необходимые требования техники безопасности.

К режущим инструментам, применяемым в гибких производственных системах, предъявляются специфические требования. Отличительной особенностью их является высокая степень унификации, что позволяет сократить номенклатуру инструмента и его число. Для изготовления общемашиностроительных деталей может быть применен типовой комплект режущих инструментов, который удовлетворяет требованиям технологии и изготовления большинства деталей без использования специального дорогостоящего инструмента. Режущий инструмент для ГПС должен иметь высокую износостойкость и сохранять требуемые режущие свойства в течение заданного периода времени. Инструмент должен быть быстросменным, в его конструкции должна быть предусмотрена возможность автоматизированной замены в магазине станка.

Заготовительное производство для ГПС обработки резанием может быть либо автономным, либо связанным с изготовлением деталей. Производство заготовок в обоих случаях должно быть гибким; обеспечивающим получение их в любом количестве и в любое время по требованиям ГПМ механической обработки. Важнейшая концепция создания ГПС заготовок заключается в комплексности и модульности их структуры [57]. Требование комплексности заключается в возможности выполнять различные технологические процессы комплексно на одном и том же рабочем месте одновременно, предусматривая различные сочетания основных подготовительных и финишных операций. Требование модульности структуры означает целесообразность разработки таких элементов, которые позволяют компоновать необходимые ГПМ в соответствии с требованиями технологических процессов изготовления заготовок.

Следует отметить, что к заготовкам для ГПС механической обработки предъявляются специфические требования, более жесткие, чем обычно. К ним относятся [5]:

минимальный припуск, достаточный для обеспечения заданной точности и чистоты обрабатываемой поверхности;

распределение припуска должно быть равномерным по поверхности заготовки и стабильным для всей партии деталей;

постоянство физико-механических свойств материала по всей поверхности обработки;

постоянство уровня остаточных напряжений, не вызывающего деформирования детали при обработке;

база должна иметь относительно высокую точность формы и расположения и обеспечивать надежное крепление заготовки при обработке;

отвод стружки от режущих кромок инструментов должен быть свободным, исключающим заклинивание и поломку инструментов;

припуск на обработку не должен превосходить допустимого значения, обеспечивающего эффективный зажим заготовки в заранее настроенной оснастке;

заусенцы на обоих торцах заготовок должны быть сняты и кромки притуплены;

отклонения от перпендикулярности торцов заготовки и образующей не должны превышать 0,5 мм для заготовок диаметром до 100 мм и не более 1 мм для заготовок диаметром свыше 100 мм.

Для обеспечения этих требований в действующем производстве необходимо предусматривать создание вспомогательных участков для выполнения обдирочных операций, обеспечивающих необходимую точность и идентичность заготовок. При этом надо учитывать, что чем выше точность заготовок, тем вероятнее возможность включения обдирочных операций подготовки их поверхностей в производственные процессы ГПС.

Особенности ГПС холодной штамповки

В конструкциях летательных аппаратов применяется большое число разнообразных деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб. В мелкосерийном производстве, характерном для летательных аппаратов, такие детали можно с успехом изготовлять в гибких производственных системах холодной штамповки, обеспечивающих достижение высокой производительности труда и низкой технологической себестоимости деталей, близкой к себестоимости их изготовления в массовом производстве.

ГПС холодной штамповки создаются на базе автоматизированных штамповочных комплексов, универсальных и быстросменных

штампов и новой технологии их изготовления. Оснащаются ГПС холодной штамповки промышленными роботами, накопителями заготовок и деталей, управляющими комплексами на базе ЭВМ. Детали обычно изготовляют в автоматическом и, реже, в автоматизированном режимах.

В ГПС холодной штамповки применяют технологические модули, обеспечивающие выполнение либо отдельных операций штамповки (разделительных, формоизменяющих), либо полное изготовление деталей с использованием комбинированных штампов. В настоящее время разработаны и получают применение следующие системы ГПМ холодной штамповки [30]: 1) для изготовления деталей из листа без предварительного его раскроя на полосы (ГПМ-лист); 2) для изготовления деталей из полосы (ГПМ-полоса); 3) для изготовления деталей из ленты с использованием магазина рулонов лент (ГПМ-лента); 4) для изготовления крупногабаритных изогнутых деталей из листовых заготовок (ГПМ-гибка); 5) для многопозиционной последовательной вытяжки деталей из листового материала (ГПМ-вытяжка).

Во всех этих системах применяют либо универсальное прессовое оборудование, либо специализированные прессы и автоматы. Применяется штамповая оснастка, конструктивно и технологически приспособленная для работы в условиях ГПС. Главное требование к оснастке — быстросменность или быстрая переналадка при переходе на изготовление других деталей из закрепленной за ГПМ номенклатуры.

В этом отношении заслуживает внимания возможность разработки и применения в мелкосерийном производстве летательных аппаратов гибких технологических модулей с использованием эластичных сред в качестве универсального штампового инструмента.

Создание ГПС холодной штамповки связано с систематизацией и группированием деталей, разработкой типовых и групповых технологических процессов их изготовления, модернизацией имеющегося и разработкой нового прессового оборудования, применительно к условиям работы в ГПС, разработкой автоматически сменяемых или универсальных конструкций штампов и захватных устройств промышленных роботов, загрузочных и разгрузочных устройств, определением рациональных компоновок ГПС [30].

Эффективность применения ГПС

Опыт внедрения ГПС показал, что при их полной загрузке и нормальной эксплуатации по сравнению с автономно работающими станками с ЧПУ эффективность оборудования возрастает в 1,5 — 2 раза, в результате чего его производительность повышается в 2 — 3 раза, а число станочников сокращается в 2 — 4 раза [5]. По мере развития ГПС и совершенствования технических и программных средств их эффективность будет расти.

Особую роль в повышении эффективности ГПС играет технологическая подготовка производства. Широкое применение вычислительной техники на этапе технологической подготовки позволяет в значительной мере сократить сроки перехода предприятия к выпуску новых изделий, осуществлять разработку технологических процессов, проектирование и изготовление технологической оснастки на более высоком научном и организационном уровне при меньших затратах труда. Благодаря этому удается в значительной мере сократить сроки разработки и внедрения ГПС, снизить себестоимость выпускаемой продукции (см. п. 5.8).

Эффективность ГПС складывается из технической, организационной и экономической эффективности [5]. Техническая и организационная эффективность ГПС при переходе от универсального оборудования с ручным управлением или автономно работающего оборудования с ЧПУ к ГАЛ и ГАУ достигается за счет повышения эффективности использования технологического оборудования в этих системах, что обусловлено минимизацией времени переналадки его на выпуск другой продукции, а также освобождением оператора от постоянного наблюдения за работой оборудования и переходом к многостаночному обслуживанию. При этом коэффициент загрузки станков возрастает с 0,4 — 0,6 до 0,85 — 0,9, а коэффициент сменности их работы до 2,5 — 3 (против достигнутого в настоящее время среднего значения 1,2 — 1,6). При этом в 6 — 10 раз сокращается время подготовки производства и производственный цикл обработки. Снижается также себестоимость и повышается стабильность и качество обработки.

Техническая и организационная эффективность ГПС оценивается коэффициентом использования инструментов, содержащихся в накопителях и пристаночных магазинах, коэффициентом

использования технических средств ГПМ, ГАЛ или ГАУ, коэффициентами сменности и загрузки оборудования, а также показателями надежности систем (наработка на отказ, показателями готовности, ремонтопригодности и т.п.).

Экономическая эффективность ГПС оценивается в сравнении с автономно работающим оборудованием; она образуется за счет [5]:

повышения производительности труда в 6 — 10 раз;

сокращения затрат на закупку нового оборудования в связи с уменьшением его числа за счет повышения производительности оборудования и улучшения его использования;

уменьшения затрат на строительство производственных площадей под уменьшенное число единиц оборудования;

экономии фонда заработной платы в связи с сокращением состава производственного и обслуживающего персонала;

уменьшения вложений в оборотные фонды, так как уменьшаются производственный цикл изготовления изделий, размер партий, необходимые запасы и т.п.

Кроме того во всех случаях уменьшаются потери от брака и сокращаются затраты на технологическую оснастку.

Внедрение гибких производственных систем дает не только большой технико-экономический эффект, но и вызывает важные социальные изменения в производстве: повышается культура труда обслуживающего персонала, улучшается режим его работы, исключается ручной тяжелый физический труд, улучшается гигиена труда и техника безопасности, что приводит к сокращению производственного травматизма, повышается уровень технической вооруженности труда, так как автоматизируются практически все основные и вспомогательные операции.

5.6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В соответствии с предъявляемыми требованиями рабочий технологический процесс должен обеспечивать изготовление деталей, сборочных единиц и всего ЛА в целом в заданном числе, надлежащего качества в строгом соответствии с рабочей конструкторской документацией и техническими условиями. Вместе с тем он должен быть оптимальным по экономичности, обеспечивая изготовление изделий с минимальными затратами труда (как живого, так и овеществленного в материалах, полуфабрикатах, готовых

комплектующих изделиях и в средствах производства). Поэтому экономичность является основным фактором и критерием оценки качества разработанного технологического процесса.

Под экономичностью понимают наименьшие затраты трудовых и материальных ресурсов на изготовление изделия. Показатель экономической эффективности определяют как сравнительную величину при сопоставлении вариантов технологического процесса. Существенную роль в оценке экономичности играет себестоимость изделия. Под себестоимостью понимают сумму всех затрат на изготовление изделия, выраженную в денежных единицах. Очевидно, что из двух или большего числа вариантов технологического процесса наиболее эффективным с экономической точки зрения будет тот, который обеспечит наименьшую себестоимость изделия. Значительное влияние на последнюю оказывает трудоемкость технологического процесса, которая характеризует затраты живого труда на его реализацию.

Понятие о трудоемкости технологического процесса

Для оценки трудовых затрат на выполнение технологического процесса применяют технически обоснованную норму рабочего времени, представляющую собой регламентированное время, необходимое для выполнения некоторого объема работ в конкретных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации при полноценном использовании технологического оснащения (ГОСТ 3.1109—82).

Норму времени определяют по результатам наблюдений либо по специальным нормативам, или сравнением и расчетом по типовым нормам. При первом методе норму времени определяют на основе изучения затрат времени непосредственно в производственных условиях на рабочих местах. При втором методе длительность операций рассчитывают дифференцированно, используя нормативы времени выполнения отдельных элементов работы. Эти два метода применяют в среднесерийном, крупносерийном и массовом производствах. Третий метод дает возможность определять норму времени приближенно с использованием типовых нормативов. Его применяют в единичном и мелкосерийном производствах.

В случае, если оборудование в течение смены не переналаживается для выполнения других операций, или его переналадка осуществляется во внеурочное время, то для расчета

трудовых затрат используют штучное время $t_{шт}$, которое представляет собой интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготовляемых (ремонтируемых) изделий или равный календарному времени выполнения сборочной операции. Штучное время не учитывает времени, потребного для наладки оборудования, инструментов и приспособлений.

Штучное время для неавтоматизированного производства представляет собой сумму элементарных времен:

$$t_{шт} = t_{о} + t_{в} + t_{об} + t_{п},$$

где $t_{о}$ — основное (технологическое) время, затрачиваемое непосредственно на обработку (изменение формы, размеров или состояния обрабатываемой заготовки при выполнении операции) или на сборку предмета труда; $t_{в}$ — вспомогательное время, в состав которого входит время на установку, закрепление, освобождение и снятие заготовки в процессе ее обработки, а также время на управление оборудованием и измерение изделий; $t_{об}$ — время обслуживания рабочего места, отнесенное к одному изделию (заготовке, детали, сборочной единице). Оно затрачивается оператором на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и на уход за рабочим местом. В состав $t_{об}$ входит время на регулирование и подналадку оборудования, инструментов и приспособлений в процессе работы и другие действия оператора, связанные с обеспечением работоспособности оборудования и технологического оснащения (время технического обслуживания рабочего места), а также время на подготовку рабочего места к началу работы, уборку его в конце смены, на чистку и смазывание оборудования (время организационного обслуживания рабочего места); $t_{п}$ — время перерывов на отдых и личные надобности рабочего.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем:

$$t_{оп} = t_{о} + t_{в}.$$

Если на одном рабочем месте в течение определенного промежутка времени (например, в течение смены) выполняется несколько различных операций (мелкосерийное и среднесерийное производ-

ство), то для расчета трудовых затрат используют так называемое штучно-калькуляционное время

$$t_{кл} = t_{шт} + t_{пз}/n_{пз},$$

где $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время, учитывающее затраты труда на подготовку к работе и наладку оборудования, установку и наладку инструментов, приспособлений, снятие их после окончания работы; $n_{пз}$ — число изделий в партии.

Подготовительно-заключительное время зависит от сложности налаживания оборудования, технологической оснастки; оно не зависит от размера партии запуска и устанавливается на всю партию. В единичном производстве $t_{пз}$ включается в штучное время.

В массовом производстве подготовительно-заключительное время не определяется вследствие повторяемости одной и той же операции на каждом рабочем месте.

Трудоемкостью изделия называют количество живого труда в человеко-часах, затраченного на его изготовление. *Трудоемкостью технологического процесса* изготовления детали или сборочной единицы называют количество труда в человеко-часах, затраченного на его выполнение.

При планировании работы используют так называемую *норму выработки* — регламентируемый объем работы, который нужно выполнить в единицу времени в определенных организационно-технических условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. Норму выработки можно определить как отношение единицы времени (час, смена) к штучному или штучно-калькуляционному времени.

Понятие о технологической себестоимости изделия

Для определения экономической эффективности технологического процесса и выбора его рационального варианта можно воспользоваться так называемой цеховой себестоимостью изделия, которая представляет собой сумму всех затрат на его изготовление в данном цехе как непосредственных (т.е. расходов на материалы, зарплату основных рабочих и наладчиков оборудования и оснастки, на электроэнергию, технологическую оснастку), так и цеховых накладных расходов (сюда входят расходы, связанные с амортизацией оборудования, содержанием зданий и сооружений, эксплуатацией подъемно-транспортных средств, зарплатой вспомогательных рабочих

и инженерно-технических работников, управленческого, обслуживающего персонала и т.д.).

Определение всех статей затрат, особенно связанных с цеховыми накладными расходами, представляет известную сложность. Следует отметить, что цеховые накладные расходы оказывают примерно одинаковое влияние на себестоимость одного и того же изделия при различных вариантах технологического процесса. Это обусловливается тем, что в условиях действующего предприятия внедрение предпочтительных вариантов, как правило, не требует дополнительных капитальных вложений в оборудование и производственные помещения, а также увеличения численности ИТР и вспомогательных рабочих.

Поэтому, не внося сколько-нибудь заметной погрешности при оценке эффективности вариантов технологического процесса, цеховые накладные расходы можно не учитывать и вести расчет, ориентируясь только на непосредственные затраты, связанные с выполнением вариантов; сумму этих затрат называют *технологической себестоимостью изделия.* Технологическую себестоимость измеряют в денежном выражении.

Расчет технологической себестоимости

Технологическую себестоимость рассчитывают по формуле

$$C_{э.т} = M_э + З_р + З_н + Э_{об} + E_{осн}K_a, \qquad (5.1)$$

где $C_{э.т}$ — технологическая себестоимость изготовления элемента конструкции; $M_э$ — стоимость материалов, необходимых для изготовления одного элемента конструкции; $З_р$ — прямая заработная плата рабочих при изготовлении одного элемента конструкции; $З_н$ — заработная плата наладчиков по всей производственной программе, отнесенная к одному элементу конструкции; $Э_{об}$ — расходы на эксплуатацию оборудования, отнесенные к одному элементу конструкции; $E_{осн}$ — расходы на технологическую оснастку, отнесенные к единице изделия; K_a — безразмерный коэффициент, учитывающий срок погашения затрат на технологическую оснастку; $K_a = 1/D$, здесь D — срок погашения затрат на оснастку в годах.

Стоимость материалов, затраченных на изготовление одного элемента конструкции,

$$M_э = C_м m_м - C_{отх} m_{отх},$$

где $C_м$ — стоимость единицы массы материала; $m_м$ — норма расхода материала на один элемент конструкции; $C_{отх}$ — стоимость единицы массы отходов материала, полученных при изготовлении одного элемента конструкции; $m_{отх}$ — масса отхода, полученного при изготовлении одного элемента конструкции.

Прямая зарплата рабочих, приходящаяся на один элемент конструкции:

$$З_р = \sum_1^n t_{шт} K_т,$$

где $t_{шт}$ — штучное время на операцию; $K_т$ — часовая тарифная ставка рабочего с учетом расходов по социальному страхованию и оплачиваемого отпуска; n — число операций по технологическому процессу изготовления элемента конструкции.

Заработная плата наладчиков, отнесенная к одному элементу конструкции, определяется как

$$З_н = t_{пз} K_н P / N,$$

где $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время на наладку оборудования и приспособлений; $K_н$ — часовая ставка наладчика с учетом расходов по социальному страхованию и оплачиваемого отпуска; P — число переналадок оборудования и оснастки в течение года; N — годовая программа производства изделия.

Затраты на эксплуатацию оборудования складываются из затрат на ремонт оборудования $C_{р.об}$ и стоимости электроэнергии $C_{эл}$, затраченной на изготовление одного элемента конструкции.

Затраты на текущий ремонт оборудования, отнесенные к одному элементу конструкции:

$$C_{р.об} = \sum_1^n C_{оп},$$

где $C_{оп}$ — затраты на ремонт оборудования, отнесенные к одной операции.

Стоимость электроэнергии, отнесенная к одному элементу конструкции, может быть приближенно определена по формуле

$$C_{эл} = t_{шт}\, e\, W,$$

где e — стоимость киловатт-часа электроэнергии; W — установленная мощность двигателя оборудования.

Суммируя $C_{раб}$ и $C_{эл}$, получаем

$$Э_{об} = \sum_{1}^{n} C_{оп} + t_{шт}\, e\, W.$$

Расходы на технологическую оснастку, отнесенные к единице изделия, рассчитывают приближенно:

$$E_{осн} = (C_{осн} + C_{р.осн}) / N,$$

где $C_{осн}$ — стоимость технологической оснастки; $C_{р.осн}$ — стоимость ремонта технологической оснастки за период ее эксплуатации.

Варианты технологического процесса оценивают путем сравнения технологической себестоимости элемента конструкции при изготовлении его по каждому из разработанных вариантов.

Для приближенных расчетов задачу можно еще более упростить, если исключить из технологической себестоимости затраты, имеющие для всех сравниваемых вариантов одинаковое значение, и оставить только те, которые характерны для данного варианта и при переходе к другому варианту меняют свое значение. Например, если расход материала и отходы при всех вариантах технологического процесса одинаковы, стоимость материала и стоимость отходов при определении технологической себестоимости элемента конструкции можно не учитывать.

Следует иметь в виду, что технологическая себестоимость имеет реальный смысл только при экономическом сравнении различных вариантов технологического процесса. Для каких-либо других целей она не пригодна.

Общие принципы выбора оптимального варианта технологического процесса

Оптимальный вариант технологического процесса определяется по результатам технико-экономического анализа всех разработанных вариантов и сравнения технологической себестоимости изготовления элемента конструкции при каждом из них. Тот вариант, при котором технологическая себестоимость минимальна, будет экономически наиболее целесообразным.

Технологическую себестоимость рассчитывают по формуле (5.1). Одна часть затрат, приведенных в этой формуле, является текущей и повторяется при изготовлении каждого изделия и от годовой программы не зависит; другая, наоборот, не повторяется и находится в непосредственной зависимости от годовой программы. К повторяющимся затратам A на единицу изделия относятся $M_э$, $З_р$ и $Э_{об}$, к затратам, которые определяют с учетом годовой программы, — $З_н$ и $E_{осн}$, представляющие собой отношение единовременных затрат B к годовой программе N. С учетом этого формулу (5.1) можно представить в следующем виде:

$$C_{э.т} = A + B/N, \tag{5.2}$$

где

$$A = M_э + З_р + Э_{об},$$
$$B/N = З_н + E_{осн}K_a. \tag{5.3}$$

Наибольшее влияние на затраты A, а следовательно, и на технологическую себестоимость оказывает стоимость материалов $M_э$, которая достигает 40% общей стоимости современного самолета (без учета стоимости поставленных со стороны готовых изделий). Между A и $M_э$ существует линейная функциональная зависимость.

Как видно из уравнения (5.2), на технологическую себестоимость элемента конструкции значительное влияние оказывает также годовая программа, с ростом которой себестоимость снижается в гиперболической зависимости.

На рис. 5.2. показан график, показывающий, что с увеличением программы N кривая асимптотически приближается к значению A.

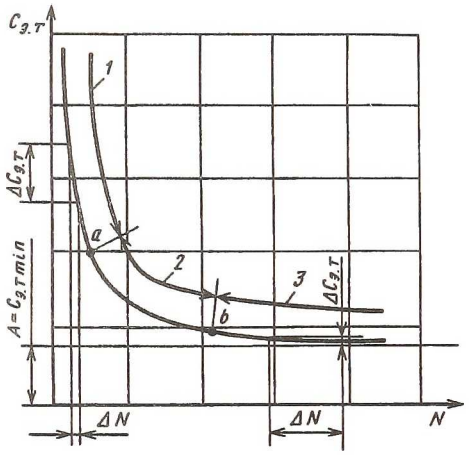


Рис. 5.2. Зависимость себестоимости $C_{э.т}$ от годовой программы N

Кривую можно условно разделить на три характерных участка. Участок *1* соответствует малому значению программы, характерному для единичного производства. Небольшое изменение программы ΔN на этом участке резко влияет на себестоимость изделия $\Delta C_{э.т}$. Участок *2* соответствует условиям серийного производства, причем левый конец этого участка *a* соответствует мелкосерийному, а правый *b* — крупносерийному производству. Участок *3* соответствует массовому производству. Небольшое изменение программы ΔN на этом участке почти не сказывается на себестоимости продукции $\Delta C_{э.т}$. Таким образом следует, что программа N более значительно влияет на себестоимость изделия при единичном и мелкосерийном производстве, характерном для космических аппаратов и тяжелых самолетов.

На рис. 5.3 показаны аналогичные графики, построенные для двух вариантов технологического процесса. Кривые *1* и *2*, соответствующие этим вариантам, пересекаются в точке *C*, характеризующей критическую программу, при которой технологическая себестоимость изделия при обоих вариантах будет одинаковой. При $N < N_{кр}$ экономически более целесообразным будет вариант *1*, так как $C_{1э.т} < C_{2э.т}$, при $N > N_{кр}$ более целесообразным будет вариант *2*, так как $C_{2э.т} < C_{1э.т}$. Область *I* соответствует экономически более целесообразному применению варианта *1*, область *II* — экономически более целесообразному применению варианта *2*.

Критическую программу можно найти аналитически, решив совместно уравнения (5.3) для двух вариантов:

$$C_{1э.т} = A_1 + B_1/N$$

и

$$C_{2э.т} = A_2 + B_2/N.$$

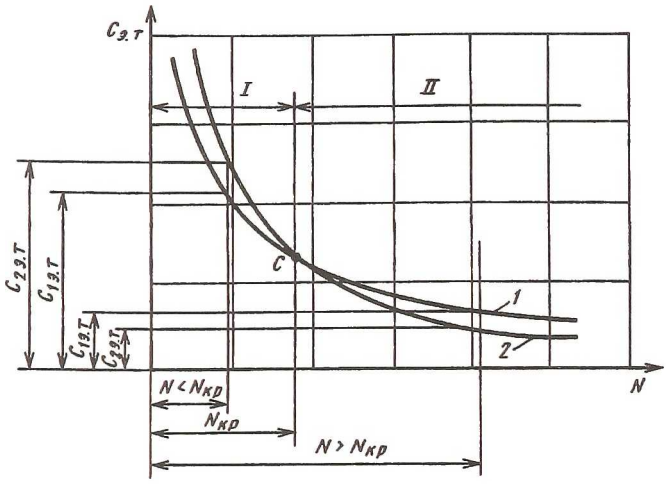


Рис. 5.3. Зависимость технологической себестоимости изделия $C_{э.т}$ от годовой программы выпуска N

При $N = N_{кр}$, $C_{1э.т} = C_{2э.т}$ и, следовательно,

$$N_{кр} = (B_1 - B_2)/(A_2 - A_1).$$

Если уравнение (5.3) умножим почленно на годовую программу N, то получим технологическую себестоимость всех изделий, изготовленных в течение года. Формула (5.2) при этом примет вид

$$C_{год} = AN + B, \qquad (5.4)$$

где $C_{год}$ — себестоимость всех изделий, изготовленных по годовой программе.

Формула (5.4) значительно удобнее для расчетов, так как представляет собой уравнение прямой линии. Каждому варианту технологического процесса на графике, построенном по формуле (5.4), будет соответствовать своя прямая (рис. 5.4). Точки пересечения прямых на графике (точки C) характеризуют критическую годовую программу $N_{кр}$, при которой технологическая себестоимость по двум сравниваемым вариантам технологического процесса будет одинаковой.

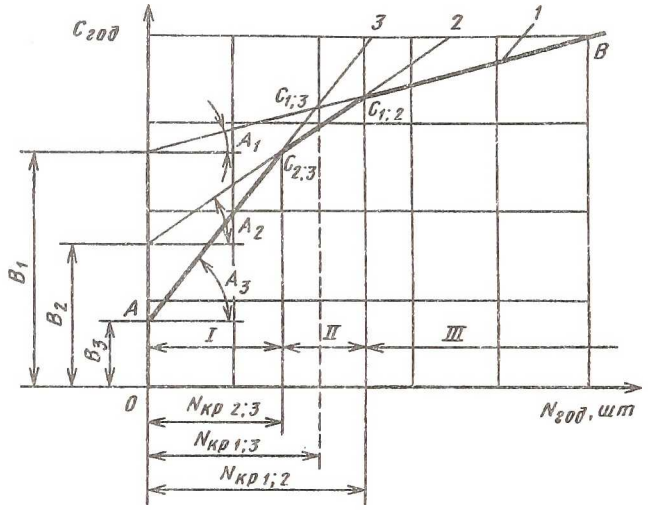


Рис. 5.4. Зависимость технологической себестоимости годового выпуска изделий от производственной программы

Точка $C_{2;3}$ характеризует критическую программу для вариантов *2* и *3*, точки $C_{1;3}$ — для вариантов *1* и *3*, точка $C_{1;2}$ — для варианта *1* и *2*. Область *I* соответствует экономически целесообразному применению варианта *3*, область *II* — варианта *2* и область *III* — варианта *1*. Все три области в зависимости от производственной программы на графике ограничиваются ломаной прямой $AC_{2;3}C_{1;2}B$.

Степень совершенства технологических процессов определяется не только технологической себестоимостью изделия, но и рядом других технико-экономических показателей, которые следует учитывать при разработке технологических процессов.

Для определения целесообразного варианта технологического процесса с учетом всех показателей проводят комплексный анализ экономической, технической, организационной и социальной целесообразности каждого варианта.

При анализе технической целесообразности вариантов определяют возможность изготовления изделия высокого качества, достижения заданной точности его формы и размеров, надежности (т.е. соответствия изделия конструкторской документации и техническим условиям), выявляют преимущества и недостатки каждого варианта с точки зрения повышения технического уровня производства.

При анализе организационной целесообразности вариантов технологического процесса определяют их влияние на организацию технологического процесса и производства, длительность производственного цикла, ритмичность производства, производительность труда.

При анализе социальной значимости определяют влияние вариантов технологического процесса на характер профессионального и квалифицированного состава рабочих, уровень механизации и автоматизации элементов производства, условия труда, степень удовлетворения требованиям техники безопасности и промышленной санитарии.

При анализе вариантов технологического процесса должна учитываться также степень использования новейших достижений науки и техники, передовых форм организации производства, характер и сложность технологической подготовки производства и освоения изделия. Совокупность всех этих технико-экономических показателей позволяет дать комплексную оценку степени совершенства того или иного варианта технологического процесса.

5.7. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Разработанный технологический процесс изготовления изделия оформляется в виде основного технологического документа специального назначения, который представляет собой унифицированную технологическую карту. Формы карт и содержание их текстовой части зависят от вида технологического процесса и определены стандартами Единой системы технологической документации (ЕСТД), являющейся составной частью ЕСТПП.

В ЕСТД приведены основные правила и положения о порядке оформления и комплектации технологической документации, разрабатываемой предприятиями всех машиностроительных отраслей промышленности, в том числе и предприятиями авиационного профиля. Стандарты этой системы устанавливают единые обозначения, термины и унифицированные документы на различные виды технологических процессов (ГОСТ 3.1102—81). Основные технологические документы при этом подразделяются на документы общего и специального назначения.

В технологических документах специального назначения дается описание технологических процессов и составляющих их операций применительно к принятым технологическим методам переработки исходных материалов при изготовлении или ремонте изделий. Обязательным документом при этом является маршрутная карта (МК), в которой дается укрупненное описание технологического процесса и всех, входящих в его состав технологических операций, включая перемещения и контроль; описание дается в технологической последовательности изготовления изделия. Под перемещением понимают совокупность действий, необходимых для изменения местонахождения материала, заготовки или изделия на территории предприятия вне рабочих мест (ГОСТ 14.004—83). В маршрутной карте указываются также данные о выбранном оборудовании, технологической оснастке, материалах и трудовых затратах.

Наряду с маршрутными картами (или вместо них) могут оформляться специальные карты технологических процессов (КТП), в которых дается более подробное (операционное) описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия в принятой технологической последовательности. Описание всех операций одного вида формообразования, обработки, сборки или ремонта в этой карте дается с указанием переходов, технологических режимов и средств технологического оснащения, материальных и трудовых затратах.

Применяют также карту типового (группового) технологического процесса (КТТП), в которой дается описание типового (группового) технологического процесса изготовления или ремонта изделий определенного типа (группы) в технологической последовательности по всем операциям одного вида формообразования, обработки, сборки или ремонта с указанием типовых переходов и общих данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых затратах.

Для единичных технологических процессов разрабатывается операционная технологическая карта (ОК), в которой приводится описание одной операции, с указанием содержания и последовательности выполнения входящих в ее состав переходов, рабочих ходов, а в случае необходимости и приемов; в операционной карте указываются данные о средствах технологического оснащения операции, режимах и трудовых затратах.

Кроме основных технологических карт стандартом (ГОСТ 3.1102—81) предусмотрены технологические документы общего назначения, к которым относятся карта эскизов (КЭ) и технологическая инструкция (ТИ). КЭ представляет собой графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, дополняющие и поясняющие технологический процесс, операцию или переход изготовления или ремонта изделия, включая контроль и перемещения.

ТИ представляет собой дополнительное к специальным технологическим картам описание технологических процессов, методов и приемов, повторяющихся при изготовлении изделий, а также правил эксплуатации средств технологического оснащения. Используются ТИ в целях сокращения объема разрабатываемой технологической документации.

КЭ и ТИ могут применяться отдельно в качестве самостоятельных технологических документов или включаются в комплекты документов на технологические процессы, независимо от характера принятых технологических методов изготовления или ремонта изделий.

5.8. ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

После или одновременно с разработкой и оформлением технологических процессов изготовления изделий технологи-разработчики составляют заказ (техническое задание) на проектирование технологического оснащения. На предприятиях авиационного профиля практически все технологическое оснащение (кроме стандартизованного) проектируется в специализированных конструкторских подразделениях отделов главного технолога. Эти подразделения (отделы, бюро, группы) специализируются по трем самостоятельным направлениям: проектирование технологического оборудования, проектирование технологической оснастки (раздельно — приспособлений, инструментов) и проектирование средств механизации и автоматизации производственных процессов. Более узкая специализация конструкторских подразделений, разрабатывающих средства оснащения, осуществляется по всем видам работ (обработка резанием, обработка давлением, литье, клепально-сборочные и сборочно-сварочные работы и т.д.). Конструкторская документация

на средства технологического оснащения разрабатывается в соответствии с правилами и положениями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Все спроектированные конструкции должны быть отработаны на технологичность в соответствии с требованиями стандартов ЕСТПП. Порядок разработки средств оснащения установлен ГОСТ 15.001—88.

Конструкторскую разработку наиболее сложного специального технологического оборудования и технологической оснастки иногда по заказам предприятия осуществляют специализированные технологические научно-исследовательские и проектно-конструкторские институты.

Специальные средства технологического оснащения изготовляют в цехах вспомогательного производства предприятия (см. п. 4.3), которые специализируются по видам технологической оснастки и оборудования (режущие и мерительные инструменты, станочные приспособления, штампы для листовой штамповки, клепально-сборочные приспособления и т.д.). В этих же цехах, в случае необходимости, изготовляют и стандартизованное технологическое оснащение. В период постановки на производство нового летательного аппарата, когда объем работ по изготовлению технологического оснащения резко возрастает, часть технологической оснастки по заказам предприятия-изготовителя нового изделия, передается другим предприятиям отрасли.

5.9. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Технологическая подготовка производства летательных аппаратов включает большой объем всевозможных работ и процессов по доведению предприятия до технологической готовности к выпуску в заданном объеме новых изделий. Она требует выполнения огромного числа различных расчетов, инженерных разработок, изготовления сложного и многономенклатурного технологического оснащения. Современные летательные аппараты становятся все более сложными и точными, требуется все большая их надежность в эксплуатации, что увеличивает объемы и сложность работ на всех этапах технологической подготовки производства.

Технолог и конструктор, проектируя технологический процесс и технологическую оснастку, вынуждены использовать и обрабатывать

чрезвычайно большой объем информации, характеризующей процесс производства и средства оснащения. Большая трудоемкость и сложность этой работы не всегда дает возможность проверить, оценить и сравнить различные варианты технологических процессов и конструкций оснастки с целью выбора оптимальных вариантов. Поэтому принимаемые технологические и конструкторские решения не всегда являются наиболее экономичными и технологически целесообразными, так как технолог и конструктор вследствие сложности расчетов и ограниченного времени не в состоянии оценить все многообразие возможных решений.

С появлением и развитием электронно-вычислительной техники и оборудования с числовым программным управлением появилась возможность автоматизировать отдельные этапы ТПП, снизить трудоемкость и повысить качество работ, выполняемых технологами и конструкторами при технологическом проектировании и конструкторской разработке технологического оснащения. При этом ЭВМ не подменяет технолога и конструктора, а служит средством подъема творческого уровня их труда, берет на себя решение многих нетворческих (рутинных) технологических и конструкторских задач и тем самым способствует улучшению условий труда проектировщиков.

Технолог и конструктор при этом выполняют в основном творческую работу, связанную с совершенствованием методов и средств производства, анализом результатов расчетов на ЭВМ их корректированием и разработкой в случае необходимости новых исходных данных и условий для решения поставленных задач.

Автоматическое проектирование, таким образом, основывается на системном использовании ЭВМ и других средств автоматизации инженерно-технических работ в процессах технологического и конструкторского проектирования с соответствующим распределением функций между проектировщиком и ЭВМ. При этом обеспечивается оптимальное взаимодействие людей, машинных программ и технологических средств автоматизации. В настоящее время разработаны и используются расчетные методы и методы математического моделирования функций ТПП практически любой сложности, которые без ЭВМ реализовать трудно или практически невозможно.

Внедрение автоматического проектирования позволяет значительно повысить качество, уменьшить трудоемкость, сократить сроки, и что особенно важно для производства ЛА, повысить гибкость и оперативность процессов технологической подготовки производства.

Появилась возможность рассмотрения и оценки большого числа различных вариантов технологических и конструкторских решений и выбора самого лучшего варианта по определенному критерию (по трудоемкости, производительности и др.).

Основные принципы автоматических систем технологической подготовки производства (АСТПП) заложены в стандартах Единой системы технологической подготовки производства; ЕСТПП определяет главные направления и объекты автоматизации ТПП.

АСТПП является промежуточным звеном между конструкторской подготовкой производства и основным производством предприятия и соединена с проектной (конструкторской) организацией и производством многочисленными связями интенсивного обмена информацией. Она функционирует на основе данных о конструкторской документации на изделие, его технологичности, заданном объеме производства, сроках освоения и постановки производства нового изделия; система разрабатывается с учетом мощности служб и цехов технологической подготовки производства предприятия.

Все эти данные поступают на вход системы, а выходной информацией являются материалы (графическая и текстовая информация, программоносители с записанными программами для оборудования и с ЧПУ), обеспечивающие нормальное функционирование всех подразделений ТПП и производственных цехов по обеспечению технологической готовности предприятия к освоению и производству нового изделия в заданные сроки и в необходимом количестве.

АСТПП представляет собой весьма сложную систему автоматического проектирования (САПР), состоящую из взаимосвязанных структурных частей, являющихся ее подсистемами. Каждая подсистема содержит соответствующие элементы информационного математического, технического, програмного, организационного обеспечения и дает возможность получить законченные результаты по определенной структурной части ТПП. Название подсистем определяет их назначение. Каждая подсистема в отдельных случаях может функционировать как самостоятельная система, автоматизируя лишь отдельный этап ТПП. Общий состав и порядок разработки АСТПП стандартизованы.

Подсистемы АСТПП делятся на подсистемы общего и специального назначения. К первым относятся подсистемы управления ТПП, формирования исходных данных, оформления и тиражирования технологической, конструкторской (для технологического оснащения) и плановой документации, банка данных.

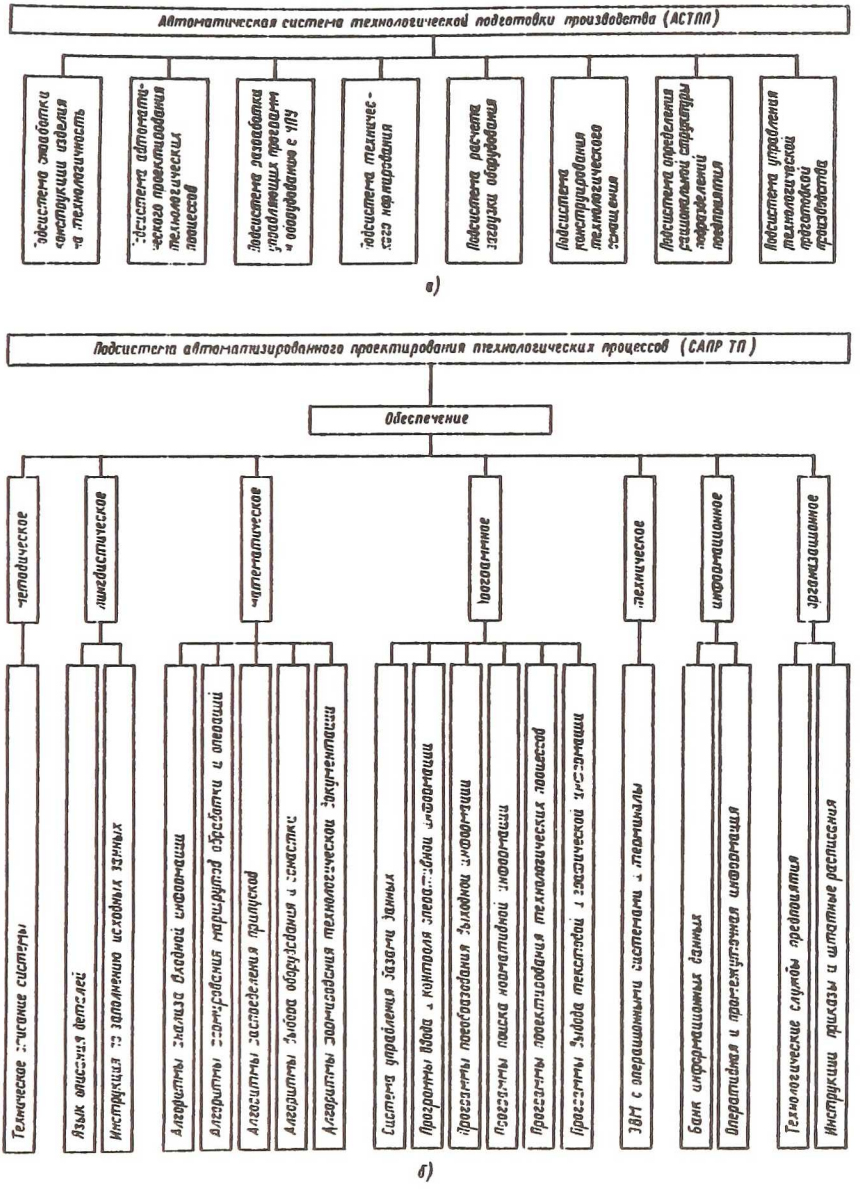


Рис. 5.5. Структуры АСТПП (*а*) и САПРТП (*б*)

Состав подсистем специального назначения определяется основными функциями, выполняемыми ТПП. К подсистемам этого вида относятся (рис. *5.5*, *а*):

подсистема обработки конструкции изделия производства на технологичность;

подсистема автоматического проектирования технологических процессов; она решает задачи подготовки и анализа данных для принятия принципиальных решений, определяющих состав, структуру и содержание технологического процесса, его операций, выбор средств технологического оснащения, назначение оптимальных режимов обработки и технически обоснованных норм времени, группирование технологических процессов по общности технологии, оборудования и технологической оснастки, формирование технологической документации для основного производства;

подсистема разработки управляющих программ к оборудованию с ЧПУ для автоматизированного изготовления изделий;

подсистема технического нормирования;

подсистема расчета загрузки оборудования;

подсистема конструирования технологического оснащения, предусматривающая автоматизацию проектирования специального оборудования, приспособлений, режущего и мерительного инструментов. В связи с большой номенклатурой и разнообразием видов технологического оснащения обычно применяют более мелкие подсистемы, каждая из которых используется для проектирования какого-либо одного вида оснастки;

подсистема определения рациональной структуры и состава производственных подразделений (участков, цехов) предприятия. Она применяется в целях реализации принятых технологических решений и выбора прогрессивного технологического оборудования для изготовления изделий. С помощью этой подсистемы разрабатывают организационно-технические основы группового изготовления деталей и узлов с применением групповой технологии;

подсистема управления технологической подготовкой производства.

В комплексе указанные подсистемы составляют структурную модель АСТПП. Каждая из подсистем представляет по существу самостоятельную систему автоматизированного проектирования и может функционировать в автоматическом режиме независимо от других подсистем. Для каждой из них требуется специальное

методическое, лингвистическое (совокупность языковых средств), математическое, программное, техническое, информационное и организационное обеспечение.

В связи с этим все подсистемы имеют сравнительно сложную структуру, и при подготовке к функционированию необходима переработка большого объема различной информации. Наиболее сложной является подсистема автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП). Примерная структура САПР ТП механической обработки резанием показана на рис. *5.5, б* [57].

Следует отметить, что автоматическое решение всех задач технологической подготовки производства во взаимной связи и в полном объеме в настоящее время невозможно. Это обусловлено тем, что еще не удалось обеспечить формальное описание правил решения задач по всем этапам ТПП. Поэтому уровень решения задач в подсистемах АСТПП — различный.

Кроме структурной модели автоматическую систему ТПП характеризуют также функциональная, информационная и организационная ее модели.

Функциональная модель отражает функциональные связи, существующие между отдельными структурными элементами системы, выявляет взаимодействие между ними при выполнении всех функций АСТПП. Так же, как и структурные модели, функциональная модель может быть представлена с разной степенью детализации на уровне системы, подсистемы, задачи, блока, модуля, процедуры. Оформляется она обычно в виде схемы алгоритмов.

Информационная модель позволяет проводить анализ информационных потоков, который необходим для определения состава входной и выходной информации по системе в целом и по всем ее структурным элементам и установления информационной совместимости задач и единообразия представления входной и выходной информации, определения необходимых технических средств ввода и хранения информации.

Организационная модель может быть представлена в виде схемы с указанием производственных подразделений, входящих в систему и связей между ними.

При современном уровне развития электронно-вычислительной техники создалась возможность соединить процессы конструирования изделия и технологической подготовки производства в единый процесс создания изделия. Понятие "конструкция изделия" при этом будет

относиться не только к системе, составленной по определенным правилам из отдельных функциональных элементов и изображенной на чертеже, но и к разработанным на ЭВМ управляющим программам для станков с числовым программным управлением, обеспечивающим возможность изготовления изделия в металле.

Конструкция изделия, изображенная на чертеже, может быть материализована с помощью определенных предписаний, которые составлены таким образом, чтобы все поставленные перед изделием функциональные требования были выполнены. В этом смысле процесс конструирования предполагает получение не только всех необходимых чертежей изделия, но и разработку технологических процессов его изготовления [56].

В системах автоматизированного проектирования с использованием ЭВМ можно легко увязать информационные данные, относящиеся к конструированию изделия и к технологической подготовке производства, и тем самым обеспечить возможность совмещения этих стадий технической подготовки производства.

6. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

6.1. КАЧЕСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Понятие о качестве летательных аппаратов

Под *качеством* любого машиностроительного изделия, в том числе и летательного аппарата, понимают совокупность его свойств, обусловливающих пригодность для удовлетворения определенных потребностей в соответствии с его назначением (ГОСТ 15467—79). Свойствами изделия (ЛА) при этом являются его объективные особенности, которые проявляются в процессе его проектирования, освоения, изготовления и эксплуатации. Те свойства, которые определяют пригодность изделия для решения вполне определенных задач, соответствующих его назначению, характеризуют его качество. Количественную характеристику любых свойств ЛА, в том числе и свойств, определяющих качество, дают их признаки, называемые параметрами качества. К последним, например, могут быть отнесены крейсерская скорость полета, максимальная грузоподъемность, дальность и высота полета, пассажировместимость (для пассажирских самолетов) и т.д.

Из рассмотренных понятий следует, что качество изделия составляют не всего его свойства, а только те, которые обеспечивают удовлетворение изделием определенных потребностей в соответствии с его назначением. Качество изделия (ЛА) при этом характеризуют вполне определенные конструктивные, технологические и эксплуатационные свойства, характеризующие затраты труда и материалов на его создание и эксплуатацию и обеспечивающие целесообразность и эффективность его использования по прямому назначению.

Качество ЛА определяется техническим уровнем развития авиационной техники и технологии, от которых зависят эксплуатационные показатели ЛА, а следовательно, и качество выполнения им заданных функций.

Техническим уровнем изделия называют его относительную характеристику, основанную на сопоставлении показателей его

технического совершенства с соответствующими базовыми значениями этих показателей. С целью предупреждения морального старения конструкций ЛА, их технический уровень, а следовательно, и уровень качества, должны систематически и непрерывно повышаться. Проблема повышения качества ЛА имеет большое политическое, социальное, экономическое и научно-техническое значение.

Показатели качества

Количественную оценку качества ЛА осуществляют с использованием показателей качества, каждый из которых дает количественную характеристику одного или нескольких свойств изделия, составляющих его качество и рассматриваемых применительно к определенным условиям его создания и эксплуатации (ГОСТ 15467—79). Для оценки качества используют обычно не все показатели качества, свойственные данному изделию, а лишь те, которые характеризуют наиболее важные его свойства, определяющие его полезность и эффективность. Выбор номенклатуры показателей качества зависит от цели оценки, вида изделия и его назначения.

В соответствии с ГОСТ 15467—79 показатели качества делят на единичные, комплексные и интегральные. Единичный показатель качества характеризует одно из свойств изделия, составляющих его качество, комплексный показатель характеризует одновременно несколько таких свойств изделия. Интегральный показатель качества дает количественную оценку совокупности всех или подавляющего большинства основных свойств ЛА, составляющих его качество. Он определяет общую технико-экономическую характеристику эффективности использования изделия в народном хозяйстве.

Интегральный показатель качества $Э$ (его иногда называют государственной эффективностью ЛА) представляет собой отношение суммарного полезного эффекта W от эксплуатации ЛА (т.е. его общественно полезной работы за весь период эксплуатации) к суммарным затратам S на его создание, серийное изготовление и эксплуатацию:

$$Э = W/S. \tag{6.1}$$

Для грузового самолета, например, общественно полезная работа W представляет собой объем перевозок в тонно-километрах, выпо-

лненный им за весь период его эксплуатации, определяемый зависимостью

$$W = v_{\text{р}} Q R,$$

где $v_{\text{р}}$ — рейсовая скорость самолета, км/ч; Q — масса коммерческой нагрузки, т (т.е. масса перевозимого груза, равного массе загруженного самолета минус масса его конструкции и заправленного топлива); R — технический ресурс самолета, выраженный в часах.

Под техническим ресурсом самолета (ЛА) при этом понимают наработку изделия до установленного предельного состояния, при достижении которого эксплуатация самолета прекращается и он подлежит списанию. Для гражданских самолетов ресурс достигает 60 и более тысяч часов.

Общие затраты S могут быть определены по формуле

$$S = (S_{\text{к}} + S_{\text{т}})/n + S_{\text{п}} + S_{\text{э}},$$

где $S_{\text{к}}$ — затраты на проектирование самолета, изготовление его опытных образцов, их испытание и доводку; $S_{\text{т}}$ — затраты на технологическую подготовку серийного производства; n — общее число самолетов, выпущенных или подлежащих выпуску за все время серийного производства; $S_{\text{п}}$ — средние затраты на производство серийной машины без учета стоимости технологической подготовки производства; $S_{\text{э}}$ — средние затраты на эксплуатацию одного самолета, включая его ремонтное обслуживание.

Очевидно, что наиболее высоким качеством будет обладать тот самолет, который наряду с решением специальных задач имеет наиболее высокие интегральные показатели качества.

Из многочисленных единичных и комплексных показателей качества можно выделить группу показателей, общих для всех типов ЛА, к которым относятся показатели технологичности, унификации, стандартизации, преемственности, технической эстетики, патентной чистоты, эргономические показатели. Наиболее важным комплексным показателем качества ЛА является надежность конструкции в процессе ее эксплуатации.

Показатели технологичности характеризуют эффективность конструктивно-технологических решений, принятых в процессе проектирования ЛА с точки зрения обеспечения высокой производитель-

ности труда и низких материальных и трудовых затрат при его изготовлении и ремонтном обслуживании.

Показатели унификации и стандартизации характеризуют степень использования в конструкции ЛА стандартизованных, нормализованных и унифицированных элементов.

Показатели технической эстетики характеризуют эстетические свойства ЛА, такие как выразительность, гармоничность, целостность, соответствие стилю и др. Они относятся в первую очередь к оборудованию пассажирских салонов, кабин пилотов, мест общего пользования и т.д.

Патентно-правовые показатели характеризуют степень патентной защиты ЛА и их конструктивных элементов у нас в стране и за рубежом, их патентную чистоту. Эти показатели приобретают особую значимость при оценке качества ЛА, продаваемых другим странам.

Эргономические показатели характеризуют систему "человек — ЛА — среда" и учитывают комплекс гигиенических, антропометрических, физиологических, психофизиологических и психологических свойств человеческого организма, проявляемых как в процессах производства, связанных с изготовлением и ремонтным обслуживанием ЛА, так и в процессах его эксплуатации в летных и наземных условиях. Эргономические показатели качества ЛА охватывают широкую область факторов, оказывающих влияние на работающего человека и эксплуатируемое изделие.

Важными показателями эргономического качества ЛА являются: удобство расположения органов управления в соответствии с размерами тела человека, соответствие условий перемещения органов управления его силовым возможностям, допустимый уровень вибраций и шума, удобное, неутомительное положение оператора при регулировочных работах и ремонте, обслуживании, доступность к органам, подлежащим частной проверке, регулированию и ремонту, уровень освещенности кабины пилота и приборов, температура в кабине, перегрузки, связанные с ускорением и др.

Существенную роль в оценке качества играют экономические показатели, отражающие затраты на конструкторскую разработку, технологическую подготовку производства, изготовление и эксплуатацию ЛА. С помощью экономических показателей оценивают ремонтопригодность продукции, ее технологичность, уровень стандартизации и унификации, патентную чистоту. Экономические показатели являются главной составной частью интегральных показателей качества.

Кроме показателей качества, общих для всех ЛА, можно выделить большую группу показателей, относящихся к конкретным типам ЛА и характеризующих их специальные свойства, связанные с той полезной работой, которую они выполняют в процессе эксплуатации. Эти свойства определяются теми народнохозяйственными задачами, для решения которых предназначен данный ЛА. Очевидно, что для пассажирских самолетов эти свойства будут одни, для военного истребителя — другие, для самолетов сельскохозяйственной авиации — третьи и т.д. Эту группу показателей качества, обусловливающих по существу способность изделий выполнять заданные функции в соответствии с современным уровнем развития авиационной науки и техники, характеризующих полезный эффект от их использования по назначению и определяющих область их применения в народном хозяйстве, называют показателями назначения ЛА. К ним относятся, например, рейсовая и максимальная скорости полета, маневренность, потолок, длина разбега при взлете и пробега при посадке, расход горючего на единицу пути, грузоподъемность и пассажировместимость и т.п.

Надежность, как комплексный показатель качества

Одним из основных показателей качества, общим для летательных аппаратов всех видов, является эксплуатационная надежность. Под надежностью машиностроительных изделий, в том числе летательных аппаратов и их элементов, понимают такие их свойства, которые обеспечивают выполнение заданных функций при сохранении эксплуатационных показателей в установленных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортирования в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Надежность является весьма важным, по существу определяющим, показателем качества ЛА. Объясняется это тем, что от уровня надежности зависит безопасность полетов, а следовательно, и безопасность жизни людей и сохранность самой машины.

Надежность — комплексный показатель качества ЛА, включающий такие показатели, как безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтопригодность, относящиеся как к изделию в целом, так и к отдельным его частям. К показателям, характеризующим

безотказность работы, относятся: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, наработка на отказ, интенсивность отказов, параметр потока отказов (ГОСТ 27.002—89).

Под *отказом* понимают событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия, наступающем либо внезапно, либо постепенно в результате изнашивания.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в заданном интервале времени или пределах заданной наработки не возникнет отказ изделия. Средняя наработка до отказа — среднее значение наработки изделия до отказа. Наработка на отказ — среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами. Интенсивность отказов — вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени после данного момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник.

Долговечностью изделия называют его свойство (способность) сохранять работоспособность до определенного состояния с периодическими перерывами, необходимыми для технического обслуживания и ремонтов. Долговечность характеризуют следующие показатели: ресурс — наработка изделия до установленного предельного состояния; средний ресурс для данной партии изделий; срок службы — календарная продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения установленного предельного состояния или до описания.

Под сохраняемостью изделия понимают его свойство сохранять установленные в технической документации эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования.

Ремонтопригодностью изделия называют его свойство, определяющее его приспособленность к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. К показателям ремонтопригодности относятся: вероятность восстановления работоспособности изделий в заданное время; среднее время восстановления работоспособности изделия.

Более общим показателем, характеризующим работу изделия, является его работоспособность — состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с установленными параметрами.

Для определения конкретных показателей надежности используют расчетные и экспериментальные данные; последние получают в результате постановки специальных испытаний изделий либо из наблюдений за работой изделий при их эксплуатации. Учение о надежности базируется на закономерностях, выявленных методами математической статистики и теории вероятности.

Методы определения показателей качества. Уровень качества

В зависимости от используемых средств применяют следующие методы определения значений показателей качества изделий: 1) экспериментальный, осуществляемый техническими измерительными средствами при испытании ЛА или на основе анализа данных эксплуатации за определенный промежуток времени; 2) расчетный, осуществляемый путем вычислений с помощью вычислительной техники в основном в процессе проектирования ЛА; 3) органолептический, основанный на анализе восприятий органов чувств человека без применения технических измерительных средств; 4) экспертный, основанный на учете мнений группы специалистов-экспертов.

Для сравнительной оценки качества вновь созданного изделия используют базовые показатели, в качестве которых применяют соответствующие показатели лучших имеющихся современных или перспективных отечественных или зарубежных образцов изделий такого же вида и назначения. Относительную характеристику качества продукции, основанную на сравнении показателей качества данного изделия, найденных с помощью каких-либо из указанных методов, с базовыми значениями соответствующих показателей, называют *уровнем качества.*

Задача достижения высокого уровня качества ЛА является более важной и ответственной, чем многих других машиностроительных изделий. Это обусловлено сложностью конструкции ЛА, высокой их стоимостью, сложными и опасными условиями эксплуатации.

Решают названную задачу конструкторы ОКБ, разрабатывающие конструкцию ЛА, и технологи завода-изготовителя, осуществляющие технологическое проектирование при запуске в производство вновь созданной конструкции.

Особенности летательного аппарата как объекта контроля на стадиях производства

Обеспечение высокого качества ЛА в значительной мере зависит от уровня технологической подготовки производства и основывается на системном подходе к управлению качеством труда и изготовления всех элементов конструкции. Системный подход при технологическом проектировании обусловлен как требованиями непрерывного улучшения качества продукции (деталей, сборочных единиц, монтажей), так и структурой самого объекта производства (т.е. ЛА), являющегося весьма сложной управляемой технологической системой.

Привсденные выше особенности конструкции ЛА обусловливают также их особенности, как объектов контроля на стадиях основного производства. Как объект технического контроля любой ЛА представляет совокупность огромного числа взаимосвязанных параметров и признаков качества. Например: число конструктивно-технологических элементов и контролируемых параметров изделий на стадиях изготовления кузнечных и литых заготовок (горячештампованные заготовки, поковки, литые заготовки и детали) современного самолета средних размеров достигает 6000, в заготовительно-штамповочном производстве — более 230 000 (оригинальные листовые детали, профили, нормализованные элементы и трубы), а в механосборочном производстве — более 260 000 (оригинальные и нормализованные детали, механосборочные единицы, монолитные панели). Большое число объектов и параметров контроля качества имеется на стадиях термообработки, нанесения защитных покрытий, агрегатной и общей сборки, монтажа и испытания [51].

Отличительной особенностью современных ЛА, связанной с повышенными требованиями к качеству, является их функционирование в системе изделие — внешняя среда. Существенную роль при этом играют аэродинамические факторы и нагрузки. Последние часто имеют случайный характер, меняются по значению и направлению в широком диапазоне. Значительное влияние на характер напряжений, возникающих в элементах конструкции и бортовых системах, оказывает аэродинамический нагрев и нагрев отдельных элементов конструкции вследствие большого количества теплоты, выделяемой силовыми установками.

В связи с насыщенностью современных ЛА сложным оборудованием с большим числом функций, выполняемых часто в автоматическом режиме, к которому относятся, например, автопилоты, системы автоматики управления двигателями, счетно-решающие устройства, системы автоконтроля и другие, большую сложность составляет их отладка и испытание, что связано с вероятностью возникновения дефектов в их функционировании. Поэтому обеспечение достоверности и объективности контроля качества в производстве ЛА и испытании всех систем, включая и готовые комплектующие изделия для современных ЛА, имеет первостепенное значение.

6.2. ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА. ПОНЯТИЕ О ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

Качество ЛА представляет собой сложную техническую систему. Оно определяется, формируется и обеспечивается в основном следующими факторами: 1) уровнем проектно-конструкторских решений, т.е. рациональностью конструкции ЛА и его элементов, степенью соответствия ее заданному назначению, потребностям народного хозяйства и современному научно-техническому уровню, ее надежностью, долговечностью, технологичностью, взаимозаменяемостью элементов конструкции изделия, удобством его эксплуатации, а также уровнем испытания опытных образцов и доводки конструкции по результатам испытаний; 2) уровнем технологических решений при технологической подготовке производства и их практического осуществления, соответствием этих решений современному уровню развития технологии производства ЛА как науки, применением наиболее совершенных и производительных технологических процессов и средств производства, соответствием их технологическим возможностям современного производства, от которых в значительной мере зависит точность и качество воспроизведения конструкции в металле, ее трудоемкость и стоимость, стабильностью параметров серийных технологических процессов при их реализации; 3) техническим уровнем эксплуатации ЛА с соблюдением всех норм, предписаний и инструкций, предусмотренных и разработанных в процессе создания ЛА, квалификацией обслуживающих и эксплуатирующих кадров, уровнем и качеством технического обслуживания и профилактического ремонта. В процессе эксплуатации ЛА его качество

должно поддерживаться путем соблюдения установленных правил эксплуатации и ремонта.

При формировании качества ЛА указанные факторы приобретают роль основных задач, которые должны решаться на различных стадиях процесса создания ЛА.

Первую задачу решают конструкторы, проектирующие изделие, которые закладывают в его проект и рабочие чертежи необходимые показатели качества и соответствующие им эксплуатационные параметры. Показатели качества ЛА при этом определяются потребностями народного хозяйства или обороны страны и практически достигнутым уровнем науки, авиационной техники и технологии. Назначаются они с участием заказчика при разработке технического задания на проектирование. Предприятие, изготовляющее ЛА, на рациональность его конструкции практически не влияет. Оно может лишь предъявить соответствующие требования к уровню технологичности конструкции изделия и его элементов и принять участие в реализации этих требований.

Вторая задача решается в основном на заводе-изготовителе как при технологической подготовке производства, так и при серийном выпуске ЛА. И только частично ее решение зависит от качества переданной на завод конструкторской документации и уровня технологичности конструкции.

Третья задача решается предприятием или организацией, эксплуатирующей ЛА. Именно здесь проявляются все те свойства, которые заложены в конструкцию при ее проектировании и обеспечены при ее изготовлении. Следовательно, решение эксплуатационной задачи зависит от качсства решения двух первых задач.

Таким образом, основной принцип формирования качества ЛА заключается в том, что основные свойства ЛА, обеспечивающие качество, показатели качества и их уровень, закладываются в конструкцию в процессе ее проектирования, обеспечиваются в процессе ее изготовления, реализуются и поддерживаются в процессе ее эксплуатации. Следовательно, управление качеством продукции должно осуществляться на всех стадиях ее создания и жизненного цикла, т.е. на стадиях исследования, проектирования, изготовления и эксплуатации.

Особенностью проблемы качества в современных условиях является ее комплексный межотраслевой характер. Так, на качество ЛА кроме уровня решения указанных трех задач существенное

влияние оказывают многие внешние факторы, к которым относятся такие, как качество основных и вспомогательных материалов и полуфабрикатов, идущих на изготовление ЛА, качество силовых установок, навигационного оборудования и других готовых комплектующих изделий.

При изучении основ технологии производства ЛА рассматриваются и анализируются пути решения второй задачи, т.е. в основном технологические методы обеспечения высокого качества выпускаемой продукции.

В проект ЛА конструктором закладываются вполне определенные показатели качества, которые гарантируют выполнение изделием служебных функций и достижение им запланированных летно-технических характеристик. Принятые в проекте показатели качества имеют обычно оптимальные значения, при которых достигается наибольший эффект от эксплуатации ЛА при заданных затратах на его создание и эксплуатацию, т.е. такие значения показателей, при которых обеспечивается наиболее высокий интегральный показатель качества. В процессе проектирования ЛА определяется также номенклатура показателей качества для данного изделия и выделяются главные, определяющие показатели, по которым должно оцениваться его качество.

Оптимальные показатели качества вновь создаваемого ЛА, как правило, должны быть выше базовых показателей или, как крайний случай, равны базовым показателям.

Заложенные в проект ЛА показатели качества называют номинальными.

Основная задача предприятия-изготовителя ЛА состоит в том, чтобы обеспечить достижение проектных (номинальных) показателей качества. Вместе с тем в реальных условиях производства номинальные показатели качества не всегда достигаются. В результате при материализации проекта могут иметь место те или иные отклонения от исходных (номинальных) показателей. Показатели качества, полученные в процессе изготовления ЛА, называют действительными.

Степень соответствия действительных показателей качества, достигнутых в процессе изготовления изделия, номинальным показателям, заложенным в его проект, называют точностью выполнения этих показателей. Для оценки точности выполнения показателей качества вводится также понятие предельных их значений, которые характеризуют наибольшее и наименьшее

значение показателей качества, достигнутых в процессе изготовления ЛА.

Точность выполнения показателей качества проверяется в процессе производства и при эксплуатации ЛА. В этих целях осуществляется выходной контроль качества всех изготовленных элементов конструкции, монтажей бортового оборудования и коммуникаций, ведется проверка функционирования всех систем ЛА путем стендовых, наземных и летных испытаний. Функционирование систем проверяется также и при эксплуатации серийных машин. В последнем случае на завод-изготовитель и в ОКБ поступает наиболее полная информация о качестве ЛА и точности выполнения таких важных показателей качества, как надежность, долговечность, ресурс, взаимозаменяемость по разъемам, эргономические свойства и др.

В соответствии с этой информацией ОКБ (ОКО) и завод-изготовитель ЛА принимают меры по улучшению качества изделия и его элементов.

Между различными показателями качества ЛА имеется определенная связь. Высокий уровень выполнения одного из них в ряде случаев приводит к повышению уровней ряда других. Существенное влияние на точность выполнения подавляющего большинства показателей качества оказывает точность воспроизведения геометрических (размерных) параметров изделия. Таким образом, точность воспроизведения геометрических параметров является весьма важным показателем качества изделий.

6.3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА

Повышение качества равносильно увеличению количества изделий данного вида, функционирующих в народном хозяйстве. Для ЛА особую роль в этом отношении играет повышение ресурса как одного из важнейших показателей надежности, а следовательно, и качества. Если, например, благодаря проведению ряда технических мероприятий удалось повысить ресурс ЛА с А до Б часов, причем Б = 2А, то после исчерпания ресурса А ЛА можно будет продолжать эксплуатировать до исчерпания ресурса Б = 2А, что равносильно передаче в эксплуатацию второго самолета с ресурсом А.

Ресурс в данном случае выступает как комплексный показатель качества, так как он обеспечивается за счет проведения ряда

конструкторских и технологических решений, каждое из которых может быть связано с повышением уровня отдельных частных показателей качества. К последним можно отнести, например, уменьшение массы, а следовательно, и металлоемкости конструкции, повышение точности аэродинамических обводов и мест стыка агрегатов, находящихся в воздушном потоке, что приводит к повышению скорости и дальности полета, повышение прочности наиболее слабых элементов конструкции за счет применения более прочных материалов и др.

Следует подметить, что повышение уровня частных и комплексных показателей качества требует обычно значительно меньших затрат труда, материалов и средств по сравнению с изготовлением нового ЛА и поэтому способствует увеличению эффективности общественного производства и повышению экономичности использования материальных и трудовых ресурсов.

Вместе с тем, следует иметь в виду, что с повышением требований к качеству изделий процессы их изготовления усложняются, повышаются затраты труда, материалов и средств на их освоение и серийное производство, что повышает себестоимость продукции. Для изготовления изделий повышенного качества возникает необходимость применения новых, более дорогих и, как правило, более трудоемких технологических методов. Чем более строгие требования предъявляются к точности выполнения показателей качества, тем более повышаются сложность, трудоемкость и стоимость изготовления изделия.

Все это приводит к повышению суммы затрат на создание и серийное изготовление изделия (S в формуле (6.1)). Для того, чтобы эти затраты были оправданы, необходимо, чтобы улучшение качества вызывало более интенсивный рост полезного эффекта от эксплуатации ЛА (W в формуле (6.1)). Необходимо, чтобы эффект от улучшения качества был всегда больше затрат, которые требуются для этого улучшения. Повышение ресурса, например, может привести к такому удорожанию изделия, которое не окупится увеличением срока его эксплуатации. Следует также учитывать, что авиационная техника развивается весьма высокими темпами, в связи с чем находящиеся в эксплуатации изделия могут быстрее стареть морально, чем физически. Очевидно, что повышать ресурс устаревшей продукции нет смысла.

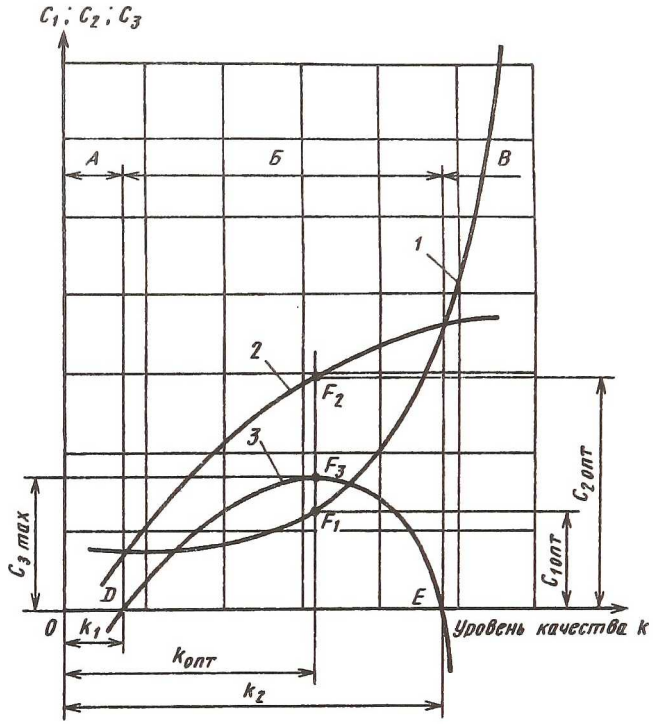


Рис. 6.1. Зависимость суммарных затрат на производство и эксплуатацию изделия от уровня качества

Из изложенного следует, что увеличивать ресурс можно только до целесообразного предела, после которого эксплуатировать ЛА будет экономически невыгодно, его надо заменять новым ЛА более совершенной конструкции с более высокими эксплуатационными свойствами. И так обстоит дело с подавляющим большинством показателей качества, каждый из которых имеет свой оптимальный для данного изделия и соответствующих условий его эксплуатации экономически целесообразный уровень, соответствующий максимальному уровню получаемого эффекта.

Характер изменения затрат C_1 на производство и эксплуатацию изделия в зависимости от уровня качества k показан на рис. 6.1 (кривая *1*). Анализ зависимости $C_1 = f(k)$ показывает, что затраты на изготовление и эксплуатацию изделия с повышением качества меняются по гиперболическому закону. До определенных значений

k они растут сравнительно медленно, затем резко возрастают. С повышением k растет также полученный от этого эффект C_2 (кривая *2*). Но этот рост происходит менее интенсивно, чем рост затрат. Кривая *2* имеет более пологий характер с выпуклостью, направленной вверх. Рентабельность изделия с повышением качества характеризуется разностью $C_2 - C_1$ [39]. Кривая $(C_2 - C_1) = f(k)$ имеет явно выраженный максимум, который соответствует оптимальному значению качества $k_{опт}$ (кривая *3*).

Зона *А* соответствует низкому качеству, при котором изделие является убыточным (участок кривой *3* расположен ниже оси *Ok*). Эксплуатация такого изделия сопряжена с высокими эксплуатационными расходами. Зона *Б* соответствует рентабельной эксплуатации изделия. Уровень рентабельности при этом меняется от нуля в точках *Д* и *Е*, соответствующих уровням качества k_1 и k_2 (в обоих случаях $(C_2 - C_3) = (C_2 - C_1) = C_3 = 0$) до максимума в точке *F*. Последняя характеризует максимальную рентабельность, соответствующую оптимальному значению качества

$$k_{опт} = f(C_{2опт} - C_{1опт}).$$

Уровень качества изделия, превышающий k_2 (участок *В*), связан с большими трудовыми и материальными затратами на обеспечение качества, что делает изделие опять убыточным. Однако, если в этом случае улучшение качества изделия обеспечивается за счет повышения надежности, имеющей особо важное значение для ЛА, то мероприятия по улучшению качества не всегда согласовываются с соображениями экономики.

6.4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Контролем качества или техническим контролем называют проверку соответствия изделия или технологического процесса, от которого зависит качество изделия, установленным техническим требованиям (ГОСТ 16504—81). Действительные показатели качества изделия, полученные при его изготовлении, должны соответствовать номинальным показателям, заложенным в проект, а также требованиям соответствующей нормативной документации (техническим

условиям, нормам, критериям, руководящим технологическим материалам, ГОСТам и др.).

Основная задача технического контроля заключается в выявлении недопустимых отклонений от номинальных показателей качества и предотвращении выпуска продукции с такими отклонениями.

Техническому контролю подвергаются исходные материалы, полуфабрикаты и комплектующие готовые изделия, поступающие на завод-изготовитель ЛА от смежных заводов-поставщиков. Обязательной проверке подвергается наличие и содержание сопроводительных технических документов об испытании материалов, проверке полуфабрикатов и готовых комплектующих изделий на заводах-изготовителях, и в случае необходимости проводится их повторный входной контроль. Проверяется наличие и характер возможных дефектов изделий и материалов от небрежной упаковки, транспортирования и хранения.

Обязательному техническому контролю подвергаются все элементы конструкции, изготовляемые на самом авиационном заводе (детали, узлы, панели, отсеки, агрегаты, монтажи оборудования, коммуникаций, систем управления, гидросистем, электро- и радиосистем и др.), а также готовый ЛА.

Контролируются также технологические процессы, функционирующие в производстве ЛА, степень их влияния на показатели качества изделий, их точность и стабильность. *Точностью технологического процесса* при этом называют его свойство, обусловливающее близость действительных значений параметров изготовляемых и ремонтируемых изделий их номинальным значениям. *Стабильностью технологического процесса* называют его свойство, обусловливающее постоянство распределения вероятностей его параметров в течение некоторого времени без вмешательства извне (ГОСТ 15895—77).

Технический контроль осуществляется обычно в два этапа. На первом этапе получают информацию о фактическом состоянии изделия, о признаках и показателях его действительных свойств, составляющих его качество и получаемых в процессе его изготовления или ремонта. Эти данные составляют первичную информацию о качестве изделия.

На втором этапе сопоставляют первичную информацию с требованиями нормативной документации и проекта и выявляют соответствие или несоответствие фактических данных номинальным.

Полученную при этом информацию о степени согласованности фактических и требуемых показателей качества называют вторичной.

В случае обнаружения недопустимых отклонений действительных показателей качества от номинальных вторичная информация используется для выработки целенаправленных управляющих воздействий на условия и факторы (в том числе и на технологические процессы), влияющие на качество продукции.

В зависимости от назначения, характера, состава, места в производственном процессе, вида применяемых средств и времени проведения технический контроль делится на специальные виды (методы). Ниже приводятся названия, определения и характеристики применяемых в производстве ЛА видов (методов) технического контроля.

Контроль, осуществляемый на стадии производства ЛА, называют *производственным*. Производственный контроль охватывает подготовительные, основные и заключительные (финишные) операции технологического процесса изготовления ЛА. При этом контролю подлежит не только качество изделий на этих операциях, но и комплектность изделий, их консервация, маркировка, упаковка, а также ход (состояние) производственного процесса.

Контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации ЛА, называют *эксплуатационным*. При эксплуатационном контроле выявляются действительные значения показателей качества ЛА и степень их соответствия номинальным показателям, установленным нормативной и проектной документацией. К категории эксплуатационного контроля относится также проверка качества выполнения в процессе эксплуатации ЛА ремонтов с точки зрения соблюдения требований эксплуатационной и ремонтной документации.

Контроль материалов, полуфабрикатов и готовых комплектующих изделий заводов-поставщиков на заводе-потребителе перед использованием их при изготовлении или ремонте ЛА, называют *входным*.

Контроль качества изделия или процесса его изготовления, осуществляемый в ходе или после выполнения технологической операции, называют *операционным*.

Контроль качества готовой продукции на заводе-изготовителе (деталей, сборочных единиц, в целом ЛА), по результатам которого принимается решение об их пригодности к использованию как внутри завода в процессе изготовления ЛА, так и в организациях, эксплуатирующих ЛА, называют *приемочным*. Весьма важное значение для

определения уровня качества ЛА имеют их стендовые и летные испытания.

Контроль, проводимый с целью проверки правильности параметров технологического процесса, определяющих характер его протекания, называют *профилактическим*. Профилактический контроль применяется как при настройке технологического процесса, так и при его выполнении.

Технологический контроль может быть непрерывным, периодическим и летучим (ГОСТ 16504—81). *Непрерывным* называют контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно. *Периодическим* называют контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит периодически, через установленные интервалы времени. *Летучим* называют контроль, проводимый в случайное время без заранее установленных интервалов.

Технический контроль может быть централизованным и децентрализованным. *Централизованным* называют контроль, осуществляемый единым органом в масштабе цеха или завода. Он выполняется по специальной системе и по единым нормам. Большие возможности по развитию этого вида контроля дает применение электронной вычислительной техники. *Децентрализованным* называют контроль, проводимый исполнителями на каждом рабочем месте.

Можно выделить в самостоятельные категории контроля проверку геометрических, физико-химических и функциональных параметров изделий. К контролю геометрических параметров относятся контрольные измерения линейных и угловых величин (размеров), а также проверка формы поверхностей изделия. Контроль геометрических параметров в производстве ЛА является наиболее массовым и составляет до 80 % и более всех контрольных измерений и проверок.

Контроль физико-химических параметров включает проверку электрических, механических, химических и антикоррозионных свойств материалов, заготовок, сборочных единиц и систем оборудования при их изготовлении, а также значений этих параметров, определяющих характер протекания технологических процессов.

Контролем функциональных параметров называют проверку значений параметров, определяющих работоспособность систем бортово-

го оборудования. Этот вид контроля иногда называют испытанием систем ЛА.

Технический контроль бывает сплошным, выборочным и статистическим. *Сплошным* называют контроль, при котором осуществляется проверка всех изготовленных изделий. В производстве ЛА этот вид контроля применяется наиболее широко. *Выборочным* называют контроль, при котором решение о качестве контролируемых изделий принимается по результатам проверки одной или нескольких выборок или проб из партии или потока изделий (заготовок, деталей, узлов). *Выборкой* при этом называют изделие или определенную совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока изделий. Число изделий, составляющих выборку, называют *объемом выборки*. *Пробой* называют определенное число штучной продукции, отобранной для контроля (ГОСТ 15895—77).

Статистическим приемочным контролем качества изделий называют выборочную проверку соответствия их качества установленным требованиям. Статистический контроль основывается на применении методов математической статистики.

Выборочный и статистический контроль в производстве ЛА применяется в крупносерийном и массовом производстве, при мелкосерийном, среднесерийном и единичном производстве эти виды контроля применяются при изготовлении деталей, идущих в конструкцию ЛА в больших количествах (к ним относятся стандартизованные, нормализованные и унифицированные элементы конструкции, например заклепки, болты, гайки и другие крепежные детали, унифицированные накладки и косынки, изготовляемые штамповкой из листовых материалов и др.).

Технический контроль может быть инструментальным, ручным, механизированным, автоматизированным и автоматическим. *Инструментальным* называют контроль, выполняемый с помощью различных измерительных приборов и устройств (измерительных инструментов). Инструментальный контроль может быть измерительным и альтернативным. При измерительном контроле используют различного рода измерительные приборы (цифровые, стрелочные, шкальные), показывающие значение контролируемого параметра. Альтернативный контроль не фиксирует конкретное значение контролируемого параметра, а отвечает на вопросы "годен", "негоден". Для его осуществления применяют различные дефектоскопы, предельные калибры, шаблоны.

Ручным называют контроль, выполняемый с помощью простейших, в основном, универсальных мерительных инструментов типа линеек, штангенциркулей, угольников, угломеров. Это малопроизводительный и не всегда точный метод контроля. Применяется, в основном, в единичном и мелкосерийном производстве.

Механизированным называют контроль, осуществляемый с помощью механизмов с ручным управлением и настройкой. Автоматизированным называют контроль, одна часть которого выполняется с непосредственным участием человека, другая часть — с помощью средств контроля, автоматически выполняющих контрольные операции.

Автоматическим называют контроль, проводимый без непосредственного участия человека с помощью средств контроля, выполняющих автоматически всех функции контролеров. Автоматическое выполнение контрольных операций при автоматизированном и автоматическом контроле может осуществляться либо в процессе изготовления изделия непосредственно на работающем станке, либо после изготовления изделия в стационарных условиях вне станка при неподвижном изделии на позиции измерения.

При первой схеме требуются более сложные средства контроля и получают менее точные результаты, так как на точности измерения сказывается вибрация системы "станок — приспособление — инструмент — деталь". Вторая схема обеспечивает более высокую точность измерений, но при ней возможно появление некоторого числа бракованных деталей.

Применение автоматизированного и тем более автоматического контроля при обеих схемах обеспечивает значительное снижение трудоемкости контрольных операций и повышение качества (точности) их выполнения, поэтому они являются наиболее прогрессивными.

Технический контроль может быть одноступенчатым, двухступенчатым и многоступенчатым. *Одноступенчатым* называют контроль, при котором решение относительно годности партии изделий принимают по результатам контроля одной выборки или пробы. *Двухступенчатым* называют контроль, при котором партия изделий принимается по результатам двух выборок или проб. Причем необходимость второй выборки или пробы зависит от результатов контроля первой.

Многоступенчатым называют контроль, при котором решение относительно годности партии изделий принимается по результатам

нескольких выборок или проб. Максимальное число последних устанавливается заранее перед изготовлением изделий. Необходимость отбора последующей выборки при этом зависит от результатов контроля предыдущей. Этот вид контроля применяется при изготовлении ответственных изделий (деталей, сборочных единиц), оказывающих существенное влияние на надежность изделия.

В производстве ЛА находит также применение органолептический контроль, основывающийся на восприятии органами чувств человека (зрение, слух, осязание) такой информации, которая не представлена в числовом выражении. При органолептическом контроле могут применяться средства контроля, не являющиеся измерительными, но увеличивающие разрешающую способность или восприимчивость органов чувств. В частности, широкое применение имеет органолептический контроль, осуществляемый органами зрения, который называют *визуальным*.

При высокой квалификации и культуре исполнителей, работающих длительное время без брака, применяют личный контроль, осуществляемый самим исполнителем. Последнему при этом выдается личное клеймо, которым он клеймит изготовленные и подвергнутые выходному контролю изделия. Этот вид контроля является прогрессивным и в настоящее время приобретает все более широкое применение.

Кроме перечисленных видов контроля применяют также (преимущественно в сфере эксплуатации ЛА) так называемый технический осмотр, осуществляемый обычно с помощью органов чувств, в основном, зрения (визуальный технический осмотр) и в случае необходимости с использованием специальных средств контроля (технических устройств), номенклатура которых устанавливается соответствующей документацией, например, в виде так называемого регламента технического обслуживания. Последний в числе многих и разнообразных операций по обслуживанию ЛА предусматривает периодическое проведение внешнего осмотра планера и систем ЛА с целью выявления неисправностей, возникших в период эксплуатации. Визуальный метод наружного контроля (осмотра) дает возможность выявить неисправности, видимые невооруженным глазом: трещины, деформации, ослабление крепления деталей и сборочных единиц, нарушение контровки, течи жидкости, нарушение защитных покрытий, следы коррозии и т.д. По результатам технического осмотра принимаются решения о проведении соответствующих ремонтов.

Большую роль в обеспечении высокого качества ЛА играют испытания надежности составных элементов, систем и изделия в целом. Под испытаниями продукции понимают экспериментальное определение значений параметров и показателей качества продукции в процессе функционирования или при имитации условий эксплуатации. В производстве ЛА применяются следующие виды испытаний [51]:

контрольные испытания изделий, проводимые с целью контроля их качества;

исследовательские испытания продукции, проводимые с целью изучения ее параметров и показателей качества;

предварительные испытания опытных образцов или партий, проводимые для решения вопроса о возможности их предъявления на государственные, межведомственные и ведомственные испытания;

государственные испытания опытных образцов или партий продукции, а также изделий единичного производства, проводимые государственной комиссией с целью решения вопроса о целесообразности производства или передачи их в эксплуатацию;

межведомственные испытания опытных образцов или партий продукции, а также изделий единичного производства, проводимые комиссией, назначаемой несколькими министерствами или ведомствами, с целью решения вопроса о целесообразности производства или передачи их в эксплуатацию;

ведомственные испытания опытных образцов или партий продукции, а также изделий единичного производства, проводимые комиссией, назначаемой министерством или ведомством для решения вопроса о целесообразности производства или передачи в эксплуатацию;

приемосдаточные испытания готовой продукции, проводимые изготовителем при приемочном контроле;

периодические испытания готовой продукции, проводимые периодически в объеме и в сроки, установленные технической документацией;

типовые испытания готовой продукции до и после внесения изменений в конструкцию или технологию изготовления для проверки эффективности внесенных изменений или сравнения качества продукции, выпущенной в различное время;

аттестационные испытания — исследовательские испытания продукции, проводимые с целью подготовки к государственной, отраслевой или заводской аттестации;

граничные испытания — исследовательские испытания, проводимые для определения границ допустимых значений параметров изделия при воздействии заданных факторов.

Продолжением производственного контроля качества является контроль качества технической эксплуатации ЛА. Трудовые затраты на контроль качества, испытания ЛА и его элементов достигают 30 % общих трудовых затрат на производство изделия. Из них на технический контроль приходится до 80 %, настроечно-сдаточную работу — до 12 % и на испытания около 8 %.

Контрольные операции являются обязательной составной частью любого частного технологического процесса изготовления заготовки, детали, сборочной единицы или ремонта изделия в процессе его эксплуатации. Наряду с основными операциями они приводятся в технологических картах с указанием вида, метода проведения и средств контроля.

В особо ответственных случаях при высоких требованиях к качеству изделий разрабатывают специальные контрольные карты и инструкции, в которых дается развернутая программа контроля с указанием содержания и последовательности выполнения контрольных операций и применяемой контрольной оснастки. Карты контроля качества про-дукции прикладываются к картам технологического процесса и яв-ляются их неотъемлемой частью.

6.5. СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЙ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЕ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

На предприятиях авиационного профиля, так же как и на других машиностроительных заводах, для контроля качества изготовляемых изделий и предотвращения выпуска изделий, не соответствующих требованиям технической документации и государственных стандартов, имеется специальная служба — отдел технического контроля (ОТК), возглавляемый главным контролером качества продукции.

В состав ОТК обычно входит бюро технического контроля (БТК), осуществляющее входной контроль поступающих на завод материалов, необходимых для основного производства, полуфабрикатов и готовых комплектующих изделий от заводов-поставщиков. Оно проверяет содержание сопроводительных технических документов о

результатах испытания материалов и проверки комплектующих готовых изделий на заводах-изготовителях. В случае необходимости БТК организует их повторный входной контроль. На некондиционные материалы и изделия БТК составляет акты, как на недоброкачественную продукцию и направляет их на заводы-поставщики, проводит инспекторский контроль за соблюдением правил хранения и выдачи материалов и комплектующих изделий в производственные цехи, выявляет возможные дефекты от небрежной их упаковки, транспортирования и хранения.

Во всех цехах основного производства, включая цехи наземных и летных испытаний, организуются бюро цехового контроля (БЦК), которые осуществляют непосредственный контроль качества продукции, изготовляемой в цехах. БЦК контролируют выполнение цехами мероприятий по улучшению качества продукции и предупреждению возникновения дефектов, снижающих качество изделия. В этих целях осуществляется также периодическая проверка качества технологической оснастки, качества и стабильности выполнения технологических процессов.

В системе ОТК имеется также техническое бюро, которое исследует причины возникновения брака и отклонений от нормативной документации, возникающих в производственных цехах, готовит предложения по рекламациям на продукцию заводов-поставщиков, рассматривает и готовит мероприятия по улучшению качества продукции, изготовляемой в цехах, подбирает, разрабатывает и выдает цехам согласованные с централизованными технологическими службами руководящие технические материалы по контролю качества изготовляемой в них продукции.

ОТК имеет также специальную инспекторскую группу, которая осуществляет периодическую инспекторскую проверку качества продукции в цехах в порядке надзора за деятельностью цеховых бюро технического контроля, а также на тех производственных участках, где снят постоянный контроль ОТК.

На каждом заводе авиационного профиля имеется также подчиненная ОТК центральная измерительная лаборатория (ЦИЛ), которая наблюдает за состоянием и эксплуатацией в цехах основных мер, измерительных инструментов и приборов, осуществляет ремонт и юстировку измерительных средств, представляет их на проверку в государственные органы. ЦИЛ проводит также научно-исследовательские работы по созданию новых способов проверки измерительных

средств, изучению причин погрешностей измерений и составляет инструкции по эксплуатации, проверке и хранению измерительных средств, осуществляет оперативные измерения изделий по заказам цехов и работников ОТК. ЦИЛ проводит также периодическую проверку на выборку принятой продукции в целях проверки надежности технического контроля в цехах.

Стройная система организации технического контроля продукции на заводах авиационного профиля имеет целью обеспечить высокое качество ЛА в соответствии с проектной, технологической и нормативной документацией и исключить возможность передачи в эксплуатацию некондиционной продукции. В этих же целях на каждом авиационном заводе функционирует также специальная служба заказчика (потребителя, эксплуатирующего авиационную технику), которая осуществляет наблюдение за качеством изготовления и контроля продукции на заводе (главным образом в сборочных цехах) и осуществляет окончательную приемку от завода готовых ЛА.

Службы технического контроля на предприятиях авиационного профиля функционируют в тесном взаимодействии с технологическими службами.

6.6 РОЛЬ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Показатели качества закладываются в конструкцию ЛА при его проектировании. Обеспечиваются же они в процессе разработки технологических процессов изготовления ЛА и при их практическом осуществлении на предприятии при изготовлении изделия, его деталей и сборочных единиц. Принятый вариант технологического процесса при этом должен обеспечивать наиболее высокое качество как в целом ЛА, так и отдельных его частей. С повышением эксплуатационных нагрузок на планер, что характерно для конструкций ЛА последних лет, требования к качеству их изготовления, а следовательно, и к технологическим процессам в значительной мере возрастают.

Технология оказывает существенное влияние на точность изготовления элементов конструкции ЛА, аэродинамических обводов его планера и точность стыковки его отсеков, панелей и агрегатов. От точности выполнения геометрических параметров этих элементов в

значительной мере зависят такие свойства, определяющие качество ЛА, как скорость и дальность полета при одной заправке горючим, а также полезная нагрузка. Особенно существенное влияние технологические методы и процессы изготовления изделий оказывают на технический ресурс, являющийся важнейшей характеристикой надежности, а следовательно, и качества ЛА. Технологические методы, положенные в основу технологических процессов, а также качество и стабильность выполнения последних могут вызвать как уменьшение, так и повышение надежности, а следовательно, снижение или повышение качества ЛА.

Выбор вариантов технологических процессов изготовления элементов конструкции ЛА проводят не только с учетом экономических показателей, но и с учетом внешних нагрузок (особенно повторно-статических и динамических с большой амплитудой колебаний и вибрационных), действующих на эти элементы в процессе эксплуатации. Все виды внешних нагрузок вызывают в изделиях напряжения, различные по значению и знаку. В зависимости от примененных технологических методов изготовления изделий эти напряжения могут увеличиваться или уменьшаться. При этом одни технологические методы и процессы оказывают влияние на структуру и физико-механические свойства только поверхностных слоев материала, другие — на свойства всей массы материала изготовляемых изделий.

Качество поверхностного слоя, его структура и остаточные напряжения, возникающие в материале в процессе обработки, оказывают существенное влияние на предел выносливости конструкции. Значительные изменения параметров поверхностного слоя возникают при обработке резанием. В зоне резания в связи с большими пластическими деформациями происходит наклеп (деформационное упрочнение) поверхностного слоя материала, в результате которого резко снижаются его пластические свойства. Особенно опасен перенаклеп материала, при котором поверхностный слой настолько сильно "охрупчивается", что разрушение (растрескивание и отслаивание поверхностного слоя) может произойти даже без приложения внешней нагрузки. Вместе с тем происходящее до опрсделенного предела упрочнение поверхностного слоя в значительной мере повышает износостойкость деталей в подвижных соединениях.

В зависимости от характера, структуры и режима технологического процесса в поверхностном слое могут возникнуть как растягивающие, так и сжимающие остаточные напряжения. Сильно снижают прочностные характеристики деталей остаточные растягивающие напряжения, тогда как остаточные сжимающие напряжения напротив повышают их выносливость. Например, наклеп поверхностного слоя при механической обработке, в результате которого в поверхностном слое возникают остаточные сжимающие напряжения, обеспечивает повышение предела выносливости на 18 — 20 %. Значение и знак остаточных напряжений являются основными критериями оценки пригодности тех или иных технологических методов для изготовления заданных деталей.

Снижают прочностные характеристики и предел выносливости деталей возникающие в процессе их изготовления микро- и макронеровности поверхности (шероховатость), впадины которых служат концентраторами напряжений. Различные методы обработки, геометрические параметры инструментов, режимы обработки вызывают появление шероховатости с различной формой выступов и впадин.

Наиболее высоким пределом выносливсти обладают детали с полированной поверхностью, а наиболее низким — с грубой поверхностью после обработки резанием (грубым обтачиванием или черновым фрезерованием). Причем с повышением прочностных характеристик материала степень влияния чистоты поверхности на предел выносливости изделий возрастает.

Шероховатость поверхности деталей оказывает также влияние на прочность соединений с натягом, коррозионную стойкость поверхностей, ухудшая эти показатели, а также точность измерений.

Степень поверхностных изменений свойств материала при обработке резанием, структура поверхностного слоя зависят, в основном, от характера и режима финишных (заключительных) операций, именно эти операции и режимы их выполнения оказывают решающее влияние на предел выносливости изделий.

На физико-механические свойства поверхностного слоя оказывают влияние и многие другие технологические методы обработки, например, термическая обработка (цементирование, поверхностная закалка, отпуск), холодное пластическое деформирование. Применяя различные технологические методы и режимы обработки, можно управлять физико-механическими свойствами поверхностного слоя материала и, следовательно, управлять качеством изделий.

Например, для преднамеренного изменения свойств поверхностного слоя материала в технологический процесс вводят дополнительные отделочные, отделочно-упрочняющие операции (полирование, притирку, суперфиниширование и хонингование, выглаживание роликами, шариками и алмазными наконечниками, дробеструйную обработку и т.п.).

При выполнении многих заготовительно-штамповочных операций материал деталей претерпевает значительные деформации не только в поверхностных слоях, но и по всей толщине листа, что вызывает изменения физико-механических свойств материала во всей зоне деформирования. При этом происходит зональное упрочнение материала с потерей его пластических свойств, что ухудшает его сопротивление вибрационным нагрузкам.

При выполнении разделительных операций, кроме того, возможно образование по контуру детали неравномерного заусенца с резкими выпуклостями и впадинами. Последние служат концентраторами напряжений, снижающими прочностные характеристики деталей. При выполнении отбортовки по вогнутому контуру возможно образование микротрещин, которые в процессе эксплуатации деталей будут развиваться и в итоге приведут к разрушению конструкции.

Остаточные напряжения возникают и при выполнении операций сборки. Их значение зависит от точности изготовления деталей и степени взаимной согласованности (увязки) размеров и формы деталей и базовых элементов сборочной оснастки. При низкой точности деталей и увязки оснастки сборка осуществляется с применением большого объема ручных доводочных работ "по месту", что резко снижает качество сборочных единиц и приводит к возникновению в конструкции больших остаточных напряжений.

Кроме точности изготовления деталей и степени согласованности технологической оснастки на значение внутренних напряжений оказывает влияние принятый метод соединения деталей при сборке. Особенно большие дополнительные внутренние напряжения возникают при сварке в связи с местными температурными воздействиями на материал соединяемых деталей. Несколько меньшие внутренние напряжения возникают при клепке вследствие пластической деформации и упрочнения материала деталей в зоне постановки заклепок.

Повышению ресурса заклепочных и болтовых соединений способствует их выполнение с высокими радиальным и осевым натягами. При этом в зоне отверстий под болты и заклепки создается благопри-

ятное напряженно-деформированное состояние, повышающее их предел выносливости.

Качество поверхности внешних обводов ЛА (волнистость, выступающие головки заклепок, ступеньки и зазоры в стыках листов обшивки и т.д.) оказывает значительное влияние на его лобовое сопротивление. Например, применение заклепок с потайной головкой, окраска специальными эмалями с последующим полированием поверхностей, обтекаемых воздушным потоком, позволяет уменьшить лобовое сопротивление на 20 — 30 % и за счет этого повысить летно-технические характеристики ЛА, улучшив тем самым его качество.

Из сказанного следует, что технология играет весьма существенную роль в обеспечении качества ЛА и во многих случаях определяет его уровень. Поэтому технологические процессы изготовления и ремонта изделий должны разрабатываться применительно к тем показателям качества, которые заложены в конструкцию, и преследовать цель безусловного обеспечения заданного их уровня. Вместе с тем и при проектировании ЛА должно учитываться влияние технологии на конструкцию. В элементах конструкции ЛА при их проектировании должны предусматриваться такие технологические методы их изготовления, которые обеспечивают необходимый уровень их качества.

6.7. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И ЕЕ РОЛЬ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

Общие положения

В производстве ЛА применяют два способа изготовления сборочных единиц; способ, основанный на индивидуальной взаимной пригонке и доработке по месту сопрягаемых элементов конструкции в процессе сборки, и способ бездоводочной сборки, основанный на применении принципов взаимозаменяемости.

При первом способе для взаимной установки деталей в сборочное положение требуется их предварительная подгонка друг к другу в зоне соединения или прилегания и к базовым элементам сборочного приспособления, определяющим заданное расположение деталей в сборочной единице; и только после этого их можно соединять между собой предусмотренными в конструкции сборочной единицы

методами. Сопрягаемые детали при этом способе изготовляют со сравнительно небольшой точностью, а обеспечение необходимой точности взаимного согласования их геометрических параметров достигается в процессе сборки.

Способ сборки с подгонкой деталей по месту неэффективен как с технологической, так и с экономической точек зрения. Он требует больших затрат труда, времени, материалов и средств для практического осуществления и связан с необходимостью использования исполнителей высокой квалификации. Качество изготовления машин при этом способе сборки отличается нестабильностью и зависит от степени несогласованности геометрических параметров деталей в зонах сопряжения, а также от квалификации исполнителей-сборщиков, которые должны уметь не только соединять детали предусмотренными в проекте методами, но и обеспечивать необходимое согласование их размеров и формы в зонах соединения за счет взаимной доработки. В производстве ЛА этот способ сравнительно широко применялся в прошлом. В настоящее время в серийном производстве его в чистом виде применяют в тех случаях, когда сопрягаемые детали в зоне соединения имеют сложную форму и обеспечить их взаимное прилегание другими способами весьма трудно или невозможно. Несколько шире его применяют в единичном и опытном производстве.

Наиболее эффективным в современных условиях, обеспечивающим наиболее высокое качество ЛА, является способ сборки, основанный на использовании принципов взаимозаменяемости. *Взаимозаменяемостью* называют свойство составных частей машиностроительных изделий (ЛА), обеспечивающее возможность их нормальной сборки в процессе производства, а также замены при эксплуатации и ремонте без индивидуальной подгонки и доработки по месту при соблюдении предъявляемых к составным частям и изделию в целом технических требований.

Из этого определения следует, что при взаимозаменяемом производстве детали, узлы, панели, входящие в конструкцию сборочной единицы, при сборке занимают свои наперед заданные место и положение в пространстве и сопрягаются между собой без какой-либо дополнительной их доработки либо подгонки. Сборка без подгонки при этом должна обеспечивать нормальную работу изготовленного изделия в соответствии с предъявляемыми к нему техническими требованиями. Основные принципы взаимозаменяемости

распространяются не только на процессы изготовления деталей и сборочных единиц, но и на ремонтное обслуживание при эксплуатации изделий.

Взаимозаменяемость тесно связана с качеством изделий. Чем выше уровень взаимозаменяемости, тем, как правило, выше их качество. На ее уровень оказывают влияние геометрические, физические, химические, тепловые и другие параметры изделия и его частей, связанные с эксплуатационными показателями машины.

Для нормальной сборки без пригонки деталей по месту требуется, в первую очередь, правильное взаимно согласованное выполнение их геометрических параметров. Взаимозаменяемость возможна только при условии, что качественные характеристики деталей, их размеры и форма будут находиться в заданных пределах и будут идентичными такие их физико-химические параметры, как химический состав материалов, масса деталей, прочность и жесткость, защитные покрытия и др. Невыполнение этих требований вызывает нарушение принципа взаимозаменяемости, что влечет за собой отклонение летных, аэродинамических и прочностных характеристик ЛА от заданных, а следовательно, и ухудшение их качества.

В производстве ЛА взаимозаменяемыми могут быть детали, узлы, панели, отсеки, агрегаты, а также комплектующие готовые изделия (двигатели, авианавигационные приборы, радиоаппаратура и т.д.).

Принципы взаимозаменяемости закладываются в конструкцию изделия при его проектировании. Точность всех основных параметров изделия (геометрических, механических, электрических и др.) при этом определяется степенью их влияния на качество изделия и его эксплуатационные свойства. Существенное влияние на уровень взаимозаменяемости оказывает применение в конструкции стандартизованных, нормализованных, унифицированных и типовых деталей и сборочных единиц, что создает предпосылки для широкого межзаводского кооперирования, более узкой внутризаводской специализации, повышает серийность производства, позволяет применять более производительные технологические методы и средства производства. Все это способствует повышению уровня интегрального и многих частных показателей качества изделий.

Конструкторская документация (чертежи, технические условия) должна разрабатываться с указанием нормированной точности основных параметров деталей и других элементов конструкции. Это является первой составной частью принципов взаимозаменяемости, которая выполняется на стадии конструкторской разработки изделия.

Для обеспечения принципов взаимозаменяемости в производстве ЛА необходимо, чтобы детали и сборочные единицы изготовлялись при строгом соблюдении нормированной точности, заложенной в конструкторскую документацию и обеспечивающей требуемое качество и эксплуатационные показатели машины. Качество технологических процессов изготовления изделия и его частей, технологического оснащения должны строго соответствовать нормированной точности изделия и его элементов, заложенной в конструкторскую документацию. Это является второй составной частью принципов взаимозаменяемости, которая выполняется на стадиях производства изделия.

Для обеспечения принципов взаимозаменяемости в сфере эксплуатации необходимо, чтобы ремонт ЛА осуществлялся в основном путем замены деталей и сборочных единиц, пришедших в негодность, новыми без применения ручных подгоночных работ и без ухудшения качества изделия в целом. В этих целях при проектировании и изготовлении ЛА определяют номенклатуру запасных частей, которые изготовляют в необходимом количестве и передают эксплуатирующей организации. Запасные части должны быть изготовлены с соблюдением заложенной в конструкторскую документацию нормируемой точности, обеспечивающей взаимозаменяемость; номенклатура и число запасных частей определяются исходя из их технического ресурса. Все это является третьей составной частью принципов взаимозаменяемости, которая выполняется на стадиях изготовления и эксплуатации изделия и повышает его долговечность и экономичность.

Виды взаимозаменяемости

Взаимозаменяемость по сумме всех параметров изделия и его частей (геометрических, физических, химических) называют функциональной. Такое название она получила потому, что указанные параметры оказывают непосредственное влияние на служебные функции деталей и сборочных единиц ЛА, определяют их нормальное функционирование.

Функциональная взаимозаменяемость предусматривает обеспечение взаимозаменяемости по однородности химического состава материала изделий, стабильности его механических, физических,

химических свойств, а также по точности и стабильности размеров и форм изделий. Она относится как к готовым изделиям, так и к исходному сырью, материалам заготовок, полуфабрикатов. Принцип функциональной взаимозаменяемости является одним из важнейших принципов конструирования, производства, контроля и эксплуатации изделий.

Взаимозаменяемость частей изделий по одним только геометрическим параметрам называют геометрической. Геометрическая взаимозаменяемость является составной частью функциональной взаимозаменяемости. В дисциплинах "Технологическая подготовка производства летательных аппаратов" и "Основы технологии производства летательных аппаратов" рассматриваются технологические пути обеспечения главным образом геометрической взаимозаменяемости.

При геометрической взаимозаменяемости нормальная сборка изделия в процессе производства и замена частей при ремонте возможны лишь при правильном выполнении с заданной точностью размеров и формы деталей и сборочных единиц. Поэтому геометрическая взаимозаменяемость непосредственно связана с образованием размеров и форм этих элементов. Детали, как правило, должны поступать на сборку в окончательно изготовленном виде, их размеры должны быть выдержаны в пределах допусков, указанных в чертежах, и не требовать последующей доработки по месту при сборке.

Геометрическая взаимозаменяемость имеет важнос значение как для развития производства ЛА и повышения его эффективности, так и для повышения качества ЛА, улучшения их эксплуатационных свойств.

По области проявления геометрическая взаимозаменяемость может быть разделена на производственную и эксплуатационную. Производственная взаимозаменяемость проявляется в области производства ЛА и распространяется на все элементы их конструкции: детали, узлы и более крупные сборочные единицы. Эксплуатационная взаимозаменяемость проявляется в области эксплуатации ЛА при их ремонте и замене изношенных деталей или сборочных единиц. Распространяется она обычно на аэродинамические обводы сборочных единиц и на места соединения последних между собой (разъемы, стыки).

Геометрическая взаимозаменяемость может быть полной и неполной (ограниченной). При полной взаимозаменяемости геометри-

ческие параметры элементов конструкции воспроизводятся с точностью, позволяющей осуществлять их сборку или соединение в производстве и при ремонте без какой-либо дополнительной обработки, подгонки, подбора или регулирования, т.е. без каких-либо дополнительных операций к основным операциям сборки. В производстве ЛА полная взаимозаменяемость в связи со сложностью и трудоемкостью ее практического осуществления получила ограниченное применение в основном при сборке узлов, в конструкцию которых входит небольшое число жестких деталей общемашиностроительного профиля, имеющих сравнительно простую форму (детали и узлы шасси, цилиндров управления и т.п.). Полная взаимозаменяемость обеспечивается за счет точного изготовления сопрягающихся деталей с использованием общемашиностроительной системы допусков и посадок, что требует применения особо точных и дорогостоящих станков, приспособлений, инструментов, которые при объемах производства, характерных для выпуска авиационной техники, не всегда окупаются.

При изготовлении деталей планера ЛА из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб, имеющих большие габаритные размеры и малую жесткость (таких деталей в конструкции планера большинство), обеспечение принципа полной взаимозаменяемости при современном уровне развития технологии за счет повышения ее точности практически неосуществимо.

Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость применяется в тех случаях, когда осуществление полной взаимозаменяемости вызывает необходимость изготовления деталей с большой, трудновыполнимой и экономические нецелесообразной точностью. Изготовление деталей при неполной взаимозаменяемости ведется по более широким и легко выполнимым допускам, а необходимый уровень взаимозаменяемости и бездоводочная сборка обеспечиваются за счет осуществления дополнительных мер конструктивного, технологического или организационного характера.

Следует отметить, что понятие "неполная взаимозаменяемость" чисто условное. И при неполной взаимозаменяемости подгонка деталей по месту при сборке отсутствует и, следовательно, обеспечивается выполнение основных требований полной взаимозаменяемости. В качестве дополнительных мер применяют либо так называемую селективную сборку, либо регулирование за счет применения специальных конструктивных компенсаторов.

При селективной сборке взаимозаменяемость достигается за счет подбора и рассортировки сопрягаемых деталей по действительным размерам на определенное число групп, в пределах каждой из которых обеспечивается заданная точность сопряжения. Такую взаимозаменяемость называют групповой. Чем меньше точность изготовления сопрягаемых деталей, тем на большее число групп их следует рассортировать. Этот метод обычно применяют при изготовлении сборочных единиц, имеющих высокую точность сопряжений, но состоящих из сравнительно небольшого числа деталей. Метод селективной сборки широко применяется, например, в шарикоподшипниковой промышленности.

В производстве ЛА селективная сборка в связи с многодетальностью конструкции планера, резким увеличением незавершенного производства и большой трудоемкостью рассортировки деталей на группы по размерам имеет ограниченное применение. Ее применяют только при изготовлении малодетальных механосборочных единиц общемашиностроительного профиля (стойки, шасси, цилиндры управления и т.п.).

Неполная геометрическая взаимозаменяемость обеспечивается также по конструктивным разъемам в местах соединения между собой секций, отсеков и агрегатов. Взаимозаменяемость при этом достигается за счет применения общих сверлильных кондукторов и специальных двусторонних мастер-плит, по разъемам соединяемых между собой элементов членения планера.

Неполная взаимозаменяемость может быть обеспечена за счет применения в конструкции изделия различных регулировочных устройств или компенсаторов, позволяющих компенсировать неточное изготовление деталей (т.е. поглотить погрешности их размеров) и обеспечить нормальное их сопряжение при сборке. В качестве компенсаторов применяют различные прокладки, кольца, фитинги и другие дополнительные детали, вводимые в конструкцию сборочной единицы.

Конструкция нервюры с различными компенсирующими устройствами, обеспечивающими высокую точность размеров сборочной единицы (размер *B*) между верхней *1* и нижней *2* обшивками при сравнительно неточном изготовлении деталей *4* — *7* и *9*, входящих в ее состав, приведена на рис. 6.2, *б*, *в* в качестве примера. Для конструкции на рис. 6.2, *а* (без компенсаторов) необходима высокая точность изготовления нервюры *3*. В конструкции на рис. 6.2, *в* неточность изготовления деталей *7* и *9* компенсируется за счет прокладки *8*.

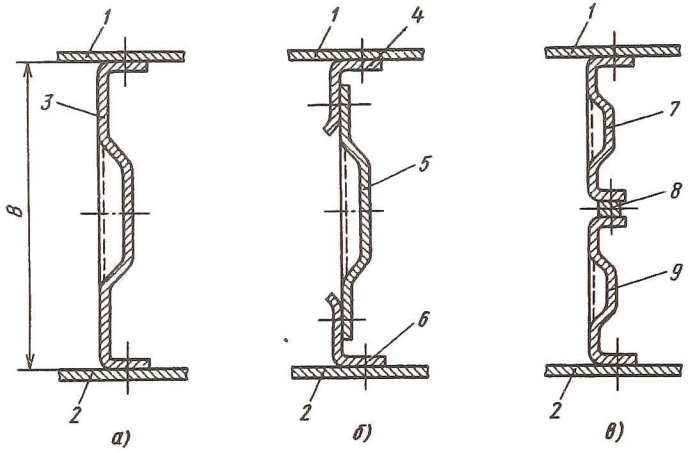


Рис. 6.2. Схема применения размерных компенсаторов в конструкции первюры

Неполная взаимозаменяемость с применением компенсаторов в производстве ЛА получила широкое применение и является одним из основных методов обеспечения геометрической взаимозаменяемости.

В производстве ЛА иногда предусматривается поставка на сборку деталей с припусками на размеры в зоне их взаимного сопряжения или в зоне прилегания к жестким фиксирующим элементам сборочного приспособления, которые затем удаляются в процессе сборки. Размеры припусков определяются специальными требованиями, которые вносятся в технические условия на поставку деталей. Детали с припусками тоже считаются взаимозаменяемыми. Однако этот способ обеспечения неполной взаимозаменяемости увеличивает трудоемкость сборки и, по существу, противоречит самому принципу взаимозаменяемости, он мало чем отличается от метода индивидуальной пригонки деталей в процессе сборки. Такой метод применяют в исключительных случаях, когда обеспечить сборку без припусков практически невозможно.

Взаимозаменяемость может быть внутренней и внешней. *Внутренней* называют взаимозаменяемость элементов конструкций (деталей, узлов, панелей), входящих в состав более крупных сборочных единиц. Например, для узла внутренней взаимозаменяемостью будет взаимозаменяемость входящих в его состав деталей. Для отсеков — взаимозаменяемость входящих в его конструкцию деталей, узлов и панелей.

Внешней называют взаимозаменяемость элементов конструкции по отношению к более крупным сборочным единицам. Например, для отсеков внешней будет взаимозаменяемость по местам их соединения в агрегаты. Для агрегатов внешней будет взаимозаменяемость по местам их стыковки в планер ЛА. Взаимозаменяемость деталей при всех условиях будет внешней.

К внешней относится также межзаводская взаимозаменяемость, которая распространяется на различные готовые комплектующие изделия, которые монтируются внутри или снаружи планера ЛА (двигатели, аэронавигационные приборы, радиоаппаратура и т.п.). Она охватывает эксплуатационные показатели этих изделий и геометрические параметры присоединительных поверхностей, с помощью которых они монтируются в планере ЛА.

Преимущества и эффективность взаимозаменяемости. Уровень взаимозаменяемости

Преимущества взаимозаменяемости элементов конструкции в производстве ЛА хорошо видны на фоне недостатков способа сборки с индивидуальной подгонкой деталей по месту. При невзаимозаменяемом производстве ЛА большой объем работ в процессе сборки и ремонта занимает ручная взаимная подгонка и доводка сопрягаемых элементов конструкции. Детали подгоняют друг к другу в местах их соединения, а также по базовым поверхностям сборочных приспособлений.

Качество сборки при этом невысокое, отличается нестабильностью и определяется в основном опытом и квалификацией рабочего, осуществляющего пригонку деталей и сборку. Поэтому исключение доводки из технологических процессов сборки и ремонта, что характерно для основных принципов взаимозаменяемости, является важнейшим условием повышения качества и снижения себестоимости сборочных единиц и ЛА в целом.

Исходя из изложенного, можно сформулировать основные преимущества принципов взаимозаменяемости в сфере производства и эксплуатации перед индивидуальной пригонкой, они заключаются в следующем.

1. В значительной мере упрощается сборка машин, снижается трудоемкость и повышается производительность труда на сборке,

повышается качество изделий. Это обусловливается отсутствием трудоемкой подгонки, доводки и обработки деталей по месту при сборке. Операции сборки сводятся к простой установке деталей в сборочное положение и соединению их установленными в проекте изделия методами. Соблюдение принципов взаимозаменяемости позволяет создать определенный ритм в процессе сборки, что в значительной мере облегчает осуществление механизации и автоматизации технологических процессов, организацию поточной, а при больших объемах производства — конвейерной сборки изделий.

2. Упрощается ремонтное обслуживание изделий в процессе их эксплуатации, снижается трудоемкость и повышается производительность труда на ремонтных работах в связи с резким сокращением подгоночных работ при замене изношенных элементов конструкции новыми.

3. Несмотря на повышение точности деталей, упрощается их изготовление, снижается трудоемкость и себестоимость. Это относится к деталям всех видов как из листовых материалов, прессованных профилей и труб, так и к монолитным деталям, изготовляемым на металлорежущих станках, а также к заготовкам, получаемым литьем, горячей штамповкой, прессованием. Это обусловлено тем, что принципы взаимозаменяемости исключают дорогостоящую индивидуальную разметку деталей при их изготовлении, сложную выверку при закреплении заготовок на металлорежущих станках. Все это обеспечивается применением многих точных и высокопроизводительных станочных приспособлений и рабочих инструментов (штампов), свойственных взаимозаменяемому производству.

4. Создаются условия для широкого использования труда рабочих более низкой квалификации. Это обусловливается значительным сокращением объема высококвалифицированного ручного труда при изготовлении деталей, сборке изделий и ремонтных работах.

5. При соблюдении принципов взаимозаменяемости создаются условия и возможности для широкого кооперирования и специализации производства, что также способствует росту производительности труда и повышению качества изготовляемой продукции.

6. Взаимозаменяемость обеспечивает повышение производительности труда на контрольных операциях благодаря применению более совершенного мерительного инструмента и механизации, а в ряде случаев и автоматизации процессов контроля.

Таким образом, эффективность взаимозаменяемости обусловливается соответствием ее принципов современным условиям и прогрессивным тенденциям развития производства. Она обеспечивает возможность широкой механизации и автоматизации процессов изготовления деталей и их сборки, позволяет применять поточные методы при изготовлении деталей и сборочных единиц даже при сравнительно малых объемах производства.

Принципы взаимозаменяемости предусматривают широкое внедрение стандартизации на стадиях проектирования, освоения и производства изделий и на этой основе дают возможность получить существенный технико-экономический эффект как в массовом и крупносерийном, так и в среднесерийном, мелкосерийном и даже единичном производстве.

В современном производстве ЛА взаимозаменяемость всех элементов конструкции пока не достигнута. Наряду с широким использованием принципов взаимозаменяемости применяется также индивидуальная подгонка и доработка отдельных сопрягаемых элементов в процессе сборки. Поэтому в каждом отдельном случае имеется необходимость определять уровень взаимозаменяемости, который характеризует качество конструкторской и технологической увязки сопрягаемых элементов. Для оценки уровня взаимозаменяемости необходимо знать трудоемкость сборки ЛА, его узлов, панелей, отсеков и агрегатов, когда все элементы конструкции взаимозаменяемы ($T_{\text{п.в}}$) и трудоемкость при достигнутом ее уровне в конкретных условиях производства, когда часть деталей подгоняется по месту ($T_{\text{д.в}}$). В общем случае трудоемкость сборки $T_{\text{д.в}}$ складывается из времени $T_{\text{сб}}$, затраченного непосредственно на установку собираемых элементов конструкции в сборочное положение и выполнение соединительных операций в соответствии с заданными в проекте методами соединения этих элементов, времени $T_{\text{п}}$, затраченного на выполнение операций, связанных со взаимной пригонкой сопряженных поверхностей деталей, узлов и других сборочных единиц, а также систем и коммуникаций в зоне соединения, и времени $T_{\text{д}}$ на выполнение дополнительных операций по вынужденной разборке и новой сборке элементов конструкции с целью проверки качества сборки и для выполнения таких соединений, которые невозможно осуществить без предварительного демонтажа элементов, мешающих сборке, т.е.

$$T_{д.в} = T_{сб} + T_{п} + T_{д}.$$

Время $T_{сб}$ характеризует трудоемкость чисто сборочных операций и соответствует сборке при полной взаимозаменяемости всех элементов конструкции, тогда как время $T_{п} + T_{д}$ является дополнением ко времени чистой сборки; оно возникает ввиду недостаточного уровня взаимозаменяемости в реальных условиях производства. Уровень взаимозаменяемости может быть оценен отношением трудоемкости сборки при полной взаимозаменяемости $T_{п.в}$, равной трудоемкости чисто сборочных операций $T_{сб}$ к суммарному времени, затрачиваемому на сборку при достигнутой в производстве взаимозаменяемости $T_{д.в}$. Это отношение называют коэффициентом взаимозаменяемости и обозначают символом $K_{в}$:

$$K_{в} = T_{п.в}/T_{д.в}.$$

Поскольку $T_{п.в} = T_{сб} = T_{д.в} - (T_{п} + T_{д})$, коэффициент взаимозаменяемости может быть выражен также формулой

$$K_{в} = 1 - (T_{п} + T_{д})/T_{д.в}.$$

Для ориентировочной оценки уровня взаимозаменяемости коэффициент $K_{в}$ можно представить отношением

$$K_{в} = n_{в}/n_{о} = 1 - n_{н}/n_{о},$$

где $n_{в}$ — число наименований взаимозаменяемых деталей в сборочной единице; $n_{о}$ — общее число наименований деталей, входящих в состав сборочной единицы; $n_{н}$ — число наименований невзаимозаменяемых деталей, для которых необходимы при сборке подгоночные работы.

Коэффициент $K_{в}$ отражает уровень совершенства конструкции изделия и технологических процессов изготовления деталей ЛА и их сборки. Чем выше уровень взаимозаменяемости, тем больше $K_{в}$. В идеальном случае, когда все элементы конструкции взаимозаменяемы и $T_{в} + T_{д}$ отсутствует, $K_{в} = 1$.

Именно такое состояние конструкции изделия и технологии его изготовления должно соответствовать понятию полной взаимозаменяемости. Если же $K_в < 1$, то такое состояние производства определяет по существу неполную взаимозаменяемость. В условиях современного самолетостроительного производства на стыковочных работах коэффициент взаимозаменяемости составляет 0,7 — 0,85, при изготовлении деталей и сборке изделий он ниже, в среднем 0,5 — 0,7.

Из изложенного видно, что сборочные процессы имеют достаточно четкое предельное по качеству состояние в виде полной взаимозаменяемости элементов, входящих в состав сборочных единиц. Поэтому возможна оценка их качества по отношению к этому предельному состоянию, что является мощным средством управления качеством сборочных работ и производства в целом [14].

7. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗДЕЛИЙ, ИХ ФОРМИРОВАНИЕ И ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО

7.1. ТОЧНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ

Под точностью выполнения геометрических параметров изделия (детали, сборочной единицы) понимают степень соответствия его действительных размеров и формы, достигнутых в процессе изготовления, размерам и форме, заданным в рабочих чертежах.

Необходимая точность выполнения геометрических параметров закладывается в конструкцию изделия в процессе его проектирования исходя из требуемых эксплуатационных свойств; она должна обеспечивать заданные показатели качества изделия. Наряду с этим конструктор в процессе проектирования изделия определяет уровни производственной и эксплуатационной взаимозаменяемости элементов его конструкции, которые непосредственно связаны с установленной точностью выполнения геометрических параметров.

Вместе с тем, определяя необходимую точность, конструктор должен учитывать также возможности технологических методов по обеспечению заданной точности изготовления деталей и сборочных единиц, которые заложены им в конструкцию в процессе ее проектирования.

Указанные основные требования при их правильном выполнении обеспечивают наиболее высокие и взаимно согласованные технологические, экономические и эксплуатационные свойства изделия. Проектная точность изделия и его конструктивных элементов, установленная с учетом этих требований, будет оптимальной. Она ограничивается обычно допусками размеров, которые указываются в рабочих чертежах.

Между достигнутой в производстве точностью и качеством изделия существует прямая зависимость. Чем лучше по размерам и форме изготовленный элемент конструкции будет соответствовать идеальному элементу, предусмотренному в проекте, т.е. чем точнее он будет

изготовлен, тем выше будет его качество. Следовательно, точность выполнения геометрических параметров изделия является важным показателем его качества. Снижение действительной точности геометрических параметров против заданной в проекте приводит к ухудшению качества изделия.

Вместе с тем превышение геометрической точности оптимальной, заданной в чертежах, как правило, не улучшает заметно эксплуатационные свойства изделия, но приводит к удорожанию его изготовления.

Это обусловлено тем, что с повышением точности элементов конструкции изделия технологические процессы его изготовления усложняются, возникает необходимость применения дополнительных, более точных финишных операций. Характер изменения затрат времени на изготовление комплекта деталей, входящих в состав какой-либо сборочной единицы в зависимости от точности их изготовления показан на рис. 7.1, кривая *1*. Анализ зависимости $t_д = f(\tau)$ ($t_д$ — суммарное время изготовления комплекта деталей; τ — средняя точность их изготовления, принятая равной отношению $1/\delta$, где δ — среднее поле допуска на размеры деталей) показывает, что затраты на изготовление деталей с изменением их точности меняются по гиперболическому закону.

До определенных значений точности, которые обеспечиваются простыми и легко осуществимыми технологическими методами с применением при механической обработке, например, универсального оборудования (участок *A* кривой *1*), трудоемкость с увеличением точности растет сравнительно медленно до точки M_1, характеризующей предельную точность $\tau_{1пр}$ для данного вида обработки. Дальнейшее увеличение

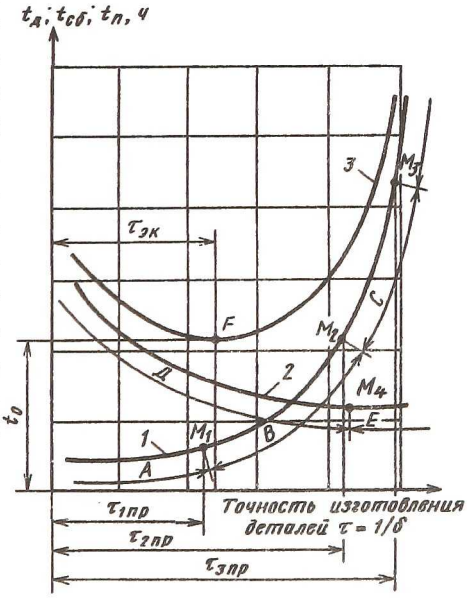


Рис. 7.1. Влияние геометрической точности деталей на трудоемкость изготовления их и сборочной единицы, в состав которой они входят

точности требует более сложных в осуществлении технологических методов с применением все усложняющихся по конструкции, более точных и дорогих инструментов, приспособлений, технологического оборудования. При этом приходится снижать режимы обработки, применять труд более высокой квалификации. Все это связано с более значительным дальнейшим ростом трудоемкости и стоимости изготовления деталей.

Участок *B* кривой *1* соответствует условиям, при которых требуется сравнительно немного дополнительной более точной технологической оснастки и может быть использовано хотя и более точное, но универсальное оборудование. Трудоемкость при этих более сложных технологических методах с увеличением точности растет более интенсивно до точки M_2, характеризующей предельную точность $\tau_{2пр}$ для этого вида обработки.

При дальнейшем увеличении точности требуются новые, еще более точные и сложные при практическом осуществлении технологические методы, которые приводят к резкому повышению затрат времени и труда на обработку. Появляется необходимость введения в технологические процессы дополнительных операций и применения специального высокоточного и дорогого технологического оборудования, инструментов, приспособлений при высокой квалификации исполнителей. Трудоемкость с применением дополнительных технологических методов, обеспечивающих дальнейшее повышение точности обработки, весьма интенсивно растет до точки M_3, характеризующей предельную точность $\tau_{3пр}$ при данных методах обработки.

Точки M_1, M_2 и M_3, характеризующие предельную точность, которую можно обеспечить при соответствующих методах обработки, называют технически достижимой точностью при обработке этими методами. Дальнейшее даже незначительное повышение точности после точки M_3 практически недостижимо при существующих в машиностроении методах обработки. Для каждого применяемого метода обработки существует экономическая точность, которая может быть обеспечена в нормальных условиях, соответствующих производственным возможностям предприятия при затратах времени и средств, не превышающих затрат при других методах [46]. Трудоемкость обработки ($t_{д.э}$) при данном технологическом методе в зависимости от экономической точности можно приближенно описать уравнением гиперболы вида

$$t_{д.э} = t_0 + K/\delta_д^k,$$

где t_0 — минимально возможные затраты времени при данном методе обработки; $\delta_д$ — средний допуск на размеры детали; K и k — коэффициенты, соответствующие данному методу обработки.

Точность изготовления деталей оказывает существенное влияние на затраты труда при выполнении сборочных операций. С повышением точности деталей сборка узлов, панелей и других сборочных единиц упрощается, уменьшается объем доработки деталей и пригонки при сборке и, следовательно, снижается трудоемкость и стоимость изготовления сборочных единиц. Это обусловлено тем, что с повышением точности деталей (до определенных пределов) повышается уровень их взаимозаменяемости.

Характер изменения трудоемкости сборки ($t_{сб}$) в зависимости от точности деталей, входящих в состав сборочной единицы, показан на рис. 7.1. Зависимости $t_{сб} = f(\tau_д)$ соответствует кривая *2*. Вначале при сравнительно низкой точности деталей, соответствующей низкому уровню взаимозаменяемости, при котором для деталей необходима трудоемкая доработка по месту, трудоемкость сборки имеет большое значение. С повышением точности деталей уровень их взаимозаменяемости растет, а трудоемкость доработки по месту уменьшается, что приводит к снижению трудоемкости сборки. Участок *D* кривой *2* соответствует неполной геометрической взаимозаменяемости. Снижение трудоемкости сборки происходит до точки M_4, соответствующей коэффициенту взаимозаменяемости $K_в = 1$. При этом коэффициенте $K_в$ все детали, входящие в состав сборочной единицы, взаимозаменяемы и поэтому дальнейшее повышение их точности на трудоемкость сборки практически не влияет (участок *E* кривой *2*), но приводит к значительному повышению трудоемкости их изготовления.

Кривая *3* на графике выражает полную трудоемкость сборочной единицы ($t_п$), состоящую из суммы трудоемкостей изготовления комплекта деталей и их сборки ($t_п = t_д + t_{сб}$), в зависимости от точности изготовления деталей.

Характер изменения ($t_п = f(t_д)$) свидетельствует о том, что эта функция имеет минимум (точка *F*), который определяет экономичес-

ки целесообразную точность изготовления деталей, соответствующую минимальной трудоемкости полного изготовления сборочной единицы с учетом трудоемкости изготовления деталей и их сборки.

Существенное влияние на структуру и технико-экономические показатели технологических процессов обработки резанием оказывает выбор рационального для конкретных условий производства и заданной конструкции детали метода получения заготовок и достижимая при этом методе точность их геометрических параметров. В непосредственной зависимости от точности заготовки находится число операций, переходов и ходов, необходимых для ее механической обработки, а следовательно, трудоемкость и себестоимость изготовления деталей. Чем точнее заготовка, тем меньше по размеру могут быть припуски на последующую механическую обработку и тем меньше будут затраты труда на осуществление процесса резания. Зависимость трудоемкости механической обработки ($t_{м.о}$) при изготовлении детали от точности изготовления заготовки ($\tau_{заг}$) при этом может быть выражена кривой *1* (рис. 7.2), имеющей вид слабо изогнутой политропы.

Вместе с тем, с повышением точности заготовок и уменьшением в связи с этим припусков на последующую механическую обработку, усложняется процесс изготовления самих заготовок, растет их трудоемкость, что обусловливается усложнением инструментов и приспособлений, применяемых в процессе их изготовления. Зависимость трудоемкости изготовления заготовки ($t_з$) от точности ее изготовления при этом может быть представлена кривой *2* на рис 7.2. Суммарная трудоемкость изготовления заготовки и ее механической обработки, т.е. полная трудоемкость изготовления детали ($t_д$), в зависимости от точности заготовки при этом будет определяться кривой *3* (см. рис. 7.2), которая имеет явно выраженный минимум функции (точка *C* на кривой *3*), соответствующий оптимальной с экономической точки зрения точности ($\tau_{заг.опт}$) изготовления заготовки, при которой $t_д$ имеет минимальное значение.

С уменьшением точности изготовления заготовки (точка A_2 на кривой *2*, соответствующая $\tau_{заг} < \tau_{заг.опт}$) трудоемкость механической обработки (точка A_1 на кривой *1*) и полная трудоемкость изготовления детали (точка *A* на кривой *3*) будут больше $t_{д.опт}$. С увеличением точности заготовки против оптимальной (точка B_2 на кривой *2*,

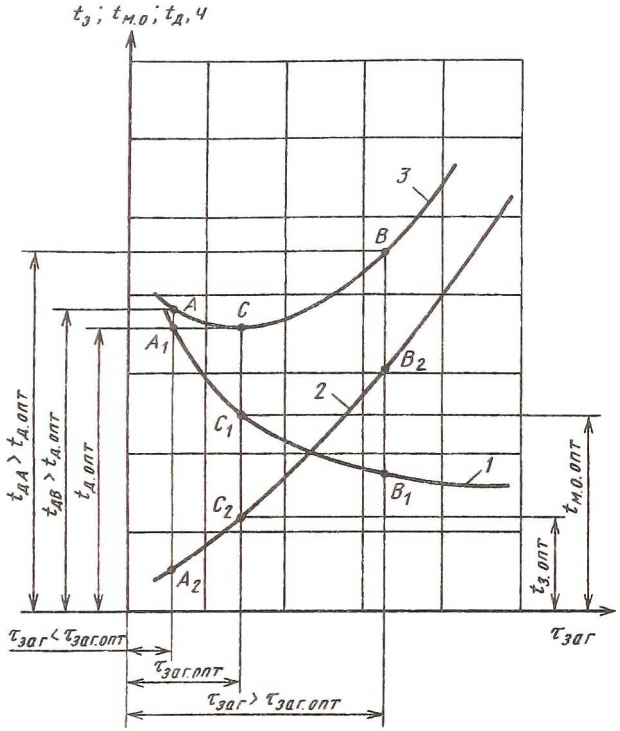


Рис. 7.2. Зависимость трудоемкостей изготовления заготовки и ее механической обработки от точности изготовления заготовки

соответствующая $\tau_{заг} > \tau_{заг.опт}$) трудоемкость механической обработки будет меньше (точка B_1 на кривой *1*), но полная трудоемкость изготовления детали (точка *B* на кривой *3*) в связи с существенным усложнением механической обработки тоже будет больше $t_{д.опт}$.

Следует отметить, что экономически целесообразная точность изготовления заготовки, так же, как и конструкция детали, в значительной мере зависят от объема производства и программы выпуска. Более точные заготовки экономически целесообразны при больших объемах производства, более грубые с большими припусками на последующую механическую обработку — при малых и средних объемах.

7.2. ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ НА ДРУГИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Снижение действительной точности геометрических параметров по сравнению с проектной приводит к ухудшению большинства других показателей качества, а следовательно, и к снижению интегрального показателя качества. Наряду с этим, повышение действительной точности по сравнению с оптимальной, как правило, не улучшает заметно другие показатели качества изделия. Например, несоблюдение заданной точности выполнения аэродинамических обводов планера самолета повышает его лобовое сопротивление воздушному потоку и, следовательно, снижает такие показатели качества, как скорость и дальность полета, повышает расход горючего на единицу пути, т.е. ухудшает его эксплуатационные характеристики. По данным авиакомпании "Американ Аэрлайнз", увеличение лобового сопротивления современного широкофюзеляжного самолета на 1 % повышает расход горючего на несколько тонн за один рейсовый полет. На рис. 7.3 представлен график зависимости рейсовой скорости v от точности τ выполнения аэродинамических обводов для самолета, имеющего двигатели заданной (неизменной)

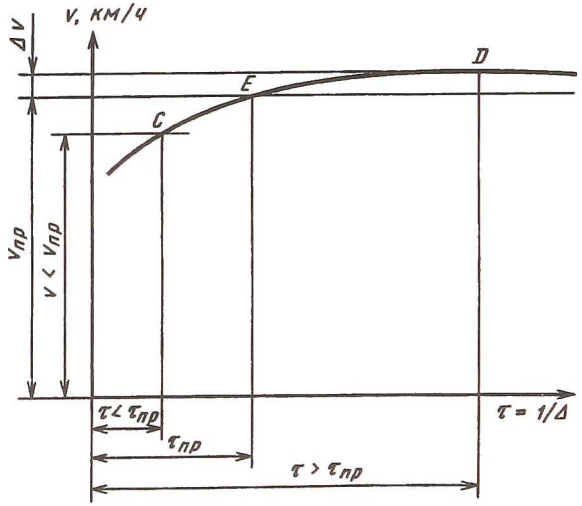


Рис. 7.3. Зависимость рейсовой скорости самолета от точности выполнения аэродинамических обводов его планера

мощности. Проектная рейсовая скорость ($v_{пр}$) достигается при предусмотренной в чертежах точности аэродинамических обводов (т.е. при $\tau = \tau_{пр}$, что соответствуют точке *E*).

При действительной точности ниже проектной скорость самолета снижается (т.е. при $\tau < \tau_{пр}$ и $v < v_{пр}$, что соответствует точке *C*). При изготовлении самолета с точностью выше проектной ($\tau > \tau_{пр}$) существенного увеличения скорости Δv практически не будет (точка *D*), но усложнится его изготовление, повысятся трудовые затраты, возрастет степень технологической оснащенности, появится необходимость применения более сложных и дорогих методов изготовления, что увеличит длительность освоения и цикл производства.

7.3. ОБРАЗОВАНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Точность геометрических параметров ЛА непосредственно связана с образованием размеров их деталей и сборочных единиц в процессе проектирования и изготовления. (Напомним, что под *размером* понимают числовое значение линейной или угловой величины, выраженное в выбранных единицах измерения. За исходную единицу длины принимают метр или его производные, за единицу угла — градус или его производные).

В процессе проектирования и изготовления изделий один и тот же размер на различных этапах его образования приобретает разные значения и поэтому имеет различные названия.

Размер, определенный на стадии проскгирования изделия из расчета на прочность и жесткость элемента конструкции или исходя из его функционального назначения и приведенный в его чертеже, называют *номинальным* или расчетным. Размер, полученный в результате выполнения процесса обработки или сборки, называют *действительным*.

Действительный размер оценивают измерением изготовленного элемента конструкции. Под *измерением* понимают нахождение измеряемого размера опытным путем с помощью специальных технических средств (штангенциркуля, микрометра, угломера и т.п.). В условиях производства ЛА применяют прямое и косвенное, абсолютное и относительное измерения. При прямом измерении искомое значение величины находят непосредственно из опытных

данных (например, измерение с помощью штангенциркуля). При косвенном измерении искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Косвенные измерения проводят в тех случаях, когда искомую величину невозможно получить прямым измерением (например, расстояние между осями двух отверстий) или же когда косвенное измерение более точно в сравнении с известным прямым, а также, когда косвенные измерения проще и менее трудоемки в сравнении с прямым (например, измерение длины окружности вместо диаметра вала большого размера с помощью рулетки с последующим подсчетом размера диаметра).

Абсолютное измерение основано на прямых измерениях одной или нескольких основных величин. Относительное измерение основано на определении отношения искомой величины к одноименной величине, играющей роль единицы.

Размер, полученный в результате измерения изделия, называют *измеренным.*

При абсолютно точном измерении измеренный размер будет равен действительному. Однако в современном производстве достигнуть этого равенства практически невозможно. Точность измерения и, следовательно, выбор измерительного средства, обеспечивающего эту точность, должны быть согласованы с установленной в проекте точностью выполнения размера. Под *точностью измерения* при этом понимают качество измерения, отражающее близость его результатов к истинному значению измеряемой величины.

Номинальный размер является главным, так как он определяет установленные в проекте эксплуатационные характеристики изделия; поэтому он служит началом отсчета отклонений, возникающих при изготовлении и измерении деталей и сборочных единиц. Номинальный размер, заданный в проекте, в процессе изготовления изделия переносится на него с помощью станка, приспособления, режущего или штампующего инструмента, шаблона, калибра или универсального измерительного инструмента.

Для этого номинальный размер предварительно должен быть воспроизведен указанным оборудованием, технологической оснасткой или измерительным устройством. Полученный при этом размер называют *воспроизведенным.* Непосредственное воспроизведение номинального размера может быть осуществлено только специальным или универсальным мерительным инструментом или станком

(приспособлением), имеющим мерительное устройство. С воспроизведенного размера начинается перенос номинального размера на изготовляемое изделие.

В процессе изготовления изделий с использованием универсальных переналаживаемых приспособлений и инструментов при настройке каждого из них для изготовления конкретного изделия возникает еще *настроечный* размер.

Размеры приспособления, режущих или штампующих инструментов, применяемых при изготовлении изделия, их настроечные размеры (для переналаживаемой оснастки) образуются путем переноса на них размера, воспроизведенного мерительным инструментом, приспособлением или станком, и являются промежуточными между воспроизведенным и действительным размерами. Перенос воспроизведенного размера на деталь в зависимости от сложности технологического процесса ее изготовления, числа и сложности примененной технологической оснастки может осуществляться как в один, так и в несколько этапов. При этом на каждом этапе переноса размера происходит его последовательное изменение, так как абсолютно точно воспроизвести номинальный размер и перенести воспроизведенный размер на изготовляемое изделие практически невозможно.

Размеры технологической оснастки, а также размеры детали или сборочной единицы, которые возникают на промежуточных этапах переноса воспроизведенного размера, называют *технологическими.* В отличие от последних размер, с которого начинается перенос номинального размера на деталь или узел, называют также *первичным* размером, а действительный размер детали или узла, который образуется в процессе их окончательного изготовления, называют *конечным* размером. Первичный размер, технологические и конечные размеры в связи с невозможностью воспроизвести их абсолютно точно в той или иной мере отличаются друг от друга, а следовательно, отличаются и от номинального размера, заданного в чертеже.

Технологические размеры, их число и отклонения от номинальных размеров зависят от структуры технологического процесса и предусмотренной им рабочей и контрольной технологической оснастки. Образование каждого технологического размера связано с изготовлением вполне определенного элемента оснастки или детали (с образованием их исполнительных поверхностей).

В соответствии с изложенным образование конечных размеров де-

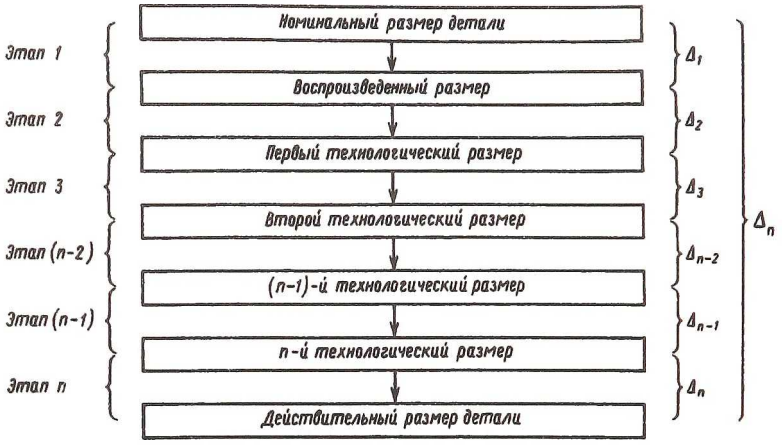


Рис. 7.4. Структурная схема образования конечных размеров деталей при их изготовлении

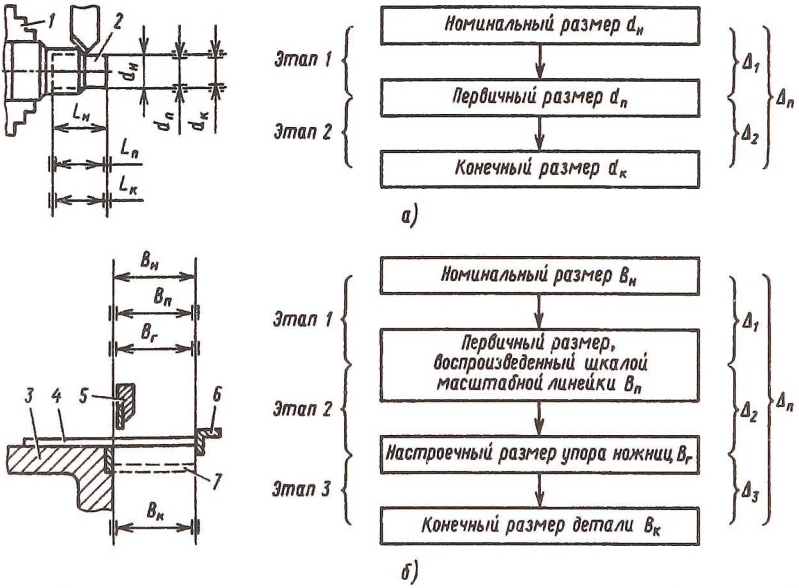


Рис. 7.5. Частные схемы образования конечных размеров деталей в процессе их изготовления:

1 — кулачок патрона; *2* — заготовка; *3* — стол ножниц; *4* — лист; *5* — траверса; *6* — задний упор; *7* — заготовка

талей при их изготовлении может быть представлено общей схемой, изображенной на рис. 7.4. На рис. 7.5 в качестве примеров показаны частные схемы образования конечных размеров некоторых деталей на отдельных операциях их изготовления.

При изготовлении на токарном станке цилиндрической детали *2* (рис. 7.5, *а*) ее номинальные размеры $d_н$ и $L_н$ вначале воспроизводятся мерительным инструментом или лимбом поперечного и продольного перемещения суппорта станка; при этом образуются первичные размеры $d_п$ и $L_п$. Затем размеры $d_п$ и $L_п$ переносятся непосредственно на деталь, в результате образуются ее конечные размеры $d_к$ и $L_к$. Достижение последних осуществляется путем ряда пробных ходов и промеров, в результате которых возникает ряд промежуточных размеров.

Аналогичным образом осуществляется и образование размера $B_к$ детали при резке на гильотинных ножницах (рис. 7.5, *б*). Номинальный размер полосы $B_н$ предварительно воспроизводится с помощью шкалы масштабной линейки; по воспроизведенному размеру затем устанавливается задний упор *6* ножниц. В результате появляется первичный размер $B_п$ и настроечный размер ножниц $B_г$. При отрезке заготовки размер $B_г$ переносится на деталь, в результате чего образуется ее конечный размер $B_к$.

При вырубке заготовки штампом из полосы *2* (рис. 7.6) размеры рабочих элементов матрицы $L_м$ переносятся на развертку детали *4* с образованием ее конечных размеров $L_к$. Но размеры $L_м$, в свою очередь, образуются путем перенесения размеров $L_ш$ на матрицу *3*

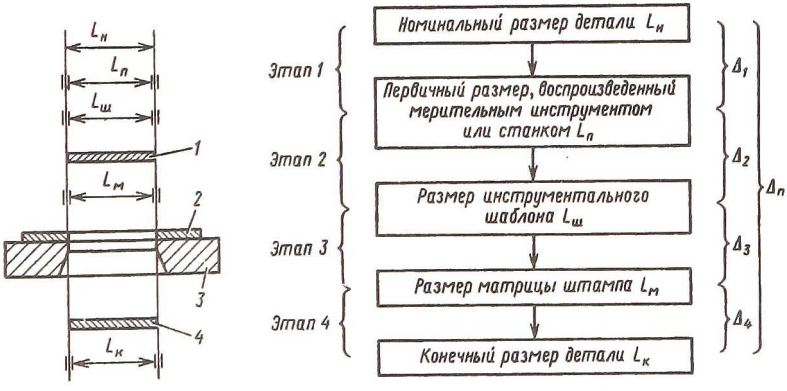


Рис. 7.6. Схема образования конечных размеров детали при вырубке штампом

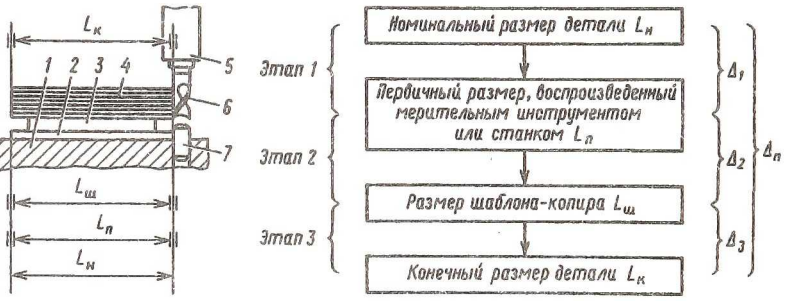


Рис. 7.7. Схема образования конечных размеров листовых заготовок при их изготовлении на копировально-фрезерном станке:
1 — стол; *2* — копир-шаблон; *3* — прокладка; *4* — пакет заготовок; *5* — шпиндель станка; *6* — фреза; *7* — копирный палец

с инструментального шаблона *1*, по которому обрабатываются ее рабочие элементы. Образование размеров шаблона $L_ш$ осуществляется путем воспроизведения с помощью мерительного инструмента номинальных размеров $L_н$, указанных на чертеже детали, и переноса полученных при этом первичных размеров $L_п$ на шаблон *1*.

Аналогичным образом осуществляется образование размеров плоских заготовок при изготовлении их на копировально-фрезерном станке (рис. 7.7).

Здесь номинальный размер $L_н$, указанный в чертеже, воспроизводится с помощью соответствующего мерительного инструмента. Образовавшийся при этом первичный размер $L_п$ переносится на шаблон-копир *2* с образованием его действительного размера $L_ш$. Последний с помощью упорного штифта *7* и фрезы *6* переносится на пакет заготовок *4* с образованием конечного размера детали $L_к$.

При сверлении отверстий по кондуктору образование первичного размера и перенос его на деталь могут быть осуществлены по схеме, показанной на рис. 7.8. При этом номинальный размер $L_н$, воспроизведенный мерительным инструментом или координатно-расточным станком (размер $L_п$), переносится на кондуктор *1* (размер $L_{пр}$), при сверлении отверстия по которому образуется конечный размер детали $L_к$.

Из приведенных примеров видно, что в зависимости от принятого частного технологического процесса изготовления детали и его технологического оснащения можно выделить два основных способа

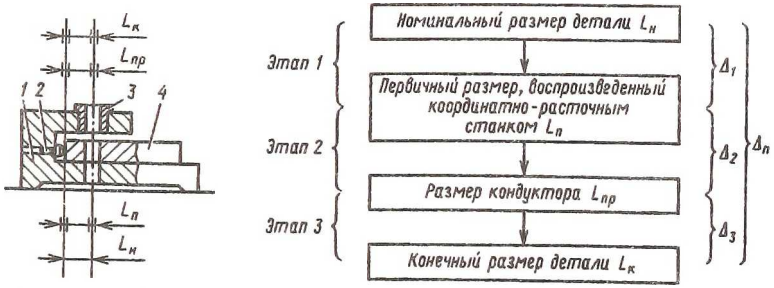


Рис. 7.8. Схема образования действительных размеров детали при сверлении отверстий по кондуктору:
1 — корпус кондуктора; *2* — боковой упор; *3* — кондукторная втулка; *4* — заготовка

достижения конечного размера детали на последних стадиях ее изготовления: способ индивидуального (непосредственного) достижения заданного размера (см. рис. 7.5, *а*) и способ его автоматического достижения.

При индивидуальном способе заданный (конечный) размер детали образуется без предварительной настройки оборудования и без применения специальных приспособлений, координирующих обрабатывающий инструмент относительно обрабатываемых поверхностей. Он образуется путем ряда пробных ходов инструмента и измерений, при которых размер детали постепенно приближается к заданному в чертеже номинальному размеру. На точность конечного размера при этом способе влияют в основном погрешности последнего рабочего хода и измерения, значения которых во многом определяются квалификацией исполнителя.

При изготовлении ЛА и их элементов этот способ применяется частично в опытном производстве, а также при единичном и мелкосерийном производстве. Широкое применение он нашел в производстве технологической оснастки (если ее изготовление рассматривается как самостоятельный процесс).

При автоматическом способе образования конечного размера детали изготовляются на предварительно настроенном оборудовании и приспособлениях или с использованием специальных (мерных) обрабатывающих инструментов. Точность деталей при этом практически не зависит от квалификации исполнителя, а определяется в основном точностью изготовления технологического оснащения, его настройки и отладки. Автоматический способ обеспечивает

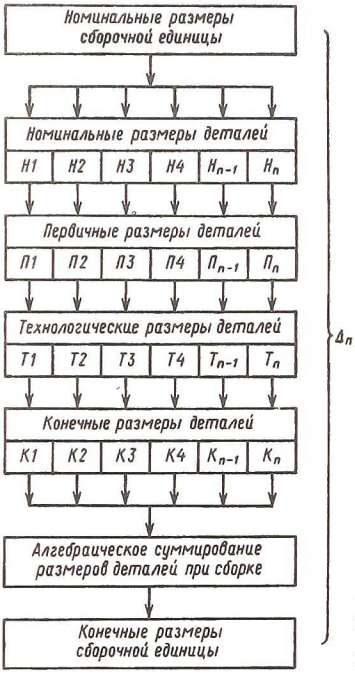


Рис. 7.9. Схема образования размеров сборочной единицы при сборке по СО

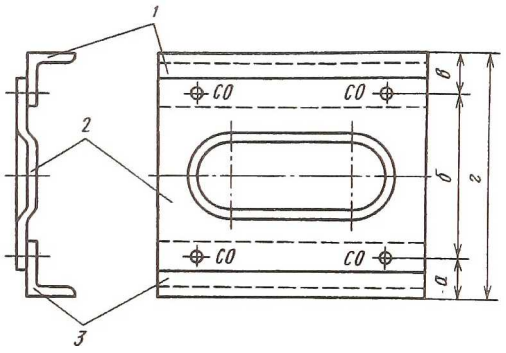


Рис. 7.10. Схема сборки по сборочным отверстиям

высокую производительность труда, стабильность технологических процессов и высокое качество изделий. Он характерен для среднесерийного, крупносерийного и массового производства. Он широко применяется на сборкс ЛА, где размеры и форма сборочных единиц образуются путем переноса их с базовых элементов сборочных приспособлений (ложементов, рубильников, мастер-плит).

Из деталей собираются узлы, панели и агрегаты ЛА, в процессе сборки образуются их конечные размеры. При этом характер образования последних зависит от принятой схемы (метода) сборки.

Упрощенная схема образования размеров сборочной единицы при сборкс с базой по сборочным отверстиям (СО), когда ее конечные размеры не ограничиваются жесткими опорными поверхностями базовых элементов (рубильников, ложементов) сборочного приспособления, а образуются в привязке к осям сборочных отверстий, приведена на рис. 7.9. В процессе сборки по СО конечные размеры деталей (расстояний между осями сборочных отверстий и опорными поверхностями деталей) алгебраически суммируются с образованием конечных размеров сборочной единицы.

Пример схемы такой сборки приведен на рис. 7.10. Конечный размер *г* сборочной единицы образуется суммированием

конечных размеров *а*, *б*, *в* деталей *1*, *2* и *3*, входящих в ее конструкцию (см. рис. 7.9).

С помощью размеров воспроизводятся требуемые служебным назначением изделия расстояния между его исполнительными поверхностями, форма и размеры этих поверхностей. Форму каждой детали или сборочной единицы, входящей в конструкцию планера ЛА и самого планера, в общем случае можно представить как совокупность геометрических объемов, ограниченных различными поверхностями. Геометрическая форма последних может быть как простейшей (плоской, цилиндрической, конической), так и сложной, образуемой перемещением заданных прямых и кривых линий в пространстве по определенному математическому закону.

В одном и том же изделии (детали, сборочной единице), а также в сопряженных элементах конструкции их поверхности взаимно связаны и определенным образом ориентированы относительно друг друга. Заданные в проекте форму поверхностей и их взаимное расположение называют номинальными, а поверхности и их взаимное расположение, полученные в результате изготовления изделия, называют действительными.

Поверхности элементов конструкции ЛА могут быть разделены на два вида: сопрягаемые и несопрягаемые. *Сопрягаемыми* называют поверхности, по которым детали соединяются в сборочные единицы, а сборочные единицы — в готовые изделия. *Несопрягаемыми или свободными* называют конструктивно необходимые поверхности, не предназначенные для соединения с поверхностями других элементов конструкции. Сопрягаемые поверхности в зоне сопряжения имеют обычно общие номинальные размеры.

В производстве ЛА точность выполнения сопрягаемых и несопрягаемых поверхностей (в частности, аэродинамических поверхностей, определяющих внешние обводы планера ЛА) играет исключительно важную роль в обеспечении высокого качества и заданных эксплуатационных показателей конструкции. Контроль точности поверхностей изделий осуществляется обычно в определенных плоских сечениях (например, в плоскостях нервюр при контроле аэродинамической поверхности крыла) с помощью жестких носителей формы и размеров (шаблонов). Конфигурацию поверхности в контролируемом сечении называют профилем поверхности в этом сечении.

7.4. ПОГРЕШНОСТИ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Понятие о производственной погрешности. Виды производственных погрешностей

Из элементарной теории образования размеров изделий при их изготовлении, изложенной в п. 7.3, следует, что номинальные размеры, заданные в чертеже, не могут быть выполнены абсолютно точно, так как в процессе воспроизведения и переноса на деталь или сборочную единицу они меняют свое значение. Поэтому между номинальными и действительными размерами всегда имеются те или иные расхождения.

Численное значение разности между действительными ($Д$) и номинальным ($Н$) размерами называют погрешностью размера или производственной погрешностью. Действительный размер может быть больше или меньше номинального, поэтому погрешность может быть положительной или отрицательной. В первом случае она увеличиваст действительный размер по сравнению с номинальным, во втором — уменьшает его. Обозначив производственную погрешность символом $\Delta_п$ в соответствии с изложенным можно написать

$$\Delta_п = \pm (Д - Н).$$

Из принятого ранее определения геометрической точности изготовления элемента конструкции следует, что производственная погрешность может служить мерой точности изготовления этого элемента.

Между погрешностью размера и точностью его выполнения имеется обратная зависимость: чем больше производственная погрешность, тем меньшее значение имеет показатель точности выполнения размера и наоборот.

В соответствии с этим условием математическое выражение показателя точности действительного размера можно представить зависимостью

$$\tau = 1/\Delta_п = \pm [1/(Д - Н)],$$

где τ — условный показатель точности действительного размера. Единицей измерения точности линейного размера при этом будет 1/мм.

Производственные погрешности возникают в процессе образования первичного размера и на каждом этапе его переноса при изготовлении детали. Поэтому общая (полная) производственная погрешность $\Delta_п$ будет равна алгебраической сумме поэтапных погрешностей размеров (см. рис. 7.4—7.8), т.е.

$$\Delta_п = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \ldots + \Delta_{n-1} + \Delta_n, \qquad (7.1)$$

где $\Delta_1 - \Delta_n$ — поэтапные погрешности размеров.

Из выражения (7.1) следует, что с увеличением числа этапов переноса размеров производственная погрешность изготовленного элемента конструкции будет расти, а показатель точности его изготовления уменьшаться.

Минимальное значение производственной погрешности и максимальное значение показателя точности будет иметь место в том случае, если перенос размера осуществляется за два этапа (см. рис. 7.5, *а*). При этом будет справедливо равенство

$$\Delta_п = \Delta_в + \Delta_д, \qquad (7.2)$$

где $\Delta_в$ — погрешность воспроизведения номинального размера; $\Delta_д$ — погрешность переноса воспроизведенного размера.

Конечный размер детали в этом случае будет образовываться путем непосредственного переноса на нее первичного (воспроизведенного) размера. В реальных условиях равенство (7.2) в большинстве случаев, особенно при изготовлении изделий сложной конфигурации, соблюсти не удается. Вместе с тем, для более легкого достижения высокой точности технолог должен всегда стремиться к тому, чтобы в технологическом процессе изготовления изделия этапов переноса размеров было как можно меньше. Это является одним из основных правил, которым следует руководствоваться при разработке технологических процессов изготовления изделий.

В процессе сборки элементов конструкции производственные погрешности, возникающие при изготовлении деталей, алгебраически

суммируются, в результате чего возникает суммарная производственная погрешность $\Delta_{п.сб}$ сборочной единицы (см. рис. 7.10)

$$\Delta_{п.сб} = \Delta_{д1} + \Delta_{д2} + \Delta_{д3} + \ldots + \Delta_{д(n-1)} + \Delta_{дn}, \qquad (7.3)$$

где $\Delta_{д1}$ - $\Delta_{дn}$ — погрешности размеров деталей, входящих в конструкцию сборочной единицы и определяющие ее действительный размер.

Из выражения (7.3) следует общее правило проектирования сборочных единиц: число деталей, входящих в их конструкцию, должно быть минимальным, так как при этом легче обеспечить более высокую точность их изготовления.

Кроме погрешностей размеров в процессе изготовления элементов конструкции и изделия в целом возникают погрешности других видов, к числу которых относятся: отклонения расположения поверхностей от геометрически заданного их расположения (отклонение от параллельности либо отклонение от перпендикулярности поверхностей, осей или оси и плоскости, несоосность, отклонение от симметричности и т.п.), отклонение формы от заданной в проекте (отклонение от плоскостности, отклонение от прямолинейности, отклонение от цилиндричности, овальность, огранка, отклонение профиля продольного либо поперечного сечения и т.п.), волнистость (неровность) поверхностей элементов конструкции (повторяющиеся на рассматриваемой поверхности неровности с определенными достаточно большими шагами) и, наконец, их шероховатость (совокупность неровностей с относительно малыми шагами).

В большинстве случаев погрешности этих видов непосредственно связаны с погрешностями размеров и зависят от их значения. Кроме производственных погрешностей, возникающих в процессе изготовления изделий, существуют еще теоретические погрешности, которые заранее предусматривают допустимые отклонения геометрических параметров изделий от теоретически заданных вследствие применения приближенных схем обработки. Последние используют в целях упрощения технологических процессов изготовления изделий (обработки) при обеспечении заданной точности их размеров и формы.

Причины возникновения производстенных погрешностей

Причинами возникновения всех видов погрешностей являются действия многочисленных технологических факторов, свойственных процессам производства. Каждый из этих факторов вызывает свои частные (первичные) погрешности, которые, суммируясь алгебраически, образуют общую (суммарную) производственную погрешность изготовления изделия. К частным (первичным) погрешностям относятся: погрешности изготовления оборудования, инструментов, приспособлений; погрешности их настройки и установки заготовок на станке, в приспособлении или в штамповом инструменте; погрешности, возникающие в результате размерного износа инструментов, приспособлений и оборудования; погрешности измерений; ошибки исполнителей; погрешности, возникающие в результате упругого деформирования заготовок, деталей и всей технологической системы (станок — приспособление — инструмент — заготовка) при силовом воздействии на них в процессах закрепления и обработки; температурное деформирование технологической системы.

При формообразовании деталей методами холодной штамповки главными источниками погрешностей служат упругие деформации, возникающие в процессе выполнения операции и исчезающие после снятия штампующей силы, что приводит к поводке (пружинению) деталей. При выполнении различных сборочных операций (клепка, сварка) погрешности возникают за счет местных упругопластических деформаций в процессе постановки заклепок, упругих деформаций за счет силового воздействия на собираемые элементы конструкции со стороны зажимов, фиксаторов и установочных баз сборочных приспособлений, неравномерного нагревания и охлаждения при сварке, местных деформаций при затяжке болтов и т.п.

Существенное влияние на возникновение производственных погрешностей и их значение оказывают внутренние напряжения, существующие в материалах детали (заготовки) при отсутствии каких-либо внешних воздействий (нагрузки, температура) и достигающие в ряде случаев весьма больших значений. Они внешне не проявляются, так как взаимно уравновешены.

Возникают внутренние напряжения вследствие линейной усадки отливок и неравномерного охлаждения поковок, неравномерного пластического деформирования при изготовлении заготовок и деталей, при их термической обработке (закалке) и других причин.

С течением времени они исчезают, деталь при этом деформируется, возникают погрешности ее размеров и формы. Деформирование, а следовательно, и погрешности могут возникнуть в процессе обработки вследствие нарушения равновесия внутренних напряжений.

По характеру действия факторы, вызывающие производственные погрешности, можно разделить на четыре категории. К первой из них относятся факторы, вызывающие постоянные по значению и знаку погрешности, которые для определенной партии изделий действуют в одном направлении с одинаковой интенсивностью и поэтому для всей партии имеют одинаковое значение. К ним относятся, например, погрешности изготовления оборудования и приспособлений; погрешности этого вида называют *систематическими постоянными*. Такую погрешность легко можно учесть при разработке и выполнении технологических процессов изготовления изделий. В частности, ее можно компенсировать искусственным введением в процесс обработки постоянной погрешности такого же значения, но обратного направления. Если систематическая погрешность направлена в сторону увеличения действительного размера, то искусственно введенная погрешность должна уменьшать этот размер и наоборот.

Ко второй категории относятся факторы, вызывающие погрешности, направление и (или) интенсивность которых в процессе изготовления изделий изменяются по определенному закону. Примерами могут служить погрешности, возникающие в результате размерного износа инструментов, приспособлений и оборудования. Такого рода погрешности называют *систематическими переменными*, или закономерно изменяющимися.

Их тоже можно (хотя и более сложно) учесть при разработке и осуществлении технологических процессов. В частности, такую погрешность можно компенсировать искусственным введением в процесс обработки погрешности, изменяющейся по такому же закону, но действующей в обратном направлении.

Например, при изготовлении на токарном станке длинного вала компенсировать износ режущей кромки резца можно соответствующим смещением центра задней бабки в горизонтальной плоскости. При изготовлении вала небольшой длины, когда погрешность ввиду износа режущей кромки не выходит за пределы допуска, предотвратить брак можно соответствующей настройкой технологического процесса. Так как износ резца увеличивает диаметр вала, то в начале обработки его надо установить так, чтобы получать детали с диаметром близким к наименьшему предельному размеру.

К третьей категории относится большое число независимых друг от друга случайных факторов, не имеющих определенной закономерности, к которым могут быть отнесены: нестабильность химических, физических и механических свойств обрабатываемых материалов, непостоянство размеров исходных заготовок и припусков на механическую обработку, неточность установки и закрепления заготовок и деталей в приспособлении и др. Они вызывают погрешности, которые называют *случайными*. Возникновение, знак и значение случайных погрешностей не могут быть заранее определены, их изменение от одного изделия к другому не подчиняется функциональной зависимости.

К четвертой категории относятся факторы, вызывающие грубые погрешности, которые явно не соответствуют процессу обработки или измерения. Они являются в основном следствием просчета, недосмотра или грубых ошибок. Погрешности этого вида легко обнаруживаются, так как чаще всего приводят к браку или требуют существенной доработки изделий. Поэтому они подлежат немедленному устранению.

7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПОГРЕШНОСТИ

Для решения многих задач, возникающих при разработке технологических процессов, конструировании инструментов и приспособлений важно знать суммарную операционную погрешность (т.е. погрешность при выполнении данной операции), которая возникает от действия совокупности технологических факторов, свойственных данному методу изготовления изделия или технологическому процессу.

Вследствие случайного характера действия технологических факторов третьей категории для изделий, входящих в состав изготовляемой партии или выборки, суммарная производственная погрешность может быть различной. Это явление называют рассеянием размеров деталей или производственных погрешностей. Для определения суммарной операционной погрешности, характера и границ ее рассеяния чаще всего пользуются так называемым статистическим методом, в основе которого лежат законы и правила теории вероятностей и математической статистики. Статистический метод позволя-

ет дать объективную количественную оценку точности применяемого метода изготовления заданного изделия без учета закономерностей изменения погрешностей первой и второй категорий.

Оценка точности при этом ведется на основе анализа экспериментальных данных, по которым строят практическую кривую распределения (гистограмму), характеризующую значение случайных погрешностей. Установлено, что с достаточной степенью точности рассеяние действительных размеров, происходящее в результате действия случайных факторов, подчиняется закону Гаусса. Погрешности первой категории (постоянные в пределах партии) на форму кривой распределения влияния не оказывают, а вызывают лишь некоторое смещение всей кривой в направлении горизонтальной оси гистограммы. Погрешности второй категории (закономерно изменяющиеся) оказывают влияние на форму кривой распределения.

Для построения кривой распределения изготовляют некоторое число изделий при стабильных условиях, замеряют каждое из них и сравнивают полученные действительные размеры с соответствующими номинальными размерами, указанными в чертеже. Для достижения необходимой точности измерения цена деления мерительного инструмента должна быть в 6 — 10 раз меньше максимальной погрешности размера. По данным замеров определяют поле погрешностей, рассеяние размеров в этом поле, статистический центр группирования (рассеяния) размеров, среднее квадратичное отклонение действительных размеров от центра их группирования.

Указанные параметры позволяют достаточно полно оценить точностные возможности технологического процесса (технологического метода), примененного для изготовления изделия. Причем, чем большее число изделий будет исследовано, тем точнее будут полученные результаты (рис. 7.11).

Под полем рассеяния $\omega_р$ размеров понимают величину, численно равную полю операционных погрешностей; оно определяется разностью между наибольшим $A_{д.нб}$ и наименьшим $A_{д.нм}$ действительными размерами:

$$\omega_р = A_{д.нб} - A_{д.нм}.$$

Центром группирования размеров называют значение среднего действительного размера, около которого располагается большинство остальных действительных размеров. Численное значение центра

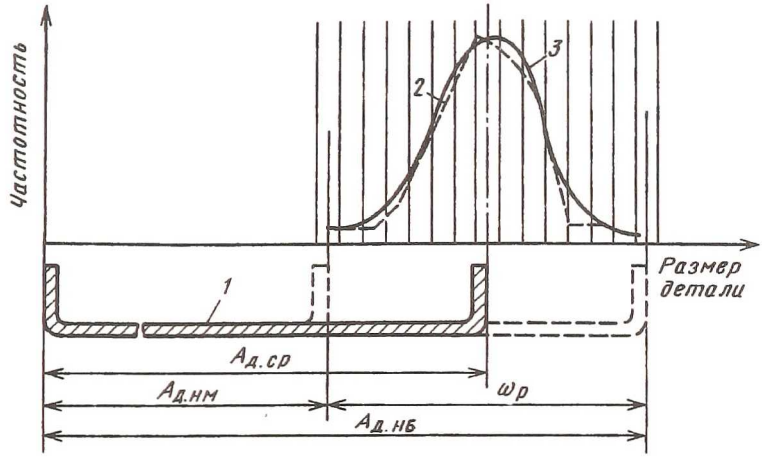


Рис. 7.11. Практическая *2* и теоретическая *3* кривые распределения размеров детали *1*

группирования определяется как среднее арифметическое значение размеров принятой партии изделий:

$$A_{д.ср} = \frac{A_{д1}K_1 + A_{д2}K_2 + \ldots + A_{дn}K_n}{K_1 + K_2 + \ldots + K_n},$$

где $A_{д1}$ - $A_{дn}$ — значения действительных размеров представителей интервалов; K_1 - K_n — частота попадания действительных размеров в выбранные интервалы. Число интервалов должно быть кратно числу изделий в анализируемой партии.

Среднее квадратичное отклонение σ действительных размеров от центра их группирования характеризует интенсивность рассеяния размеров в зоне центра группирования:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(A_{д1} - A_{д.ф})^2 K_1 + (A_{д2} - A_{д.ср})^2 K_2 + \ldots + (A_{дn} - A_{д.ср})^2 K_n}{K_1 + K_2 + \ldots + K_n}}.$$

По результатам измерения деталей строят практическую кривую распределения (рассеяния) их размеров. Для этой цели поле рассеяния делят на определенное число интервалов через равные

промежутки. Число интервалов должно быть 5 — 7 при 50 — 100 исследуемых изделий и 7 — 11 — при большем их числе. Подсчитывают число изделий в каждом интервале и делят на общее число измеренных изделий. Полученный результат будет характеризовать частотность попадания действительного размера в каждый интервал.

По оси ординат откладывают в выбранном масштабе частотность, по оси абсцисс — поле рассеяния размеров, разделенное на принятое число интервалов. В связи с тем, что в пределах каждого интервала находятся детали с разными размерами, для построения точек кривой определяют среднее арифметическое значение размера в данном интервале и из найденной таким образом точки восстанавливают перпендикуляр. Полученные точки соединяют плавной кривой (или отрезками прямых, дающих ломаную линию), которая и будет являться практической кривой распределения размеров деталей (см. рис. 7.11).

При увеличении числа деталей в исследуемой партии ломаная линия будет приближаться к плавной кривой, соответствующей нормальному распределению. Практическую кривую используют для предварительной оценки точности технологического процесса.

Построенную практическую кривую для более объективной оценки точности аппроксимируют теоретической кривой Гаусса (кривой *3* нормального распределения), уравнение которой имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \qquad (7.4)$$

где y — частота появления погрешностей, равная K; σ — среднее квадратичное отклонение агрумента; e — основание натуральных логарифмов; x — отклонение действительных размеров от средних, равное разности размера каждой детали (A_i) и среднего арифметического размера деталей в партии

$$x = A_{д\,i} - A_{д.ср}.$$

Для сопоставления и последующего анализа точности изготовления изделия теоретическая кривая *3* совмещается с практической кривой *2* (на рис. 7.11 она штриховая). Масштабы построения обеих кривых должны быть одинаковыми. С уменьшением параметра σ размеры

деталей более интенсивно группируются около центра рассеяния, кривая будет меньше растянута, что свидетельствует о меньшем рассеянии размеров и характеризует большую устойчивость технологического процесса.

Согласно уравнению (7.4) предельные отклонения размеров от центра их группирования могут быть ограничены полем $\pm 3\sigma$. Вероятность попадания размеров за эти пределы невелика и составляет лишь доли процента. Поэтому поле рассеяния $\omega_р$ может быть определено из уравнения

$$\omega_р = A_{д.нб} - A_{д.нм} \approx 6\sigma.$$

Иногда в целях повышения точности изделия границы поля рассеяния несколько сближают и берут их, например, в пределах $\pm 2\sigma$. При этом небольшая часть изделий потребует доработки или пойдет в брак. Но это может быть экономически более целесообразным, чем применение других более точных, но и более дорогих в исполнении технологических процессов.

Каждому технологическому процессу присущи свои специфические особенности, обусловливающие возникновение производственных погрешностей.

Суммарные производственные погрешности, возникающие при осуществлении некоторых технологических операций, применяемых в производстве летательных аппаратов, которые можно использовать при оценке точности частных технологических процессов, приведены ниже.

Технологический метод обработки	*Суммарная погрешность размера, мм*
Резка на гильотинных ножницах при ширине отрезаемой полосы:	
до 100 мм	0,6
св. 100 до 400 мм	0,8
от 400 до 1000 мм	1,3
То же при ширине отрезаемой полосы свыше 1000 мм	1,5
Зачистная и калибровочная разделительная штамповка деталей по наружному и внутреннему контуру	0,05
Вырубка и пробивка совмещенными штампами	0,1

Вырубка и пробивка совмещенными штампами без прижима заготовки	0,2
Вырубка и пробивка штампами последовательного действия	0,4
Гибка инструментальными штампами	0,4
Вытяжка инструментальными штампами	0,1
Формовка эластичной средой	0,3
Гибка с растяжением	0,8
Сверление по кондуктору (расстояние между центрами)	0,05
Черновое строгание	0,4
Чистовое строгание	0,1
Тонкое точение	0,02
Фрезерование черновое	0,2
Фрезерование чистовое	0,06
Сверление и зенкование (диаметр отверстия)	0,15
Развертывание предварительное	0,06
Развертывание окончательное	0,03
Точное шлифование	0,02
Тонкое шлифование	0,01
Хонингование обычное	0,03
Хонингование тонкое	0,02
Притирка	0,008

7.6. ДОПУСКИ РАЗМЕРОВ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

При современном уровне технологии производства машиностроительных изделий обеспечить абсолютно точное их изготовление практически невозможно. Производственные погрешности, снижающие точность изготовления изделий, неизбежны при любых методах формообразования, обработки и сборки. Вместе с тем для нормального функционирования изделий необходима определенная точность размеров их деталей и сборочных единиц. Поэтому в процессе проектирования последних назначаются допуски на их размеры, ограничивающие допустимые по эксплуатационным требованиям производственные погрешности.

Размеры деталей и сборочных единиц задаются двумя предельно допустимыми размерами, которые обозначаются условно $A \pm a$ (A — номинальный размер, a — допустимое отклонение действительного размера от номинального); наибольший предельный размер при этом

составит $A + a$, наименьший $A - a$. Разницу между наибольшим и наименьшим предельными размерами называют допуском размера.

Чем больше допуск размера, тем в более широком интервале возможно изменение (разброс) действительных размеров, и тем менее точным может быть технологический процесс изготовления изделия и, следовательно, для его выполнения потребуются меньшие трудовые затраты. Поэтому допуски должны назначаться не только исходя из эксплуатационных и чисто конструкторских требований. Существенную роль играют точностные возможности современных технологических методов и требования геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции. Конструктор, назначая допуски, должен помнить, что чрезмерное повышение точности требует более сложных технологических процессов изготовления изделий и дополнительных трудовых и материальных затрат на их осуществление, снижающих эффективность производства.

Таким образом, успешное решение проблемы геометрической точности возможно только при условии, если назначение допусков размеров, производительность труда и экономика производства будут рассматриваться и решаться во взаимной связи.

Напомним, что значения, указывающие допустимые погрешности действительных размеров относительно номинального размера, называют *допустимыми отклонениями*. Причем разность между наибольшим предельным и номинальным размерами называют верхним предельным отклонением, а разность между наименьшим предельным и номинальным размерами — нижним предельным отклонением. Пространство, ограниченное линиями допустимого нижнего и допустимого верхнего отклонений, называют *полем допуска*. Пространство, ограниченное линиями действительного нижнего и действительного верхнего отклонений, называют *полем погрешностей* размера. Отсчет заданных и фактически образующихся отклонений ведут от номинального размера.

Основной задачей технологии и производства является разработка и осуществление таких технологических процессов изготовления деталей или сборочных единиц, при которых полная (суммарная) погрешность размеров не выходила бы за пределы заданного в чертежах допуска, т.е. чтобы удовлетворялось условие

$$\delta \geq \omega,$$

где δ — поле допуска, ω — поле суммарной производственной погрешности.

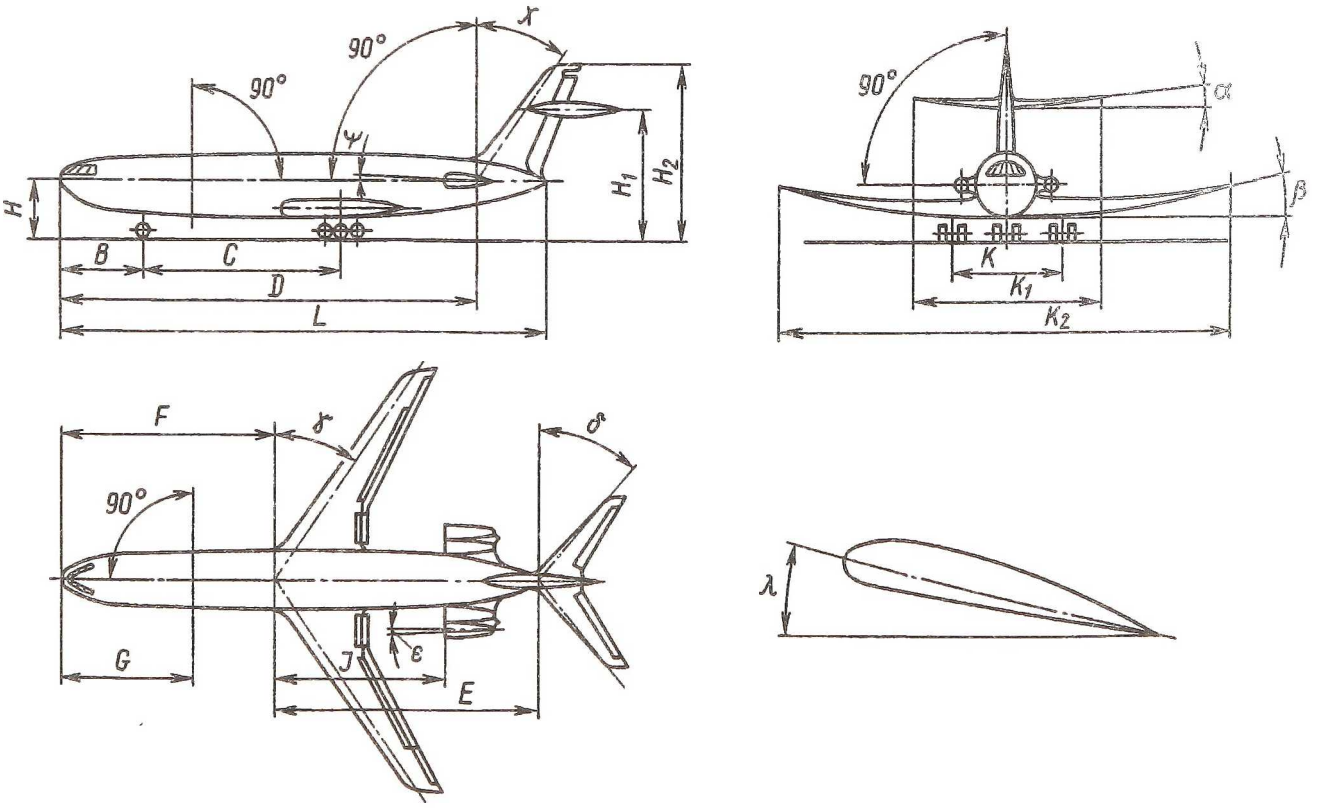


Рис. 7.12. Основные линейные и угловые размеры планера, предельно допустимые отклонения которых приводятся в чертеже

При использовании статистического метода действительная точность изготовленных изделий сопоставляется с требуемой точностью путем сравнения поля допуска δ с полем практического рассеяния. Зная среднее квадратичное отклонение σ, можно установить допуск размера, реальный для принятого технологического процесса изготовления $\delta \geq 6\sigma$.

В рабочих чертежах ЛА или в технических условиях на его изготовление допуски даются обычно на размеры теоретических контуров, их плавность, линейные и угловые размеры несущих поверхностей и агрегатов. Указываются также предельно допустимые размеры ступенек и зазоров, возникающих на аэродинамической поверхности при стыковке агрегатов, и зазоров между подвижными и неподвижнымми элементами планера. Таким образом, в рабочей конструкторской документации оговаривается точность выполнения лишь тех размеров планера, которые оказывают влияние на аэродинамические свойства, а следовательно, и на летно-эксплуатационные характеристики ЛА.

Основные линейные и угловые размеры, допуски на которые приводятся на чертежах общего вида самолета, показаны на рис. 7.12. Значение этих допусков зависит от летно-эксплуатационных характеристик и класса ЛА, например для пассажирских самолетов со скоростью полета 600 — 1000 км/ч допуски на угловые размеры (см. рис. 7.12) устанавливаются в пределах, приведенных ниже:

Угол	90°	α	β	γ	δ	ε	ψ	χ	λ
Допуск, мин (′)	±5	±5	±5	±30	±30	±2	±2	±30	±10

Предельные (допустимые) размеры зазоров при навеске рулей, элеронов, щитков, триммеров приведены на рис. 7.13, а предельно допустимые размеры ступенек при стыковке отсеков и агрегатов самолета — на рис. 7.14.

Шероховатость внешней поверхности планера в чертежах обычно не оговаривается. Этот вид погрешности относится в основном к элементам конструкции ЛА, имеющим общемашиностроительный характер: деталям шасси, цилиндров управления и т.п.

Однако в целях уменьшения сопротивления воздушному потоку для ЛА со сверхзвуковыми скоростями полета в чертежах дается указание о необходимости тщательной отделки (полирования) аэродинамических поверхностей планера.

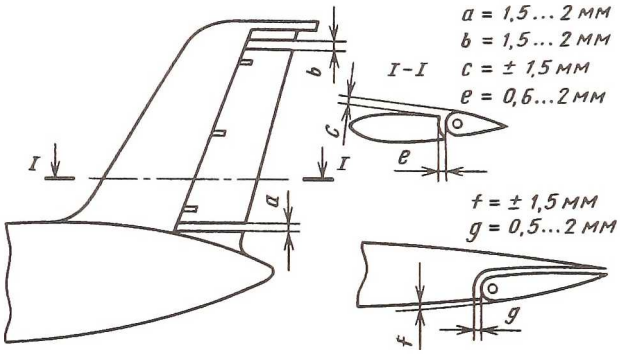


Рис. 7.13. Предельно допустимые размеры зазоров при навеске рулей самолета

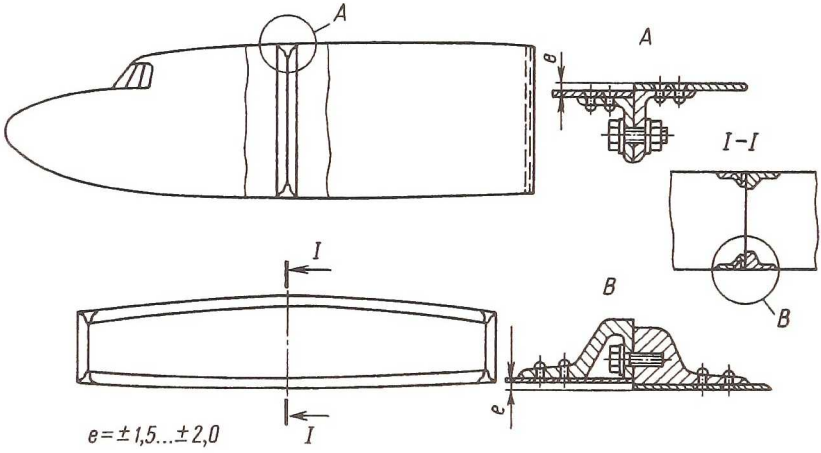


Рис. 7.14. Предельно допустимые размеры ступенек в стыках сборочных единиц

Допуски размеров деталей и узлов общемашиностроительного характера устанавливаются обычно применительно к стандартизованной системе допусков и посадок; квалитеты точности и посадки при этом устанавливаются в зависимости от эксплуатационных требований к изделиям и их элементам.

Требования к плавности теоретических контуров агрегатов самолета определяются допустимой волнистостью (неровностью) теоретической поверхности в направлении полета, которая характеризуется высотой волны h и отношением высоты волны к ее длине l (рис. 7.15).

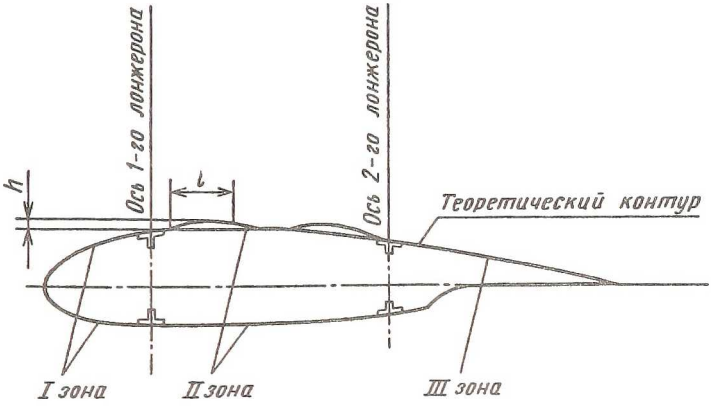


Рис. 7.15. Схема нарушения плавности теоретической поверхности агрегатов самолета

Допуски на волнистость зависят от зоны расположения поверхностей агрегатов по отношению к встречному потоку воздуха и от скорости полета. Более жесткие допуски устанавливаются на лобовые части агрегатов. С ростом скорости полета допуски ужесточаются.

Зависимость, характеризующая требования к плавности теоретических контуров агрегатов самолета в зависимости от скорости полета, приведена на рис. 7.16.

Точностные требования к внутренним элементам конструкции в чертежах ЛА обычно не оговариваются, за исключением некоторых жестких сопрягающихся

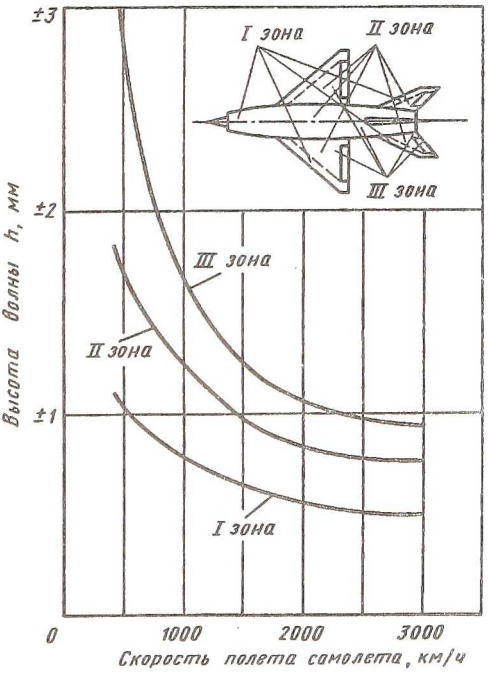


Рис. 7.16. Зависимость плавности теоретических контуров от скорости полета

деталей, изготовляемых на металлорежущих станках. Для большинства деталей (главным образом из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб) они определяются при разработке технологических процессов изготовления деталей и сборочных единиц, исходя из необходимости обеспечения требуемой точности выполнения теоретических обводов и стыковки агрегатов. Существенную роль при этом играет выполнение требований по обеспечению геометрической взаимозаменяемости сопрягаемых элементов конструкции.

8. ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Характер образования размеров деталей и сборочных единиц и возникновения производственных погрешностей, рассмотренный в пп. 7.2 — 7.4, позволяет применять для анализа процессов образования конечных размеров элементов конструкции ЛА основные положения теории размерных цепей, широко используемой в общем машиностроении. Оценка точности, проведенная с помощью аппарата размерных цепей, позволяет выбрать из нескольких возможных вариантов технологических процессов тот процесс, который более легко и с наименьшими затратами обеспечивает получение заданной в чертеже или техническими условиями точности изготовления детали или сборочной единицы. *Размерной цепью* в общем случае называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. Размеры в размерной цепи располагаются в определенной последовательности один за другим.

По характеру расположения в пространстве размеров, образующих размерные цепи, последние могут быть разделены на плоские, пространственные, линейные, угловые.

Размерную цепь называют *плоской*, если все составляющие ее размеры расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях. В последнем случае размерная цепь может быть спроектирована на одну плоскость без изменения составляющих ее размеров. В случае, если один или несколько размеров размерной цепи расположены в непараллельных плоскостях (под различными углами друг к другу), то ее называют *пространственной*.

Если размерная цепь служит для определения расстояний между поверхностями или осями, т.е. размеры цепи являются линейными, то ее называют *линейной*. В линейной размерной цепи размеры взаимопараллельны, поэтому ее называют также *параллельно-звеньевой*.

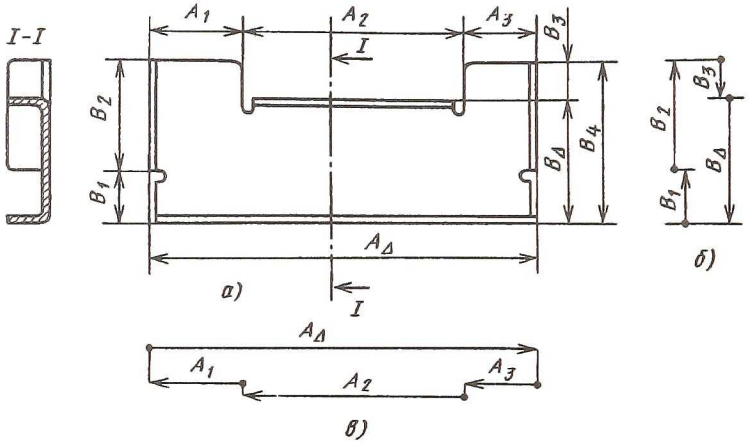


Рис. 8.1. Эскиз детали с плоско-параллельными размерными цепями

Угловой называют размерную цепь, которая образуется угловыми размерами.

Наиболее простой и вместе с тем наиболее широко распространенной в производстве ЛА является плоская (линейная) размерная цепь с параллельными размерами.

В настоящем учебнике рассматриваются только плоские параллельно-звеньевые линейные размерные цепи, которые наиболее часто приходится строить при решении подавляющего большинства технологических задач, связанных с изготовлением деталей и сборочных единиц ЛА.

Деталь с размерами A и B, образующими плоскопараллельные линейные вертикальную и горизонтальную размерные цепи, предназначеные для решения задач получения размеров A_Δ и B_Δ, показана на рис. 8.1, *а*. Графическое изображение этих размерных цепей в виде наглядных схем размерных связей показано на рис. 8.1, *б*, *в*.

Размерная цепь для решения задачи получения размера A_Δ проймы матрицы *1* вырубного штампа при ее обработке по шаблону *2* показана на рис. 8.2, *а*, для получения заданного размера B_Δ полосы материала при отрезке на гильотинных ножницах — на рис. 8.2, *б*.

Размеры A_1, A_2 и B_1, B_2 (см. рис. 8.2), составляющие размерные цепи и определяющие относительные расстояния между отдельными поверхностями элементов конструкции, называют *звеньями размерных цепей*. Размеры, которые возникают в результате постановки

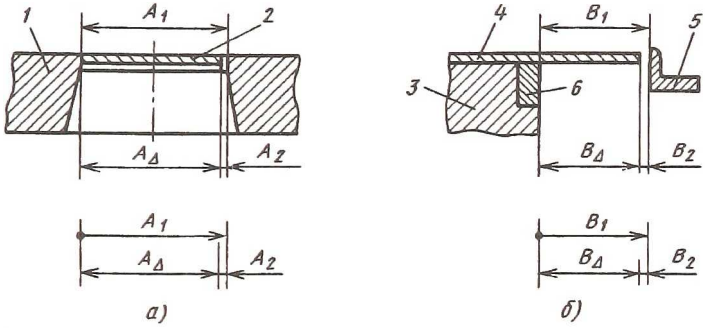


Рис. 8.2. Размерная цепь для получения конечного размера A_Δ:
1 — матрица; *2* — шаблон; *3* — стол ножниц; *4* — лист; *5* — задний упор; *6* — нижний нож

задачи, для решения которой используются размерные цепи, называют *исходным звеном*. С исходного звена начинается построение размерной цепи.

Звено, получаемое в размерной цепи последним в результате решения поставленной задачи (изготовления детали или сборочной единицы), называют *замыкающим звеном*. Исходным или замыкающим во всех случаях служит размер, непосредственно связывающий поверхности или оси, который необходимо обеспечить или определить в поставленной задаче (размеры A_Δ и B_Δ см. рис. 8.1). Исходное звено, возникающее в результате постановки задачи, становится замыкающим при ее решении. Замыкающее звено, например, образуется последним в результате изготовления детали или сборки узла. Его размер образуется в результате выполнения других размеров (составляющих звеньев).

Для обозначения звеньев линейной размерной цепи приняты прописные буквы русского алфавита, причем для составляющих звеньев — с индексом порядкового номера звена, а для замыкающего (исходного) звена — с индексом Δ.

В зависимости от задач, которые решаются с помощью размерных цепей, последние делят на конструкторские и технологические. Конструкторские размерные цепи предназначены для решения задачи по обеспечению необходимой точности при проектировании изделий. Например, их используют при расчете номинальных линейных и угловых размеров, определяющих взаимное расположение поверхностей или осей, допусков, координат середин полей допусков, а

также при выборе конструкторских баз, постановке размеров на чертежах и при решении других аналогичных задач.

Технологические размерные цепи применяют для решения задач по обеспечению заданной проектом точности размеров при изготовлении изделий. Сюда относятся задачи, которые возникают при разработке технологических процессов изготовления и сборки деталей, расчете и выборе технологических и измерительных баз, определении операционных размеров и припусков, размеров и баз при проектировании технологической оснастки и т.п.

Все эти задачи непосредственно связаны с технологическим обеспечением заданной точности и взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА.

В состав размерных технологических цепей кроме основных размеров, указанных в чертеже или полученных путем их пересчета, в качестве составляющих звеньев включаются также изменения первичного размера (погрешности) в результате его поэтапного переноса (см. рис. 8.2).

Параметры замыкающего (исходного) звена размерной цепи (номинальный размер, его отклонения, поле допуска или погрешности) находятся в функциональной зависимости от соответствующих параметров составляющих звеньев. Каждое из последних может изменяться в пределах своего допуска. Эти изменения вызывают соответствующие изменения исходного или замыкающего звена.

По отношению к исходному (замыкающему) звену составляющие звенья делятся на группы звеньев, уменьшающих или увеличивающих замыкающий или исходный размер. К группе увеличивающих относятся звенья, с увеличением которых замыкающее (исходное) звено возрастает; к группе уменьшающих относятся звенья, с увеличением которых замыкающее (исходное) звено уменьшается.

На рис. 8.1, *б* звеном, уменьшающим замыкающий размер B_Δ, будет звено B_3, а увеличивающим его — звенья B_1 и B_2. На рис. 8.1, *в* все составляющие звенья (A_1, A_2 и A_3) относятся к группе увеличивающих замыкающий размер A_Δ.

Если в конструкции изделия за счет изменения какого-либо составляющего звена поглощается излишнее (против допустимого) отклонение замыкающего звена, то такое составляющее звено называют *компенсирующим*. Например, в сечении руля высоты, изображенном на рис. 8.3, *а*, звено A_2 (толщина прокладки) является компенсирующим. В производстве ЛА и технологической оснастки

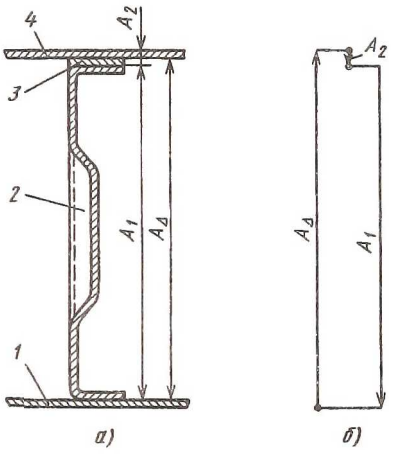


Рис. 8.3. Компенсирующее звено в размерной цепи:
1 — внешняя обшивка; *2* — деталь; *3* — прокладка; *4* — верхняя обшивка

компенсирующие звенья получили широкое применение (см. рис. 6.2, *б*, *в*). Если какое-либо звено одновременно принадлежит нескольким размерным цепям, то его называют общим.

Поскольку погрешности размеров возникают на всех этапах их переноса, каждый из которых связан либо с изготовлением деталей, либо с их сборкой, для упрощения решения задачи анализа точности технологические размерные цепи делят на операционные, подетальные, сборочные и полные.

Операционные размерные цепи строят для одной операции технологического процесса. В состав размерной операционной цепи в качестве замыкающего звена входит размер элемента конструкции, полученный в разультате выполнения операции, а в качестве составляющих звеньев — первичный размер и его поэтапные изменения. К числу операционных могут быть, например, отнесены приведенные выше размерные цепи, одна из которых предназначена для решения размерной задачи при изготовлении технологической оснастки (рис. 8.2, *а*), другая — при изготовлении листовой детали (рис. 8.2, *б*).

Операционные размерные цепи имеют наименьшую погрешность замыкающего звена по сравнению с другими технологическими размерными цепями.

Подетальная размерная цепь описывает технологический процесс изготовления детали и поэтому она строится для всех операций, вызывающих изменение геометрических параметров детали при ее изготовлении и учитывает погрешности размеров, возникающие на каждой операции технологического процесса. В качестве примера подетальной размерной цепи можно привести горизонтальную и вертикальную размерные цепи, показанные на рис. 8.1. Суммарная погрешность замыкающего звена подетальной размерной цепи учитывает погрешности, которые возникают на всех этапах переноса первичного размера на деталь.

Сборочные размерные цепи описывают технологический процесс сборки элемента конструкции и поэтому они отражают изменение погрешности геометрических размеров сборочной единицы на всех операциях процесса сборки. Простейшая сборочная размерная цепь показана на рис. 8.3, *б*.

Полные размерные цепи включают суммарные погрешности, которые возникают как в процессе сборки узла, так и при изготовлении деталей, входящих в сборочную единицу. В связи с этим полная размерная цепь позволяет установить связь между производственными погрешностями конечных размеров сборочной единицы и погрешностями, возникающими на отдельных этапах технологических процессов изготовления деталей, входящих в состав сборочной единицы.

8.2. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕОРИИ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Для решения технологических задач, связанных с определением геометрических размеров элементов конструкции и обеспечением заданной точности их изготовления, применяют следующие основные выводы и закономерности теории размерных цепей.

1. Замкнутость размерной цепи. Любая размерная цепь начинается с одного конца исходного (замыкающего) звена и заканчивается у противоположного ее конца, создавая замкнутый контур. В этом можно убедиться на примерах размерных цепей, показанных на рис. 8.1 и 8.2.

2. Равенство номинального размера исходного звена алгебраической сумме номинальных размеров всех составляющих звеньев. Эта закономерность вытекает непосредственно из первой закономерности. В самом деле, исходя из условия замкнутости размерной цепи, можно написать равенство

$$A_\Delta = (A_1 + A_2 + \ldots + A_m) - (B_1 + B_2 + \ldots + B_n)$$

или (8.1)

$$A_\Delta = \sum_1^m A_i - \sum_1^n B_j,$$

где A_Δ — исходное (замыкающее) звено размерной цепи; A_1 - A_m — увеличивающие звенья; B_1 - B_n — уменьшающие звенья; m — число увеличивающих звеньев; n — число уменьшающих звеньев. Уравнение (8.1) является исходным при решении всевозможных задач, связанных с расчетом размерных цепей, его называют *основным уравнением размерной цепи* или *уравнением замыкающего звена* и применяют для расчета номинальных значений замыкающих (исходных), а также составляющих звеньев. Его используют также для получения других расчетных уравнений, предназначенных для нахождения предельных размеров, отклонений, допусков.

При отсутствии в размерной цепи уменьшающих звеньев (см. рис. 8.1, *в*) уравнение (8.1) принимает вид

$$A_\Delta = \sum_1^m A_i.$$

Следует отметить, что вследствие замкнутости любой размерной цепи равенство (8.*1*) справедливо не только для номинальных, но и для действительных размеров изделий.

3. Равенство погрешности замыкающего (исходного) звена алгебраической сумме погрешностей всех составляющих звеньев. В самом деле, в соответствии с понятием погрешности размера (см. п. 7.4) погрешности увеличиваемых звеньев

$$A_{д1} - A_{н1} = \Delta_{A1};\ A_{д2} - A_{н2} =$$

$$= \Delta_{A2} \ldots A_{дi} - A_{нi} = \Delta_{Ai};$$

погрешности уменьшающих звеньев

$$B_{д1} - B_{н1} = \Delta_{B1};\ B_{д2} - B_{н2} =$$

$$= \Delta_{B2} \ldots B_{дj} - B_{нj} = \Delta_{Bj},$$

а погрешности замыкающего звена

$$A_{\Delta д} - A_{\Delta н} = \Delta_A,$$

где $A_{нi}$ и $A_{дi}$ — номинальный и действительный (соответственно) размеры i-го увеличивающего звена; $B_{нj}$ и $B_{дj}$ — номинальный и

действительный размеры j-го уменьшающего звена; $A_{\Delta н}$ и $A_{\Delta д}$ — номинальный и действительный размеры замыкающего звена; Δ_{Ai}, Δ_{Bj} и Δ_A — погрешности размеров соответственно увеличивающего, уменьшающего и замыкающего звеньев.

Учитывая, что уравнение (8.1) справедливо не только для номинальных, но и для действительных размеров, подставим в него найденные из указанных выше выражений значения действительных размеров замыкающего и составляющих звеньев:

$$A_{\Delta н} + \Delta_A = \sum_1^m (A_{нi} + \Delta_{Ai}) - \sum_1^n (B_{нj} + \Delta_{Bj}). \qquad (8.2)$$

После элементарных преобразований выражения (8.2) с учетом равенства нулю алгебраической суммы номинальных размеров составляющих и исходного (замыкающего) звеньев размерной цепи, получим

$$\Delta_A = \sum_1^m \Delta_{Ai} - \sum_1^n \Delta_{Bj}. \qquad (8.3)$$

Уравнение (8.3) выражает математическую связь между погрешностями размеров составляющих и замыкающего звеньев и носит название *уравнения производственных погрешностей* плоско-параллельной размерной цепи; оно лежит в основе расчета размерных цепей, например, при решении технологических задач по сборке изделий, при которой погрешности размеров соединяемых деталей, алгебраически суммируясь, образуют погрешность замыкающего звена.

Вытекающее из уравнения (8.3) правило называют *правилом суммирования погрешностей*, оно заключается в следующем: погрешность замыкающего звена равна алгебраической сумме погрешностей составляющих звеньев.

Точность, с которой должно быть выполнено замыкающее (исходное) звено, характеризуется допуском на его размер, который определяется конструктором в соответствии с функциональным назначением элемента конструкции и эксплуатационными требованиями к точности его геометрических параметров. В задачу технологических расчетов с помощью размерных цепей входит определение допусков или полей погрешностей на все составляющие звенья, которые участвуют в образовании замыкающего звена.

Наибольшее предельное значение размера замыкающего звена будет при наибольших размерах всех увеличивающих звеньев цепи ($\sum A_{i\max}$) и наименьших размерах всех уменьшающих звеньев ($\sum B_{j\min}$):

$$A_{\Delta\max} = \sum_{1}^{m} A_{i\max} - \sum_{1}^{n} B_{j\min}. \tag{8.4}$$

Наименьшее предельное значение размера замыкающего звена будет при наименьших размерах всех увеличивающих звеньев ($\sum A_{i\min}$) и наибольших размерах всех уменьшающих звеньев ($\sum B_{j\max}$) размерной цепи

$$A_{\Delta\min} = \sum_{1}^{m} A_{i\min} - \sum_{1}^{n} B_{j\max}. \tag{8.5}$$

Вычтя почленно уравнение (8.5) из уравнения (8.4), получим

$$A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} = \sum_{1}^{m} (A_{i\max} - A_{i\min}) + \sum_{1}^{n} (B_{j\max} - B_{j\min})$$

или

$$\omega_A = \sum_{1}^{m} \omega_{Ai} + \sum_{1}^{n} \omega_{Bj}, \tag{8.6}$$

где ω_A — поле погрешностей замыкающего звена, ω_{Ai} и ω_{Bj} — поля погрешностей соответственно увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи.

Формулу (8.6) называют *уравнением полей погрешностей размерной цепи*. Она показывает, что поле погрешностей замыкающего звена равно арифметической сумме полей погрешностей составляющих звеньев размерной цепи.

Для обеспечения заданной точности замыкающего звена должно быть соблюдено условие

$$\omega_A \leq \delta_A, \tag{8.7}$$

где δ_A — поле допуска размера замыкающего звена.

В случае, если в размерной цепи имеются только увеличивающие звенья, равенство (8.6) примет вид

$$\omega_A = \sum_1^m \omega_{Ai}. \tag{8.8}$$

С учетом выражения (8.7) формулы (8.6) и (8.8) можно переписать в виде

$$\delta_A = \sum_1^m \delta_{Ai} + \sum_1^n \delta_{Bj} = \sum_1^{m+n} |\delta_{AiBj}| \tag{8.9}$$

и

$$\delta_A = \sum_1^m |\delta_{Ai}|,$$

где δ_A — допуск замыкающего звена; δ_{Ai} и δ_{Bj} — допуски составляющих звеньев.

Уравнение (8.9) показывает, что допуск замыкающего (исходного) звена равен арифметической сумме допусков составляющих звеньев. Оно выражает основное правило допусков, которое используется при выполнении точностных расчетов при проектировании и изготовлении элементов конструкции.

8.3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Для полного размерного анализа технологического процесса изготовления сборочной единицы необходимо строить все размерные цепи в следующей последовательности: операционные, подетальные, сборочные, полные. Вместе с тем, в связи с простотой и очевидностью образования операционных размерных цепей на детали простой конструкции и на простейшие сборочные процессы их обычно не строят.

Во все технологические размерные цепи могут быть включены операционные размеры и их погрешности, которые возникают при изготовлении технологической оснастки. Однако для упрощения задачи размерные цепи на изготовление инструментов и приспособлений целесообразно строить отдельно с учетом всех этапов переноса первичного размера, а затем в операционные, подетальные, сборочные и полные размерные цепи вносить суммарные изменения первичного размера и погрешности, которые возникают при изготовлении оснастки.

В большинстве случаев требуется решение обратной задачи, т.е. определение допуска на размер замыкающего звена размерной цепи приспособления или инструмента в зависимости от решения технологической размерной цепи на операцию, деталь или сборочную единицу ЛА с учетом допуска, установленного в проекте или технологическом процессе на сопрягающийся или выходящий на контур ЛА размер.

Построение технологических размерных цепей для решения размерных задач во всех случаях осуществляется на основе предварительно разработанных технологических процессов изготовления деталей, сборки узлов и других сборочных единиц, а также процессов изготовления технологической оснастки, связанной с образованием размеров элементов конструкции ЛА.

В каждом отдельном случае вначале определяется и графически воспроизводится схема обеспечения увязки элементов конструкции изделия и технологической оснастки, затем строится размерная схема технологического процесса, учитывающая все этапы переноса размера. При этом учитываются принятые упрощения и допущения, а также вызываемые ими погрешности.

Следует подчеркнуть, что главным вопросом при использовании теории размерных цепей для точностных расчетов является четкая

постановка задачи, которую требуется решить. Только после ее определения следует приступать к построению размерной цепи, с помощью которой должно быть осуществлено решение этой задачи.

Каждую размерную цепь строят относительно своего исходного (замыкающего) звена. Поэтому вначале необходимо выявить именно это звено размерной цепи. Исходным (замыкающим) звеном технологической размерной цепи является чертежный размер (например, сборочный размер узла) либо размер шаблона, либо математическая запись размера контура детали на магнитную ленту или перфокарту. Исходный (замыкающий) размер обычно определяет расстояние либо относительный поворот поверхностей детали при ее изготовлении или деталей в процессе сборки.

Определив исходное (замыкающее) звено, приступают к построению расчетной схемы размерной цепи, которая представляет собой ее графическое изображение (см. рис. 8.1, *б*, *в*). С этой целью вначале выявляют, какие именно размеры должны составлять размерную цепь (т.е. определяют все составляющие звенья) и выделяют из них размеры, увеличивающие и уменьшающие исходное (замыкающее) звено, в том числе и компенсирующее звено (в случае его наличия в конструкции детали). Затем в одном направлении (например, справа налево) в произвольном масштабе откладывают последовательно одно за другим звенья, увеличивающие замыкающий размер, и в противоположном направлении (в параллельном ряду) — замыкающий размер и звенья, его уменьшающие.

Далее, последовательным обходом всех звеньев, проверяют замкнутость размерной цепи, которая служит показателем правильности построения расчетной схемы и обеспечивает правомерность последующих размерных расчетов.

8.4. РАСЧЕТЫ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При расчете размерных цепей могут решаться две основные задачи: 1) по установленным размерам и допускам составляющих звеньев определяют номинальный и предельные размеры замыкающего звена, его допуск и предельные отклонения; 2) по установленному размеру, отклонениям и допуску исходного звена определяют предельные размеры, отклонения и допуски составляющих звеньев.

При решении первой задачи в качестве замыкающего следует принимать наименее ответственный размер, который может иметь срав-

нительно большие отклонения без ухудшения качества и эксплуатационных свойств изделия. При решении второй задачи из всех составляющих звеньев надо выбрать наименее ответственное звено, которое при изготовлении изделия может иметь наибольшие отклонения, и основные погрешности стремиться свести к этому звену.

Размерные расчеты при решении обеих задач могут вестись двумя методами: вероятностным и на максимум — минимум. Метод расчета на максимум — минимум основан на предположении, что при изготовлении изделий (деталей, сборочных единиц) возможно неблагоприятное сочетание крайних значений всех составляющих звеньев (т.е. увеличивающих звеньев, имеющих наибольшие предельные размеры с уменьшающими звеньями, имеющими наименьшие предельные размеры, и наоборот), при котором производственная погрешность имеет максимально возможное значение. Этот метод наиболее прост в использовании, нагляден, имеет малую трудоемкость вычислительных работ и обеспечивает высокий уровень взаимозаменяемости при изготовлении и эксплуатации изделия.

Вместе с тем ему свойственны большие запасы точности, в связи с чем допуски составляющих размеров, особенно в размерных цепях, содержащих большое число звеньев, могут иметь чрезмерно малое значение, затрудняющее изготовление изделий. Метод эффективен при размерных цепях, имеющих относительно малое число составляющих звеньев, а также при наличии компенсирующего звена.

Применяют его и в тех случаях, когда распределение случайных погрешностей не подчиняется закону нормального распределения, что имеет место при нестабильных технологических процессах изготовления изделий (например, при больших объемах ручных работ) и малых объемах производства (единичное, мелкосерийное).

Вероятностный метод основан на использовании закономерностей теории вероятностей и математической статистики. По сравнению с расчетом на максимум — минимум он позволяет расширить допуски составляющих звеньев размерной цепи и тем самым несколько упростить изготовление изделий. Однако при этом методе возникает риск появления небольшого числа бракованных изделий, размеры которых вышли за пределы допуска.

Вероятностный метод применим при высокой стабильности технологических процессов изготовления изделий и при сравнительно больших объемах производства (средне- и крупносерийное, массовое производство), когда распределение случайных погрешностей соответствует закону нормального распределения или близко к нему.

В производстве ЛА в связи с малыми объемами производства, нестабильностью технологических процессов изготовления большинства деталей из листовых материалов, прессованных профилей и труб, а также клепаных и сварных сборочных единиц (особенно при плазово-шаблонном методе обеспечения взаимозаменяемости) и наличием компенсирующих звеньев в большинстве сборочных размерных цепей для размерных расчетов наиболее широкое применение получил метод расчета на максимум — минимум. Расчет при этом ведется по формулам, приведенным в п. 8.2.

Вероятностный метод в производстве ЛА получил ограниченное применение для размерных расчетов сравнительно небольшой номенклатуры изделий, в основном механосборочных узлов и деталей, изготовляемых на металлорежущих станках.

9. УВЯЗКА РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

9.1. ПОНЯТИЕ ОБ УВЯЗКЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ В ЗОНЕ ИХ СОПРЯЖЕНИЯ

В процессе изготовления ЛА точность и взаимозаменяемость отдельных элементов их конструкции определяется не только и не столько точностью изготовления этих элементов, сколько степенью взаимной согласованности их геометрических параметров в зоне сопряжения. Именно по этой причине для обеспечения необходимой точности стыковки агрегатов допуски чаще всего устанавливаются не на размеры агрегатов в зоне их соединения друг с другом, а на ступеньки и зазоры, которые возникают в процессе стыковки (см. рис. 7.14 и 7.15). Этим самым контролируется взаимная согласованность размеров и формы сечения агрегатов в зоне стыка.

По этой же причине для обеспечения необходимой точности пространственных деталей из листового материала допуска устанавливаются не на их размеры, а на зазоры (неприлегание) между поверхностями жесткой контрольной оснастки и детали или между сопрягаемыми деталями. В этом случае контролируется степень соответствия размеров и формы детали и контрольно-доводочной заготовительно-штамповочной оснастки либо формы и размеров соединяемых деталей в зоне сопряжения.

Взаимное согласование геометрических размеров и формы элементов конструкции ЛА в зоне их соединения или прилегания называют *увязкой геометрических параметров* этих элементов.

С целью обеспечения необходимого качества изделий процесс увязки распространяют не только на элементы их конструкции, но и на технологическую оснастку, с применением которой осуществляется их изготовление или сборка. Например, существенную роль в обеспечении качества изделий и их сборки играет повышение точности взаимной увязки геометрических параметров заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки.

Степень увязки при этом можно проконтролировать либо с помощью соответствующих жестких носителей формы и размеров путем измерения зазоров между ними и соответствующими контурами оснастки, либо путем непосредственного сопоставления заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки с измерением зазоров между их поверхностями в зоне сопряжения. В случае изготовления пространственных деталей из листовых материалов, образующих теоретические обводы планера, контрольную заготовительно-штамповочную оснастку можно сопоставить с соответствующими фиксирующими элементами сборочной оснастки и по зазорам между ними судить о степени согласованности их формы и размеров.

Чем меньше будут указанные зазоры, тем будет выше точность увязки сопрягаемых элементов.

Очевидно, что для обеспечения необходимой точности увязки размеры рабочих элементов технологической оснастки, в свою очередь, должны быть согласованы с соответствующими размерами сборочной единицы и деталей, входящих в ее конструкцию; это обеспечит комплексную увязку элементов конструкции и технологической оснастки.

Под *точностью взаимной увязки* двух сопрягающихся размеров A и $Б$ понимают степень соответствия разности их действительных значений ($A_д$ и $Б_д$) разности этих размеров, предусмотренных в проекте (т.е. разности номинальных размеров $A_н - Б_н$).

При этом разность

$$(A_д - Б_д) - (A_н - Б_н) = \Delta_{АБ} \qquad (9.1)$$

называют *производственной погрешностью* $\Delta_{АБ}$ взаимной увязки размеров A и $Б$.

Представив равенство (9.1) в виде

$$\Delta_{АБ} = (A_д - A_н) - (Б_д - Б_н)$$

и имея в виду, что $A_д - A_н = \Delta_A$ и $Б_д - Б_н = \Delta_Б$, получим зависимость, характеризующую погрешность увязки

$$\Delta_{АБ} = \Delta_A - \Delta_Б, \qquad (9.2)$$

где $\Delta_А$ — производственная погрешность размера $А$, $\Delta_Б$ — производственная погрешность размера $Б$. Зависимость (9.2) называют *уравнением производственной погрешности* взаимной увязки размеров сопряженных элементов конструкции изделия или технологической оснастки. Она показывает, что производственная погрешность взаимной увязки размеров равна разности производственных погрешностей этих размеров.

Производственная погрешность увязки размеров является мерой точности их увязки. В связи с этим для обеспечения надлежащего качества изделия погрешность увязки размеров его элементов не должна выходить за пределы полей допусков, установленных проектом.

Между точностью и погрешностью увязки, так же как и между точностью и погрешностью размера, существует обратная зависимость: чем меньше погрешность увязки, тем выше ее точность и наоборот.

Уравнение производственной погрешности увязки размеров сопрягаемых элементов конструкции можно преобразовать в уравнение полей погрешности. Наибольшая и наименьшая погрешности увязки в соответствии с уравнением (9.2) будут иметь вид:

$$\Delta_{АБ\,нб} = \Delta_{А\,нб} - \Delta_{Б\,нм},$$

$$\Delta_{АБ\,нм} = \Delta_{А\,нм} - \Delta_{Б\,нб}.$$

Если вычесть второе уравнение из первого с учетом того, что

$$\Delta_{АБ\,нб} - \Delta_{АБ\,нм} = \omega_{АБ},$$

то получим

$$\Delta_{А\,нб} - \Delta_{Б\,нм} - \Delta_{А\,нм} + \Delta_{Б\,нб} = \Delta_{А\,нб} - \Delta_{А\,нм} +$$

$$+ \Delta_{Б\,нб} - \Delta_{Б\,нм} = \omega_А + \omega_Б$$

или

$$\omega_{АБ} = \omega_А + \omega_Б. \qquad (9.3)$$

Таким образом, поле погрешности увязки равно сумме полей погрешности сопрягаемых размеров. Из этого уравнения следует, что для обеспечения необходимой точности увязки размеров необходимо

сопрягаемые элементы конструкции изготовлять со значительно более высокой точностью.

Вместе с тем, в производстве ЛА к точности увязки элементов конструкции обычно предъявляются значительно более высокие требования, чем к точности их изготовления, что, в свою очередь, ведет к специфическим требованиям к технологии производства ЛА, которая должна обеспечивать высокую точность увязки в процессе изготовления деталей и сборки узлов на сопрягаемые элементы конструкции.

Две или более сопрягающиеся части изделия всегда имеют по меньшей мере один общий номинальный размер, заданный в проекте. Воспроизведенный каким-либо средством измерения он будет являться общим первичным размером подетальных размерных цепей, описывающих технологические процессы изготовления этих частей. Кроме общего первичного размера подетальные размерные цепи на увязываемые объекты могут иметь общие (связанные) технологические размеры. В зависимости от числа связанных размеров технологические процессы изготовления элементов конструкции изделия и увязки их размеров и формы будут различными.

В производстве ЛА нашли применение два отличных друг от друга по числу связанных размеров способа достижения необходимой точности увязки размеров и формы элементов конструкции и технологической оснастки, построенных:

по принципу независимого образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции;

по принципу зависимого (связанного) образования размеров и формы сопрягаемых элементов.

Ниже рассмотрены сущность и области применения этих способов.

9.2. НЕЗАВИСИМОЕ ОБРАЗОВАНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ

Процессы изготовления элементов конструкции, размерные цепи которых имеют общий первичный размер и других общих звеньев не имеют, называют *независимыми*. Процессы увязки этих элементов конструкции и соответствующей им технологической оснастки называют процессами, построенными по принципу независимого образования размеров и формы при изготовлении

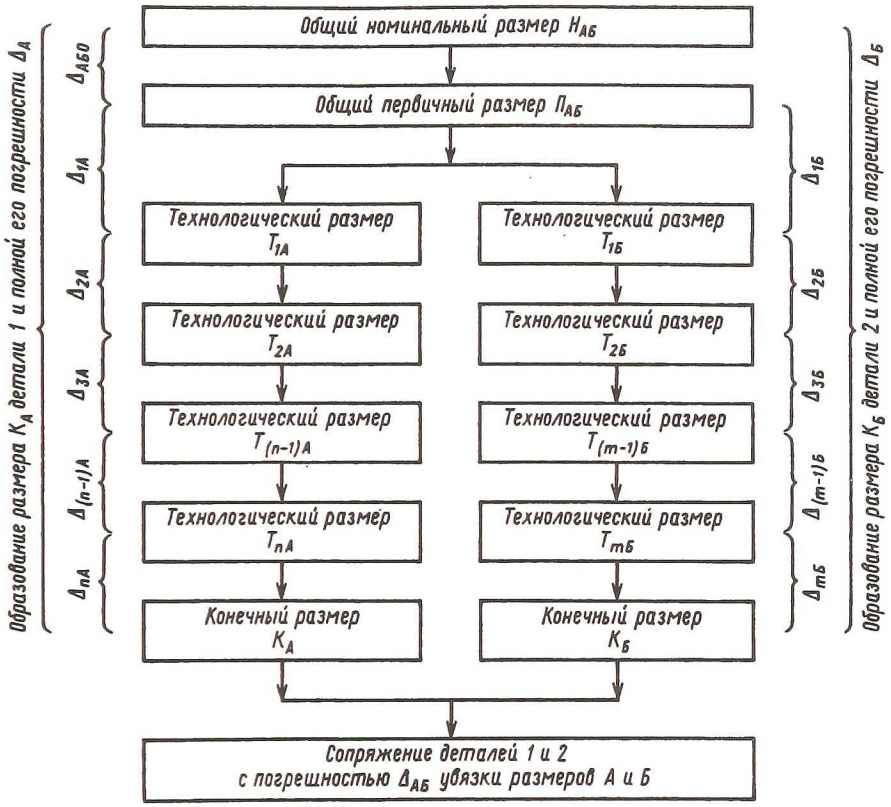


Рис. 9.1. Схема независимого образования размеров сборочной единицы в зоне сопряжения деталей

изделий. Схема образования размеров сборочной единицы в зоне сопряжения двух деталей с размерами *А* и *Б*, входящих в ее конструкцию, при независимом их изготовлении показана на рис. 9.1.

В соответствии с выражением (7.1) уравнения погрешностей размеров *А* и *Б* при этом будут иметь вид

$$\Delta_A = \Delta_{АБ\,0} + \sum_{2}^{n} \Delta_{i\,A}, \qquad (9.4)$$

$$\Delta_{Б} = \Delta_{АБ0} + \sum_{2}^{m} \Delta_{jБ}, \qquad (9.5)$$

где $\Delta_{АБ0}$ — погрешность первичного размера, общего в размерных цепях сопрягаемых деталей; Δ_{iA} — погрешность i-го составляющего звена размерной цепи детали с размером $А$; $\Delta_{jБ}$ — погрешность j-го составляющего звена размерной цепи детали с размером $Б$; n — число составляющих звеньев размерной цепи детали с размером $А$; m — число составляющих звеньев размерной цепи детали с размером $Б$.

Подставив в уравнение (9.2) значения погрешностей $\Delta_{А}$ и $\Delta_{Б}$ из (9.4) и (9.5), получим уравнение производственной погрешности взаимной увязки размеров $А$ и $Б$:

$$\Delta_{АБ} = \sum_{2}^{n} \Delta_{iA} - \sum_{2}^{m} \Delta_{jБ}, \qquad (9.6)$$

где $\Delta_{АБ}$ — производственная погрешность увязки размеров $А$ и $Б$.

В соответствии с формулами (9.3) и (9.6) можно воспроизвести уравнение полей погрешности увязки размеров $А$ и $Б$, которое будет иметь вид

$$\omega_{АБ} = \sum_{2}^{n} \omega_{iA} + \sum_{2}^{m} \omega_{jБ}, \qquad (9.7)$$

где $\omega_{АБ}$ — поле погрешности взаимной увязки размеров $А$ и $Б$; ω_{iA} — поле погрешности размера $А$; $\omega_{Б}$ — поле погрешности размера $Б$.

Согласно уравнению (9.7) можно сделать обобщающий вывод: поле погрешности увязки размеров элементов конструкции изделия при независимых процессах их изготовления равно сумме полей погрешностей размеров каждого из этих элементов и, следовательно, точность увязки при этом будет значительно ниже точности изготовления каждого из увязываемых элементов в отдельности.

Из проведенного анализа видно, что при независимом изготовлении деталей для обеспечения необходимой точности их увязки следует значительно повышать точность изготовления деталей, входящих в конструкцию сборочной единицы, что резко увеличивает стоимость их изготовления. Это является недостатком принципа независимого изготовления изделий.

Положительной особенностью этого принципа является возможность значительного расширения фронта работ при изготовлении изделий и технологической оснастки и возможность широкого кооперирования производства.

При этом жесткие носители формы и размеров (калибры, шаблоны), с помощью которых осуществляется изготовление различной технологической оснастки (в случае, если они необходимы для переноса размеров и формы, приведенных в чертеже на оснастку), могут изготовляться параллельно без взаимной физической отстыковки. Также параллельно может осуществляться изготовление заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки.

Увязка элементов конструкции изделий и технологической оснастки при независимом их изготовлении обеспечивается за счет использования общемашиностроительной системы допусков и посадок, применяемой в различных отраслях машиностроительной промышленности. Взаимная увязка элементов конструкции при этом обеспечивается соответствующей точностью изготовления каждого сопрягаемого элемента (в пределах допусков на их размеры в зоне сопряжения). В производстве ЛА принцип независимого образования размеров и формы изделий имеет пока ограниченное применение.

Объясняется это особенностями конструкции ЛА, которые требуют применения специальных технологических методов увязки.

В отличие от общемашиностроительных конструкций подавляющее большинство деталей ЛА имеет сложную форму, большие габаритные размеры, изготовляется из сравнительно тонких листовых материалов, профилей и труб и в связи с этим каждая отдельно взятая деталь обладает малой жесткостью. Поэтому они в свободном, несоединенном друг с другом состоянии, легко изменяют свою форму и размеры под действием собственной массы; степень этого изменения находится в зависимости от положения деталей в пространстве и от связей с другими деталями, что в значительной мере усложняет процесс увязки их размеров.

Только для сравнительно небольшой номенклатуры деталей, имеющих относительно простую форму и обладающих достаточно большой жесткостью и устойчиво сохраняющих форму и размеры независимо от положения в пространстве и связи с другими деталями, т.е. для деталей, имеющих конструкцию, аналогичную с деталями других отраслей машиностроительной промышленности, может быть применен принцип независимого изготовления с использованием для

их взаимной увязки общемашиностроительной системы допусков и посадок. К ним относятся детали и узлы шасси, крепежные детали, различные кронштейны, цилиндры управления и другие аналогичные детали, которые изготовляют на обычных универсальных металлорежущих станках. С появлением и внедрением в производство высокопроизводительных и точных фрезерных станков с числовым программным управлением применение принципа независимого изготовления деталей может быть в значительной мере расширено.

9.3. ЗАВИСИМОЕ (СВЯЗАННОЕ) ОБРАЗОВАНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ

Процессы изготовления элементов конструкции, размерные цепи которых имеют общий первичный размер, а также один или несколько других общих промежуточных (технологических) размеров, называют связанными или зависимыми. Процессы увязки таких элементов конструкции и соответствующей им технологической оснастки называют *процессами, построенными по принципу связанного (зависимого) образования размеров и формы* при изготовлении изделий. Схема образования размеров сборочной единицы при связанном изготовлении двух деталей, входящих в ее конструкцию и имеющих сопрягающиеся размеры A и $Б$, показана на рис. 9.2.

Уравнения производственных погрешностей размерных цепей деталей с размерами A и $Б$ будут иметь вид

$$\Delta_{\text{А}} = \Delta_{\text{АБ}\,0} + \sum_{1}^{p} \Delta_{q\,\text{АБ}} + \sum_{p+1}^{n} \Delta_{i\,\text{А}}. \tag{9.8}$$

$$\Delta_{\text{Б}} = \Delta_{\text{АБ}\,0} + \sum_{1}^{p} \Delta_{q\,\text{АБ}} + \sum_{p+1}^{m} \Delta_{j\,\text{Б}}, \tag{9.9}$$

где $\Delta_{q\,\text{АБ}}$ — погрешность q-го составляющего звена, общего в размерных цепях деталей размерами A и $Б$; p — число общих составляющих звеньев в размерных цепях этих деталей.

Подставив в уравнение (9.2) значения погрешностей $\Delta_{\text{А}}$ и $\Delta_{\text{Б}}$ из (9.8) и (9.9), получим

$$\Delta_{АБ} = \sum_{p+1}^{m} \Delta_{iA} - \sum_{p+1}^{m} \Delta_{jБ}, \qquad (9.10)$$

где $\Delta_{АБ}$ — производственная погрешность увязки размеров *А* и *Б* сопрягающихся деталей.

В соответствии с формулами (9.3) и (9.10) перейдем к уравнению полей погрешностей увязки размеров *А* и *Б*, которое будет иметь вид

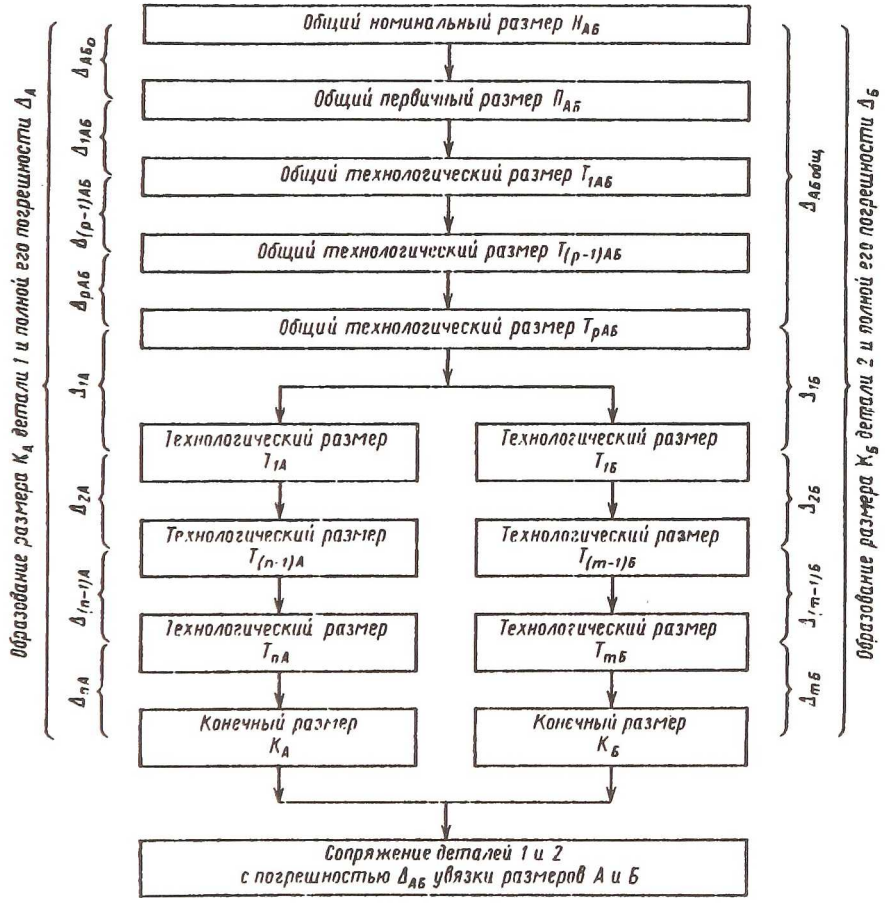


Рис. 9.2. Схема образования размеров сборочной единицы при связанном (зависимом) образовании размеров деталей

$$\omega_{АБ} = \sum_{p+1}^{n} \omega_{iA} + \sum_{p+1}^{m} \omega_{jБ}, \qquad (9.11)$$

где $\omega_{АБ}$ — поле погрешности увязки размеров $А$ и $Б$.

Согласно уравнению (9.11) можно сделать обобщающий вывод: в процессах увязки, построенных по принципу связанного образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции, погрешности общих размеров в размерных цепях увязываемых элементов не оказывают влияния на поле погрешности увязки этих элементов и, следовательно, точность увязки при этих процессах определяется лишь точностью выполнения несвязанных размеров.

Общие звенья в размерных цепях при этом могут быть выполнены со значительными погрешностями, но эти погрешности не могут оказывать влияния на точность увязки, так как они будут одинаковыми для всех сопрягаемых элементов конструкции и направленными в одну и ту же сторону.

Чем меньше в процессе изготовления изделия будет несвязанных этапов перенесения первичного размера, тем выше точность увязки элементов конструкции. Таким образом, при зависимом образовании размеров и формы деталей и узлов для обеспечения необходимой точности увязки не требуется значительного увеличения точности их изготовления, что является преимуществом связанного метода изготовления перед независимым. Повышение точности увязки без повышения точности изготовления элементов конструкции в значительной мере снижает трудоемкость и стоимость их изготовления.

Вместе с тем процессы увязки, построенные по принципу связанного образования размеров и формы, обладают существенными недостатками, основным из которых является резкое сужение фронта работ при изготовлении технологической оснастки и, следовательно, значительное увеличение цикла технологической подготовки производства. Причем, чем больше в процессе изготовления элементов конструкции будет связанных этапов переноса первичных размеров, тем уже будет фронт работ и выше трудоемкость и цикл изготовления технологической оснастки. Этому способствует также необходимость изготовления большого числа различного рода жестких носителей формы и размеров (шаблонов, макетов), необходимых для практического осуществления процессов связанного изготовления деталей и сборочных единиц.

К числу недостатков процессов увязки, основанных на принципе связанного образования размеров и формы сопрягаемых элементов изделий, относится также ухудшение условий для кооперирования производства, так как между кооперируемыми предприятиями требуется обмен специальными эталонами, обеспечивающими необходимую степень увязки изготовляемых ими элементов конструкции.

Следует отметить, что полная погрешность каждого из сопрягаемых размеров при связанном их образовании так же, как и в любой другой размерной цепи, равна алгебраической сумме всех поэтапных погрешностей. Следовательно, и в этом случае точность конечного размера будет определяться всеми поэтапными погрешностями, независимо от того, относятся они к связанным или несвязанным этапам переноса.

9.4. ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Повышение точности замыкающего (исходного) звена размерной цепи. Принцип кратчайшего пути

Для обеспечения необходимой точности изготовления деталей и сборочных единиц проектирование технологических процессов их изготовления и сборки должно осуществляться с использованием основных положений и формул теории размерных цепей. Исходя из уравнения для полной производственной погрешности (7.1) повышение точности замыкающего (исходного) звена плоско-параллельной размерной цепи может быть достигнуто двумя путями: либо за счет повышения точности составляющих звеньев, либо за счет уменьшения их числа в размерной цепи.

Первый путь требует повышения точности технологических процессов, связанных с обеспечением точности всех размеров, составляющих размерную цепь. Это обусловлено тем, что каждый этап перенесения первичного размера на изготовляемое изделие сопровождается погрешностью, которая в размерной цепи представлена соответствующим звеном. С увеличением числа составляющих звеньев растет суммарная погрешность, а следовательно, и поле погрешности замыкающего звена. Естественно поэтому, что для того, чтобы поле погрешности замыкающего звена уложилось в допуск его размера,

необходимо устанавливать более жесткие допуски на размеры составляющих звеньев.

Все это требует применения более точных, а следовательно, и более трудоемких технологических процессов, обеспечивающих поэтапное перенесение первичных размеров с минимальными погрешностями. С этими же целями необходимо применять более точную, а следовательно, и более дорогую технологическую оснастку. В технологические процессы приходится вводить калибровочные и чистовые операции, позволяющие уменьшить погрешности изготовления деталей и сборочных единиц (например, в листовой штамповке применять калибровочные штампы и контрольно-доводочные плазы и оправки, в механической обработке для получения отверстий — переходные развертки и протяжки и т.п.).

В результате введения дополнительных операций и более сложной технологической оснастки в значительной мере снижается экономическая эффективность технологических процессов, особенно при выполнении сборочных операций. Поэтому путь обеспечения высокой точности замыкающего звена за счет повышения точности составляющих звеньев сопряжен с удорожанием продукции, вследствие чего чаще всего оказывается экономически нецелесообразным, особенно в производстве ЛА.

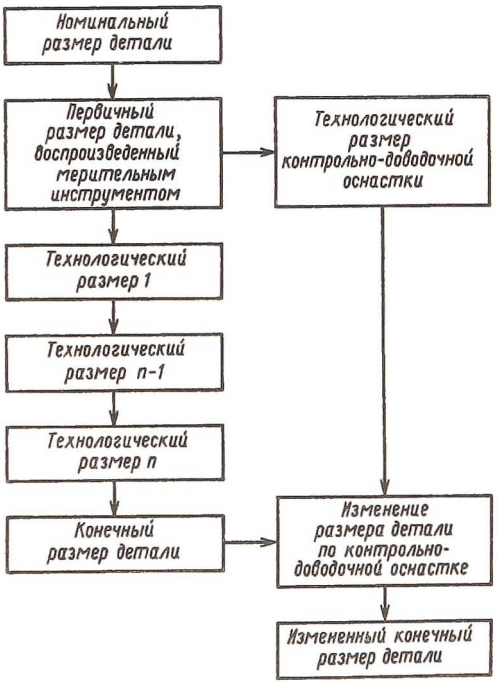


Рис. 9.3. Схема применения принципа кратчайшего пути

Второй путь повышения точности размера замыкающего звена основан на уменьшении числа составляющих звеньев размерной цепи, каждое из которых в связи с этим может обладать меньшей точностью. Он более прост в осуществлении и менее трудоемок. В теории размерных цепей этот путь является важнейшим, и получил название *принципа*

кратчайшего пути. При его осуществлении наиболее целесообразным будет тот технологический процесс, которому соответствуют более короткие технологические подетальные, сборочные и полные размерные цепи. Таким образом, для достижения высокой точности элементов конструкции технологические процессы их изготовления при соблюдении указанного принципа должны строиться так, чтобы их размерные цепи включали минимальное число составляющих звеньев.

Принцип кратчайшего пути имеет важное значение в производстве ЛА и применяется как при изготовлении деталей, сборке узлов, агрегатов и других сборочных единиц, так и при изготовлении технологической оснастки. Пример применения принципа кратчайшего пути при изготовлении деталей в заготовительно-штамповочном производстве показан на рис. 9.3. Здесь конечный размер детали, имеющей в связи с большим числом этапов переноса значительную суммарную погрешность (левая цепочка образования конечного размера), изменяется (калибруется) по контрольно-доводочной оснастке, изготовленной за один этап переноса первичного размера, т.е. по более короткому размерному пути (правая цепочка). В результате суммарная погрешность конечного размера детали резко уменьшается.

Базирование и базы

Придание заготовке (при изготовлении детали) или деталям (при изготовлении сборочной единицы) требуемого положения относительно выбранной системы координат называют *базированием*. Базирование предусматривается как при проектировании, так и при изготовлении изделий. Для базирования используют какую-либо поверхность (сочетание поверхностей), ось или точку, принадлежащие заготовке, детали или сборочной единице, каждую из которых называют *базой*.

Точку, определяющую одну из связей заготовки или изделия в избранной системе координат, называют *опорной точкой*.

Совокупность поверхностей, осей и точек, относительно которых закоординирована в конструкторской документации данная поверхность детали или сборочной единицы называют *конструкторской базой*. Конструкторские базы назначаются конструктором в процессе проектирования изделия при простановке размеров на рабочем чертеже. При назначении конструкторских баз должны учитываться не только конструкторские, но и технологические требования к

изделию, так как от выбранной схемы простановки размеров зависит структура технологического процесса его изготовления, а следовательно, и технологичность его конструкции.

При изготовлении изделия оно должно быть правильно закоординировано в приспособлении или на технологическом оборудовании относительно обрабатывающего инструмента или других смежных изделий при сборке, т.е. должно быть правильно установлено и закреплено в обрабатываемом или сборочном положении. Совокупность поверхностей (плоскостей), на которые деталь устанавливается при ее изготовлении или сборке изделия, называют *технологической базой*. При изготовлении деталей технологическую базу называют *установочной*, а при сборке изделия — *сборочной*. Отклонение фактического положения заготовки или изделия при базировании от требуемого положения называют *погрешностью базирования*.

Технологическая база лишает заготовку или изделие трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других. После того, как осуществлено базирование заготовки (при изготовлении детали) или базирование детали (при сборке) их закрепляют, чтобы в процессе обработки или соединения при сборке они сохраняли неподвижное положение относительно приспособления.

Следует отметить, что базирование и закрепление — разные действия, выполняемые при установке заготовок и деталей в приспособлениях. Эти действия выполняются последовательно. Вначале осуществляется базирование, которое достигается наложением на заготовку или детали односторонних связей, обеспечивающих заданное их положение в приспособлении. При последующем закреплении налагаются дополнительные связи, которые вместе со связями базирования приобретают двухсторонний характер, предотвращая возможность смещения заготовок и деталей в обе стороны по координатным осям.

В общем случае для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в принятой системе координат на них необходимо наложить шесть двухсторонних геометрических связей, для создания которых необходим полный комплект баз (рис. 9.4). Это условие называют правилом шести точек. Во всех случаях, когда для базирования заготовки используется меньше шести точек (т.е. меньше трех баз), положение заготовки в приспособлении не будет полностью зафиксировано. Вместе с тем, на практике часто встречаются случаи, когда

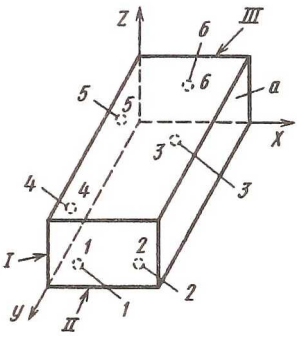


Рис. 9.4. Схема расположения опорных точек, обеспечивающих неподвижность заготовки при наложении двухсторонних геометрических связей:
1 — 6 — опорные точки; *а* — изделие; *I — III* — опорные поверхности (базы) изделия

базирование заготовки осуществляется с использованием пяти, четырех и даже трех опорных точек. Это является вполне правомерным для обеспечения заданной точности.

Исходя из принципа кратчайшего пути заготовка при обработке должна устанавливаться в приспособлении на те же поверхности, относительно которых обрабатываемая поверхность закоординирована, что обеспечивается совмещением технологической и конструкторской баз. Несоблюдение этого правила увеличивает число звеньев технологических размерных цепей, снижает точность размера замыкающего звена, заметно увеличивает время на установку и снятие заготовки, усложняет конструкцию приспособления. Однако указанного правила следует придерживаться только в том случае, если правильно выбрана конструкторская база с учетом технологических требований к изделию. В обратном случае совмещение конструкторской и технологической баз не обеспечит рациональной последовательности технологических операций, и технолог будет вынужден принять другую технологическую базу.

При этом возрастает число составляющих звеньев, так как появится дополнительный размер между конструкторской и технологической базами, который называют базисным размером. В состав погрешности замыкающего звена будет включена погрешность базисного размера. Таким образом, при несоблюдении правила совмещения баз погрешность замыкающего звена увеличивается на погрешность базисного размера. Очевидно, что если в качестве технологческой базы нельзя принять конструкторскую базу, то для базирования заготовки или детали следует выбирать такую поверхность, чтобы базисный размер имел наименьшее значение и наибольшую точность.

Базу, используемую при контроле изделия (детали сборочной единицы) для определения его положения относительно средств измерения, называют *измерительной*. Правило совмещения баз

распространяется также и на контрольные операции. Контрольные измерения размеров изделия должны выполняться относительно тех же баз, относительно которых размеры заданы в чертеже и получены при изготовлении изделия.

Базу, которую используют в первой операции обработки литой заготовки или поковки называют *первичной* или *черновой*. Она используется один раз. Далее в качестве базы используют более точную (обработанную) поверхность. Первичную базу выбирают на основе общих требований к обеспечению высокой точности замыкающего звена детальной размерной цепи.

В том случае, если выбрана самостоятельная технологическая база, отличающаяся от конструкторской, то все поверхности заготовки обрабатывают в привязке именно к этой технологической базе, так как в обратном случае новые технологические базы приведут к дополнительным погрешностям базирования, которые снизят точность замыкающего звена и ухудшат качество детали. Это требование называют *правилом постоянства технологических баз.*

При изготовлении сборочных единиц в производстве летательных аппаратов применяют специфические базы и способы базирования, которые зависят от точности изделий, методов сборки и во многом отличаются от применяемых в общем машиностроении. Одной из основных задач при сборке агрегатов и других сборочных единиц, выходящих на внешние обводы летательного аппарата, является обеспечение заданной точности их аэродинамических контуров и поверхностей, размеры которых являются замыкающими звеньями сборочных размерных цепей.

В качестве сборочных баз при этом используют сборочные отверстия (СО), координатно-фиксирующие отверстия (КФО), поверхность каркаса, внутреннюю или внешнюю поверхность обшивки (панели). При указанных базах (кроме СО) сборка изделий ведется в приспособлениях, сборка по СО — без приспособлений. Наибольшую точность изделий обеспечивает их сборка с базой на внешнюю поверхность обшивки, наименьшую — сборка по СО.

Это обусловлено тем, что при сборке по СО сборочная размерная цепь включает большое число звеньев, связывающих оси отверстий с замыкающим звеном, определяющим размер сборочной единицы. При сборке с базой на внешнюю поверхность обшивки сборочная размерная цепь включает небольшое число звеньев, поэтому погрешности размеров, образующих внешний обвод сборочной единицы, имеют минимальное значение.

Вместе с тем сборка по СО обеспечивает меньшую себестоимость изготовления сборочных единиц за счет снижения трудоемкости сборки и сокращения затрат на изготовление приспособлений. Выбор сборочных баз зависит от конструкции сборочных единиц, метода соединения деталей, требований к точности аэродинамической поверхности и объема производства.

Сборка по принципу компенсации

Как отмечалось ранее, неполная геометрическая взаимозаменяемость элементов конструкции сборочной единицы в процессе сборки может быть обеспечена за счет применения различных конструктивных или технологических компенсаторов. Последние поглощают (компенсируют, отсюда и название — компенсаторы) погрешности составляющих звеньев сборочной размерной цепи и обеспечивают высокую точность замыкающего звена, являющегося конечным размером сборочной единицы. Замыкающее звено сборочной размерной цепи при этом образуется не суммированием размеров деталей, входящих в состав сборочной единицы, а копированием его с базовых элементов сборочного приспособления.

В связи с этим точность сборочной единицы определяется по существу точностью изготовления базовых элементов сборочного приспособления и их расположения в пространстве, а также точностью прилегания к ним обшивки, а от точности изготовления деталей, входящих в ее состав, практически не зависит. Вследствие применения компенсаторов сложная многозвеньевая сборочная размерная цепь преобразуется в более простую малозвеньевую размерную цепь, т.е. соблюдается принцип кратчайшего пути при сборочных работах (рис. 9.5).

Возможность копирования сборочного размера с соответствующего размера базового элемента сборочного приспособления достигается либо за счет перемещения одной детали относительно сопрягаемых с нею других деталей сборочной единицы, либо путем снятия соответствующих припусков у деталей, контактирующих с базовыми поверхностями сборочного приспособления, либо за счет заполнения образовавшихся при сборке зазоров быстротвердеющими пластмассовыми композициями или прокладками, либо за счет упругой деформации собираемых элементов конструкции, которые путем

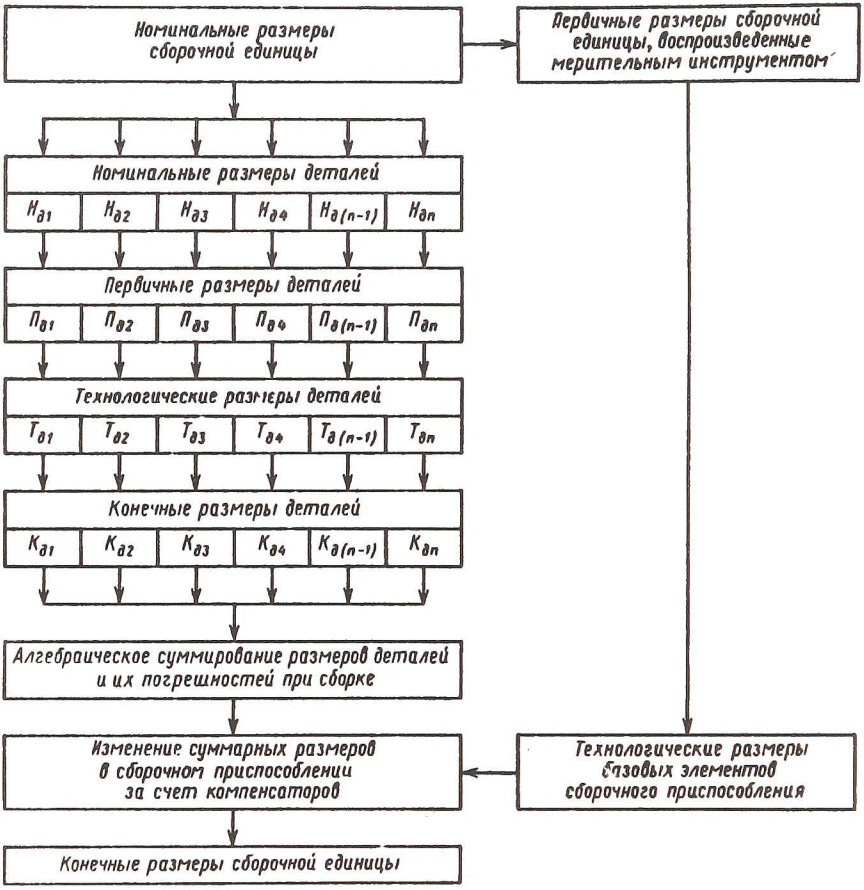


Рис. 9.5. Схема образования конечных размеров сборочной единицы при сборке с применением размерных компенсаторов

силового воздействия со стороны зажимных устройств притягиваются к соответствующим поверхностям базовых элементов сборочного приспособления.

Для сборки изделия с использованием правила компенсации в его конструкцию чаще всего вводят специальные соединительные детали, прокладки, фитинги, которые и являются размерными компенсаторами (см. рис. 6.2, 8.3).

Рис. 9.6. Схема образования рабочего контура рубильника сборочного приспособления:
1 — макет нервюры; *2* — рубильник; *3* — облицовка из быстротвердеющей безусадочной пластмассы; *а* — базовые отверстия; *б* — отверстия для навески рубильника в приспособлении; *в* — рабочий контур рубильника; *z* — зазор

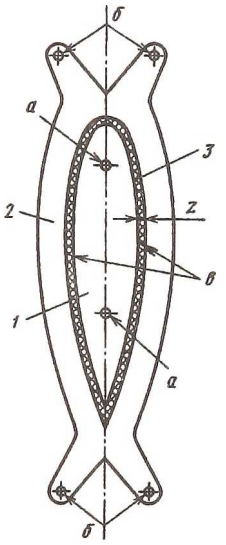
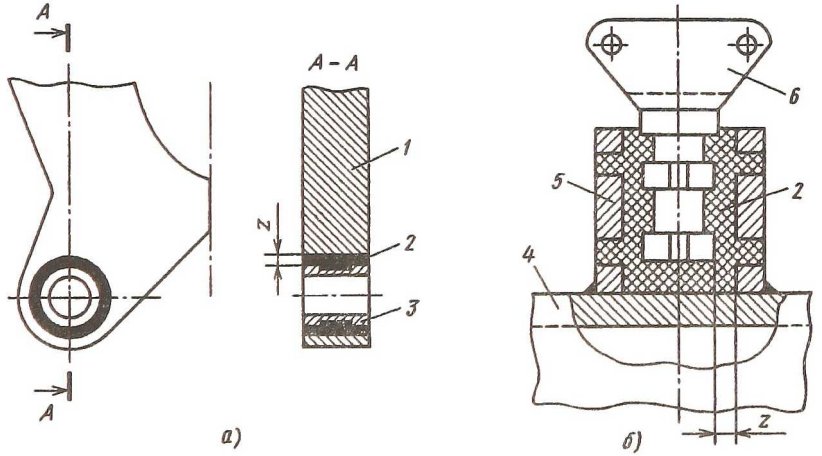


Рис. 9.7. Схема применения размерных компенсаторов при изготовлении технологической оснастки:
а — крепление втулок рубильника сборочного приспособления путем заливки цементной массы в зазор *z*, выполняющий роль размерного компенсатора; *б* — крепление вилки в стапеле (сборочном приспособлении) путем заливки в зазор *z* цементной массы; *1* — каркас рубильника сборочного приспособления; *2* — быстротвердеющий цемент марки НИАТ-МЦ; *3* — стальная втулка с отверстием для навески рубильника; *4* — балка каркаса сборочного приспособления; *5* — стакан; *6* — вилка с отверстиями для навески рубильника



Размерные компенсаторы получили применение не только в основном производстве ЛА. Специальные технологические компенсаторы широко применяют при изготовлении технологической оснастки (заготовительно-штамповочной, станочной, сборочной). Рабочие поверхности инструментов и приспособлений, размеры которых образуют замыкающее звено детальной или сборочной размерной цепи, получают путем контактного копирования с соответствующих

поверхностей оснастки второго порядка (шаблонов, макетов, эталонов, мастер-плит и т.п.).

На рис. 9.6 в качестве примера показана схема образования рабочего контура *в* рубильника (базового элемента сборочного приспособления) по макету нервюры крыла. Внешний обвод макета *1* переносится на рубильники *2* путем заполнения зазора *z* быстротвердеющей безусадочной пластмассой *3*, которая после затвердевания точно копирует аэродинамический контур крыла в плоскости нервюры. Зазор *z* с пластмассой в данном случае играет роль технологического размерного компенсатора.

Аналогично, путем заполнения цементной массой, специально предусмотренных в конструкции приспособления зазоров *z*, устанавливают втулки в рубильниках и узлы навески рубильников в балках сборочного приспособления (рис. 9.7). Общим во всех этих примерах является наличие точного жесткого носителя формы и размеров изделия, с которого копируют размеры на деталь, узел, агрегат или базовые элементы рабочих и контрольных инструментов и приспособлений.

Конкретное применение размерных компенсаторов в конструкциях сборочных приспособлений и их устройство рассматриваются в курсе "Технология сборочных и монтажных работ" [48, 49].

10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И УВЯЗКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Как было показано ранее (п. 6.7), обеспечение нормальной сборки и монтажа изделий без доводочных работ по месту достигается за счет геометрической взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц. Уровень геометрической взаимозаменяемости, а следовательно и качество изделий, определяются такими параметрами, как точность размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции и точность их взаимной увязки в зоне соединения или прилегания. В производстве ЛА к точности увязки предъявляют более высокие требования, чем к точности изготовления деталей. Поэтому взаимной увязке подвергаются геометрические параметры практически всех деталей и сборочных единиц, имеющих сопряженные поверхности. Именно благодаря увязке обеспечивается необходимый уровень взаимозаменяемости этих элементов, исключающий или сводящий к минимуму их доработку по месту в процессе сборки, а также достижение необходимой точности геометрических параметров деталей и сборочных единиц, выходящих на аэродинамическую поверхность.

Для производства летательных аппаратов геометрическая взаимозаменяемость является весьма важной и сложной проблемой. Это обусловлено тем, что подавляющее большинство деталей планера из листовых материалов и прессованных профилей имеет сложную форму, большие габаритные размеры и в свободном (не соединенном друг с другом) состоянии — малую жесткость. Поэтому для обеспечения их взаимозаменяемости практически невозможно использовать общемашиностроительный метод, основанный на применении стандартной системы допусков и посадок. В производстве ЛА эта сложная проблема решается путем использования ряда специальных методов геометрической увязки, которые в значительной мере отличаются от общемашиностроительного метода.

Под технологическим методом обеспечения взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА и увязки технологической оснастки понимают способ взаимного согласования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции в зонс их соединения или прилегания и взаимного согласования соответствующих им базовых элементов технологической оснастки.

В основе технологических методов увязки лежат первоисточники увязки, которые для различных методов имеют различный характер и структуру. Под *первоисточником увязки* понимают первичный носитель взаимоувязанных значений геометрических параметров, соединяемых при сборке деталей и сборочных единиц.

Первоисточники увязки оказывают весьма существенное (определяющее) влияние на весь процесс образования размеров и формы соединяемых частей планера ЛА. Взаимно увязанные размеры деталей и сборочных единиц образуются в процессе создания первоисточников увязки.

Практическое обеспечение взаимозаменяемости сопрягаемых частей планера осуществляется с использованием различных технических устройств с нормированными метрологическими свойствами, обеспечивающих как построение некоторых видов первоисточников увязки, так и перенос увязанных значений геометрических параметров с первоисточников увязки на технологическую оснастку и на соответствующие элементы конструкции ЛА. Эти технические устройства называют *средствами увязки.* Средства увязки так же, как и первоисточники увязки, оказывают весьма существенное влияние на процессы образования размеров и формы элементов конструкции в зонах их сопряжения или прилегания.

Первоисточники и методы увязки

В производстве ЛА в качестве первоисточников увязки нашли применение образмеренные рабочие чертежи изделий, плазы, эталоны поверхности и программы; последние применяют для управления оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ). С точки зрения первоисточников увязки все применяемые в настоящее время методы обеспечения взаимозаменяемости и увязки можно разделить на четыре типовые группы: чертежные (Ч), плазовые (П), эталонные (Э) и программные (ПР).

В чертежных методах увязка обеспечивается в процессе проектирования сопряженных элементов конструкции ЛА. Размеры, допуски и посадки, приведенные в чертежах, обеспечивают необходимую точность взаимной увязки этих элементов.

Таким образом, в чертежных методах для геометрической увязки сопрягаемых элементов конструкции используется, в основном, общемашиностроительная система допусков и посадок.

В плазовых методах увязка осуществляется в процессе построения плазов, представляющих собой чертежи плоских сечений сборочных единиц или их теоретических обводов, выполненных на плоскости в натуральную величину.

В эталонных методах увязка осуществляется в процессе проектирования и изготовления эталонов поверхности, представляющих собой объемную копию номинальной поверхности сборочной единицы, выполненную с достаточно высокой точностью в натуральную величину из высокостойкого безусадочного материала.

В программных методах увязка осуществляется в процессе создания математической модели поверхности сборочной единицы и разработки на ее основе управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением.

Все названные группы методов достаточно широко применяют в современном авиационном производстве, они обеспечивают сравнительно высокую степень увязки, при которой достигается необходимый уровень взаимозаменяемости деталей без ручной доработки их по месту в процессе сборки (п. 10.6).

Точность изготовления обводообразующей технологической оснастки и элементов конструкции планера ЛА, выходящих на аэродинамическую поверхность, при современном уровне развития авиационной техники и технологии и применяемых методах увязки удовлетворяет требованиям непрерывно возрастающей точности и сложности аэродинамических обводов.

Это в значительной мере объясняется тем, что указанные методы увязки непрерывно совершенствуются, повышается достигаемый ими экономически целесообразный и технически возможный уровень точности увязки наряду с повышением производительности труда и снижением трудовых и материальных затрат при их практическом осуществлении.

Изготовление первоисточников увязки и согласования с их применением геометрических параметров сопрягаемых элементов

конструкции при каждом из названных методов осуществляется с использованием многочисленной и разнообразной конструкторской и технологической документации, получаемой заводом от опытной конструкторской организации и разрабатываемой им в период освоения и постановки производства нового изделия.

Конечными продуктами всех применяемых методов увязки являются:

взаимно увязанная заготовительно-штамповочная, станочная и сборочная технологическая оснастка;

взаимоувязанные по геометрическим параметрам сопрягающиеся элементы конструкции планера ЛА в зоне их соединения или прилегания.

В связи со сложностью и многодетальностью конструкции планера ЛА планирование и разработка процессов, первоисточников и специальных средств увязки, изготовление технологической и контрольно-эталонной оснастки, внесение изменений в конструкторскую и технологическую документацию и технологическую оснастку, а также учет и хранение увязочной оснастки в производстве ЛА при всех методах увязки носит строго централизованный характер. В этих целях каждый завод авиационного профиля имеет в своем составе плазово-шаблонный цех, в котором сосредотачиваются все работы по созданию и применению увязочной оснастки, а также специализированные цехи вспомогательного производства, в которых изготовляется рабочая технологическая оснастка. Это необходимо для обеспечения стабильности качества изготовленных элементов конструкции ЛА и для исключения возможных нарушений геометрических параметров первоисточников и специальных средств уязки в процессе их эксплуатации.

Средства увязки

Средства увязки представляют собой различные устройства, предназначенные, в основном, для переноса взаимоувязанных размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции (деталей и сборочных единиц) с первоисточников увязки на увязываемые объекты.

В производстве ЛА применяют средства увязки трех типовых групп: инструментальные (И), имеющие нормированные метрологи-

ческие свойства; специальные плоские средства увязки — шаблоны (Ш); специальные объемные средства увязки — макеты (М). Эти три группы средств увязки используют практически во всех группах технологических методов обеспечения взаимозаменяемости и увязки.

Конкретные виды указанных средств, их конструктивное оформление, назначение и применение рассматриваются в п. 10.5.

Основные направления геометрической увязки

Летные качества ЛА характеризуют, в основном, его аэродинамические свойства, которые, в свою очередь, определяются точностью выполнения аэродинамических контуров и поверхностей планера, размеров его агрегатов, их положением в воздушном потоке или относительно базовых осей. Поэтому вопросы обеспечения точности изготовления обводообразующих элементов планера и точности сопряжения с ними деталей, выходящих на аэродинамическую поверхность (нервюр, стрингеров, шпангоутов и др.), в производстве ЛА играют весьма важную роль. Применяемые технологические методы увязки должны решать эти первоочередные задачи, обеспечивая высокую точность увязки аэродинамических контуров и поверхностей, а также геометрических параметров деталей, выходящих на эти поверхности.

При соединении агрегатов или отсеков по стыкам и разъемам требуется обеспечивать высокую точность (в пределах заданных допусков) их взаимного положения в зоне стыка, что достигается увязкой геометрических параметров сборочных единиц в этой зоне, не допускающей ступенек и зазоров, выходящих за пределы максимально допустимых значений.

Нарушение точности увязки этих параметров приводит к искажениям формы агрегатов, плавности их поверхности и отклонениям взаимного расположения сборочных единиц при их стыковке; устранение этих отклонений отличается большой сложностью, требует применения трудоемкой, как правило, ручной доработки, качество летательных аппаратов при этом в значительной мере снижается.

Высокий уровень взаимозаменяемости внутренних элементов каркаса агрегатов, отсеков и других сборочных единиц, исключающий или сводящий к минимуму доработку их в процессе

сборки, обеспечивается соответствующей точностью увязки контуров и присоединительных поверхностей этих элементов в зоне сопряжения.

Низкая точность увязки геометрических параметров этих элементов нарушает их взаимозаменяемость, что снижает качество сборочных единиц.

Поскольку в производстве ЛА базирующими и фиксирующими элементами деталей и сборочных единиц при их изготовлении и сборке являются различные технологические и конструктивные отверстия, увязке должны подвергаться также значения координат, определяющих положение этих отверстий в плоскости (для плоских конструкций) и в пространстве (для объемных конструкций), а также размерная привязка их к внешним обводам деталей и сборочных единиц. Существенную роль для обеспечения высокого уровня взаимозаменяемости при этом играет взаимное согласование расположения конструктивных и базовых осей.

С целью обеспечения необходимого качества летательного аппарата процессы увязки по указанным основным направлениям распространяются не только на сопрягаемые элементы конструкции планера, но и на технологическую оснастку, с применением которой изготовляют детали и сборочные единицы. Особое внимание при этом обращается на взаимную увязку формоизменяющей оснастки для сопрягаемых деталей, а также на увязку заготовительно-штамповочной оснастки с базовыми элементами сборочных приспособлений.

Форма и размеры рабочих частей технологической оснастки, в свою очередь, должны быть строго согласованы с соответствующими геометрическими параметрами каждой сборочной единицы и деталей, входящих в их конструкцию. Это обеспечивает необходимую точность увязки размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции ЛА.

Таким образом, размерная увязка элементов конструкции планера летательных аппаратов и технологической оснастки должна осуществляться по теоретическим обводам, сопрягаемым и присоединительным поверхностям, по координатным и конструктивным осям, конструктивным и технологическим отверстиям. Увязка по всем этим элементам должна осуществляться комплексно и во взаимной связи.

Объекты геометрической увязки

Номенклатура объектов увязки, геометрические параметры которых подлежат согласованию технологическими методами, в производстве летательных аппаратов чрезвычайно большая. Вместе с тем все разнообразие объектов увязки можно свести к ограниченному перечню типовых деталей и сборочных единиц ЛА и типовых элементов соответствующей им технологической оснастки.

В качестве типовых деталей планера, геометрические параметры которых подлежат увязке, могут быть выделены:

плоские листовые детали без бортов с отверстиями, ребрами жесткости и без них;

детали из листовых материалов с плоской стенкой и отогнутыми прямолинейными и криволинейными бортами типа стенок нервюр, диафрагм, гнутых профилей с широкой плоской стенкой;

детали из листовых материалов с криволинейным выпуклым или вогнутым дном с замкнутыми и незамкнутыми бортами, выходящие и не выходящие на теоретическую поверхность (например, детали дверей, люков);

детали из листовых материалов типа обшивок одинарной кривизны (с линейчатыми образующими), а также двояковыпуклой и знакопеременной кривизны;

детали из прессованных профилей прямолинейные и криволинейные, с подсечками и без них, выходящие и не выходящие на теоретическую поверхность;

крупногабаритные монолитные детали из массивных прессованных профилей, плит и штамповок, выходящие и не выходящие на теоретическую поверхность, изготовление которых производится на металлорежущих станках путем удаления припуска металла в виде стружки;

детали трубопроводов, типа патрубков и полупатрубков различной конфигурации;

детали общемашиностроительного типа, обладающие большой жесткостью и имеющие сравнительно простую форму (детали стоек и амортизаторов шасси и другие им подобные).

К типовым сборочным единицам, подвергаемым увязке, относятся:

плоские узлы типа нервюр крыла, оперения и шпангоутов фюзеляжа;

объемные узлы типа дверей, крышек, люков, створок шасси;

панели одинарной, двояковыпуклой и знакопеременной кривизны;

секции и отсеки фюзеляжа, мотогондол, воздухозаборники и воздухопроводы;

секции и отсеки крыла и оперения;

секции и отсеки предкрылков, закрылков, органов управления ЛА;

механосборочные узлы общемашиностроительного типа (шасси, цилиндры управления в сборе и другие им подобные сборочные единицы).

К увязываемым элементам технологической оснастки относятся:

обводообразующие и фиксирующие элементы увязочной оснастки (специальные средства увязки типа шаблонов и макетов);

обводообразующие и сопрягающиеся элементы заготовительно-штамповочной оснастки (формблоков, оправок, штампов, гибочных и обтяжных пуансонов, контрольных приспособлений);

сопрягающиеся и обводообразующие элементы станочной оснастки (базовые и фиксирующие элементы приспособлений к металлорежущим станкам);

базовые элсменты сборочных приспособлений для сборки панелей, узлов, секций и отсеков;

базовые элементы и плиты разъема стапельно-сборочной оснастки для сборки агрегатов.

10.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ УВЯЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В основу классификации применяемых в производстве ЛА методов обеспечения взаимозаменяемости и увязки положены рассмотренные выше в общих чертах первоисточники и средства увязки.

Поскольку инструментальные, шаблонные и макетные средства увязки могут быть применены при всех четырех первоисточниках увязки, число и номенклатура применяемых методов обеспечсния взаимозаменяемости будет определяться числом возможных сочетаний первоисточников и средств увязки. Исходя из этих соображений составлена показанная на рис. 10.1 классификация примсняемых в современном производстве ЛА методов увязки. Всего их двенадцать.

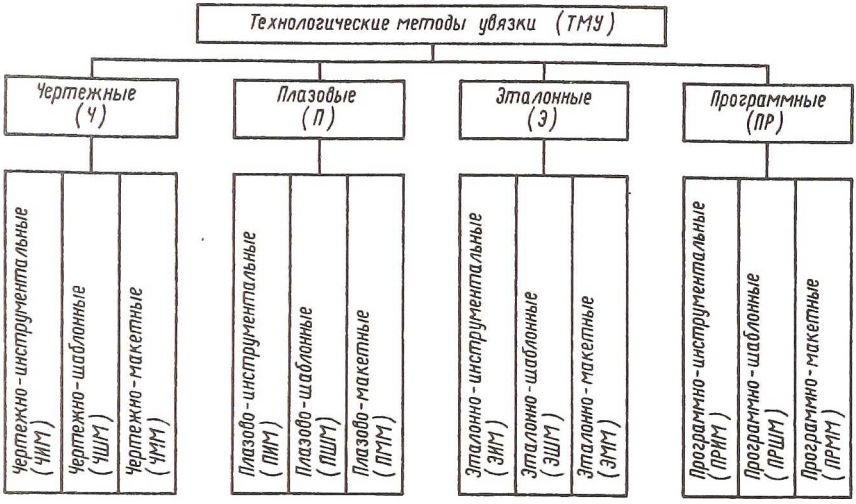


Рис. 10.1. Классификация технологических методов размерной увязки, применяемых в производстве летательных аппаратов

Название и условное обозначение каждого метода образованы путем совместного применения названий и обозначений первоисточников и средств увязки, задействованных в методе.

Исходя из вида применяемых средств увязки и конструкции увязываемых объектов, все методы, включенные в классификатор, могут быть разделены на две группы: методы плоской увязки (МПУ) и методы объемной увязки (МОУ).

Методы плоской увязки основаны на применении плоских средств увязки, а методы объемной увязки — на применении объемных средств увязки.

Классификация методов увязки, построенная на основе этих положений, показана на рис. 10.2. Все инструментальные методы увязки (ЧИМ, ПИМ, ЭИМ и ПРИМ) повторяются в обеих классификационных группах. Объясняется это тем, что они обеспечивают как плоскую, так и объемную увязку. Все шаблонные методы (ЧШМ, ПШМ, ЭШМ и ПРШМ) обеспечивают в основном возможность только плоской увязки, а все макетные методы (ЧММ, ПММ, ЭММ и ПРММ) применяют практически только для объемной увязки.

По характеру и содержанию процессов образования геометрических параметров элементов конструкции ЛА технологические методы

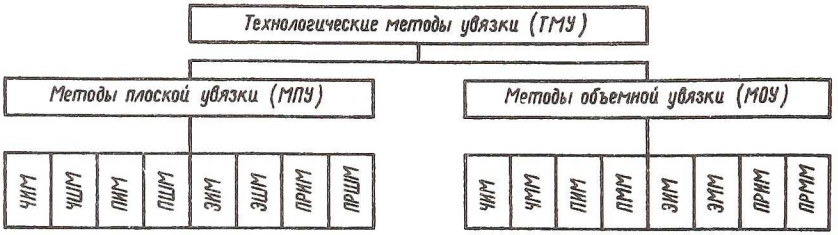


Рис. 10.2. Классификация технологических методов плоской и объемной размерной увязки

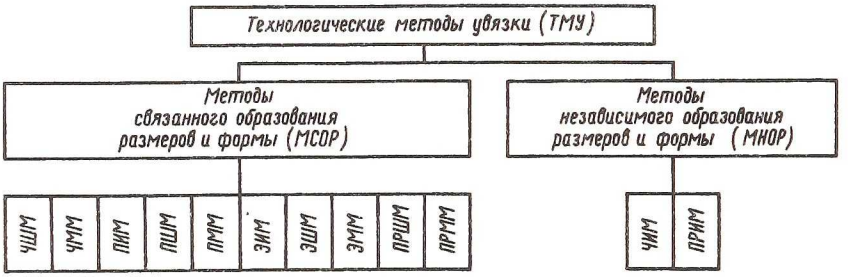


Рис. 10.3. Классификация технологических методов увязки в зависимости от характера образования размеров в зоне сопряжения элементов конструкции

увязки могут быть разделены на две классификационные группы: методы связанного (зависимого) образования размеров и формы (МСОР) и методы независимого образования размеров и формы (МНОР).

Классификация, построенная на основе этого деления, показана на рис. 10.3. К связанным (зависимым) методам образования размеров и формы относятся все плазовые, эталонные, шаблонные и макетные методы увязки, в том числе программно-шаблонный (ПРШМ) и программно-макетный (ПРММ) методы, так как в них для переноса размеров и формы используют общие для сопрягаемых элементов конструкции средства увязки в виде шаблонов и макетов, входящих в цепочки образования размеров и формы в качестве промежуточных элементов.

Независимыми являются только чертежно-инструментальный (ЧИМ) и программно-инструментальный (ПРИМ) методы увязки, поскольку в них отсутствуют промежуточные (технологические) этапы переноса размеров, общие для сопрягаемых элементов конструкции.

10.3. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И УВЯЗКИ РАЗМЕРОВ

В начале технологической подготовки производства ЛА в качестве обязательных технологических документов разрабатывают структурные схемы обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции планера и размерной увязки технологической оснастки, необходимой для изготовления этих элементов. Эти схемы представляют собой графическое изображение основных этапов и последовательности переноса размеров и формы элементов конструкции с первоисточников увязки на объекты увязки, их разрабатывают на сборочные единицы. Причем, для ЛА малого размера схемы увязки разрабатывают обычно на такие крупные сборочные единицы, как крыло, фюзеляж, стабилизатор и другие агрегаты.

Для крупногабаритных ЛА такие схемы получаются громоздкими, поэтому для них разрабатывают схемы увязки на более мелкие сборочные единицы, такие, как носовой, средний и хвостовой отсеки фюзеляжа, киль, средний и концевой отсеки крыла и т.п. Для сборочных единиц малого размера и состоящих из небольшого числа деталей схемы увязки можно разрабатывать более подробно с показом всех размерных связей.

Следует отметить, что принятая в структурных схемах последовательность переноса и поэтапного образования действительных размеров составных частей сборочной единицы определяется характером и структурой частных технологических процессов изготовления сборочной единицы и деталей, входящих в ее состав. Вместе с тем, особенности процессов увязки геометрических параметров изделия, характерные для каждого технологического метода, в значительной мере определяют характер и структуру самих частных технологических процессов, т.е. здесь имеет место взаимное влияние частных технологических процессов и последовательности образования размеров и формы элементов конструкции планера и технологической оснастки.

Структурные схемы включают в свой состав исходную конструкторскую документацию, первоисточники, универсальные и специальные средства увязки (за исключением универсальных средств измерения общемашиностроительного назначения), различную по назначению и конструкции заготовительно-штамповочную, станоч-

ную и сборочную технологическую оснастку, все элементы конструкции сборочных единиц планера летательного аппарата, требующие взаимного согласования геометрических параметров или выходящие на аэродинамическую поверхность. Разработка структурных схем ведется на базе глубокого технологического анализа конструкции сборочной единицы и деталей, входящих в ее состав. В процессе технологического анализа все детали, входящие в состав сборочной единицы, классифицируют по конструктивно-технологическим признакам (кроме мелких стандартизованных и нормализованных деталей, таких, как заклепки, винты, болты и другие, в основном крепежные детали), разрабатывают укрупненные (маршрутные) технологические процессы изготовления типовых представителей каждого класса, определяют перечень и тип рабочей технологической оснастки и специальные средства обеспечения взаимозаменяемости и увязки, необходимые для изготовления заготовительно-штамповочной оснастки и деталей; определяют также методы сборки и номенклатуру жестких носителей размеров и формы, необходимых для изготовления сборочной оснастки и средств контроля геометрических параметров сборочных единиц.

Полученные данные отдельно по каждой сборочной единице вносят в специальные ведомости, по которым затем строят структурные схемы обеспечения взаимозаменяемости и увязки. Для всех деталей, включенных в один класс, должны быть примерно одинаковыми не только частные технологические процессы их изготовления, но и цепочки этапов образования действительных размеров и формы с однотипными специальными средствами увязки и одинаковой по назначению технологической оснасткой. Каждый класс на схеме должен быть представлен одной цепочкой, характеризующей последовательность этапов образования действительных размеров типового представителя классификационной группы деталей.

В качестве примера типовая структурная схема размерной увязки деталей элементарной сборочной единицы при плазово-шаблонном методе приведена на рис. 10.4. Все приведенные в схеме этапы переноса размеров и формы и применяемая при этом рабочая и контрольная технологическая оснастка, а также детали и сборочная единица воспроизводятся на различных уровнях, а сама структурная схема делится на три составляющие взаимно связанные части: детальную, общую и сборочную.

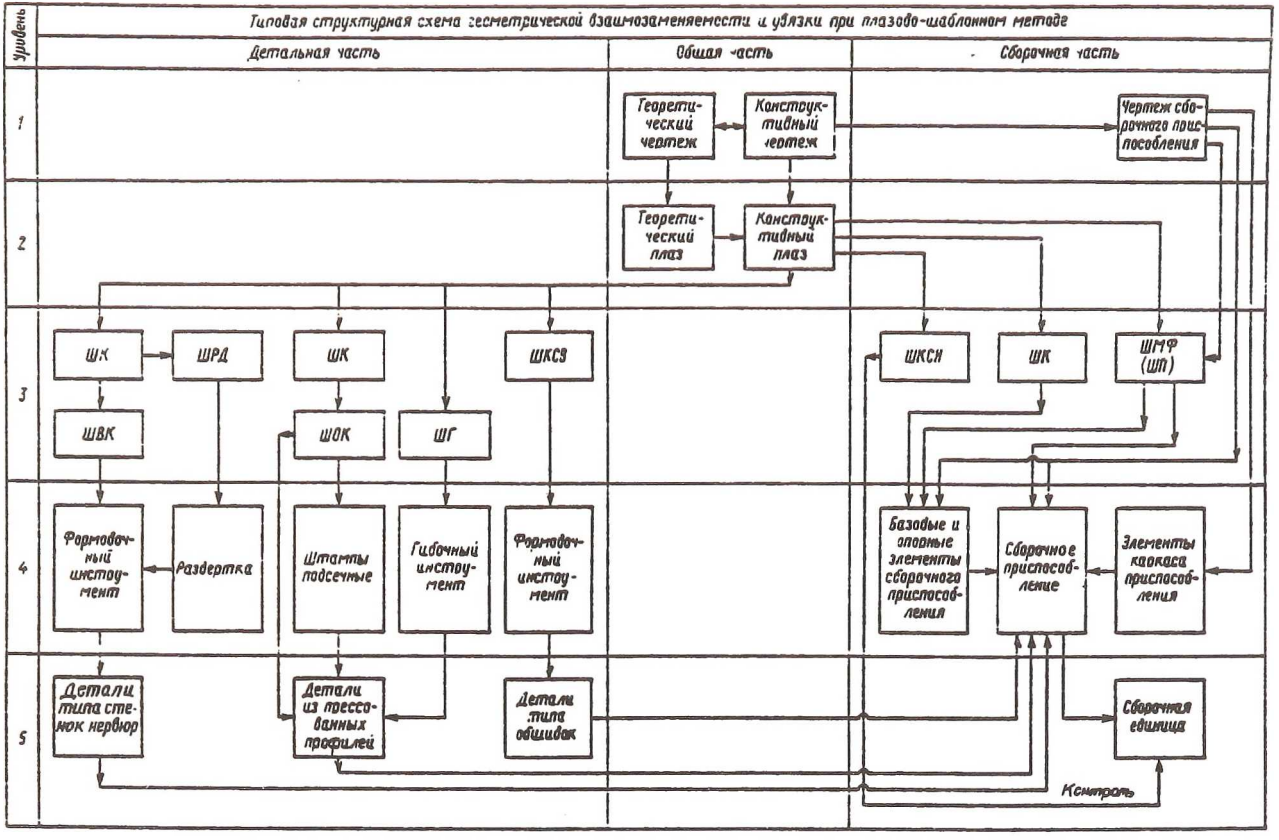


Рис. 10.4. Типовая структурная схема размерной увязки деталей сборочной единицы при плазово-шаблонном методе

Детальная часть воспроизводится в левой, а сборочная — в правой стороне структурной схемы. В средней части схемы в первом верхнем ряду указывается конструкторская документация, полученная предприятием от опытной конструкторской организации и положенная в основу всей структурной схемы (теоретические и конструктивные чертежи). Во втором ряду приводятся принятые в схеме первоисточники увязки. В детальной части схемы в третьем ряду указываются специальные средства увязки для типовых деталей, входящих в конструкцию сборочной единицы, в четвертом — технологическая рабочая и контрольная оснастка, необходимая для изготовления этих деталей и полуфабрикатов и в пятом — типовые детали, входящие в конструкцию сборочной единицы (их номера и наименования).

Все указанные в схеме этапы образования действительных размеров каждой типовой детали соединяются отрезками прямых линий со стрелками на концах, показывающими направление переноса первичных размеров.

В правой (сборочной) части схемы в первом верхнем ряду показывается конструкторская документация на сборочное приспособление, в третьем ее ряду (сверху) приводятся во взаимной связи жесткие носители размеров и формы, необходимые для изготовления сборочной оснастки, в четвертом ряду — сборочная оснастка, а в случае необходимости, ее основные (базовые) элементы, требующие размерной увязки, в пятом — изготовленная сборочная единица (ее наименование и номер по чертежу).

В случае, если сборка осуществляется без сборочного приспособления (с базой на сборочные отверстия), то в правой части схемы в четвертом ряду сверху дается запись "Сборка по СО". В типовой структурной схеме, показанной на рис. 10.4, принят упрощенный порядок образования размеров и формы сборочной единицы без применения универсальных и специальных объемных средств увязки. Это обусловлено тем, что "Основы технологии производства летательных аппаратов" являются первой дисциплиной из всего комплекса технологических дисциплин, изучаемых студентами в авиационном вузе, и они еще не знают методов сборки, применяемых в производстве летательных аппаратов и конструкций сборочных приспособлений, которые оказывают существенное влияние на характер образования размеров и формы сборочных единиц. Схемы обеспечения взаимозаменяемости и увязки применяют для составления номенклатурных списков и заказа на проектирование и изготовление специальных средств увязки и рабочей технологической оснастки.

В п. 10.6 приведены укрупненные варианты структурных схем увязки при различных технологических методах обеспечения геометрической взаимозаменяемости. В этих схемах в целях упрощения не детализируется перенос размеров и формы на конкретные виды заготовительно-штамповочной оснастки для деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб и станочной оснастки для монолитных деталей. Это обусловлено тем, что студенты, изучая технологические методы обеспечения взаимозаменяемости и увязки, еще не знакомы с технологией заготовительно-штамповочных работ и технологией обработки резанием.

10.4. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРВОИСТОЧНИКОВ УВЯЗКИ

Конструкторская и технологическая документация

В качестве исходной информации, на базе которой осуществляются увязка геометрических параметров сопрягаемых элементов конструкции и построение первоисточников увязки, во всех технологических методах увязки, применяемых в производстве ЛА, используют теоретические и конструктивные чертежи ЛА и другую конструкторскую и технологическую документацию, которую завод-изготовитель ЛА получает от опытной конструкторской организации (ОКО).

Теоретические чертежи содержат всю информацию, необходимую для полного и однозначного воспроизведения теоретической поверхности сборочной единицы или теоретических контуров в различных плоских сечениях этой поверхности.

Независимо от способа задания теоретических обводов планера ЛА в современных условиях их построение должно обеспечиваться с применением электронно-вычислительной техники, дающей возможность определения расчетным путем координат любых точек, лежащих на заданных теоретических контурах. Теоретические чертежи и другая прилагаемая к ним конструкторская документация включают методику и рекомендации, обеспечивающие возможность построения теоретических контуров.

В конструктивных чертежах дается конструкция общих видов и плоских сечений сборочных единиц, а также входящих в их состав деталей. Конструктивные чертежи и прилагаемая к ним другая

конструкторская документация содержат всю информацию, необходимую для полного и однозначного воспроизведения геометрических параметров всех конструктивных элементов сборочной единицы с применением соответствующих средств увязки.

К технологической документации, получаемой заводом от опытной конструкторской организации, относятся директивные технологические процессы сборки изделий и изготовления наиболее сложных деталей, а также другая директивная технологическая документация, включающая укрупненные схемы увязки и рекомендации по изготовлению и применению первоисточников увязки для обеспечения необходимой точности сопряжений и точности аэродинамических обводов планера ЛА (п. 5.4).

Для практического осуществления геометрической увязки сопрягаемых элементов конструкции и технологической оснастки при всех методах увязки в качестве исходной информации необходимы данные соответствующей технологической документации, разрабатываемой заводом-изготовителем ЛА в начале технологической подготовки производства. К ней относятся: ведомости и схемы первоисточников и специальных средств увязки (плазов, эталонов, программ, шаблонов, макетов), технологических объектов увязки (инструментов, приспособлений) с указанием технологических баз, отверстий, а также чертежи или конструктивные схемы подлежащих увязке инструментов, приспособлений и других средств оснащения с техническими условиями на их изготовление.

Комплекс информации, имеющейся в указанной конструкторской и технологической документации, дает возможность построить необходимые первоисточники увязки, применить соответствующие средства увязки и обеспечить заданную точность геометрической увязки объектов основного и вспомогательного производства по всей технологической цепочке их изготовления.

Информация о теоретических обводах и контурах

Виды аэродинамических поверхностей сборочных единиц летательных аппаратов. Теоретические обводы планера ЛА образуются сочетанием различных поверхностей, имеющих как простую, так и сложную формы. Простейший вид поверхности — это плоскость. Более сложными являются криволинейные поверхности одинарной

кривизны. У них в сечении любой плоскостью, проведенной через ось агрегата, образуется прямая линия, поэтому поверхности этого вида называют линейчатыми. К ним относятся различные цилиндрические и конические поверхности. Среди них наиболее простыми для задания и построения являются линейчатые поверхности, образованные круговым цилиндром или конусом.

Линейчатую поверхность имеют, например, крыло, средняя часть фюзеляжа, стабилизатор и другие аналогичные им сборочные единицы. Поверхность, образованную круговыми геометрическими фигурами, имеют, например, носовая часть корпуса ракеты (прямой круговой конус), центральная часть ракеты (круговой цилиндр), хвостовая часть (усеченный конус).

Наиболее сложными являются поверхности двоякой кривизны, которые при сечении любой плоскостью дают след в виде кривой линии. Такие поверхности называют криволинейными. Криволинейные поверхности могут быть двояковыпуклыми и знакопеременной кривизны. Последние при их задании аналитическими зависимостями в построении представляют наибольшую сложность. Криволинейную поверхность имеют, например, носовая и хвостовая части фюзеляжа, концевые обтекатели крыла, стабилизатора, киля и другие подобные им детали и сборочные единицы. Поверхность знакопеременной кривизны имеют различные обтекатели типа зализов.

Оси и плоскости, относительно которых задаются теоретические контуры и поверхности. Аэродинамические обводы планера ЛА или их частей в теоретических чертежах задаются в пространственной прямоугольной системе координат относительно трех взаимно перпендикулярных координатных осей и плоскостей (рис. 10.5).

Горизонтальная ось *XX* обычно совмещается с осью ЛА или его агрегата и имеет ее название (ось фюзеляжа, ось крыла и т.д); расстояния, откладываемые на этой оси, называют дистанциями. Вертикальная ось *УУ* называется осью симметрии, а горизонтальная ось *ZZ* — осью строительной горизонтали.

Начало координат *О* совмещается с крайней передней точкой агрегата или планера. Аэродинамический контур, полученный в результате пересечения аэродинамической поверхности какой-либо плоскостью, задается в плоской прямоугольной системе координат относительно двух взаимно перпендикулярных осей.

Основные плоскости, на которые проектируются теоретические контуры, имеют тоже специфические названия. Вертикальную

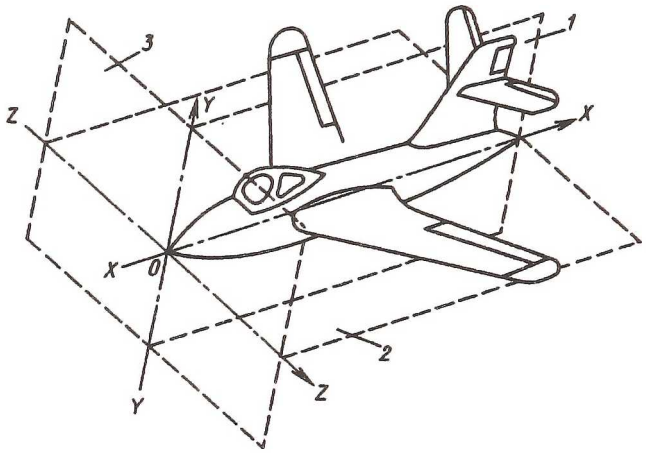


Рис. 10.5. Схема координатных плоскостей самолета

плоскость *1* называют плоскостью симметрии планера или агрегата; горизонтальную плоскость *2* — плоскостью строительной горизонтали, а вертикальную плоскость *3* — плоскостью нулевой дистанции.

В производстве ЛА применяют два различных способа задания и построения аэродинамических обводов агрегатов планера: каркасный и кинематический. Следует отметить, что при обоих методах в современных условиях должна предусматриваться возможность применения электронно-вычислительных машин для расчета координат точек, а также координатографов и фрезерных станков с числовым программным управлением для физического воспроизведения аэродинамических контуров и обводов.

Задание контуров сечений аэродинамических поверхностей уравнениями в явном виде. В современных ЛА для задания аэродинамических поверхностей и контуров их сечений широкое применение получили кривые второго порядка, имеющие вторую степень относительно текущих координат x и y. В общем виде уравнение кривой второго порядка может быть представлено соотношением

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0.$$

В зависимости от значений коэффициентов A, B, C, D, E и F это уравнение может соответствовать уравнениям типа эллипса (в частности — окружности), параболы и гиперболы.

При $B^2 - 4AC^2 < 0$ оно преобразуется в уравнение эллипса с полуосями a и b

$$x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1;$$

при $B^2 - 4AC > 0$ — в уравнение гиперболы

$$x^2/a^2 - y^2/b^2 = 1;$$

при $B^2 - 4AC = 0$ — в уравнение параболы

$$x = ay^2;$$

при $B = D = E = 0$, $A = C = 1$ и $F = r^2$ — в уравнение окружности

$$x^2 + y^2 = r^2.$$

Более простыми для математического задания и построения являются линейчатые поверхности, имеющие наиболее широкое применение в конструкциях ЛА. В частности, аналитическое задание круговых цилиндрических поверхностей может быть осуществлено двумя параметрами: радиусом r окружности оснований и высотой h цилиндра (рис. 10.6). Расчет ординаты y_i по заданной абсциссе x_i любой точки a_i, лежащей на такой поверхности в плоскости сечения, перпендикулярного образующей цилиндра, осуществляется по уравнению окружности

$$y_i = \pm\sqrt{r^2 - x_i^2}\,.$$

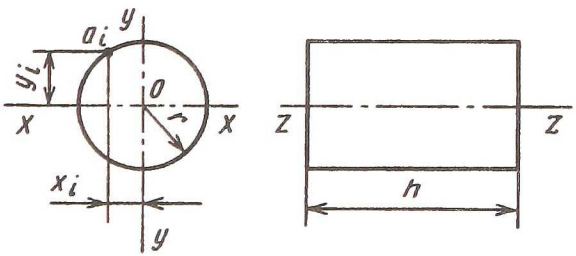


Рис. 10.6. Схема для расчета координат точки, лежащей на цилиндрической поверхности

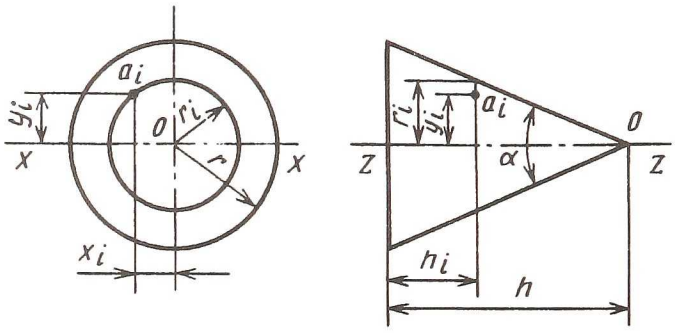


Рис. 10.7. Схема для расчета координат точек, лежащих на конусной поверхности

Круговые конические поверхности аналитически задаются тремя параметрами: радиусом r окружности основания, высотой h_i сечения, плоскость которого параллельна основанию, и углом α между диаметрально противоположными положениями образующей конуса (рис. 10.7). Расчет ординат точек, лежащих на такой поверхности в плоскости сечения, параллельной основанию конуса, осуществляется по формуле

$$y_i = \pm\sqrt{\left(r - h_i \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}\right)^2 - x_i^2}.$$

Ординаты точек, лежащих на контурах наклонных сечений круговой цилиндрической поверхности плоскостью, не параллельной образующей, определяются уравнением эллипса

$$y_i = \pm\frac{1}{\cos\varphi}\sqrt{r^2\cos^2\varphi - x_i^2},$$

где φ — угол наклона секущей плоскости к плоскости основания цилиндра (рис. 10.8, *а*).

Аналогично для сечений наклонной плоскостью круговой конической поверхности (рис. 10.8, *б*) ординаты точек могут быть рассчитаны по формуле

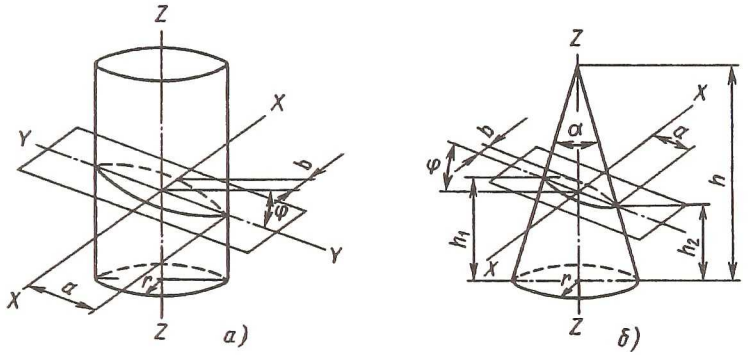


Рис. 10.8. Схема для расчета координат точек, лежащих на цилиндрической (*а*) и конической (*б*) поверхностях в секущей плоскости, не параллельной основанию

$$y_i = \pm \frac{[2r - (h_1 + h_2)]\sin\varphi}{2(h_1 - h_2)} \sqrt{\left(\frac{h_1 - h_2}{2\sin\varphi}\right)^2 - x_i^2}.$$

В случае, если конические сечения образуются плоскостью, параллельной оси конуса, их контуры рассчитывают с использованием уравнения гиперболы.

По приведенным выше формулам рассчитывают поверхности и контуры сечений цилиндрических и конических обшивок, элементы шпангоутов и других деталей, выходящих на теоретическую поверхность. Более сложными для математического задания и построения являются поверхности крыла, центроплана, закрылков, элеронов, стабилизатора, киля, рулей высоты, поворота и других подобных им сборочных единиц.

Поверхности этого типа относятся к коническим поверхностям с пропорциональной разбивкой. Задаются они уравнениями концевых направляющих контуров (корневой и концевой нервюр) и законом пропорционального перемещения по ним прямолинейной образующей (рис. 10.9, *а*). Последняя при этом соединяет относительно равные отрезки хорд корневой и концевой нервюр. Пропорциональные линии в случае геометрического подобия контуров указанных нервюр совпадают с лучами, проведенными из вершин *О* поверхности.

Основное влияние на форму поверхности при этом оказывают геометрические характеристики концевых направляющих контуров

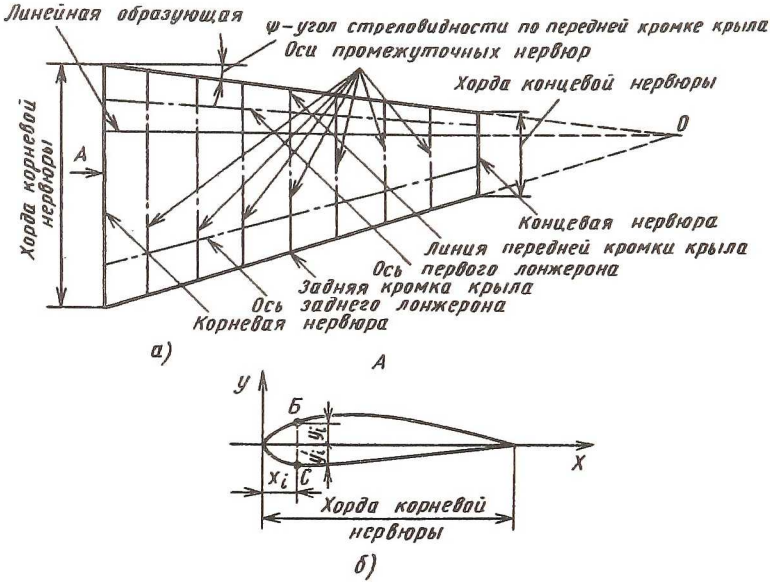


Рис. 10.9. Схема для расчета конической поверхности с пропорциональной разбивкой

(контуров корневой и концевой нервюр), которые определяются функциональными зависимостями $y_i = \varphi(x_i)$ и $y_i' = f(x_i)$ (рис. 10.9, *б*).

Существенное влияние на форму поверхности оказывают также угол стреловидности агрегата ψ, хорды профилей нервюр, расстояние между исходными профилями в направлении, перпендикулярном к хордам, а также угол закрутки поверхности агрегата.

Теоретические контуры концевых нервюр задаются в теоретическом чертеже в виде сведенных в таблицу координат точек, лежащих на контуре, либо аналитических зависимостей, позволяющих определить координаты любой точки контура. Расчетные формулы и их параметры при этом зависят от геометрической характеристики аэродинамической поверхности агрегата.

Для математического задания поперечных сечений фюзеляжа самолета можно воспользоваться общим степенным уравнением, представленным в явном виде

$$(x/a)^m + (y + b)^n = 1. \qquad (10.1)$$

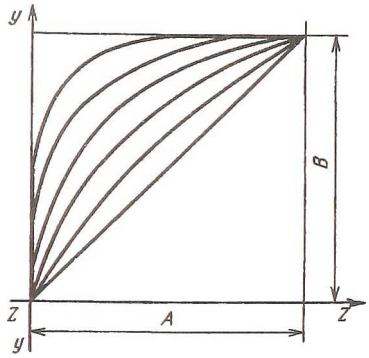


Рис. 10.10. Семейство кривых контуров плоских сечений фюзеляжа

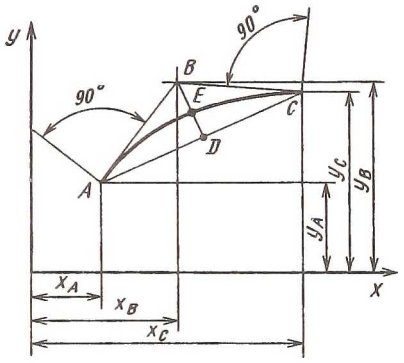


Рис. 10.11. Схема построения контуров сечений по теореме пяти точек

Уравнение (10.1) описывает семейство линий различной кривизны контура плоского сечения фюзеляжа (рис. 10.10). Придавая показателям степени m и n различные числовые значения, можно получить математическое описание поперечных сечений фюзеляжа, имеющего поверхность практически любой сложности. В частности, при $m = n = 1$ уравнение (10.1) переходит в уравнение прямой в отрезках, а при $m = n = 2$ в уравнение эллипса; при $m = n = 2$ и $a = b = r$ уравнение (10.1) преобразуется в уравнение окружности.

Для построения кривых второго порядка, имеющих сложный контур, отличный от простых геометрических фигур, в производстве ЛА применяется графоаналитический способ задания поверхностей, основанный на теореме Паскаля, которая гласит: если на плоскости заданы пять точек, из которых никакие четыре не лежат на одной прямой, то существует при этом только одна действительная линия второго порядка, которая проходит через эти пять точек.

Согласно этой теореме по пяти заданным точкам кривой можно построить любые принадлежащие ей точки. Кривая второго порядка при этом может быть задана начальной и конечной точками $A(x_A, y_A)$ и $C(x_C, y_C)$, двумя касательными AB и BC к кривой в этих точках и коэффициентом, называемым дискриминантом f, характеризующим геометрический вид этой кривой, ее выпуклость (рис. 10.11):

$$f = ED/BD.$$

Точка $B(x_B, y_B)$ является точкой пересечения касательных AB и BC. При $f < 0{,}5$ кривая представляет собой часть эллипса, при $f = 0{,}5$ — часть параболы и при $f > 0{,}5$ — часть гиперболы.

Дискриминант f определяет положение точки E, принадлежащей кривой. Для различных участков кривых типа контуров нервюр дискриминант меняет свое значение в соответствии с изменением кривизны контура.

Аналитическое задание поверхностей элементов конструкции планера ЛА. В общем виде поверхность определяется уравнением

$$F(x, y, z) = 0.$$

Уравнение, определяющее плоскость, при этом имеет вид

$$Ax + By + Cz - D = 0$$

(при $A \neq B \neq C \neq 0$), а уравнение плоскости в отрезках

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1.$$

Сферическая поверхность аналитически задается уравнением

$$x^2 + y^2 + z^2 - 2xx_m - 2yy_m - 2zz_m +$$

$$+ x_m^2 + y_m^2 + z_m^2 - R^2 = 0.$$

Уравнение поверхности кругового конуса с вершиной в начале координат имеет вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0.$$

Коническое уравнение эллипсоида

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1.$$

Используя формулы аналитической геометрии можно описать математически и другие правильные геометрические поверхности. Однако, аэродинамические поверхности планера ЛА не всегда удается

точно описать аналитически. Поэтому часто используют приближенные методы интерполяции и аппроксимации, при которых применяются наиболее удобные базисные полиномы. Кривые и поверхности, полученные такими приближенными методами, называют аналитически неописываемыми геометрическими объектами [43]. Они должны обладать хорошими аэродинамическими свойствами, быть гладкими без резко выраженных нерегулярностей. С аналитической точки зрения это означает, что эти кривые и поверхности должны быть многократно дифференцируемы и их производные должны удовлетворять критериям непрерывности. Поверхности, заданные такими методами, математически моделируют; физически воспроизведенные модели поверхностей исследуют (продувают в аэродинамических трубах), модифицируют и улучшают до тех пор, пока не будет достигнута необходимая форма поверхности. Получение таких кривых и поверхностей, удовлетворяющих заданным свойствам действительного объекта, рассматривается в специальной литературе.

Каркасный способ задания и построения аэродинамических поверхностей. При каркасном способе задаются координаты точек контуров отдельных поперечных и продольных сечений аэродинамической поверхности. В качестве основных плоскостей, на которые проецируются контуры сечений, применяются плоскости, проведенные через координатные оси (см. рис. 10.5).

Для воспроизведения всей теоретической поверхности планера или агрегата, особенно тех их элементов, которые имеют сложную пространственную форму, трех основных секущих плоскостей недостаточно. Поэтому применяют систему параллельных им дополнительных секущих плоскостей (рис. 10.12).

Дополнительные плоскости *2*, *6*, параллельные плоскости строительной горизонтали, называют *горизонталями* (плоскостями горизонталей); дополнительные плоскости *4*, *5*, параллельные плоскости симметрии *1*, называют *батоксами* (плоскостями батоксов). Плоскости *3* поперечных сечений, параллельные плоскости нулевой дистанции, обычно совмещают с плоскостями конструктивных элементов планера ЛА и называют *плоскостями элементов* (например, плоскостями шпангоутов для фюзеляжа, плоскостями нервюр для крыла и оперения).

Батокс, совпадающий с плоскостью симметрии, называют *нулевым*, а линии, полученные при пересечении им аэродинамической

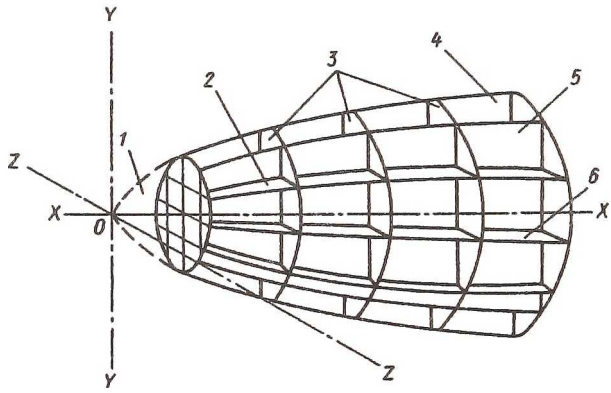


Рис. 10.12. Схема расположения секущих плоскостей при каркасном методе задания поверхности

поверхности — *линиями нулевого батокса.* Горизонталь, совпадающую со строительной горизонталью, называют *нулевой горизонталью.*

Расстояния (дистанции) между дополнительными плоскостями зависят от сложности формы поверхности сборочной единицы: чем сложнее форма, тем меньше должны быть расстояния между дополнительными плоскостями и тем, следовательно, больше должно быть проведено дополнительных плоскостей.

Во всех случаях в целях облегчения использования имеющихся средств увязки (плазкондукторов, координатных стендов) расстояния между секущими дополнительными плоскостями принимают кратными 50 мм.

На основные плоскости проектируют линии пересечения теоретической поверхности вспомогательными плоскостями. В результате получают систему теоретических кривых, которые в совокупности определяют форму и размеры теоретической поверхности планера ЛА или его отдельных частей.

Плавность теоретической поверхности сборочной единицы зависит от плавности линий батоксов, горизонталей и линий поперечных сечений. Одна и та же точка поверхности при этом должна лежать на теоретических линиях продольного и поперечного сечений.

Поскольку при каркасном способе в теоретических чертежах задаются однозначно координаты точек поверхности, лежащих только

в плоскостях продольных и поперечных сечений, образуется по существу каркас теоретической поверхности (отсюда и название метода); координаты точек, расположенных между линиями каркаса при каркасном методе в чертежах не задаются и могут быть определены интерполяционным методом либо путем сведения на плавность при материализации поверхности в технологической оснастке.

Каркасный метод задания аэродинамических обводов в современных условиях применяется в основном в плазовых и частично в эталонных методах увязки.

При построении теоретических плазов увязку обводов по каркасу аэродинамической поверхности ведут одновременно на трех проекциях. В случае, если отдельные точки выпадают из общей плавности, после проверки правильности построения плазовых кривых выполняют соответствующую корректировку координат в теоретических чертежах.

Такая увязка батоксов, горизонталей и поперечных сечений составляет весьма сложную и трудоемкую задачу, что является существенным недостатком каркасного способа задания теоретических обводов.

Кинематический способ задания аэродинамических поверхностей. При кинематическом способе задания аэродинамических поверхностей их построение ведется не по отдельным сечениям, а по всей поверхности непрерывно с использованием аналитических зависимостей, в качестве которых могут быть уравнения кривых второго порядка или другие степенные уравнения с различными по числу и значению параметрами. Поверхность при таком построении представляют как след движущейся в пространстве линии, а линию — как след точки, движущейся в плоскости. Линии и поверхности, образованные непрерывным движением точки или линии, называют *кинематическими*. Характер кинематической поверхности или контура определяется принятым математическим законом перемещения линии или точки.

Для кинематического построения аэродинамических контуров сечений сборочной единицы их задают с использованием в основном кривых второго порядка.

В качестве геометрических параметров в этих уравнениях применяют координаты точек, направление и положение касательных к кривой в заданных точках, комбинации из точек и касательных.

Для автоматического расчерчивания кинематических кривых наиболее удобно использовать параметрические уравнения. При параметрическом задании линия описывается сразу как след движения точки на плоскости. Описание линии в этом случае ведется двумя уравнениями, выражающими обе координаты через значение производящего параметра

$$x = f(t);\ y = \varphi(t),$$

где $f(t)$ и $\varphi(t)$ — две заданные функции независимой переменной t.

Параметрические линии могут быть по форме более разнообразными, чем описываемые явными уравнениями. При равномерном изменении параметра t текущая точка $F(t) = [f(t), \varphi(t)]$ с постоянной скоростью будет двигаться по плоскости, описывая контур заданной кривой. При этом $F(t)$ будет векторной функцией параметра t.

Параметрическое уравнение прямой линии имеет вид

$$y - y_0 = f(x - x_0),$$

а параметрические уравнения эллипса могут быть представлены как

$$x = f(t) = a\cos t;\ y = \varphi(t) = b\sin t.$$

Аналогично двумя параметрическими уравнениями могут быть описаны и другие правильные геометрические кривые.

Для параметрического задания поверхностей очень часто используют гауссовские параметры (u, v). Например, с помощью таких параметров определяются поверхности, которые образуются вращением плоской кривой вокруг заданной оси [56].

В большинстве случаев сложный контур кривой описать одним явным или двумя параметрическими уравнениями сложно (например, контур нервюры крыла). Тогда используют комбинацию из нескольких уравнений, описывая каждым из них только часть заданной кривой. Такие линии могут состоять из отдельных отрезков различных или однотипных кривых. Линии, состоящие из дуг одного типа (например, частей окружностей различного радиуса), называют однородными, а из дуг различного типа — разнородными. Используя однородные и разнородные дуги в сочетании с прямыми линиями, можно заданную кривую произвольной сложности описать математически и на основе ее математической модели разработать управляющую программу для ее физического воспроизведения на оборудовании

с ЧПУ. Для построения общей плавной кривой линии составляющие ее дуги должны стыковаться так, чтобы в точках их соединения направления касательных векторов совпадали, т.е. чтобы значения первых производных были одинаковыми.

Аэродинамическая гладкость продольных контуров сечений большинства агрегатов самолета обеспечивается непрерывностью первой производной в этих сечениях. Для агрегатов, оказывающих наиболее существенное влияние на аэродинамические свойства самолета в целом (крыло, носовая часть фюзеляжа, гондолы двигателей и т.п.), требуется обеспечивать в продольных сечениях непрерывность второй производной. Требования к гладкости поперечных сечений ЛА обычно на порядок ниже, чем к гладкости продольных [37].

При проработке формы поверхности самолета учитывают также эксплуатационные, конструктивные и технологические требования. С этой точки зрения математические методы описания обводов и поверхностей должны обеспечивать [37]:

плавное включение в создаваемую поверхность цилиндрических, конических, параболических и других аналитически описанных контуров и поверхностей. К ним относятся поверхности лобовых цилиндрических стекол пилотских кабин, элементы поверхности крыла и оперения с коническим формообразованием, обтекатели специальных антенн и т.д.;

плавное включение в проектируемую поверхность плоских участков, характерных для люков под стекла фотоаппаратов, остекления кабин, плит специальных датчиков и др.;

прямолинейность заданных сечений некоторых силовых элементов, например, сечения по сжатой верхней полке лонжерона крыла.

При кинематическом образовании поверхностей линию, при движении которой образуется поверхность, называют *образующей*, а линию, относительно которой движется образующая, — *направляющей*.

Например, образовать кинематическим способом цилиндрическую поверхность можно либо перемещая по замкнутой окружности прямую линию, когда она последовательно проходит все ее точки, либо перемещая вдоль оси цилиндра замкнутую окружность.

В первом случае направляющей будет окружность, во втором случае — ось цилиндра.

Кинематический способ дает возможность определять координаты любой точки, лежащей на теоретической поверхности в любом месте, и получать кривые пересечения поверхности любой плоскостью, в том числе и непараллельной основным плоскостям.

Кинематический способ задания поверхностей обладает рядом существенных преимуществ перед каркасным и успешно применяется во всех методах обеспечения взаимозаменяемости и увязки. Он дает возможность проектировать аэродинамические обводы планера и воспроизводить их с применением ЭВМ и оборудования с числовым программным управлением. При создании теоретических чертежей увязку контуров можно вести в уменьшенном масштабе, что в значительной мере упрощает задачу, не нарушая точности увязки.

10.5. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СРЕДСТВ УВЯЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

Как отмечалось выше, средства обеспечения взаимозаменяемости и увязки служат в основном для переноса взаимоувязанных размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции ЛА с первоисточников увязки на увязываемые объекты. Вместе с тем, многие из них одновременно служат средством изготовления технологической оснастки, а в ряде случаев и средством изготовления элементов конструкции ЛА.

Используются они также и при построении некоторых видов первоисточников увязки. Применяемые средства увязки, их конструкция и технологические свойства оказывают существенное влияние на характер и структуру методов увязки, технологию их практического применения. Все используемые в современном производстве ЛА средства увязки можно разделить на две большие группы: универсальные и специальные.

Универсальные средства увязки

Универсальные средства широко применяют во всех четырех группах технологических методов увязки. К ним относятся:

общемашиностроительные средства измерения и контроля универсального назначения; универсальные средства, специально предназначенные для размерной увязки элементов конструкции ЛА.

Общемашиностроительные средства измерения и контроля универсального назначения. Эти средства увязки широко применя-

ются в производстве ЛА при изготовлении первоисточников и специальных средств увязки и при переносе взаимоувязанных размеров с первоисточников на объекты увязки. К ним относятся различные технические устройства, используемые для измерения и контроля геометрических параметров изделий, имеющие нормированные метрологические свойства.

В качестве универсальных средств увязки при этом используются в основном измерительные приборы и инструменты прямого действия, обеспечивающие возможность либо непосредственного воспроизведения, либо непосредственной оценки размеров по имеющемуся у них счетному устройству.

Наиболее широкое применение получили линейки с оптическими устройствами или без них, штангенинструменты (штангенциркули, штангенглубомеры, штангенрейсмусы), микрометрические инструменты (в основном микрометры). Менее широко применяют различные рычажно-механические приборы.

В качестве универсальных средств увязки используют также приспособления, специально предназначенные для разметки окружностей и контроля радиусных закруглений при изготовлении шаблонов, эллипсографы, штангенрейсмусы с устройством, обеспечивающим разметку эквидистантных контуров, шаговые линейки и другие универсальные инструменты, которые в других машиностроительных отраслях применения почти не имеют.

Универсальные средства, специально предназначенные для размерной увязки элементов конструкции летательных аппаратов. Кроме универсальных средств увязки общемашиностроительного применения для переноса размеров и формы с первоисточников на объекты увязки и обеспечения взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц широкое применение получили универсальные средства увязки, которые специально предназначены для ЛА и в общем машиностроении практически не используются.

К ним относятся плазкондукторы, инструментальные стенды, специальное металлорежущее оборудование, оптические и лазерные устройства, электронно-механические контрольно-измерительные машины. Ниже приведены их краткая характеристика и области применения.

Плазкондукторы являются универсальным средством размерной увязки в основном плоских конструкций изделий и плоских элементов технологической оснастки.

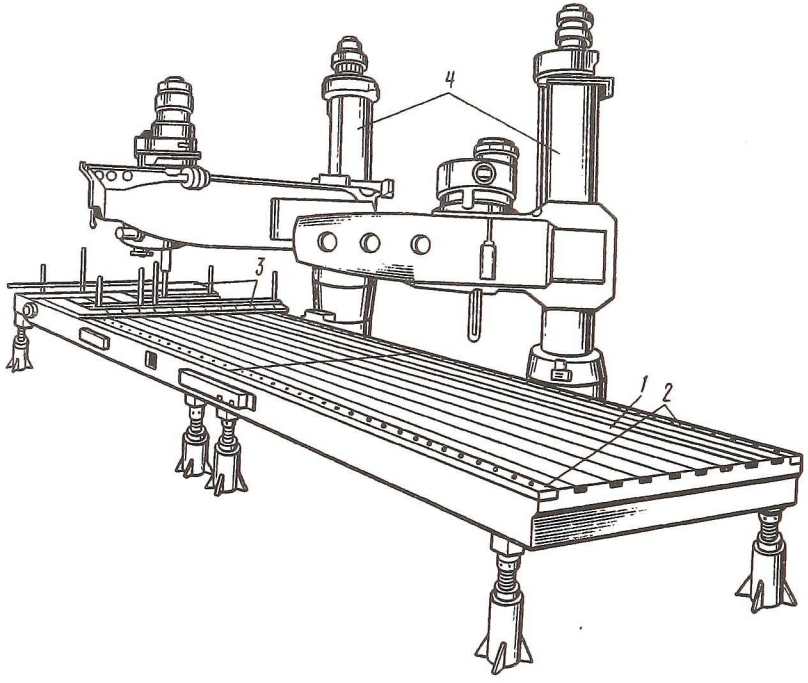


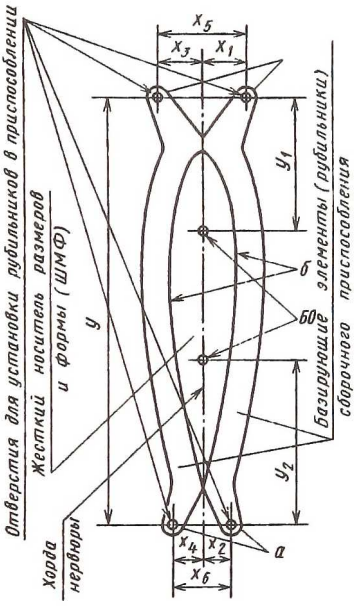
Рис. 10.13. Плазкондуктор

Конструктивно плазкондуктор состоит из горизонтального стола *1* с плоской рабочей поверхностью, на котором по бокам закреплены продольные координатные линейки *2* с классными отверстиями, имеющими шаг 50 мм (рис. 10.13). Кроме продольных линеек плазкондуктор имеет также поперечные линейки *3*, перемещающиеся в продольном направлении и имеющие тоже классные отверстия с шагом 50 мм. Установка и закрепление линеек *3* в заданном положении осуществляется соответствующими фиксаторами.

С помощью такой конструкции можно совместить любую точку, лежащую на плоской поверхности плиты *1* и имеющую координаты, кратные 50 мм, с центром одного из отверстий поперечной линейки. Рядом с плазкондуктором устанавливают радиальные сверлильные станки *4* для сверления отверстий в плоских изделиях, подлежащих размерной увязке.

Плазкондукторы применяют для размерной увязки координат центров отверстий, навески плоских фиксирующих и базовых

Рис. 10.14. Схема привязки координат центров отверстий *а* навески плоских рубильников к аэродинамическим контурам *б* сборочной единицы



элементов сборочных приспособлений (рубильников, ложементов, монтажных плит, упоров и т.п.) с их рабочим контуром, выходящим или не выходящим на аэродинамическую поверхность (рис. 10.14). Увязка осуществляется относительно базовых осей сборочной единицы (оси симметрии и оси строительной горизонтали ЛА).

Рабочие контуры фиксирующих элементов (рубильников) предварительно обрабатывают по плоскому жесткому носителю размеров и формы (шаблону), у которого контур построен в привязке к базовым отверстиям, просверленным на координатной оси (например, хорде нервюры крыла). По базовым отверстиям шаблон устанавливают на плазкондукторе и с фиксацией на его рабочий контур монтируют фиксирующие элементы приспособления. Затем по координатам *x* и *y*, указанным в чертеже, устанавливают поперечные линейки плазкондуктора и сверлят отверстия навески. Таким образом, вся увязка основных размеров фиксирующих элементов осуществляется с помощью шаблона и плазкондуктора. Плазкондуктор используют также при построении плазовых первоисточников увязки для нанесения координатной сетки на теоретических плазах и для сверления базовых и плазкондукторных отверстий в плазовых панелях.

Инструментальные стенды являются универсальными средствами увязки объемных конструкций. Предназначены они для точной установки в пространстве фиксирующих узлов и базовых элементов сборочных приспособлений; увязка осуществляется относительно базовых осей ЛА. Для этих целей используют систему, состоящую из координатных линеек, расположенных параллельно трем осям прямоугольной системы координат.

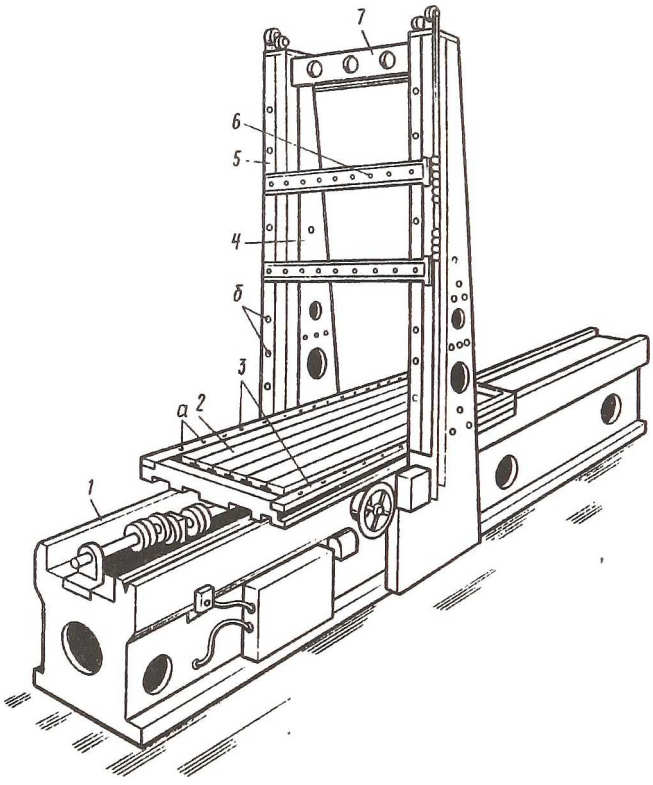


Рис. 10.15. Инструментальный стенд

Конструктивно инструментальный стенд состоит из основания *1*, имеющего продольные направляющие, по которым перемещается стол *2* (рис. 10.15). На столе устанавливают элементы сборочных приспособлений, оси отверстий или координаты базовых точек которых надо строго ориентировать в пространстве.

На боковых стенках стола укреплены продольные координатные линейки *3*, имеющие отверстия *а* с шагом 200 мм и перемещающиеся вместе со столом в продольном направлении.

По бокам станины перпендикулярно к ее направляющим установлены две стойки *4*, связанные для жесткости поперечной балкой *7*. Стояки имеют две вертикальные координатные линейки *5*, по которым могут перемещаться две поперечные (горизонтальные)

координатные линейки *б*. Устанавливают и закрепляют линейки *б* в заданном положении с помощью специальных фиксаторов.

Точная установка стола в продольном направлении и поперечных линеек в вертикальном направлении может осуществляться вручную или с помощью электродвигателей. Вертикальные и поперечные координатные линейки имеют тоже классные отверстия *а* и *б* с шагом 200 мм.

С помощью системы имеющихся координатных линеек с точными отверстиями можно зафиксировать в пространстве любую точку с координатами, кратными 200 мм. Для воспроизведения любых размеров в пределах каждых 200 мм применяют универсальные калибры специальной конструкции с вмонтированными микрометрами. Устанавливают такой калибр на координатных линейках стенда с базой на имеющиеся в них отверстия.

Оптические и лазерные устройства и приборы применяют в качестве средств увязки при монтаже сборочной оснастки и контроле готовых сборочных единиц, в основном для проверки прямолинейности, плоскостности, соосности, перпендикулярности конструктивных элементов ЛА относительно друг друга и относительно баз соответствующих им сборочных приспособлений, а также для проверки правильности монтажа сборочной оснастки.

В качестве средств увязки при этом применяют оптические приборы визирного типа. К ним относятся прецизионные нивелиры, теодолиты, юстировочные установки, автоколлиматоры различных типов, визирные телескопы, оптические квадранты, специальные катетометры и другие подобные им геодезические приборы повышенной точности [11].

Все они относятся к категории бесконтактных средств увязки и координации размеров, обеспечивают сравнительно высокую точность монтажа, особенно крупногабаритной сборочной оснастки, и поэтому получили широкое применение в современном основном и вспомогательном производстве предприятий авиационного профиля.

Более высокую точность монтажа и увязки геометрических параметров сборочных единиц ЛА и технологической оснастки, соответствующую возрастающим требованиям непрерывно развивающейся авиационной техники, можно обеспечить путем создания и применения оптических квантовых генераторов (лазеров), на базе которых разработаны новые высокоточные методы и средства контроля и увязки.

К числу таких устройств, получающих все более широкое применение для выполенния контрольно-монтажных работ самого широкого профиля, относятся лазерные центрирующие измерительные системы (ЛЦИС), в состав которых входят лазерные излучатели, модуляторы излучателей, оптические коллиматоры, позиционно-чувствительные целевые знаки с блоками световой индикации и другие сложные высокоточные оптико-электронные устройства [47].

Системы ЛЦИС имеют специальную установочную оснастку, обеспечивающую выставление приборов, их ориентацию и закрепление относительно базовых осей приспособления или сборочной единицы.

Лазерные системы предназначены в основном для монтажа и увязки технологической оснастки, высокоточного изготовления и контроля сборочных единиц, стыковки и нивелирования авиационных конструкций.

Они обеспечивают контроль плавности обводообразующих элементов технологической оснастки, разметку базовых осей на каркасах и обшивках агрегатов и на объемной контрольно-макетной и заготовительно-штамповочной оснастке, проверку плоскостности, параллельности, перпендикулярности и соосности отдельных элементов конструкции, увязку по всем этим параметрам технологической оснастки и сборочных единиц.

Главное их преимущество по сравнению с обычными оптическими методами визирования — более высокая чувствительность и точность, возможность измерения объектов больших габаритных размеров, большая производительность и объективность контроля, высокое быстродействие.

Оборудование для обработки резанием, в том числе и станки с ЧПУ, служит не только средством изготовления технологической оснастки и элементов конструкции ЛА, но и средством увязки изготовляемых элементов. Его применяют для изготовления первоисточников и специальных средств увязки.

При наладке оборудования с помощью встроенных в него устройств воспроизводятся соответствующие размеры, которые после ряда проверок и контрольных измерений в процессе обработки переносятся на изготовляемую технологическую оснастку либо на детали ЛА.

С целью повышения точности увязки в конструкции некоторых станков встраивают различного рода измерительные устройства

(линейки с нониусами, индикаторы часового типа и т.п.), с помощью которых осуществляется статическая настройка режущих инструментов и обрабатываемых заготовок.

В станках с ЧПУ носителем увязанных геометрических параметров является управляющая программа, с помощью которой цифровая информация, записанная на программоносителе, преобразуется в соответствующие перемещения обрабатывающего инструмента в виде получаемых при этом геометрических параметров и переносится на изготовляемое изделие, обеспечивая необходимую точность его размеров и формы.

Электронные и электронно-механические контрольно-измерительные машины находят все более широкое применение для контроля точности изготовления и увязки элементов конструкции технологической оснастки и ЛА. Их применяют для контроля обводообразующей заготовительно-штамповочной оснастки, а также базовых элементов сборочных приспособлений (рубильников, ложементов), изготовленных различными методами, в том числе и на станках с ЧПУ.

Для контроля плоских конструкций могут быть использованы трехкоординатные измерительные машины (вертикальная координата используется для подвода измерительной головки к контролируемой поверхности). Для контроля оснастки, имеющей сложные обводы, применяют пяти- и шестикоординатные измерительные машины.

Все применяемые в производстве ЛА контрольно-измерительные машины приводятся в действие от записанной на программоносителе контролирующей программы с расчетными значениями контрольных точек, расположенных в зависимости от сложности поверхности на расстоянии 50 — 5000 мм друг от друга.

Число расчетных (контрольных) точек должно быть не менее пяти. Контролируемые изделия на столе контрольно-измерительной машины устанавливают с помощью классных штифтов, обеспечивающих высокую точность базирования относительно обводообразующих поверхностей и необходимую жесткость крепления их в процессе контроля.

Применяемые в производстве ЛА контрольно-измерительные машины ("Альфа", "Дельта") имеют ручной, полуавтоматический и автоматический режимы работы при скорости измерения 0,025 — 10 м/мин. Измерительная головка перемещается с помощью серводвигателей. Электронная аппаратура включает в свой состав централь-

ный процессор, устройство ввода и вывода информации, блок памяти, периферийные устройства, фотоэлектрические преобразователи, электронные измерительные приборы.

Вывод результатов измерения в виде числовых значений координат точек осуществляется либо на визуализатор (дисплей), либо на пищущую машинку или ленточный перфоратор. С помощью соответствующей электронной аппаратуры может быть обеспечено воспроизведение кривых измерения на дисплее для визуального контроля, а также расчет и вывод отклонений действительных значений координат от допустимых значений.

Все указанные универсальные средства увязки и измерения обеспечивают увязку геометрических параметров сопрягаемых деталей и сборочных единиц на основе инструментального воспроизведения размеров с помощью имеющихся в них измерительных и отсчетных устройств, их называют инструментальными (И).

Специальные средства размерной увязки

Специальные средства увязки создают и используют специально для увязки и контроля конкретных сопрягаемых элементов конструкции какого-либо одного ЛА, а для других элементов и соединений они не могут быть применены. Их делят на две специфические группы: плоские и объемные средства увязки. Рассмотрим их конструктивно-технологические свойства и области применения.

Плоские специальные средства увязки. Их номенклатура и назначение. К плоским средствам увязки, обеспечивающим перенос размеров и формы с первоисточников на объекты увязки, относятся шаблоны (Ш) различного конструктивно-технологического назначения.

В качестве специального средства увязки они находят применение во всех четырех группах технологических методов обеспечения взаимозаменяемости. Шаблон представляет собой плоский мерительный инструмент с зафиксированными метрологическими характеристиками, изготовленный из прочного листового материала (чаще всего из листовой стали). Поэтому шаблоны относят к категории жестких носителей размеров и формы деталей и сборочных единиц, они сохраняют свои размеры и форму в течение длительного времени.

Шаблоны служат для переноса взаимно согласованных значений геометрических параметров сопрягаемых элементов конструкции с первоисточников увязки в основном на плоские объекты, расположенные преимущественно в одной плоскости. Источником их изготовления являются первоисточники увязки, соответствующие принятому методу обеспечения взаимозаменяемости.

Специальные чертежи на изготовление производственных шаблонов, как правило, не создают.

Шаблоны, выполняющие указанную задачу, называют производственными, поскольку их используют при технологической подготовке производства или непосредственно в сфере производства авиационной техники. Их применяют при изготовлении и контроле заготовительно-штамповочной и стапельно-сборочной технологической оснастки, а также при контроле изготовленных деталей и сборочных единиц планера ЛА. О годности деталей, сборочных единиц и технологической оснастки судят по степени совмещения проверяемого и рабочего профилей изделия и шаблона или по размерам и равномерности зазора между ними.

Независимо от методов увязки применяемые в них производственные шаблоны физически воспроизводят форму и размеры контуров соответствующих деталей или сборочных единиц в плане или их сечениях, имеют размеченные на поверхности конструктивные и базовые оси и установочные линии, просверленные технологические отверстия различного назначения и нанесенную на них так называемую техническую информацию, дополняющую воспроизведенные в натуре геометрические параметры.

Наиболее широкое применение шаблоны получили при плазово-шаблонном методе увязки. Именно здесь были разработаны основные типы шаблонов, направления их использования, их шифры, виды и условные обозначения дополнительной, наносимой на них технической информации. Все эти специфические особенности шаблонов, как специальных плоских средств размерной увязки, используют во всех современных технологических методах увязки. Шаблоны, как средства размерной увязки, играют весьма важную роль в образовании размеров и формы деталей и сборочных единиц летательных аппаратов, обеспечивая их геометрическую взаимозаменяемость.

Номенклатура производственных шаблонов достаточно обширна. Наиболее широкое применение получили шаблоны контура детали, внутреннего контура детали, контура развертки детали, заготовки

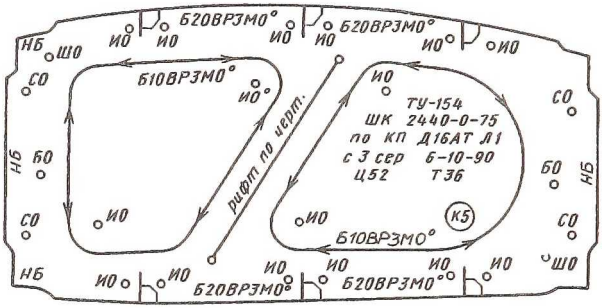


Рис. 10.16. Шаблон контура

детали, фрезерования разверток и заготовок по контуру, обрезки детали по контуру, контура сечения детали или сборочной единицы, гибки деталей, монтажно-фиксирующие и шаблоны приспособлений. Ниже даны краткая характеристика названных шаблонов и области их применения в производстве ЛА.

Шаблон контура (ШК) воспроизводит наружный контур детали, сопрягаемый с обшивкой сборочной единицы (рис. 10.16), образуется он пересечением внешних поверхностей детали, одной из которых служит поверхность плоской стенки, другой — поверхность борта.

Шаблоны контура применяют для изготовления и размерной взаимной увязки других шаблонов на деталь (ШРД, ШВК, ШОК), для изготовления заготовительно-штамповочной оснастки, воспроизводящей наружный контур детали (матриц гибочных и отбортовочных инструментальных штампов, контрольной оснастки и др.), и для непосредственного контроля деталей, изготовленных из листовых заготовок и прессованных профилей.

ШК применяют также при изготовлении копиров, кондукторов и других станочных приспособлений для обработки резанием, а также при изготовлений моделей для литья и штампов горячей штамповки заготовок и полуфабрикатов, предназначенных для изготовления деталей на станочном оборудовании. Изготовляют шаблоны контура по первоисточникам увязки с использованием конструктивных чертежей изделия.

Шаблоны внутреннего контура (ШВК) воспроизводят внутренний контур детали, образованный пересечением внутренних ее поверхностей (рис. 10.17). ШВК имеет контур, эквидистантный контуру ШК, отличается от него на толщину борта детали с корректировкой на

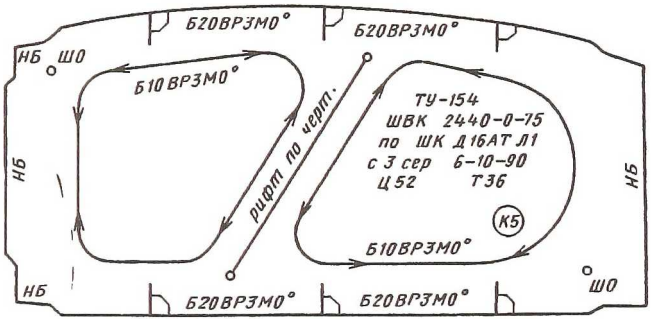


Рис. 10.17. Шаблон внутреннего контура

угол наклона борта к плоской стенке. Источниками для изготовления ШВК служат первоисточники увязки, шаблон контура детали и рабочие чертежи детали или сборочной единицы.

ШВК применяют для изготовления формоизменяющей заготовительно-штамповочной оснастки, воспроизводящей внутренний контур деталей: формоблоков для штамповки листовых деталей эластичными средами, пуансонов гибочных и отбортовочных, инструментальных и упрощенных штампов, оправок для гибки, отбортовки и доводки деталей, а также контрольной оснастки для проверки контура и угла наклона бортов листовых деталей по отношению к плоской стенке.

Шаблон развертки детали (ШРД) воспроизводит контур плоской развертки, из которой можно получить деталь с плоской стенкой методом гибки прямолинейных бортов или гибки формовки бортов по выпуклому или вогнутому контуру (рис. 10.18). Источником

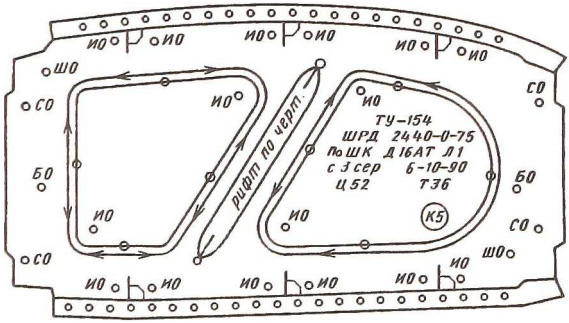


Рис. 10.18. Шаблон развертки детали

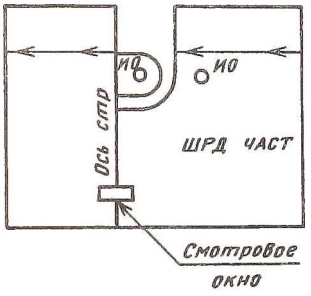


Рис. 10.19. Частичный ШРД

изготовления ШРД кроме первоисточников, соответствующих принятому методу увязки, служит также ШК.

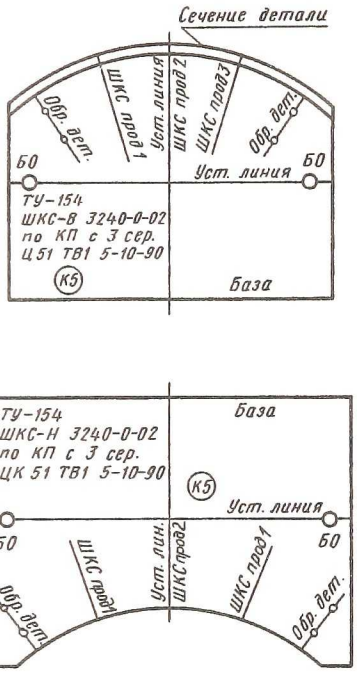
Развертку детали получают расчетным путем относительно контура ШК, мысленно отгибая борт детали на плоскость по нейтральному слою в зоне гибки (отбортовки). Для деталей сложной конфигурации с элементами вытяжки контур развертки уточняют после изготовления пробной детали и в случае необходимости вносят в него соответствующие коррективы. Для элементов развертки сложного контура и малого размера изготовляют частичный ШРД (например, для вырезов под стрингеры, рис. 10.19). Частичный ШРД должен быть геометрически согласован с основным ШРД. В качестве базы для их увязки применяют инструментальные отверстия.

Шаблон развертки применяют для изготовления шаблонов фрезерования (копиров к копировально-фрезерным станкам), вырубных инструментальных и упрощенных штампов, пуансонов для вырубки разверток эластичными средами, шаблонов группового раскроя, а также для непосредственного изготовления разверток путем разметки по ШРД, вырезки и обработки напильником. ШРД применяют также в качестве кондуктора для сверления в развертках деталей технологических отверстий через специальные переходные кондукторные втулки.

Шаблон заготовки (ШЗ) воспроизводит контур плоской заготовки для листовых деталей сложной пространственной формы, которую получить расчетным путем сложно или практически невозможно. Контур ШЗ отрабатывают экспериментально при изготовлении опытной детали, постепенно приближая его к технологически наиболее рациональной форме с минимальными припусками на последующую обрезку отштампованной детали. Полученную при этом заготовку хранят в качестве эталона и используют для изготовления ШЗ.

Шаблон заготовки применяют для тех же целей, что и ШРД. Шаблон фрезерования (ШФ) представляет собой копир, применяемый для изготовления разверток или заготовок путем контактного механического копирования на радиально-фрезерных, вертикально-

Рис. 10.20. Шаблоны контура сечения поверхности сборочной единицы



фрезерных и других специальных копировально-фрезерных станках. ШФ имеет контур, эквидистантный контуру ШРД или ШЗ.

Источником для изготовления ШФ служит ШРД или ШЗ. ШФ применяются также для группового раскроя деталей.

Шаблоны контура сечения (ШКС) воспроизводят внешний или внутренний контур плоского сечения листовой детали или поверхности сборочной единицы сложной пространственной формы (рис. 10.20). Источником изготовления ШКС кроме первоисточников увязки иногда служат специальные чертежи шаблонов сечения и технические условия на их изготовление.

ШКС применяют при изготовлении сборочной и объемной заготовительно-штамповочной оснастки, применяемой для сборки сложных узлов и штамповки деталей на прессах, листоштамповочных молотах и на оборудовании для изготовления деталей методом обтяжки. Их применяют при размерной увязке базовых элементов станочных приспособлений, предназначенных для изготовления деталей, имеющих поверхности сложной формы или выходящие на теоретические обводы планера.

Широкое применение ШКС получили для контроля обводов готовых деталей и сборочных единиц. О точности изготовления последних при этом судят по зазору между контролируемой поверхностью и контуром ШКС.

На ШКС для сложных поверхностей, которые обрабатывают по нескольким продольным и поперечным шаблонам сечения, наносят установочные и базовые линии, дающие возможность правильно взаимно расположить в пространстве смежные шаблоны. В зависимости от назначения ШКС могут быть выполнены как по наружному, так и по внутреннему контуру сечения детали. Для сборочных единиц

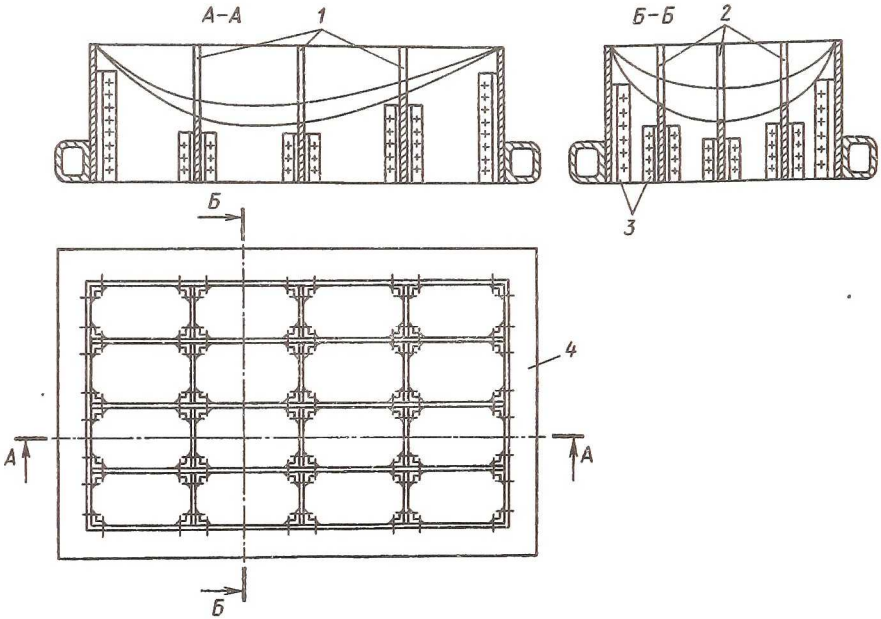


Рис. 10.21. Каркасный ШКС:
1 — поперечные шаблоны; *2* — продольные шаблоны; *3* — крепежные угольники; *4* — каркас

ШКС могут быть выполнены по внешней поверхности обшивки либо по поверхности каркаса. Шаблоны по внутреннему контуру называют внутренними и обозначают ШКС-В, по наружному контуру — наружными и обозначают ШКС-Н (см. рис. 10.20). В зависимости от назначения ШКС могут иметь выпуклый или вогнутый контур.

При изготовлении оснастки для деталей, имеющих особо сложную форму, применяют каркасные ШКС, представляющие собой комплекты поперечных и продольных ШКС, установленных на определенных расстояниях друг от друга и связанных в жесткий каркас (рис. 10.21). Каркасные шаблоны имеют шифр КРС. Они обеспечивают наиболее точное воспроизведение рабочей поверхности технологической оснастки, так как изготовляются с обеспечением точного взаимного расположения продольных и поперечных ШКС. В зависимости от назначения КРС изготовляют по внешней или внутренней поверхности деталей.

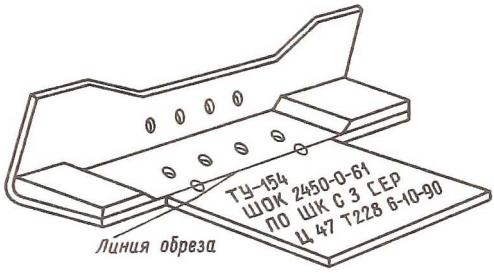


Рис. 10.22. Шаблон для обрезки детали по контуру и сверления отверстий

Шаблон обрезки контура (ШОК), в отличие от рассмотренных плоских шаблонов, имеет чаще всего объемную конструкцию; он воспроизводит контур готовой пространственной детали (рис. 10.22). Источником изготовления шаблона обрезки контура служат первоисточники увязки и ШК.

ШОК применяют для разметки и обрезки по контуру деталей, изготовленных штамповкой из листовых материалов на различном прессовом оборудовании, для разметки и обрезки гнутых и прямолинейных деталей из прессованных профилей и тонкостенных труб, а также в качестве кондуктора для сверления в деталях этого типа технологических и конструктивных отверстий различного назначения.

При разметке контура обрезки ШОК в зависимости от принятой его конструкции либо вкладывается в деталь, либо накладывается на нее. Накладные шаблоны в работе удобнее, и поэтому их применяют чаще.

Шаблоны гибки (ШГ) воспроизводят контур профильной детали по наружной или внутренней поверхности, изогнутой в одной плоскости. Источником для изготовления ШГ являются первоисточники увязки, конструктивные чертежи и ШК. Применяют ШГ для изготовления гибочной оснастки и контроля деталей, изготовленных из пресованных или катаных профилей гибкой на прессах или роликовых станках, а также оснастки для деталей из тонкостенных труб. Иногда по ШГ делают контрольную оснастку для проверки контура изготовленных деталей. По внешнему виду ШГ напоминают ШКС.

Шаблоны приспособления (ШП) и шаблоны монтажно-фиксирующие (ШМФ) применяют для изготовления и монтажа фиксирующих и базовых элементов сборочных приспособлений: рубильников, ложементов, фиксаторов, кондукторов для сверления отверстий, монтажных плит.

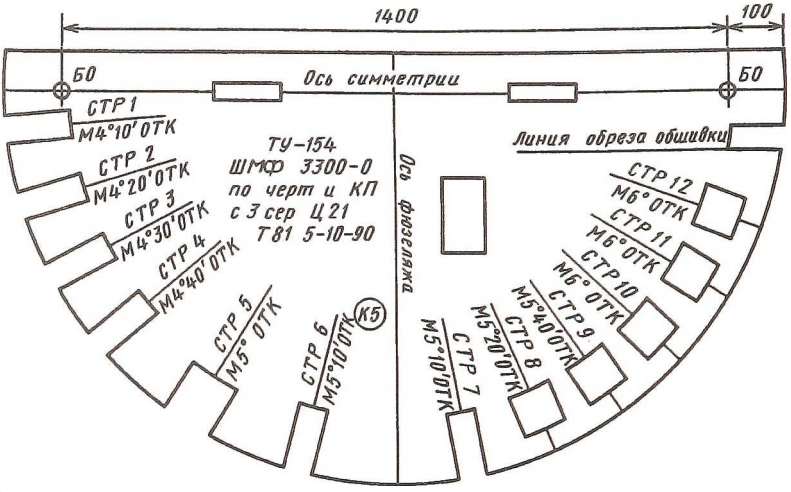


Рис. 10.23. Шаблон монтажно-фиксирующий

В зависимости от назначения ШП и ШМФ воспроизводят теоретический контур сборочной единицы по наружному либо по внутреннему контуру обшивки и имеют базовые отверстия, координатные и конструктивные оси, с помощью которых осуществляется их установка и фиксация в корпусе сборочного приспособления. ШМФ и ШП имеют специальные вырезы и отверстия, по которым устанавливают фиксирующие и зажимные элементы сборочных приспособлений (рис. 10.23).

Источниками для изготовления этих шаблонов, кроме первоисточников увязки, служат рабочие чертежи сборочных единиц, а также специальные чертежи самих шаблонов, увязанные с чертежами сборочных приспособлений.

В чертежах этих шаблонов и сборочной оснастки даются технические условия на изготовление шаблонов и их применение при изготовлении и монтаже сборочных приспособлений.

Комплекты шаблонов. В целях обеспечения высокого уровня взаимозаменяемости деталей и сборочных единиц согласование их геометрических параметров при всех технологических методах осуществляется не только при создании первоисточников, но и при изготовлении специальных средств увязки. Поэтому изготовляют производственные шаблоны обычно комплектами; геометрические параметры всех шаблонов, входящих в комплект, контролируют совместно и взаимно согласовывают.

Совместный контроль и увязка шаблонов в комплекте осуществляются по физически воспроизведенным контурам, координатным, конструктивным и специальным базовым осям, установочным линиям, конструктивным и технологическим отверстиям. Все эти элементы геометрической увязки в комплекте шаблонов должны быть взаимно согласованы с высокой точностью.

В производстве летательных аппаратов получили применение следующие комплекты шаблонов: 1) детальный, включающий все шаблоны, необходимые для изготовления детали и технологической оснастки для нее (например, ШК, ШВК и ШРД для деталей с плоской стенкой и отогнутыми бортами типа стенок нервюр); 2) узловой, включающий детальные комплекты шаблонов для деталей, входящих в конструкцию узла, и шаблоны, необходимые для его изготовления и контроля, в том числе ШМФ и ШКС; 3) ШКК на агрегат; 4) ШКС для контроля геометрических параметров готового агрегата, отсека, секции или изготовления формоизменяющей заготовительно-штамповочной оснастки; 5) ШП или ШМФ для монтажа сборочного приспособления и изготовления его базовых элементов (рубильников, ложементов).

Схема взаимного контроля и согласования размеров и формы шаблонов в детальном комплекте на носовую часть нервюры показана на рис. 10.24. Взаимную фиксацию шаблонов в пакете осуществляют по штифтовым отверстиям с применением точных по диаметру штифтовых фиксаторов. Проверку точности взаимного согласования

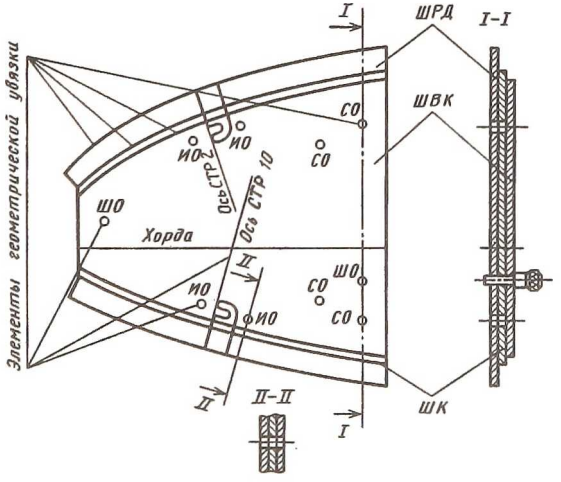


Рис. 10.24. Схема взаимного контроля шаблонов детального комплекса

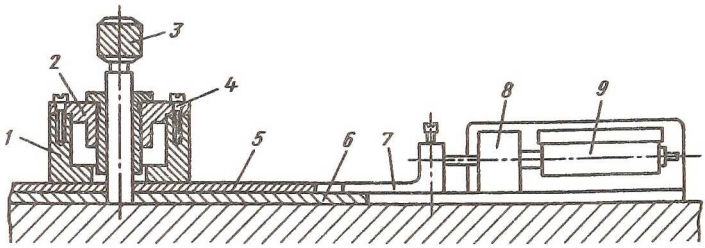


Рис. 10.25. Индикаторное приспособление для контроля эквидистантных контуров шаблонов:
1 — основание; *2* — крышка; *3* — фиксатор; *4* — винт; *5, 6* — шаблоны; *7* — угольник; *8* — муфта; *9* — индикаторные часы

контуров шаблонов осуществляют индикаторным приспособлением (рис. 10.25) или на трехкоординатной измерительной машине. Например, так контролируют точность размерной увязки ШК, ШВК и ШРД; в качестве базы применяют ШО. Определяют отклонения ШВК и ШРД от ШК. В случае, если погрешности увязки превышают допустимые, то соответствующей доработке подвергают ШВК и ШРД. Аналогично согласовывают размеры и форму шаблонов других комплектов.

Технологические отверстия в производственных шаблонах. В плоских специальных средствах размерной увязки элементов конструкции ЛА, к которым относятся производственные шаблоны, сверлят отверстия различного технологического назначения (см. рис. 10.16 — 10.23). Их используют при изготовлении заготовительно-штамповочной, станочной и сборочной технологической оснастки, а также при изготовлении деталей и сборочных единиц. Отверстия в шаблонах выполняют роль технологических баз при взаимной увязке контуров жестких носителей размеров и формы. Координаты центров отверстий, используемых в качестве технической базы, должны иметь размерную связь с аэродинамическими обводами и с контурами сопрягаемых деталей. Взаимное согласование координат отверстий в деталях, рабочей и контрольной технологической оснастке является одним из важных направлений геометрической увязки сопрягаемых элементов конструкции планера летательных аппаратов.

Технологические отверстия размечают технологические службы предприятия в начале технологической подготовки производства ЛА на специально предназначенном для этих целей комплекте конструк-

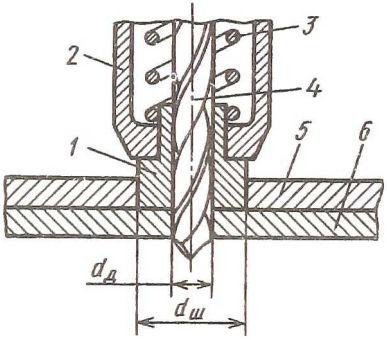


Рис. 10.26. Схема кондукторной втулки, смонтированной в насадке пневмодрели: *1* — кондукторная втулка; *2* — насадка к пневмодрели; *3* — пружина; *4* — сверло; *5* — ШРД, ШОК; *6* — деталь; $d_ш$ — наружный диаметр кондукторной втулки; $d_д$ — диаметр отверстия в детали

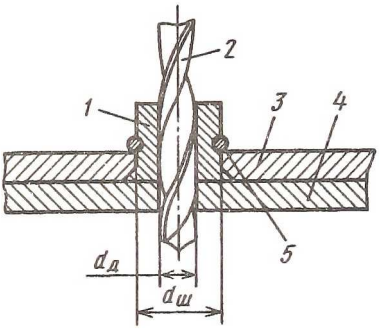


Рис. 10.27. Схема кондукторной втулки, укрепленной в шаблоне: *1* — кондукторная втулка; *2* — сверло; *3* — шаблон; *4* — деталь; *5* — пружинное предохранительное кольцо

тивных чертежей сборочных единиц. В качестве исходных материалов при этом используют первоисточники увязки, чертежи деталей и сборочных единиц ЛА, технологические процессы их изготовления, чертежи технологической оснастки.

Технологические отверстия в шаблонах имеют бóльшие диаметры, чем в деталях. Отверстия в последних сверлят с применением стальных закаленных кондукторных втулок, которые вставляют в отверстия шаблонов, и они дают соответствующее направление сверлу. Толщина стенки втулки равна половине разности между диаметрами отверстий в шаблоне и детали.

Кондукторные втулки предохраняют стенки отверстий в шаблонах от быстрого изнашивания, их монтируют в специальных насадках к пневмодрели либо к патрону сверлильного станка (рис. 10.26). В шаблонах малого размера кондукторные втулки иногда закрепляют стационарно (рис. 10.27).

Основную группу технологических отверстий составляют: базовые, сборочные, штифтовые, инструментальные, направляющие, координатно-фиксирующие; эти отверстия применяют в шаблонах практически всех четырех групп технологических методов геометрической увязки.

Базовые отверстия (БО) предназначены для координации и размерной увязки теоретических обводов с конструктивными линиями и базовыми осями ЛА, для увязки смежных шаблонов между собой, а также при изготовлении и монтаже фиксирующих элементов сборочных приспособлений. Сверлят их в ШКК, ШП, ШМФ, ШКС, а в случае необходимости и в других шаблонах.

Сборочные отверстия (СО) применяют для взаимной фиксации деталей при изготовлении простейших сборочных единиц (узлов) без применения специальных сборочных приспособлений. По СО выполняют взаимную координацию соединяемых деталей, а также увязку предназначенных для их изготовления шаблонов. Сверлят их во взаимно соединяемых деталях. Для обеспечения более точной фиксации деталей в процессе сборки в качестве СО используют обычно отверстия под крайние заклепки в заклепочном шве. При сборке узла СО, имеющиеся в соединяемых деталях, совмещают и в них вставляют контрольные штифты или болты. Вследствие этого обеспечивается заданное взаимное расположение и предварительное закрепление деталей в узле. Точность последнего зависит от точности расположения СО относительно контуров деталей. Затем по направляющим отверстиям (НО), имеющимся в одной из соединяемых деталей, как по кондуктору, сверлят отверстия в других деталях сборочной единицы и ставят в них заклепки или болты по чертежу.

После этого контрольные штифты (болты) удаляют, СО в пакете рассверливают до заданного диаметра и в них ставят последние крепежные элементы. Число сборочных отверстий в заклепочном шве зависит от его длины. При длине шва до 300 мм применяют два сборочных отверстия. При большей длине шва может быть три и более СО. На каждые дополнительные 300 мм длины шва добавляют по одному СО. Эти отверстия имеют ШК, ШРД, ШФ и ШОК.

Штифтовые отверстия (ШО) служат для установки по ним фиксирующих штифтов на формообразующей заготовительно-штамповочной оснастке (например, в формоблоках для штамповки деталей эластичными средами), по которым устанавливают развертки деталей при штамповке. Они применяются также для сверления соответствующих (штифтовых) отверстий в развертках деталей и для взаимной увязки комплекта шаблонов ШК, ШВК, ШРД, ШОК.

В последнем случае они служат основной базой для установки шаблонов в контролируемый детальный пакет. ШО иногда применяют для базирования деталей при сборке узлов в универсальных сборочных переналаживаемых приспособлениях. Число и расположение ШО в деталях зависит от конструктивных особенностей деталей, технологического процесса их изготовления и конструкции формирующего (гибочного) инструмента. Обычно в каждой детали сверлят не менее двух отверстий; для более точной фиксации разверток размещают их на максимально возможном расстоянии друг от друга, но не более 300 мм. Для узких нежестких деталей или ослабленных вырезами и отверстиями это расстояние уменьшается до 200 мм. При штамповке деталей, имеющих длину более 400 мм, следует применять три и более ШО по одному дополнительному отверстию на каждые 300 (200) мм длины детали сверх 400 мм. Штифтовые отверстия имеют все шаблоны детального комплекта (ШК, ШВК, ШРД, ШЗ).

Инструментальные отверстия (ИО) используют для установки ловителей в инструментальных и упрощенных штампах, предназначенных для вырубки и пробивки местных вырезов (например, под стрингеры), или больших и средних отверстий сложной и простой формы. ИО сверлят в развертках деталей в зоне вырезов или больших отверстий и используют для фиксации разверток в штампах. ИО имеются в ШРД, ШК.

Направляющие отверстия (НО) применяют для сверления отверстий под заклепки, анкерные гайки и болты в сопрягаемых деталях сборочной единицы. При этом НО имеются в шаблонах только одной из соединяемых деталей пакета. Отверстия во всех остальных деталях сверлят при сборке по детали, имеющей НО. Последняя при этом используется в качестве направляющего кондуктора. НО имеют ШК, ШРД, ШОК в привязке к отверстиям СО.

Для сборки агрегатов, отсеков и секций в приспособлениях упрощенной конструкции, как было показано ранее, в качестве конструкторской базы для деталей каркаса, узлов и панелей используют специальные технологические отверстия, к которым относятся широко применяемые в производстве летательных аппаратов координатно-фиксирующие отверстия (КФО). Эти отверстия имеются в деталях и узлах изделия, а также базовых элементах сборочных приспособлений; по ним устанавливают в сборочное положение соединяемые части сборочной единицы (рис. 10.28).

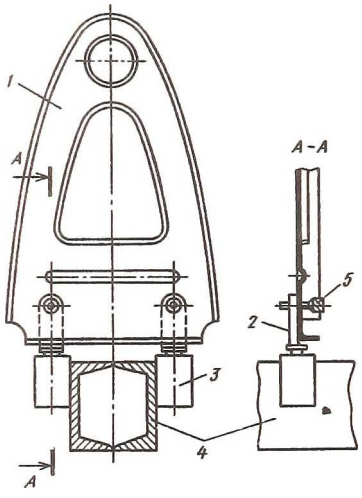


Рис. 10.28. Схема установки деталей в сборочном приспособлении по КФО:
1 — деталь с КФО; *2* — вилка с КФО; *3* — стакан; *4* — продольная балка сборочного приспособления; *5* — фиксатор

Для указанных целей в сборочном приспособлении по КФО, имеющимся в ШМФ, монтируют штифтовые фиксаторы, а в деталях по ШРД (в развертках), по ШОКу или по специальному кондуктору, являющемуся одновременно детальным доводочным приспособлением, сверлят ответные фиксирующие отверстия. Более точное расположение КФО можно обеспечить путем сверления их по кондуктору, вмонтированному в детально-сборочное приспособление (например, для сборки нервюр, шпангоутов). Отверстия в этом случае сверлят в готовых узлах после их сборки.

По КФО можно, например, фиксировать в сборочном приспособлении детали поперечного набора носовой части крыла (см. рис. 10.28) или панели фюзеляжа. Надежное и однозначное базирование в этом случае достигается при наличии в каждой устанавливаемой в приспособление детали как минимум двух фиксирующих отверстий.

КФО имеются в шаблонах сборочных приспособлений (ШМФ, ШП) и соответствующих им шаблонах детальных комплектов (ШК, ШРД, ШОК). Для обеспечения необходимой точности сборки расположение КФО в указанных шаблонах, взаимно согласовывается и привязывается к наружным контурам сборочной единицы. Назначают их технологи ОГТ или сборочных цехов.

Рядом с технологическими отверстиями на шаблонах приводится соответствующая им условная информация (кроме отверстий НО, информацию о которых на шаблоны не наносят).

Техническая информация на шаблонах. Шаблон является плоским средством увязки и поэтому его геометрические параметры не дают полного представления о конструкции детали или сборочной единицы, о размерах и форме отдельных частей этих изделий, не лежащих в плоскости шаблона. В целях обеспечения возможности изготовления по шаблонам технологической оснастки и других

объектов увязки необходимы дополнительные данные к тем параметрам, которые имеют шаблоны.

Комплекс условных обозначений и данных, наносимых на шаблоны и дополняющих гометрическую и технологическую их характеристику, называют технической информацией. Техническую информацию, наносимую на шаблоны, делят на общую и специальную.

К общей иноформации относят выходные (паспортные) данные шаблонов. Они включают шифр ЛА, условное обозначение шаблона (ШК, ШВК, ШРД и т.п.), номер чертежа детали или сборочной единицы; материал детали, источник изготовления шаблона (чертеж, плаз, эталон, программа), срок действия шаблона (с какой и до какой серии он действует), дату его изготовления, предприятие и номера цехов изготовителя и потребителя шаблона, табельный номер рабочего, изготовившего шаблон.

К специальной относят информацию, которая характеризует дополнительные к имеющимся на шаблоне геометрические и технологические параметры детали или сборочной единицы, изготовление которых ведется с применением шаблона. Условные обозначения этой информации многочисленны и разнообразны, приводятся они в специальных инструктивных и руководящих технологических материалах. Рассмотрим основные виды специальной информации и принятые для них условные обозначения.

Информация о бортах и малках. Борт детали кроме его геометрического контура, который физически воспроизводит шаблон, характеризуют такие дополнительные параметры как высота, направление (вверх (В), вниз (Н) в соответствии с чертежом), внутренний радиус отгиба борта (Р) и угол его отгиба, определяемый малкой (М).

Все эти дополнительные данные в качестве специальной информации наносят на шаблоны определенного вида.

Малкой называют угол между нормалью к плоскости стенки детали и касательной к внешней поверхности ее борта в заданной точке контура (рис. 10.29). Малка измеряется в градусах и может быть открытой (ОТК, рис. 10.29, *а*) и закрытой (ЗАК, рис. 10.29, *в*).

При открытой малке угол φ отгиба борта больше 90°, при закрытой — меньше. При $\varphi = 90°$ малка равна нулю (рис. 10.29, *б*).

Информацию о бортах и малках наносят на шаблоны ШК и ШВК. На границах участка контура, где нет борта, дается информация НБ (нет борта).

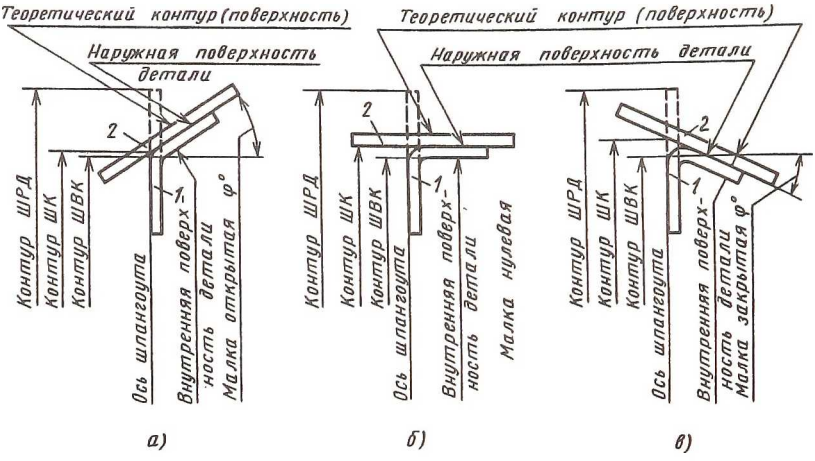


Рис. 10.29. Контуры детальных шаблонов при различных значениях малки борта: *а* — при открытой малке; *б* — при нулевой малке; *в* — при закрытой малке; *1* — деталь каркаса; *2* — обшивка

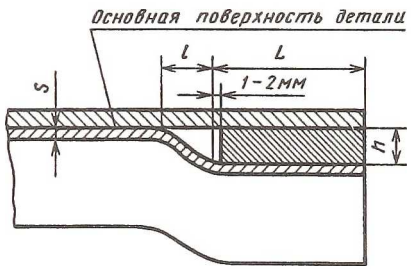
Примеры условного обозначения борта на ШВК: Б18ВР3 М12° ЗАК, Б16НР4М10° ОТК. В первом случае Б означает, что деталь имеет борт, высота его 18 мм, внутренний радиус отгиба — 3 мм, борт направлен вверх по чертежу, малка 12° закрытая; во втором — борт высотой 16 мм с радиусом отгиба 4 мм, направлен вниз, малка открытая 10°.

Информация о подсечках. Подсечка — это смещение части поверхности борта листовой или профильной детали относительно основной его поверхности. Необходима она для обеспечения бесступенчатого сопряжения смежных деталей (рис. 10.30). Характеризуется подсечка длиной подсеченной части детали L, длиной зоны перехода подсечки l и ее глубиной h.

На шаблонах подсечку воспроизводят физически и обозначают двумя рисками, ограничивающими зону перехода подсечки. В информации о подсечке показывают ее глубину. Пример обозначения подсечки на шаблоне — П2, ОН, что означает подсечка глубиной 2 мм направлена вниз относительно основной плоскости детали.

Объемные специальные средства увязки. К объемным специальным средствам увязки относятся макеты и контрмакеты деталей и сборочных единиц ЛА; монтажные макеты; макеты и контрмакеты разъемов и стыков отсеков, секций и агрегатов; слепки и контрслепки с поверхностей эталонов и макетов деталей и сборочных единиц.

Рис. 10.30. Подсечка борта детали



Макеты и контрмакеты деталей и сборочных единиц представляют собой объемные жесткие носители размеров и формы элементов конструкции ЛА, полученные методом контактного копирования рабочих поверхностей с эталонов и контрэталонов поверхности сборочных единиц (при эталонных методах увязки) либо путем обработки по продольным и поперечным шаблонам сечений со сведением поверхности между сечениями на плавность (в основном приплазовых методах увязки), или на станках с числовым программным управлением (в основном при при программных методах увязки).

Макеты чаще всего применяют для деталей, имеющих сложную пространственную форму с линейчатыми и нелинейчатыми образующими поверхности, а также для деталей с плоской стенкой и плоских сборочных единиц, типа нервюр и шпангоутов. В них имеется система базовых, а в случае необходимости и других технологических отверстий (ШО, СО) с фиксирующими штифтами, и базовых осей для обеспечения размерной связи с эталонами и контрэталонами поверхности, с макетами и контрмакетами смежных деталей и сборочных единиц. Технологические отверстия используют также в качестве базы при изготовлении заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки.

На рис. 10.31 показана типовая конструкция плоского разборного макета нервюры крыла, состоящего из трех соединенных между собой самостоятельных, но взаимно связанных макетов носовой *а*, средней *б* и хвостовой *в* частей нервюры, изготовленных из литых заготовок. Детальные макеты между собой соединяют по осям лонжеронов посредством классных крепежных болтов *3* и инструментальных втулок с классными отверстиями. Толщину детальных макетов такого типа принимают равной высоте бортов деталей сборочной единицы, выходящих на теоретическую поверхность крыла. Внешние рабочие элементы детальных макетов облицованы карбинольным цементом или какой-либо другой высокостойкой безусадочной пластмассовой композицией; их рабочая поверхность в этом случае может быть получена путем контактного копирования с контрэталона сборочной единицы или путем обработки на фрезерном станке с ЧПУ.

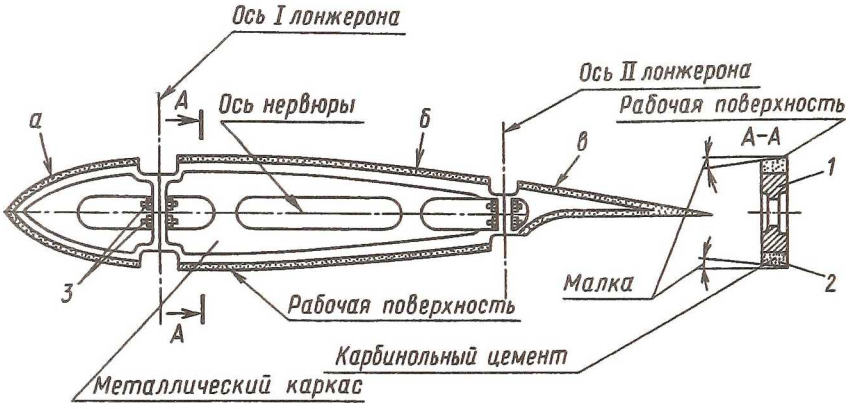


Рис. 10.31. Конструкция составного макета нервюры крыла:
а — макет носовой части нервюры; *б* — макет средней части нервюры; *в* — макет хвостовой части нервюры; *1* — металлическое основание; *2* — пластмассовая облицовка; *3* — крепежные болты

Макеты и контрмакеты деталей и сборочных единиц используют в качестве специальных средств увязки при изготовлении заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки. Размеры и форму с макетов на рабочие элементы технологической оснастки чаще всего переносят методом контактного копирования, что обеспечивает высокую точность увязки (контактные поверхности оснастки при этом должны быть тоже изготовлены из высокостойкой пластмассы).

Монтажный макет представляет собой жесткую каркасную конструкцию (обычно сварную или на заклепочных и болтовых соединениях) сборочной единицы. С помощью монтажного макета осуществляют монтаж и периодическую проверку сборочного приспособления. Его рабочие элементы точно воспроизводят внутреннюю (по каркасу) или наружную (по обшивке) поверхность сборочной единицы. В отличие от макетов деталей и сборочных единиц монтажный макет воспроизводит теоретические обводы не по всей поверхности, а только в местах расположения деталей каркаса, сопрягающихся с обшивкой сборочной единицы или выходящих на аэродинамическую поверхность (например в плоскостях нервюр, шпангоутов и др.).

Монтажный макет воспроизводит также стыковые узлы сборочной единицы, с помощью которых она соединяется с другими смежными

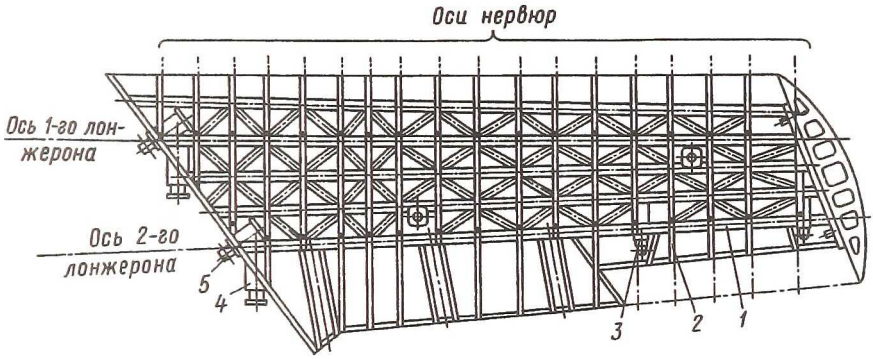


Рис. 10.32. Монтажный макет крыла:
1 — каркас; *2* — макет нервюры; *3* — узел разъема; *4* — репер; *5* — стыковой узел

частями планера ЛА и имеет реперные элементы для установки в сборочном приспособлении. Изготовляют монтажные макеты по контрэталону сборочной единицы, с которого на них переносят геометрические параметры в местах расположения элементов каркаса, узлов стыка и разъема. Перенос осуществляется методом контактного копирования, чаще всего с использованием высокопрочных быстротвердеющих безусадочных пластмассовых композиций или цементов.

Иногда стыковые узлы и реперные элементы на монтажных макетах устанавливают инструментальным методом с использованием высокоточного технологического оборудования.

Применяют монтажные макеты при изготовлении сборочных приспособлений для отдельных агрегатов, отсеков и узлов. По ним осуществляют монтаж базовых и фиксирующих элементов приспособлений.

Пример конструкции монтажного макета крыла показан на рис. 10.32.

Монтажные эталоны крупных сборочных единиц делают обычно разборными, что позволяет расширить фронт работы при изготовлении сборочной оснастки. Составные части такого монтажного эталона взаимно отстыковывают и нивелируют.

Макеты и контрмакеты стыков и разъемов представляют собой жесткие носители размеров и формы, с помощью которых в сборочной единице и приспособлении для сборки определяется расположение стыковых отверстий и присоединительных поверхностей (в зоне соединения отсеков или агрегатов), чаще всего в их

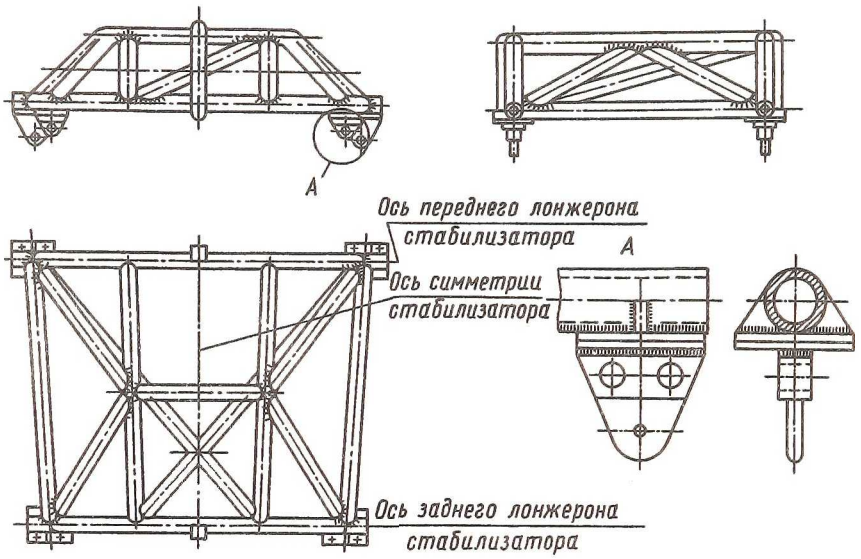


Рис. 10.33. Макет (калибр) и контрмакет стыка стабилизатора с фюзеляжем

привязке к аэродинамическим контурам. Применяют их для изготовления вилчатых, шлицевых, цапфовых и комбинированных пространственных разъемов и стыков. Примерная конструкция макета и контрмакета вилчатого стыка стабилизатора с фюзеляжем, не связанных непосредственно с обводами агрегатов, показана на рис. 10.33.

При плоских (фланцевых) разъемах применяют плоские макеты стыков, которые называют мастер-плитами; в них в привязке к контуру обвода имеются базовые отверстия и отверстия с двухсторонними кондукторными втулками под стыковые болты. По ним изготовляют кондукторые плиты (рабочие мастер-плиты), которые монтируют в сборочном приспособлении и используют для сверления отверстий под соединительные болты во фланцевых стыках обоих соединяемых отсеков или агрегатов планера ЛА. Макетные мастер-плиты имеют простую конструкцию, изготовляют их с высокой точностью по шаблонам приспособлений либо инструментальным методом по размерам, приведенным в чертежах. Структурная схема последовательности переноса размеров для обработки и сборки прямого фланцевого стыка при плазово-шаблонном методе увязки показана на рис. 10.34.

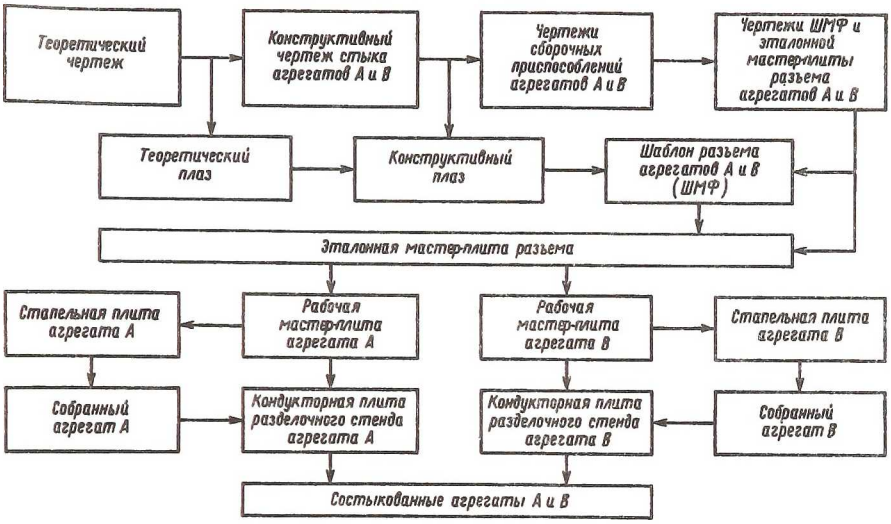


Рис. 10.34. Структурная схема последовательности переноса размеров в процессе образования прямого фланцевого стыка при плазово-шаблонном методе увязки

Слепки и контрслепки являются средством контактного переноса увязанных размеров и формы элементов конструкции ЛА с эталонов поверхности на рабочую и контрольную технологическую оснастку. Их применяют при изготовлении заготовительно-штамповочной формоизменяющей оснастки для деталей обшивки и сопряженных с обшивкой деталей каркаса, а также при изготовлении фиксирующих и базовых (опорных) элементов сборочных приспособлений.

Слепки изготовляют путем контактного копирования непосредственно с эталона поверхности в заданной ограниченной его зоне; они имеют негативное отображение поверхности эталона. Контрслепки изготовляют по слепкам тоже путем контактного копирования. При этом контрслепок представляет собой позитивную копию эталона поверхности в копируемой зоне. Аналогичным путем по слепкам и контрслепкам изготовляют рабочую и контрольную технологическую оснастку.

Конструктивно слепки и контрслепки состоят обычно из деревянного каркаса, представляющего собой жестко связанный набор продольных и поперечных перегородок, образующих ячейки, заполненные быстротвердеющей пластмассовой композицией *4*, верхний слой *5* которой в процессе затвердевания находится в плотном контакте с копируемой поверхностью (рис. 10.35).

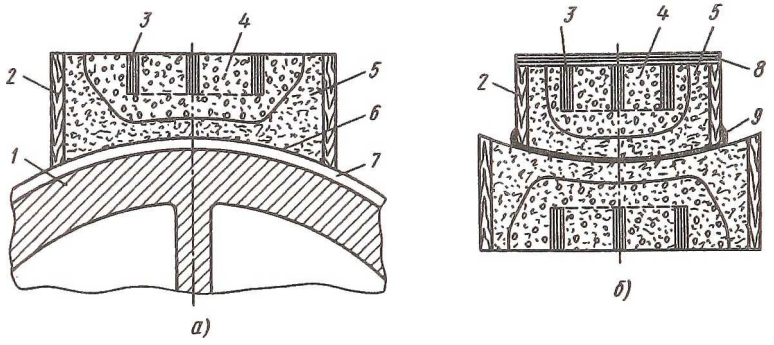


Рис. 10.35. Схема изготовления слепка (*а*) и контрслепка (*б*):
1 — каркас эталона поверхности; *2* — боковые стенки; *3* — внутренние перегородки; *4* — пластмассовая композиция; *5* — облицовочная пластмассовая композиция; *6* — внешняя поверхность эталона; *7* — облицовка эталона поверхности; *8* — основание контрмакета; *9* — облицовка рабочей поверхности контрмакета из высокостойкой пластмассовой композиции

Во избежание прилипания пластмассовой композиции к копируемой поверхности, последняя предварительно покрывается тонким слоем разделительного состава, который после снятия слепка немедленно удаляется с контактирующих поверхностей.

Судя по приведенной выше характеристике объемных специальных средств увязки, почти все они обеспечивают перенос увязанных размеров и формы на объекты увязки на основе контактного копирования сопрягаемых поверхностей и размеров элементов конструкции ЛА, обеспечивающего высокую точность переноса. Поэтому ранее они и были условно названы макетами (М).

10.6. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И УВЯЗКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Чертежные методы

Сущность чертежных методов. Как отмечалось ранее, в чертежных методах обеспечения геометрической взаимозаменяемости в качестве первоисточников увязки применяют рабочие чертежи изделия, в которых приведены размеры сопрягаемых элементов конструкции в зоне их соединения или прилегания, обеспечивающие

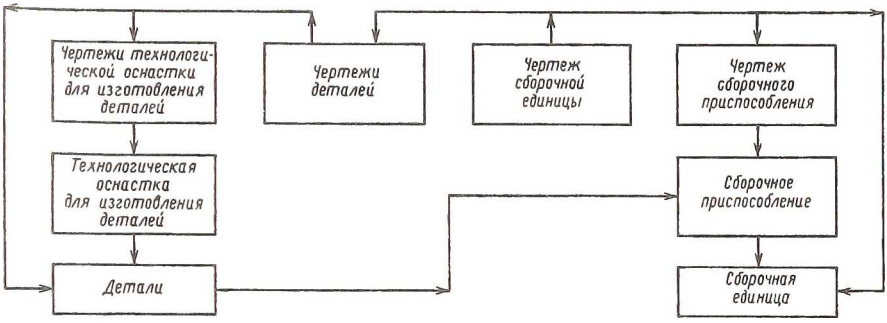


Рис. 10.36. Структурная схема размерной увязки при чертежно-инструментальном методе

их взаимную увязку. Изготовление технологической оснастки и элементов конструкции изделий осуществляется непосредственно по приведенным в чертежах размерам с применением различных универсальных либо специальных средств увязки.

В основу этих методов положена система независимого либо зависимого (связанного) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции. Геометрические параметры объектов увязки при этом образуются либо раздельно друг от друга, либо могут иметь общие технологические звенья размерной цепи. При независимой системе образования размеров и формы применяются универсальные средства увязки в основном общемашиностроительного назначения, с помощью которых размеры, приведенные в чертеже, воспроизводят и непосредственно переносят на объекты увязки (детали, сборочные единицы) без использования каких-либо специальных промежуточных средств (шаблонов, копиров и т.п.). Такой метод увязки был ранее назван чертежно-инструментальным (ЧИМ). Одна из возможных схем образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции при использовании чертежно-инструментального метода увязки показана на рис. 10.36.

В случае применения специальных средств увязки, находящихся в числе общих этапов переноса первичных размеров, чертежные методы относятся к категории методов, построенных по принципу связанного (зависимого) образования размеров и формы. Причем в зависимости от вида специальных средств они могут быть отнесены к категории методов либо плоской увязки с применением шаблонов (ЧШМ), либо объемной увязки с применением макетов (ЧММ).

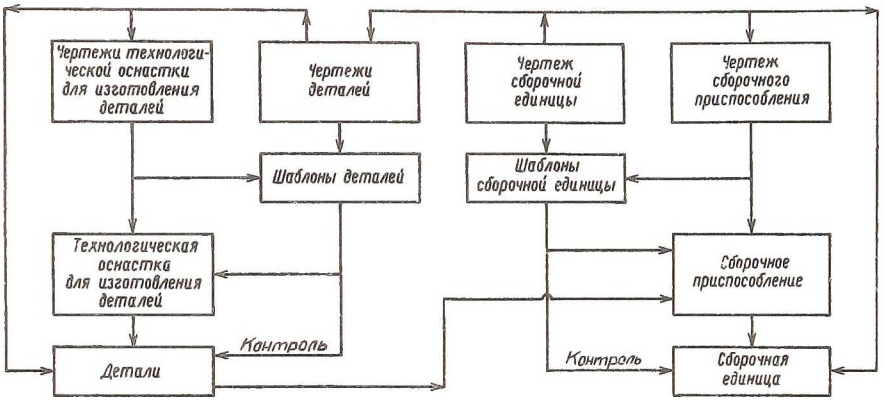


Рис. 10.37. Структурная схема размерной увязки и обеспечения взаимозаменяемости при чертежно-шаблонном методе

Примерные схемы увязки при ЧШМ и ЧММ показаны на рис. 10.37 и рис. 10.38. Шаблоны и макеты при этих методах увязки изготовляют по размерам, приведенным в чертежах изделий, затем их используют для изготовления технологической оснастки и последующего контроля изготовленных изделий.

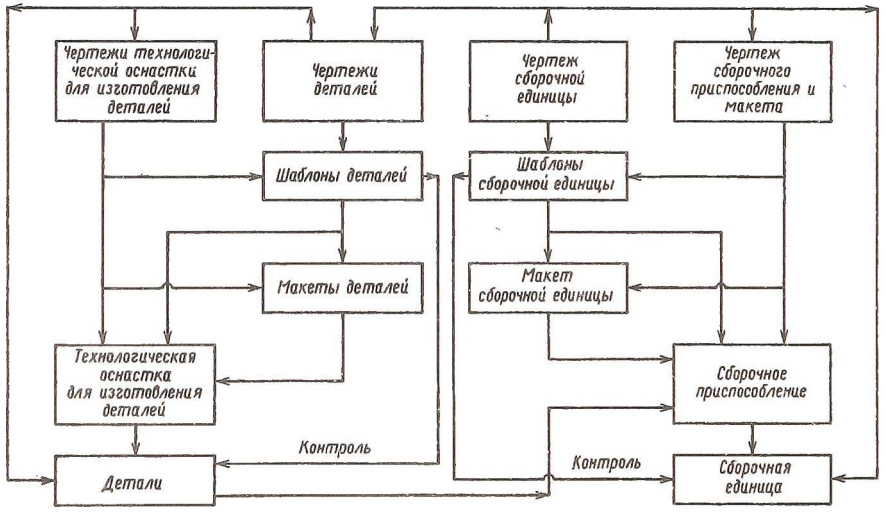


Рис. 10.38. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при чертежно-макетном методе размерной увязки

Указанные специальные средства увязки для заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки взаимно отстыковываются с использованием принятых технологических баз.

Увязка геометрических параметров деталей, сборочных единиц и технологической оснастки первого и второго порядка при чертежных методах обеспечивается за счет применения стандартной общемашиностроительной системы допусков и посадок.

Чертежы при этих методах оформляются так же, как и для других машиностроительных изделий с простановкой всех размеров. Допуски на размеры элементов конструкции в зоне их сопряжения назначаются и проставляются в чертежах таким образом, чтобы они обеспечивали заданную точность увязки геометрических параметров как изделия, так и технологической оснастки. Допуски на размеры специальных средств увязки устанавливаются обычно в пределах 50 % от допусков размеров сопрягающихся элементов.

Таким образом, необходимые точность сопряжения и уровень взаимозаменяемости соединяемых деталей при чертежных методах определяются соответствующей точностью размеров деталей в зоне их соединения, которая должна быть выше точности увязки.

Область применения чертежных методов увязки в производстве летательных аппаратов. Чертежные методы геометрической увязки в производстве ЛА получили ограниченное применение, так как они непригодны для подавляющего большинства деталей, входящих в конструкцию планера, к которым относятся детали из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб.

Эти детали обладают малой жесткостью и в свободном состоянии легко изменяют свою конфигурацию и размеры под действием собственной массы в пределах упругих деформаций. Поэтому применить к ним общемашиностроительные методы увязки практически очень сложно.

В производстве ЛА чертежные методы увязки применяют только для жестких монолитных деталей общемашиностроительного профиля, имеющих сравнительно небольшие размеры и простую геометрическую форму. К ним относятся детали шасси, цилиндры подъемников и управления, стыковочные узлы, не выходящие на теоретическую поверхность и другие подобные им детали.

В серийном производстве эти детали изготовляют независимо друг от друга по чертежам с точностью, обусловленной допусками, обеспечивающими необходимую размерную увязку в зонах сопряжения.

Широкое применение чертежные методы увязки получили при изготовлении станочных приспособлений, штампов для холодной штамповки и сборочной оснастки, производство которых носит обычно единичный характер. В этом случае применяют чертежные методы, основанные на принципе связанного образования размеров и формы деталей в зонах сопряжения. Изготовление таких деталей ведут либо по общим шаблонам, либо совместно с использованием общей технологической базы, что автоматически обеспечивает высокую точность размерной увязки. Например, так обрабатывают отверстия в пакете сопрягаемых деталей под соединительные элементы (болты, винты, шпильки, контрольные штифты, направляющие колонки и втулки).

Чертежные методы размерной увязки обеспечивают широкий фронт работы и способствуют расширению кооперации и специализации производства как при изготовлении основных изделий, так и технологического оснащения. Там, где они применимы по технологическим соображениям, они обеспечивают высокую точность увязки и стабильные показатели качества.

Плазовые методы

Сущность плазовых методов. Первоисточники увязки. В плазовых методах обеспечения взаимозаменяемости в качестве первоисточников увязки размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции применяют плоские носители первичной геометрической информации — теоретические и конструктивные плазы, представляющие собой чертежи сборочных единиц ЛА или их теоретических обводов, выполненные на плоских жестких панелях в натуральную величину.

Источником для расчерчивания плазов служат рабочие теоретические и конструктивные чертежи ЛА. Увязка размеров и формы аэродинамических контуров и конструктивных элементов планера ЛА в зонах сопряжения осуществляется в процессе расчерчивания плазов. Последние затем утверждаются в качестве плоских эталонов аэродинамических контуров и плоских сечений деталей и сборочных единиц. Плазы, таким образом, являются жесткими носителями первичной взаимоувязанной геометрической информации теоретических обводов и сопрягаемых элементов конструкции ЛА, изображенных на плоскости.

Увязанные на плазах размеры и форма элементов конструкции с помощью других жестких носителей — плоских шаблонов, являющихся специальными средствами увязки, переносятся на макеты, рабочую и контрольную технологическую оснастку, детали и сборочные единицы ЛА, обеспечивая их взаимную увязку в зонах сопряжения.

В основу всех плазовых методов увязки положен принцип связанного (зависимого) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции. В зависимости от применяемых средств увязки и конструкции деталей и узлов в зонах сопряжения плазовые методы делятся на методы плоской и объемной увязки. К методам плоской увязки относятся плазово-шаблонный метод (ПШМ), который широко применяют при изготовлении в основном плоской и частично объемной заготовительно-штамповочной оснастки для деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб.

ПШМ применяют также при увязке геометрических параметров деталей и приспособлений для обработки резанием, в случае если их поверхности выходят на теоретический контур сборочной единицы.

Широкое применение ПШМ находит при изготовлении и увязке оснастки для сборки плоских каркасных узлов типа нервюр, шпангоутов, лонжеронов, балок, полов, стенок, а также при изготовлении сборочных единиц, имеющих объемную пространственную конструкцию.

Принципиальная схема переноса первичных увязанных размеров с первоисточников увязки на технологическую оснастку и сопрягаемые элементы конструкции при плазово-шаблонном методе (ПШМ) приведена на рис. 10.39.

Плоскую увязку можно осуществлять также и плазово-инструментальным методом (ПИМ) с использованием плазкондуктора в качестве универсального средства увязки. В этом случае осуществляют обычно привязку координат центров базовых, монтажных и фиксирующих отверстий в элементах технологической оснастки (например, отверстий навески рубильников или ложементов) к их контуру, выходящему на теоретическую поверхность сборочной единицы. Увязка выполняется относительно базовых осей ЛА, в качестве которых служат обычно ось симметрии и строительная горизонталь; к ним привязывают базовые отверстия в шаблонах и в рабочей технологической оснастке. Схема переноса увязанных первичных размеров на плоские объекты увязки при таком методе приведена на рис. 10.40.

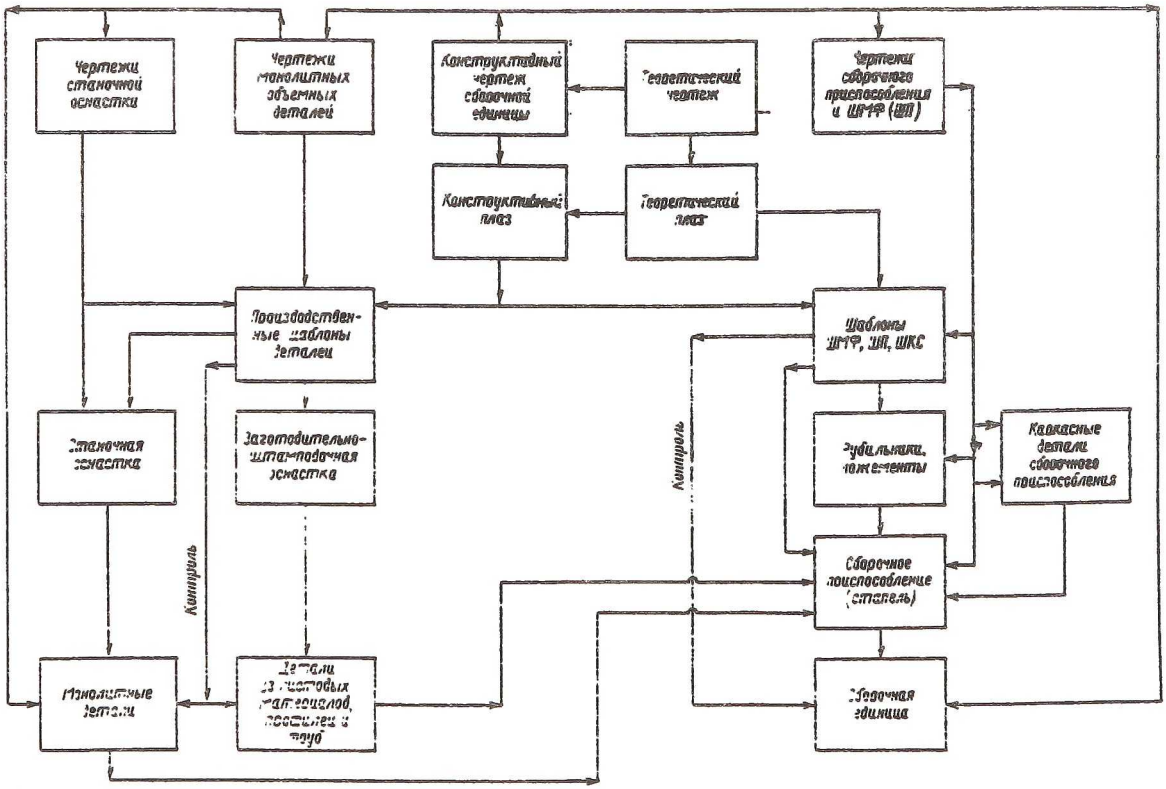


Рис. 10.39. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при плазово-шаблонном методе размерной увязки

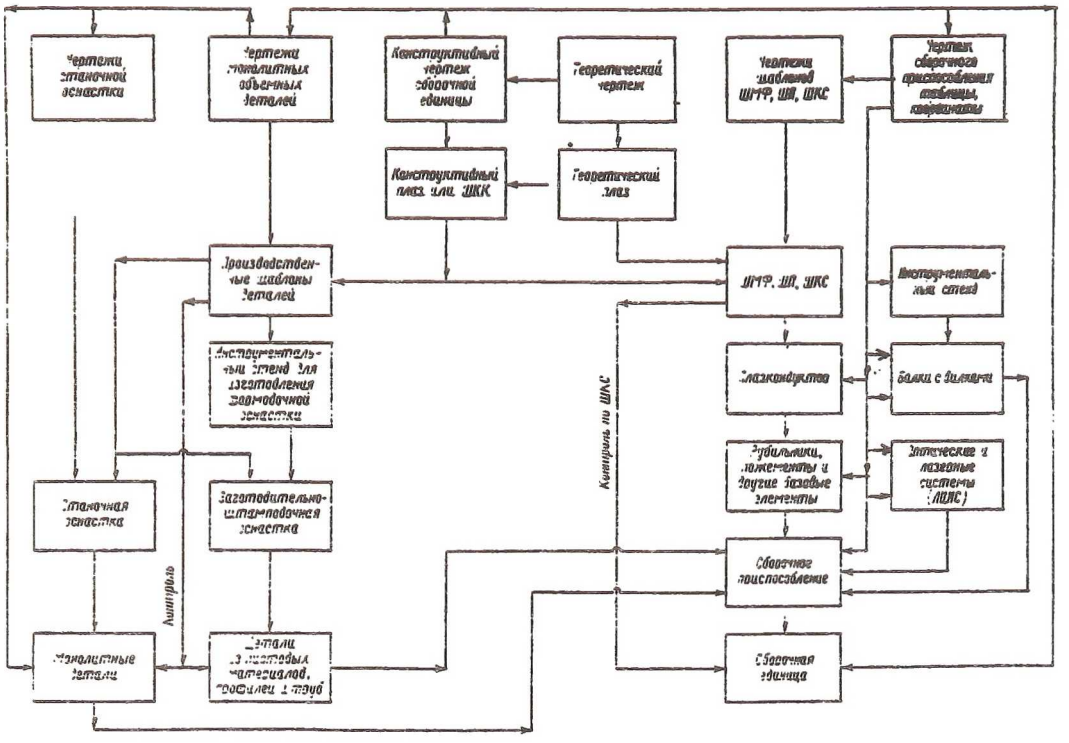


Рис. 10.40. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при плазово-инструментальном методе увязки

К методам объемной увязки относится плазово-макетный метод (ПММ), при котором средством увязки служат макеты деталей и сборочных единиц, изготовленные с применением плазовых шаблонов (в основном ШКС и ШК), а также слепки и контрслепки с их поверхности.

ПММ имеет менее широкую область применения по сравнению с ПШМ. Макеты, изготовленные по плазовым данным, применяют в основном при изготовлении заготовительно-штамповочной оснастки для обводообразующих деталей, имеющих сложную пространственную форму. Одна из схем образования размеров и формы объектов увязки при ПММ приведена на рис. 10.41.

Следует отметить, что при плазово-макетном методе увязки повторное изготовление макетов по плазовым шаблонам выполнять не рекомендуется, так как в процессе сведения на плавность поверхности между плазовыми сечениями происходит разрыв в увязке и макеты-дублеры всегда в той или иной мере будут отличаться друг от друга и от первичного макета.

Объемную увязку осуществляют также плазово-инструментальным методом (ПИМ), который нашел широкое применение в основном при изготовлении и монтаже сборочной оснастки с использованием инструментальных стендов, оптических и лазерных систем в качестве универсальных средств увязки, а также при изготовлении объемной заготовительно-штамповочной оснастки типа обтяжных пуансонов и контрольных макетов.

Следует отметить, что при этом методе увязки дублеры объемной заготовительно-штамповочной оснастки, в связи со сведением на плавность поверхности между плазовыми сечениями, будут отличаться друг от друга, что обычно приводит к заметному снижению точности взаимного согласования размеров и формы элементов конструкции, расположенных в этих зонах.

Укрупненная схема образования размеров и формы объектов объемной и плоской увязки при ПИМ показана на рис.10.42.

Теоретические плазы. Теоретический плаз (ТП) представляет собой расчерченные на плоской панели в натуральную величину аэродинамические контуры по сечениям, определяющим теоретическую поверхность планера ЛА, или его сборочные единицы. Расчерчивание плазовых линий ведется по теоретическим чертежам агрегатов, отсеков, секций, либо узлов.

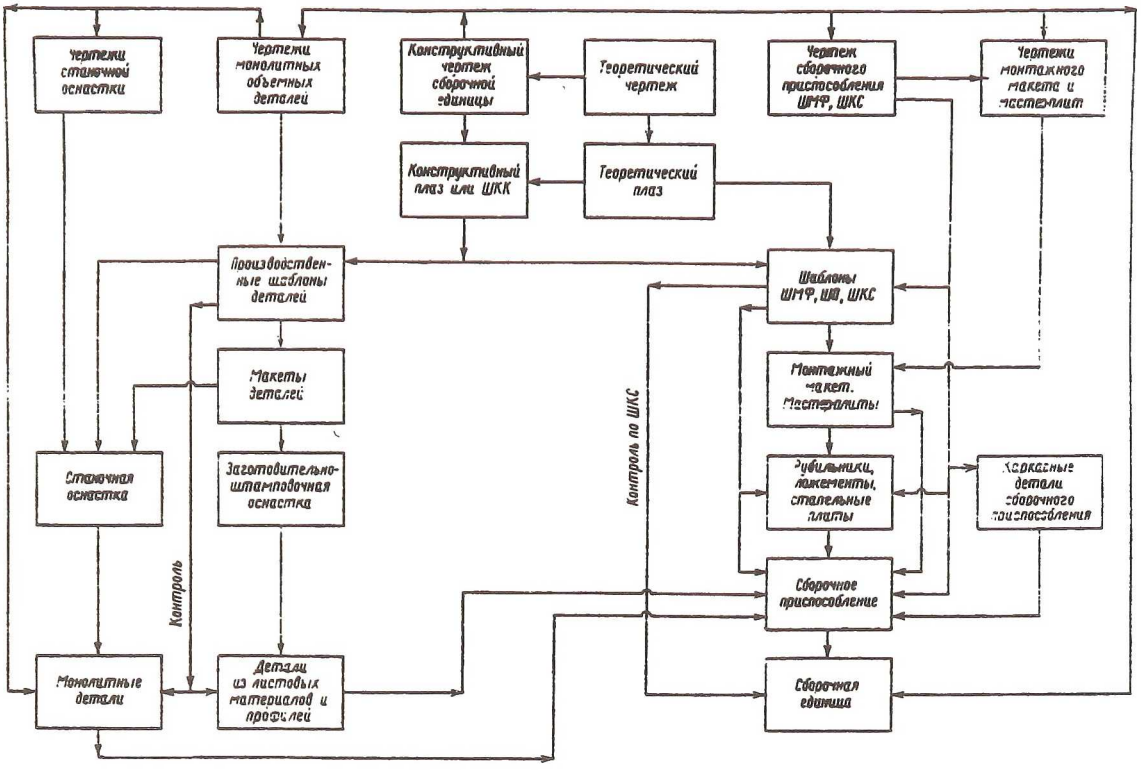


Рис. 10.41. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при плазово-макетном методе размерной увязки

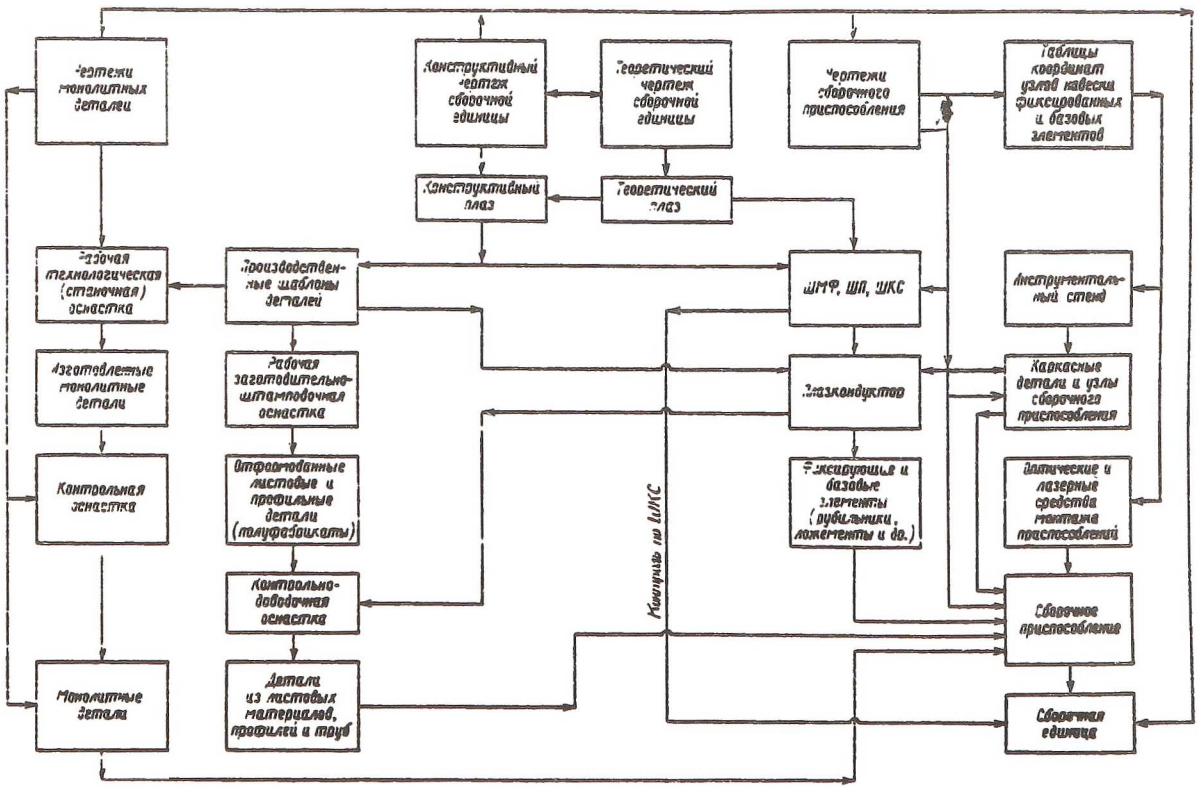


Рис. 10.42. Структурная схема размерной увязки при плазово-инструментальном методе

Каждую кривую строят по разметке на плазу только один раз и после надлежащей проверки и уточнения узаконивают в качестве эталона теоретического контура. Дублеров теоретические плазы не имеют.

Такой порядок объясняется тем, что два раза одну и ту же кривую начертить абсолютно одинаково практически невозможно и поэтому повторное изготовление теоретического плаза по теоретическому чертежу приводит к снижению точности увязки теоретических обводов и технологической оснастки, так как появляются по существу два отличных друг от друга первоисточника увязки на одни и те же теоретические обводы.

На теоретических плазах при их расчерчивании на основе графических построений осуществляется взаимное согласование контуров продольных и поперечных сечений теоретической поверхности и привязка их к конструктивным базам и осям. Это обеспечивает необходимую плавность контуров сборочных единиц и правильное их взаимное расположение в пространстве.

Характерной особенностью теоретического плаза является отсутствие на нем каких-либо размеров. Расчерченные линии физически воспроизводят контуры отдельных плоских сечений теоретической поверхности, поэтому теоретический плаз является жестким носителем взаимно увязанной геометрической информации об аэродинамических обводах планера ЛА или его отдельной части.

Поскольку теоретический плаз находится в числе общих этапов переноса первичных размеров на изготовляемое изделие, точность его построения не влияет на точность увязки элементов конструкции изделия и технологической оснастки.

В результате удается получить высокую точность увязки при сравнительно невысокой точности размеров и формы расчерченных кривых.

Теоретический плаз является первоисточником геометрической увязки при изготовлении элементов конструкции планера ЛА и обводообразующих элементов технологической оснастки, образование размеров и формы которых осуществляется путем непосредственного переноса с расчерченных на теоретическом плазу контуров.

По отношению к конструктивному плазу он является средством его построения. Воспроизведенные на теоретическом плазу теоретические контуры, конструктивные оси и базовые отверстия в дальнейшем служат базой, от которой ведутся построение и увязка внутренней конструкции плоских сечений сборочных единиц на конструктивном плазу.

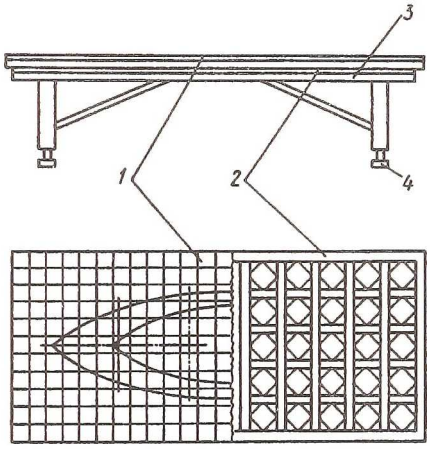


Рис. 10.43. Теоретический плаз:
1 — панель плаза; *2* — деревянная решетка; *3* — стол; *4* — ножки, регулируемые по высоте

Конструктивно теоретический плаз представляет собой жесткую панель *1*, изготовленную из листового алюминиевого сплава (например, из Д16АТ) и закрепленную на деревянной раме-решетке *2*, которую в свою очередь крепят на металлическом или массивном деревянном столе *3* (рис. 10.43). Плазовые панели *1* фрезеруют по периметру для обеспечения точного взаимного сопряжения при изготовлении крупногабаритных составных плазов. Высокие требования предъявляются к ровности и гладкости рабочей поверхности плаза. Панели перед нанесением контуров анодируются и покрываются высокостойкой эмалью светлых тонов.

Плазовые столы с закрепленными на них панелями устанавливаются строго горизонтально с помощью регулируемых по высоте ножек *4*. В зависимости от назначения, размеров и точностных требований теоретические плазы подразделяют на стационарные и разборные. Последние удобнее в работе, так как съемные плазовые панели могут храниться в отдельном помещении в вертикальном положении, благодаря чему занимают меньше места; они монтируются на столах только в тех случаях, когда необходимо перенести увязанные теоретические контуры на шаблоны или конструктивные плазы.

Вместе с тем, разборные плазы обеспечивают меньшую точность увязки, чем стационарные. Для разборных плазов составляют специальные монтажные схемы, которые разрабатывают конструкторы плазового цеха и вычерчивают в уменьшенном масштабе (рис. 10.44). На монтажной схеме изображают координатные и конструктивные оси и базовые отверстия, имеющиеся на панелях плаза, а также так называемые плазкондукторные отверстия, с помощью которых выполняется взаимное базирование панелей при их стыковке и установе на раме стола.

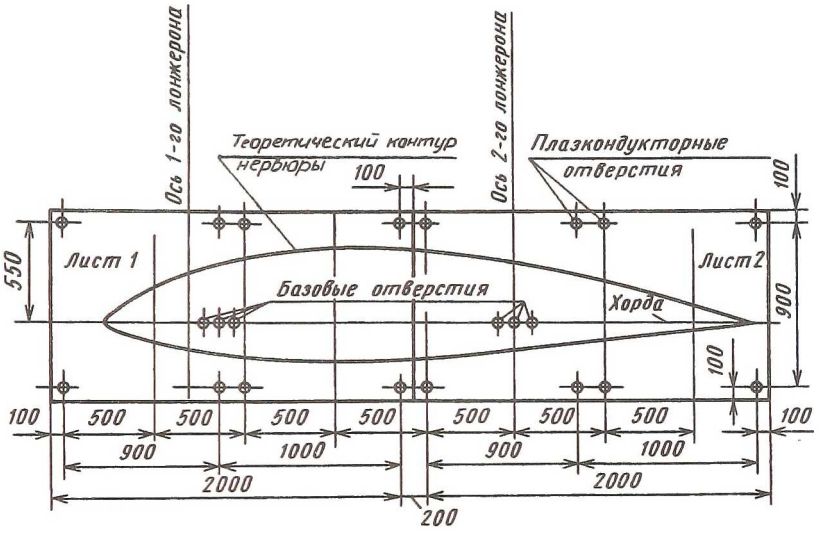


Рис. 10.44. Монтажная схема теоретического плаза

Традиционные плазовые методы обеспечения взаимозаменяемости основаны на применении каркасного способа задания и построения теоретических поверхностей.

При этом способе на панели теоретических плазов проектируют линии пересечений теоретической поверхности как основными, так дополнительными плоскостями (т.е. плоскостями батоксов, горизонталей и поперечных сечений, совмещенных с плоскостями конструктивных элементов планера). В качестве плоскостей, на которые проектируют контуры сечений, применяют горизонтальную и вертикальные плоскости, проведенные через координатные оси *X*, *Y*, *Z* (см. рис. 10.5). При этом проекции теоретических контуров на плоскость симметрии *1* называют плазом боковой проекции, проекции контуров на горизонтальную плоскость *2* плазом плановой проекции и проекцию теоретических контуров на плоскость *3* нулевой дистанции — плазом совмещенных сечений. На рис. 10.45 — 10.47 в качестве примера приведены упрощенные теоретические плазы указанных трех категорий на носовую часть фюзеляжа.

Следует отметить, что плавность теоретической поверхности сборочной единицы при плазовых методах зависит от плавности расчерченных на теоретических плазах линий батоксов, горизонталей и линий поперечных сечений теоретической поверхности, а также от

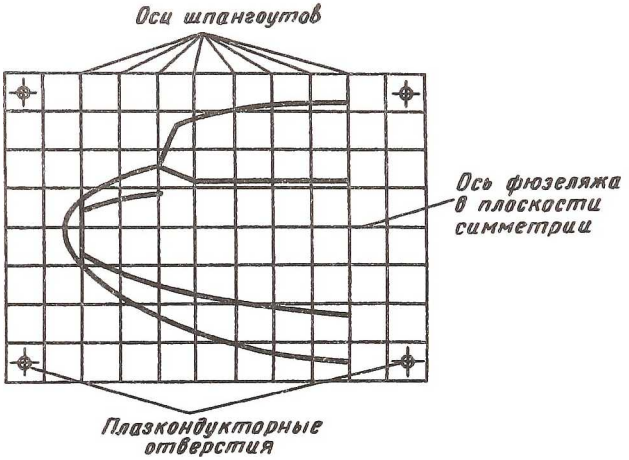


Рис. 10.45. Теоретический плаз боковой проекции

точности их взаимной увязки при построении теоретических плазов. Одна и та же точка поверхности должна лежать на теоретических линиях продольного и поперечного сечений в зоне их пересечения. Для этого размерную увязку обводов по каркасу аэродинамической поверхности ведут одновременно на трех проекциях. В случае, если отдельные точки выпадают из общей плавности, после проверки правильности построения плазовых кривых выполняют соответствующую корректировку теоретических чертежей. Такая увязка линий батоксов, горизонталей и поперечных сечений при ручном расчерчивании теоретических плазов составляет весьма сложную и трудоемкую задачу.

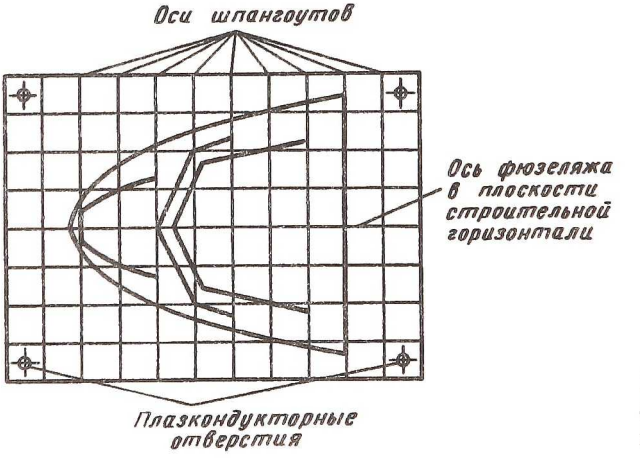


Рис. 10.46. Теоретический плаз платовой проекции

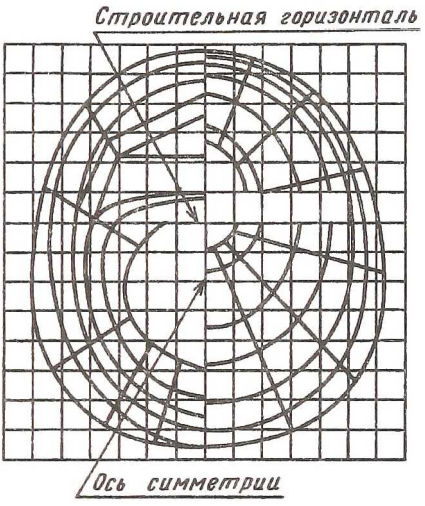


Рис. 10.47. Теоретический плаз совмещенных сечений

Теоретический плаз хранится в качестве эталона теоретических обводов сборочных единиц в плазово-шаблонном цехе и на производство не выдается.

Конструктивные плазы и другие аналогичные им первоисточники увязки. Конструктивные плазы (КП) представляют собой выполненные на плоскости (чаще всего на прозрачном листовом безусадочном пластике типа астролон или винипроза) в натуральную величину конструктивные чертежи плоских сечений сборочных единиц.

Расчерчивание плазовых линий ведется по конструктивным чертежам изделия, которые предприятие получает от опытной конструкторской организации. Теоретические контуры сборочной единицы, внутри которых расчерчивается конструкция ее плоского сечения, а также координатные и конструктивные оси переносятся на конструктивный плаз с теоретического плаза без применения каких-либо мерительных инструментов путем контактного копирования. Благодаря этому обеспечивается высокая точность переноса контуров и увязки внутренней конструкции с теоретическими обводами и осями.

Перенос линий с теоретического плаза на заготовку конструктивного плаза можно осуществить, применив современную электронно-механическую технику. Для этого используют фотоэлектронное считывающее устройство, позволяющее "переписать" контуры с теоретического плаза на программоноситель (например на магнитную ленту) и использовать полученную управляющую программу для воспроизведения теоретического контура на координатографе с ЧПУ. Однако в этом случае точность переноса будет ниже контактного копирования, так как при записи и воспроизведении контура возникнут дополнительные погрешности, свойственные применяемому оборудованию.

При построении конструктивных плазов расчерченные элементы конструкции, в отличие от конструктивных чертежей, не образмериваются. Поэтому конструктивный плаз является безразмерным конструктивным чертежом, в котором контуры элементов конструкции воспроизводят конструкцию плоского сечения.

В процессе создания конструктивных плазов графическим построением выполняется взаимное согласование размеров и формы всех сопрягающихся деталей, входящих в конструкцию сборочной единицы и попадающих в ее плоское сечение, а также привязка их к теоретическому контуру и конструкторским базам. Вначале сверлят базовые отверстия, наносят базовые и конструктивные оси, переносят теоретический контур с теоретического плаза и в привязке к ним вычерчивают внутренний контур обшивки, затем воспроизводят сечения всех элементов продольного силового набора (стрингеров, лонжеронов), размечают оси заклепок, болтов, винтов и всех конструктивных и технологических отверстий (сборочных, направляющих, штифтовых, инструментальных и др.).

Детали их сечения изображают под тем углом, под которым проведена секущая плоскость. Поэтому на конструктивном плазу указывают размеры малок бортов деталей.

Конструктивный плаз, так же как и теоретические плазы, расчерчивается на каждое плоское сечение сборочной единицы только один раз и утверждается в качестве эталона ее плоского сечения.

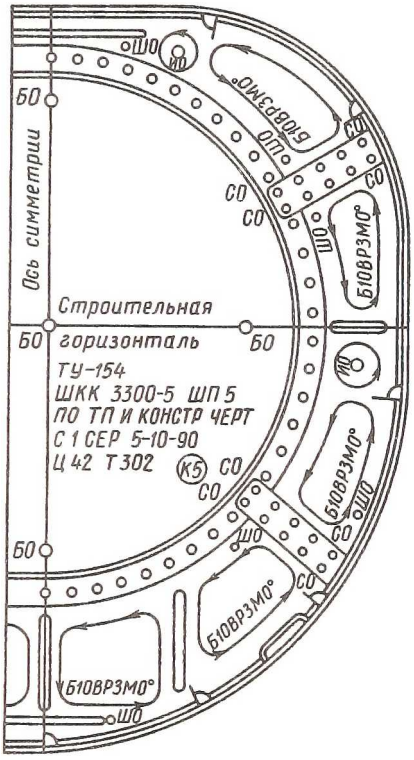
Конструктивный плаз является первоисточником увязки для деталей, входящих в состав сборочной единицы, а также для заготовительно-штамповочной и сборочной технологической оснастки на эту сборочную единицу и составляющие ее элементы.

Поскольку конструктивный плаз находится в числе общих этапов переноса первичных размеров, точность его построения не сказывается на точности увязки технологической оснастки и составляющих элементов конструкции плоского сечения сборочной единицы.

В качестве первоисточников увязки элементов конструкции при плазовых методах используют также шаблоны контрольно-контурные (ШКК) и отпечатки контрольные (ОК), выполняющие функции конструктивных плазов.

Контрольно-контурный шаблон представляет собой плоский жесткий инструмент, изготовленный из листового металла по теоретическому контуру, который он воспроизводит физически. На плоскости шаблона по конструктивным чертежам расчерчивается

Рис. 10.48. Контрольно-контурный шаблон на симметричный плоский узел



в натуральную величину конструкция плоского сечения сборочной единицы (рис. 10.48).

Теоретический контур, базовые отверстия и оси на заготовку шаблона переносятся с теоретического плаза путем физического копирования. При изготовлении контрольно-контурных шаблонов, так же как и при расчерчивании конструктивных плазов, выполняется взаимное согласование размеров и формы всех деталей, расположенных в плоскости сечения.

Контрольно-контурный шаблон является первоисточником увязки для деталей, входящих в состав плоского сечения сборочной единицы и необходимой для их изготовления заготовительно-штамповочной и сборочной технологической оснастки.

Разница между ШКК и конструктивным плазом заключается только в характере выполнения внешнего (теоретического) контура сборочной единицы. У конструктивного плаза он воспроизведен линией, скопированной с теоретического плаза, у ШКК он обработан путем снятия излишков металла.

Поскольку КП и ШКК полностью повторяют друг друга и предназначены для решения одних и тех же задач, изготовляют обычно только КП или только ШКК, так как в противном случае будут функционировать одновременно два отличающихся друг от друга первоисточника увязки на одну и ту же сборочную единицу, что снизит точность увязки технологической оснастки и уровень взаимозаменяемости элементов конструкции ЛА в данном плоском сечении.

ОК представляет собой точную копию конструктивного плаза (или отдельной части его), отпечатанную на плоской заготовке (чаще всего

на листовом прозрачном пластике или на листовом металле) фотоконтактным способом. Применяется он для тех же целей, что и конструктивный плаз. Использование контрольных отпечатков способствует более длительной сохранности конструктивных плазов.

Роль рабочих чертежей при плазовых методах обеспечения взаимозаменяемости и увязки. При плазовых методах обеспечения взаимозаменяемости и увязки теоретические чертежи для производства ЛА по существу заменяются теоретическими плазами, которые служат первоисточником увязки. Для изготовления технологической оснастки, деталей, сборочных единиц в качестве первоисточника геометрической информации используют в основном конструктивные и, частично, теоретические плазы.

Поэтому по сравнению с другими машиностроительными изделиями роль рабочих чертежей при изготовлении ЛА в значительной мере изменяется.

Если в общем машиностроении элементы конструкции изготовляют и их сборку осуществляют непосредственно по рабочим чертежам, а увязку — с применением общемашиностроительной системы допусков и посадок, то в производстве ЛА подавляющее большинство элементов конструкции изготовляют по жестким носителям размеров и формы, с помощью которых геометрическую информацию с теоретических и конструктивных плазов переносят на изготовляемые детали.

И только небольшую номенклатуру деталей, в основном жестких и не связанных с аэродинамическими обводами, изготовляют по конструктивным чертежам так же, как и в общем машиностроении.

Однако и при плазовых методах увязки рабочие чертежи из сферы производства ЛА не исключаются. Они лежат в основе изготовления и увязки всей плазовой оснастки. Их применение необходимо также при изготовлении деталей и сборочных единиц, так как они дают представление о конструкции деталей, о характере их сопряжения и соединения при сборке, о конструкции сборочных единиц, т.е. являются источниками той необходимой для производства дополнительной информации, которая отсутствует на плазовых носителях размеров и формы.

Применение теоретических чертежей обычно ограничивается построением теоретических и конструктивных плазов. Их часто используют при проектировании сборочной оснастки и контрольно-нивелировочных стендов. В производственные и вспомогательные

цехи (кроме плазово-шаблонного цеха) их обычно не выдают и в этих цехах их не используют.

Таким образом, рабочие чертежи ЛА при плазовых методах увязки в производстве ЛА играют важную, хотя и вспомогательную роль. Главную роль в обеспечении производства информацией о геометрических параметрах играют теоретические и конструктивные плазы и другая плазовая оснастка, выполняющая роль жестких носителей этой информации.

Влияние плазовых методов увязки на процессы проектирования и изготовления летательных аппаратов. Плазовые методы обеспечения взаимозаменяемости и увязки оказывают весьма существенное влияние на весь процесс создания ЛА, на его проектирование и изготовление.

В процессе проектирования ЛА геометрическую форму и размеры деталей, узлов, агрегатов и других сборочных единиц отрабатывают конструкторы опытной конструкторской организации (ОКО) не только на бумаге за чертежным столом, но и в процессе построения специально для этих целей предназначенных теоретических и конструктивных плазов, которые расчерчивают под наблюдением конструкторов ЛА в плазово-шаблонном цехе ОКО.

Процесс создания теоретических чертежей при этом носит многоэтапный характер. Конструкторские бригады ОКО на базе выполненных аэродинамических расчетов проводят аэродинамическую компоновку ЛА в нескольких вариантах. По ним изготовляют аэродинамические подобные модели ЛА и продувают их в аэродинамических трубах с целью выбора и обоснования оптимального варианта аэродинамической формы, компоновки и размеров планера.

Затем на каждый агрегат выбранного оптимального варианта создают предварительные теоретические чертежи, определяющие аэродинамические обводы агрегата и расположение в них осей основных конструктивно-силовых элементов.

Предварительные теоретические чертежи передают в плазово-шаблонный цех ОКО, где по приведенным в них таблицам координат или аналитическим зависимостям и другим исходным данным, определяющим аэродинамические обводы, расчерчивают теоретические плазы и выполняют взаимную увязку продольных и поперечных сечений аэродинамической поверхности агрегатов.

В процессе построения теоретических плазов осуществляют графическую проверку взаимного согласования обводов в различных

сечениях и проекциях и в случае необходимости корректируют координаты контуров сечений. Увязку выполняют с помощью метода батоксов и горизонталей, используя методику начертательной геометрии.

Обводы агрегата (например, фюзеляжа) вычерчивают в боковой и плановой проекциях. Затем строят эпюры совмещенных сечений, линии батоксов на боковой проекции и линии горизонталей на плановой проекции. На эпюре совмещенных сечений ставят точки по вертикальной и горизонтальной осям, определяемые обводами в боковой и горизонтальной проекциях, а затем эти точки соединяют кривыми, дающими обводы агрегата в соответствующих сечениях (например, в плоскостях шпангоутов). В боковой проекции и в плане строят линии батоксов и горизонталей и осуществляют взаимную корректировку их с эпюрами совмещенных сечений.

По результатам увязки осуществляют корректировку предварительных и оформление окончательных рабочих теоретических чертежей с указанием координат точек контуров сечений агрегата.

Увязку теоретических обводов крыла, оперения и других агрегатов, имеющих конусную поверхность, проводят используя свойства трапецеидальных сечений.

Аналогичным образом осуществляется разработка конструктивных чертежей планера. Разбивку силовых элементов каркаса (шпангоутов для фюзеляжа, нервюр и лонжеронов для крыльев и оперения) и создание чертежей общих видов агрегатов осуществляют на базе контуров сечений теоретической поверхности планера, полученных от плазово-шаблонного цеха ОКО.

В чертежах общих видов изображаются не только конструкции сборочных единиц и деталей, входящих в состав агрегата, но и все необходимые размеры и требования к точности контуров, выходящих на теоретическую поверхность.

В таком виде сборочные чертежи передают в плазово-шаблонный цех ОКО для плазовой увязки сопрягающихся элементов конструкции.

В плазовом цехе на все плоские сечения агрегатов и других сборочных единиц, приведенных в сборочных чертежах, расчерчивают конструктивные плазы. При этом осуществляются отработка конструкции сечения и геометрических параметров входящих в них деталей и узлов во взаимной их увязке и привязка конструкции плоских сечений к теоретическим контурам.

По конструктивным плазам с учетом проведенной корректировки конструкции плоских сечений уточняют и дорабатывают сборочные конструктивные чертежи. Плазовую увязку проходят практически все конструктивные чертежи планера ЛА, кроме чертежей на механосборочные единицы, не связанные с теоретической поверхностью.

Таким образом, процесс воспроизведения, отработки и взаимного согласования размеров и геометрических форм агрегатов, узлов и деталей на плазах при плазовых методах обеспечения взаимозаменяемости и увязки является неотъемлемой и весьма важной частью процесса проектирования ЛА.

Существенное влияние плазовые методы увязки оказывают на оформление рабочих чертежей, которое значительно отличается от общепринятого в машиностроении. Подавляющее большинство деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб изображают только в сборочных чертежах во взаимосопряженном состоянии без специальных детальных чертежей. В конструктивных чертежах, передаваемых на завод-изготовитель ЛА, приводится минимальное число размеров, в основном на те поверхности элементов конструкции, которые не выходят на аэродинамическую поверхность и не воспроизводятся при изготовлении конструктивных и теоретических плазов.

Размеры, которые прошли плазовую увязку, в чертежах обводят квадратиком, приводятся они только для справок, пользоваться ими для изготовления элементов конструкции ЛА и технологической оснастки нельзя, так как это приведет к развязке размеров и формы.

Как исключение детальные рабочие чертежи выполняют только на жесткие элементы конструкции общемашиностроительного типа либо на детали, имеющие сложную форму, воспроизвести которую по сборочным чертежам трудно или практически невозможно.

На заводе-изготовителе ЛА теоретические и конструктивные плазы строятся вновь. Но это не дублеры плазов ОКО, которые использовались для отработки конструктивных чертежей, а плоские эталоны, которые являются первоисточниками увязки размеров и формы технологической оснастки и элементов конструкции сборочных единиц при технологической подготовке производства.

Существенное влияние плазовые методы увязки оказывают и на процессы изготовления ЛА. Изготовление технологической оснастки при плазовых методах, а также деталей и сборочных единиц осуществляется по жестким носителям размеров и формы (шаблонам,

макетам), изготовленным по теоретическим и конструктивным плазам. Вся увязка размеров и формы элементов конструкции ведется с применением жестких носителей. Окончательный контроль деталей и сборочных единиц осуществляется тоже по жестким носителям размеров и формы.

Таким образом, плазовая оснастка является неотъемлемой частью всего технологического оснащения, необходимого для практического осуществления производственного процесса предприятия при изготовлении ЛА.

Технологические свойства плазовых методов увязки. Все плазовые методы относятся к категории методов увязки, построенных по принципу связанного (зависимого) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции. Поэтому им свойственны недостатки, присущие этому принципу.

К основным недостаткам традиционных плазовых методов относятся следующие.

1. Большая номенклатура и общее число жестких носителей формы и размеров, которые необходимы как на стадиях технологической подготовки производства, так и при самом производстве ЛА. Причем плазовую оснастку изготовляют специально для каждого запускаемого в производство ЛА и она не может быть использована повторно при освоении других изделий.

2. Большая трудоемкость изготовления и взаимной увязки жестких носителей формы и размеров. Наиболее сложную и трудоемкую задачу представляет расчерчивание теоретических и конструктивных плазов.

3. Большая материалоемкость всей плазовой оснастки.

4. Узкий фронт работы при изготовлении и взаимной увязке жестких носителей размеров и формы, а также технологической, особенно заготовительно-штамповочной оснастки. При плазовых методах ввиду связанного переноса размеров и формы, начиная от воспроизведения номинальных размеров, заданных в конструкторской документации, при построении теоретических и конструктивных плазов и кончая их переносом на технологическую оснастку, а затем и на элементы конструкции ЛА, вся увязка осуществляется в основном последовательно. Это главный недостаток плазовых методов.

До тех пор пока не будет изготовлен ТП, по существу нельзя начинать расчерчивание связанных с ним конструктивных плазов или

изготовление контрольно-контурных шаблонов, а пока не будут изготовлены конструктивные плазы, нельзя приступать к изготовлению последующих жестких носителей размеров (средств увязки) и рабочей технологической оснастки.

В связи с тем, что теоретические и конструктивные плазы изготовляют в одном экземпляре, необходимо соблюдать очередность при изготовлении по ним остальной плазовой оснастки, что также увеличивает цикл технологической подготовки производства.

5. Сравнительно невысокая точность изготовления технологической оснастки, а следовательно, и элементов конструкции ЛА в связи с накапливанием поэтапных погрешностей.

6. Затрудненная увязка размеров и формы элементов конструкции, имеющих сложную пространственную форму. Плазовые методы дают удовлетворительные результаты при увязке размеров по отдельным плоским сечениям аэродинамической поверхности сборочных единиц, заданным в теоретических чертежах. При изготовлении сложных пространственных конструкций возникает разрыв в системе увязки, так как каждый раз при изготовлении дублеров технологической оснастки необходимо заново выстраивать шаблоны плоских сечений в пространстве и отрабатывать рабочие поверхности оснастки в промежутках между ними на плавность.

Это приводит к рассогласованию контуров заготовительно-штамповочной оснастки, деталей, сборочных единиц и сборочной оснастки, что резко снижает уровень взаимозаменяемости и качество элементов конструкции.

Вместе с тем плазовые методы позволяют решать многие задачи по взаимному согласованию размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции, которые невозможно или сложно решить другими методами увязки. Особенно хорошие результаты и высокую точность сопряжения они позволяют получить при увязке плоских конструкций. Положительным свойством плазовых методов является наглядность процесса увязки, возможность визуального контроля и корректировки первоисточников увязки в процессе их изготовления.

Многие из указанных недостатков можно устранить (что делается на ведущих предприятиях авиационного профиля), применив для изготовления первоисточников и специальных средств увязки современную электронно-вычислительную технику и оборудование с ЧПУ.

Поэтому применение плазовых методов увязки в производстве ЛА до настоящего времени имеет довольно большой удельный вес и надо полагать, что они еще в течение долгого времени будут являться одними из основных методов увязки для многих деталей из листовых материалов и прессованных профилей, а также сборочных единиц, включающих эти детали, и применяемой для их изготовления технологической оснастки.

Основные направления развития и совершенствования плазовых методов увязки. Учитывая положительные свойства плазовых методов увязки и возможность их применения для образования размеров и формы нежестких элементов конструкции из листовых материалов и прессованных профилей, инженеры непрерывно работают над тем как устранить или уменьшить влияние недостатков, присущих этим методам, на рентабельность их применения в производстве ЛА.

В этом направлении многое уже сделано. Особенно большие возможности возникли с появлением и развитием электронно-вычислительной техники, различных кибернетических устройств и оборудования с ЧПУ. В частности, широкое применение получил автоматизированный расчет теоретических обводов на цифровых ЭВМ вместо ранее применявшегося ручного расчета, что позволило резко сократить трудовые затраты на расчет и построение плазовой оснастки.

С появлением различного рода электронно-механических устройств типа координатографов и графопостроителей с ЧПУ появилась возможность использовать их для расчерчивания как теоретических, так и конструктивных плазов, что в значительной мере упростило построение этой сложной плазовой оснастки в связи с заменой тяжелого ручного труда автоматизированным и повысило точность воспроизведения теоретических кривых.

Для изготовления ШКК и последующей плазовой оснастки (главным образом производственных шаблонов) широкое применение получают металлорежущие станки, револьверные вырубные прессы и лазерные установки с ЧПУ, что резко упростило и сократило трудоемкость изготовления этих жестких носителей размеров и формы.

Еще более упростило задачу их изготовления внедрение современного электронно-оптического оборудования для записи на программоноситель управляющей программы для станков с ЧПУ непосредственно с конструктивных плазов.

Все это хотя и не устранило основного недостатка плазовых методов, связанного с зависимым образованием размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции, но позволило резко сократить трудоемкость и упростить изготовление всей плазовой оснастки, повысить точность увязки геометрических параметров и тем самым повысить рентабельность и эффективность плазовых методов увязки и, что особенно важно, резко сократить цикл и сроки технологической подготовки производства.

В этой связи современные плазовые методы увязки уже существенно отличаются от тех традиционных, которые характерны для 50—60-х годов и не имеют многих недостатков, снижающих эффективность их применения.

Эталонные методы

Сущность эталонных методов. Первоисточники увязки. В эталонных методах в качестве первоисточников увязки применяют объемный эталон сборочной единицы, имеющей поверхность, воспроизводящую в натуральную величину увязанные значения ее геометрических параметров. Применяемый для увязки эталон является жестким носителем не только размеров и формы плоских сечений, но и объемным носителем формы поверхности сопрягаемых элементов конструкции ЛА.

Пространственная увязка продольных и поперечных сечений теоретического обвода сборочной единицы и привязка его к базовым осям, поверхностям и отверстиям, осуществляется в процессе построения эталона поверхности. Увязанная геометрическая информация с эталона поверхности затем переносится на сборочную единицу и детали, выходящие на ее поверхность, а также на обводообразующие элементы заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки путем контактного копирования.

Для этих целей применяют специальные средства увязки (макеты) в виде слепков и контрслепков, изготовленных из быстротвердеющих безусадочных композиционных материалов на основе цементов или полиэфирных смол. Отработку поверхности эталона ведут по плоским продольным и поперечным сечениям внешней поверхности сборочной единицы (обычно по плазовым шаблонам типа ШКС), промежутки между которыми сводят на плавность.

При отработке на плавность поверхности между плазовыми сечениями следят за тем, чтобы контуры плазовых шаблонов (ШКС), вмонтированных в эталон, не были повреждены. В противном случае точность размерной увязки сопрягаемых элементов конструкции плоских сечений, достигнутая при плазово-шаблонном методе, будет резко снижена, возникнет разрыв в увязке между контурами плоских сечений и поверхностью эталона.

Допущенные при отработке на плавность погрешности между сечениями практически не оказывают влияния на точность увязки, поскольку они являются общими для сборочной единицы и деталей, имеющих размерную связь с ее внешней поверхностью.

Чаще всего эталоны поверхности изготовляют на сборочные единицы, имеющие теоретическую поверхность ЛА (агрегаты, отсеки, секции, панели). Применяют также местные эталоны поверхности для увязки элементов конструкции сложных переходов между агрегатами (зализы стыков крыла с фюзеляжем, стабилизатора и киля с фюзеляжем), а также для узлов сложной конфигурации, таких как блистеры, фонари, капоты двигателей, выхлопные коллекторы, патрубки и трубопроводы.

Если эталоны делают на смежные сборочные единицы, то их подвергают размерной увязке между собой по стыкам, конструктивным базам и по теоретической поверхности.

Все эталонные методы увязки построены по принципу связанного (зависимого) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции в зоне их соединения или прилегания. Как уже отмечалось, в зависимости от применяемых средств увязки эталонные методы делят на методы плоской и объемной увязки геометрических параметров.

Плоская увязка обеспечивается ЭШМ, который применяют для взаимного согласования геометрических параметров обводообразующих деталей и сборочных единиц по отдельным плоским сечениям (в основном между плазовыми сечениями), а также сопряженных с обшивкой деталей, контуры которых расчерчены на поверхности эталона. Этим методом можно обеспечить размерную увязку элементов остекления кабины пилота. Применяют его для увязки размеров и формы заготовительно-штамповочной оснастки на детали каркаса с плоской стенкой и бортом по периметру, а также технологической оснастки для сборки плоских узлов в виде нервюр или шпангоутов, сопрягающихся с обшивкой сложной знакопеременной

кривизны. В этих целях по эталону поверхности в зоне постановки каркасных деталей или плоских узлов контактным копированием изготовляют специальные средства увязки в виде шаблонов типа ШКС, имеющих толщину, равную высоту полки детали или узла. В отличие от плазовых ШКС, такие шаблоны воспроизводят физически не только контур плоского сечения поверхности, но и малку борта в его зоне. Поэтому их называют малочными шаблонами. Рабочая поверхность таких шаблонов облицована быстротвердеющей пластмассовой композицисй, обеспечивающей возможность контактного копирования контура и малки с эталона поверхности.

По малочным шаблонам, которыс по существу являются плоскими макетами, тоже контактным копированием изготовляют формообразующую заготовительно-штамповочную оснастку и базовые элсменты (лекала, рубильники, ложементы) сборочного приспособления. ЭШМ дает возможность изготовить и обычные (тонкие) ШКС для деталей каркаса, расположенных в любых сечениях поверхности сборочной единицы, контуры которых не образмерены или вовсе отсутствуют в теоретических чертежах и на плазах. Комплект тонких ШКС, изготовленных по эталону поверхности, применяют для контроля листов обшивки и готовых сборочных единиц, имеющих поверхность сложной пространственной формы. Одна из возможных схем переноса первичных размеров на объекты увязки при ЭШМ показана на рис. 10.49.

Следует отметить, что для размерной увязки всех элементов конструкции, входящих в состав сборочной единицы, эталонно-шаблонный метод применяют редко в основном для малодетальных узлов, таких как концевые обтекатели крыла, стабилизатора, киля, воздухозаборники, выхлопные патрубки и др. В более крупных сборочных единицах таких как секции, отсеки, агрегаты часть шаблонов на внутренние детали каркаса обычно изготовляют непосредственно по конструктивному плазу. Метод увязки в этом случае является комбинированным, состоящим из двух методов: эталонно-шаблонного и плазово-шаблонного. Для обеспечения высокого уровня геометрической взаимозаменяемости и увязки всех элементов конструкции таких сборочных единиц должно быть осуществлено строгое взаимное согласование первоисточников увязки (плазов и эталона) в зонах перехода от обшивки к каркасу.

Наиболее широкое применение в производстве ЛА имсет эталонно-макетный метод увязки (ЭММ). Чаще всего его применяют при

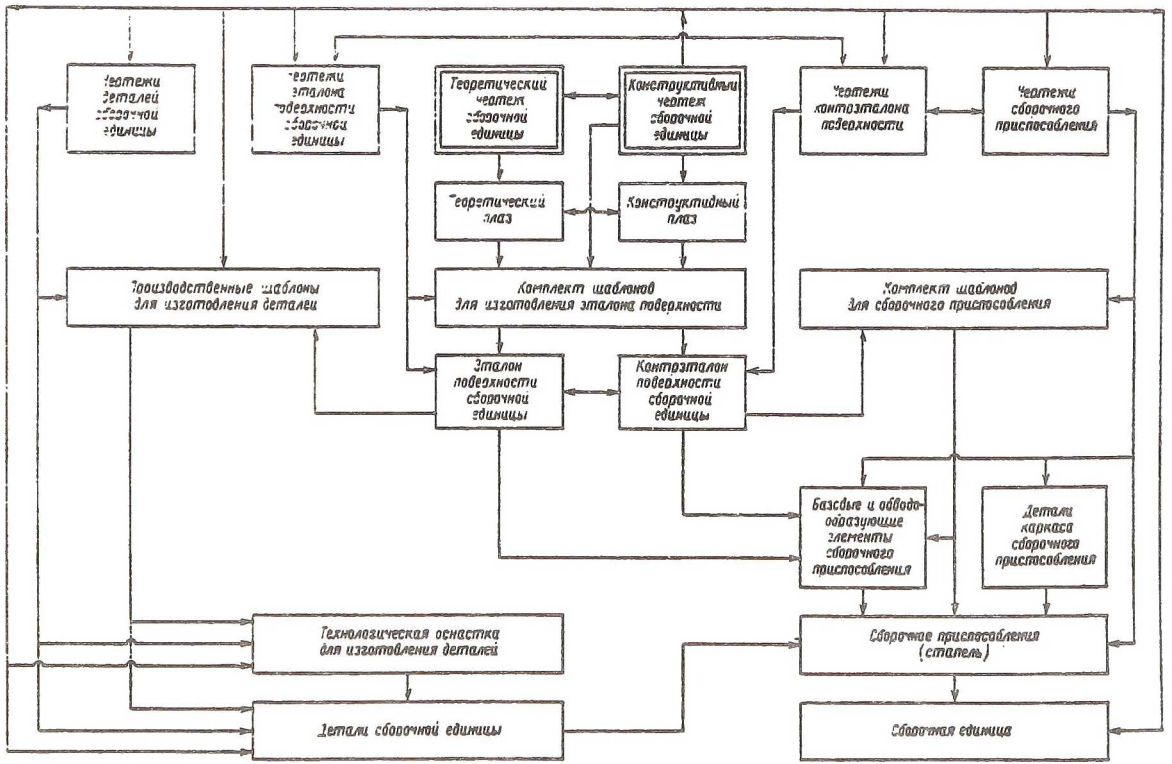


Рис. 10.49. Структурная схема обеспечения увязки геометрических параметров сборочной единицы при эталонно-шаблонном методе

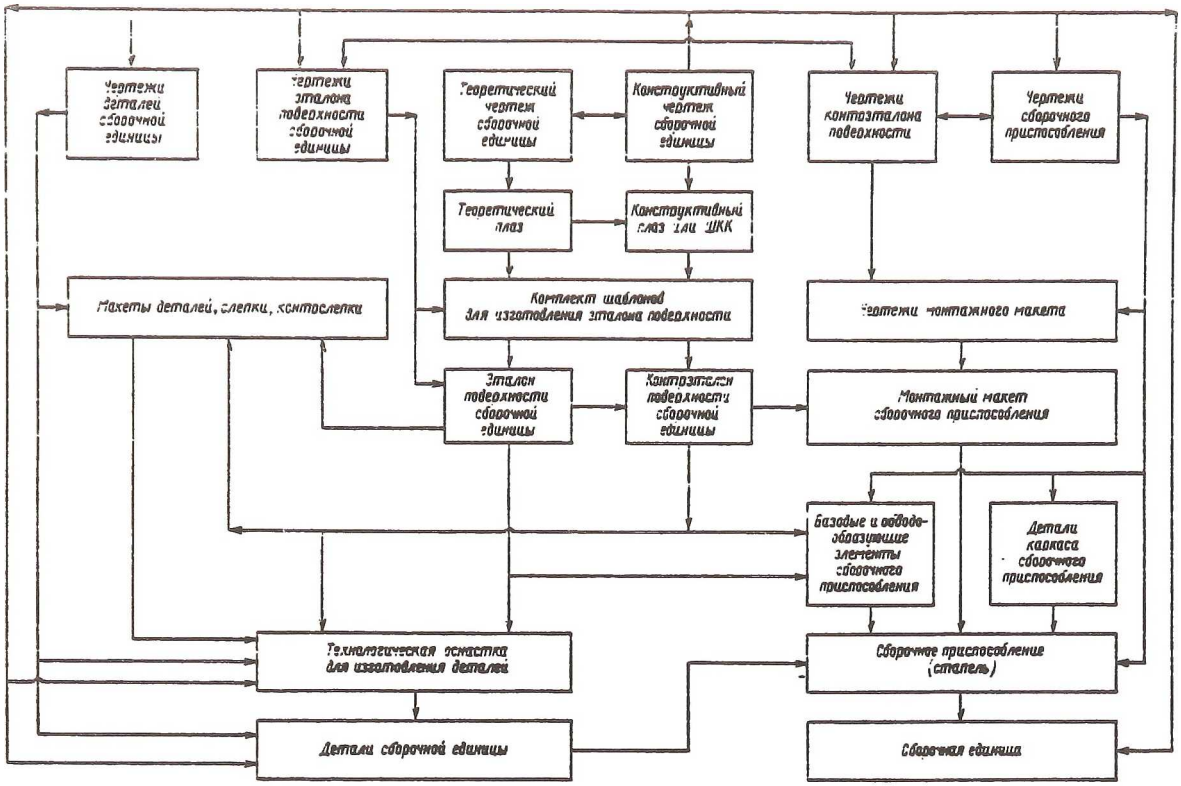


Рис. 10.50. Структурная схема обеспечения увязки геометрических параметров сборочной единицы при эталонно-макетном методе

изготовлении малогабаритных машин. Изготовленные по эталону поверхности способом контактного копирования специальные средства увязки — макеты, слепки, контрмакеты и контрслепки — применяют при увязке заготовительно-штамповочной и сборочной оснастки, предназначенной для изготовления обводообразующих деталей и сборочных единиц, имеющих сложную пространственную форму.

Поэтапное безразмерное копирование контуров и поверхностей при этом методе увязки осуществляется без каких-либо дополнительных построений и отработки на плавность, характерных для плазовых методов.

Одна из возможных структурных схем увязки геометрических параметров изделия при ЭММ показана на рис. 10.50. В приведенных схемах (см. рис. 10.49 и 10.50) плазы и плазовые шаблоны являются по существу средствами изготовления эталона поверхности. Увязка, которая осуществляется при построении теоретического и конструктивного плазов, является предварительной. Она уточняется и корректируется при построении эталона поверхности сборочной единицы, который в данном случае становится первоисточником увязки. При его построении и сведении поверхности на плавность образуются окончательно увязанные размеры и форма поверхности сборочной единицы, которые затем с помощью различных специальных средств увязки переносят на объекты увязки.

В случае, если при отработке на плавность необходимо вынужденно нарушить контур какого-либо ШКС эталона поверхности, то для обеспечения необходимой размерной увязки тщательно проверяют плазовые данные в этом сечении и в случае необходимости вносят соответствующие коррективы в теоретический и конструктивный плазы с тем, чтобы плазовый и эталонный первоисточники увязки по контурам плазовых ШКС были одинаковыми.

Эталоны поверхности. Конструктивно эталон поверхности для таких сборочных единиц, как отсеки фюзеляжа или капот двигателя, имеющие двояко-выпуклую поверхность или поверхность знакопеременной кривизны, обычно состоит из металлического каркаса, например, в виде стальной толстостенной трубы *4* (рис. 10.51), на котором монтируются на заданных расстояниях (дистанциях) друг от друга шаблоны контуров сечений (ШКС) *5*. Шаблоны могут быть изготовлены либо по чертежам изделий (если в чертежах сечения образмерены), либо по плазам (теоретическим или конструктивным), или на станках с ЧПУ по программам, рассчитанным на ЭВМ. Чертежи, плазы и программы при этом служат средством изготовления первоисточника увязки — эталона.

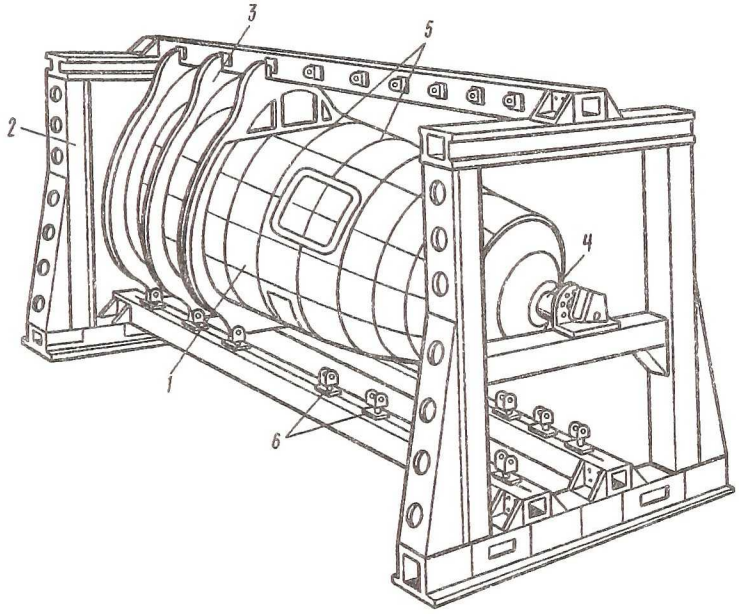


Рис. 10.51. Эталон и контрэталон поверхности фюзеляжа

Каркас должен обладать большой жесткостью, исключающей возможность даже незначительного прогиба от массы эталона, монтажных и эксплуатационных нагрузок.

Пространство между закрепленными на каркасе шаблонами заполняется вначале деревянными брусками на клею, а затем облицовывается быстротвердеющей безусадочной пластмассовой композицией специального состава, которая образует рабочую поверхность *1* эталона. Окончательная доводка поверхности ведется с базой на шаблоны контуров сечений, рабочие кромки которых должны предохраняться от возможного повреждения.

Отработка поверхности эталона на плавность между сечениями ведется с помощью гибкой линейки (рейки) на просвет. Проверка плановости осуществляется специальным мерительным устройством с тремя опорными точками и со стрелочным индикатором.

При равномерном передвижении устройства по поверхности эталона хорошей ее плавности соответствует монотонное перемещение стрелки индикатора без резких колебаний.

Эталоны несколько иной конструкции применяют для сборочных единиц, имеющих поверхности с линейчатыми образующими (поверх-

ности одинарной кривизны). На рис. 10.52 показан такой эталон поверхности отъемной части крыла самолета. Каркас эталона состоит из двух монолитных половин *1* и *2*, изготовленных методом литья из легкого сплава (например, вторичного алюминия) и соединенных между собой болтами *3*. В целях облегчения обе половины делают полыми с внутренними ребрами жесткости. Сверху литой каркас покрыт слоем быстротвердеющей легкообрабатываемой пластмассы *4* (например, карбинольным гипсом или гипсоэпоксидной композицией). Отдельные части эталона могут быть монолитными (неразъемными), например часть *5* для законцовки крыла, которая точно фиксируется и закрепляется с помощью болтов на основном эталоне.

Отработка поверхности эталона ведется по шаблонам контура (ШК) корневой и концевой нервюр, которые выполняют роль направляющих для прямолинейной образующей поверхности. Шаблоны прикреплены к каркасу болтами и контрольными штифтами (на рис. 10.52 не показаны). Последние предотвращают возможность смещения шаблонов в плоскостях нервюр.

В качестве образующей при отработке поверхности используют ровную линейку, которую фиксируют по процентным линиям, размеченным на шаблонах и соединяющим пропорциональные отрезки хорд корневой и концевой нервюр; размеры отрезков составляют *5*, 10, 15 и т.д. процентов длин одной и другой нервюр. Процентные линии при геометрически подобных контурах нервюр совпадают с лучами, проведенными из вершины конусной поверхности (см. рис. 10.9).

При такой схеме отработки поверхности эталона контуры его поперечных сечений в плоскостях всех промежуточных нервюр и продольных сечений в плоскостях переднего и заднего лонжеронов, образуются автоматически при соответствующей разметке осей нервюр и лонжеронов на отработанной поверхности. При большой длине крыла эталон поверхности делают составным из двух и более частей, соединенных между собой классными болтами и контрольными штифтами. Разъемы размещают в плоскостях каких-либо промежуточных нервюр. Если форма крыла образуется двумя профилями, то разъемы эталона поверхности предусматриваются в тех промежуточных нервюрах, где меняется профиль крыла. Окончательная отработка и контроль плавности поверхности составного эталона осуществляются совместно при соединенных в единое целое всех его частях. Эталоны монолитной конструкции применяют в основном для ЛА, имеющих небольшие габаритные размеры.

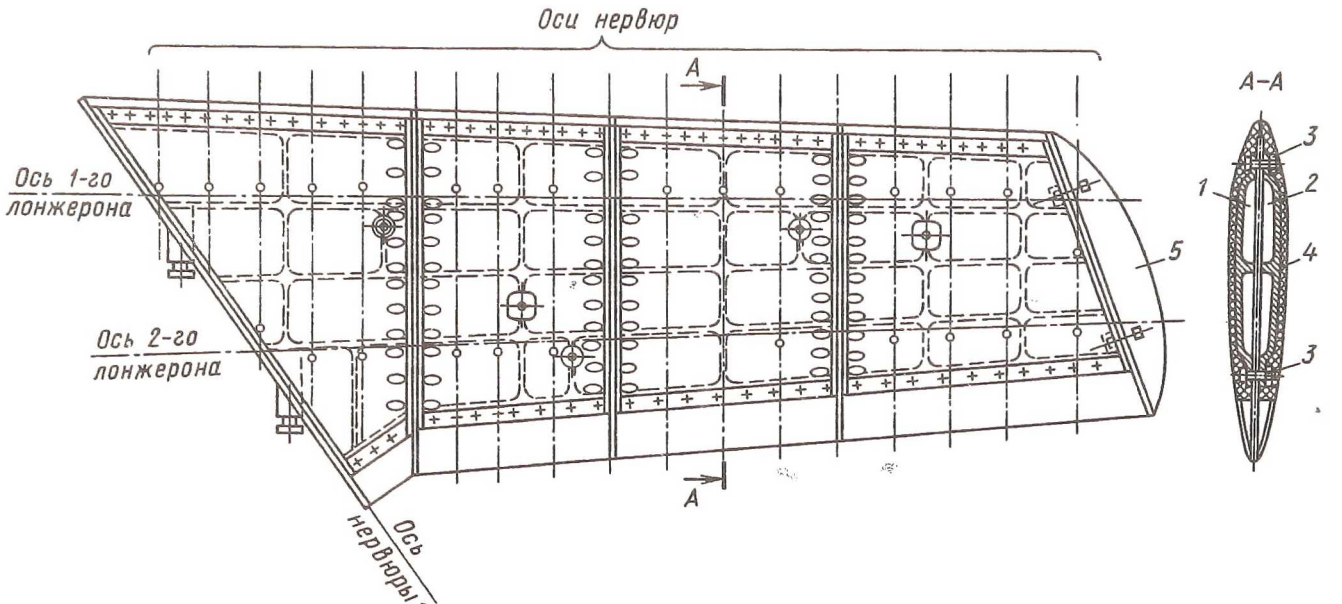


Рис. 10.52. Эталон поверхности крыла

Изготовляют эталоны поверхности обычно по внутренней поверхности обшивки, что обеспечивает возможность непосредственного контактного изготовления рабочей и контрольной оснастки на элементы конструкции, образующие поверхность каркаса, и увязки выпуклой заготовительно-штамповочной оснастки на листы обшивки.

На поверхности окончательно отработанного эталона независимо от его конструкции кроме базовых осей размечают и расчерчивают в натуральную величину все конструктивные элементы сборочной единицы, выходящие на поверхность и соединяющиеся с обшивкой: оси стрингеров, лонжеронов, контуры шпангоутов, нервюр, линии стыков листов обшивки, контуры люков и других выходящих на поверхность конструктивных элементов. Для обеспечения необходимой долговечности и сохранности разметки расчерченные контуры прорезаются специальным резцом на глубину 0,2 — 0,3 мм и в образующуюся канавку заливают несмываемую тушь.

Эталон поверхности с расчерченными конструктивными элементами утверждается в качестве первоисточника увязки размеров и формы сборочной единицы. Дублеров эталоны поверхности не имеют и повторно не изготовляются. Это обусловлено тем, что изготовить два абсолютно одинаковых эталона на одну и ту же сборочную единицу практически невозможно. Они создаются только один раз в одном экземпляре на каждую сборочную единицу и при хранении и использовании тщательно оберегаются от возможных повреждений.

Устанавливается и хранится эталон поверхности в специальном стапеле *2*, имеющем жесткую конструкцию, аналогичную сборочному приспособлению, в котором эталон жестко фиксируется (см. рис. 10.51). В стапеле монтируются фиксирующие элементы в виде рубильников *3*, которые размещаются в плоскостях конструктивных элементов сборочной единицы (шпангоутов — для фюзеляжа, нервюр — для крыла и оперения). Рабочие контуры рубильников создают негативное отображение поверхности каркаса сборочной единицы и являются ее контрэталоном. Обводы рубильников отрабатывают по эталону поверхности путем контактного копирования. Для этой цели эталон поверхности *1* устанавливается в стапеле (контрэталоне) *2* и закрепляется в нем по реперным площадкам, имеющимся в эталоне и контрэталоне. Между обводами рубильников и поверхностью эталона должен быть зазор *3* — *5* мм, который заполняют быстротвердеющей пластмассой, образующей после затвердевания контуры, точно соответствующие обводам эталона

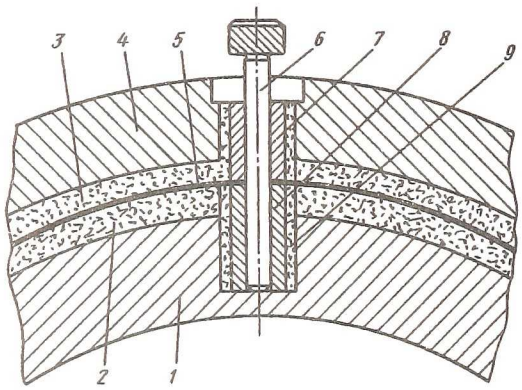


Рис. 10.53. Схема копирования контура и монтажа базовых втулок в эталоне поверхности и в рубильнике сборочного приспособления:
1 — каркас эталона поверхности; *2* — пластмассовая облицовка эталона; *3* — облицовка рабочей поверхности рубильника; *4* — каркас рубильника; *5* — разделительный слой; *6* — фиксирующий штифт; *7* — базовая втулка рубильника; *8* — базовая втулка эталона поверхности; *9* — высокостойкая безусадочная пластмассовая композиция, закрепляющая базовую втулку в эталоне поверхности

поверхности. В случае применения рубильников со скошенным накладным ножом последний изготовляют отдельно по эталону поверхности в заданном сечении на просвет или по краске. Затем нож устанавливают по эталону поверхности и закрепляют на корпусе рубильника болтами и штифтами (см. рис. 10.51).

Рубильники *3* устанавливают в вилках *6* и закрепляют специальными контрольными штырями. В стапеле контрэталона монтируют также фиксаторы стыковых узлов сборочной единицы, которые строго координируют относительно контуров рубильников и реперных площадок. При снятых рубильниках эталон может поворачиваться вокруг оси *4*, занимая положение, удобное для изготовления слепков, в котором его фиксируют с помощью специальных штифтов. Эталон поверхности используют для изготовления вогнутых, а контрэталон — выпуклых средств увязки, которые затем применяют для переноса увязанных геометрических параметров на объекты увязки (узлы, детали, заготовительно-штамповочную и сборочную оснастку).

Для взаимной размерной увязки эталона поверхности, контрэталона, объемных средств увязки и базовых элементов сборочного приспособления используют систему технологических БО. На эталоне

поверхности по основным сечениям, принятым в качестве базы, монтируют базовые втулки. Ответные втулки устанавливают в рубильниках контрэталона (рис. 10.53), а также в монтажном макете, макетах соответствующих узлов, разъемов и в рубильниках сборочного приспособления. Расположение базовых отверстий во всей этой оснастке согласовывается с расположением отверстий в эталоне. Взаимную фиксацию указанных объектов выполняют по БО с помощью классных штифтов.

Для самолетов малого размера эталоны поверхности изготовляют на агрегаты, отсеки, узлы. Эталоны агрегатов делают обычно разборными. Членение эталонов поверхности на отдельные части позволяет расширить фронт работ при технологической подготовке производства.

Отдельные эталоны поверхности агрегатов, отсеков и узлов устанавливают в требуемое положение по информации на чертежах и затем их взаимно отстыковывают и нивелируют. Для этих целей во всех эталонах должны быть предусмотрены специальные узлы для их соединения и соответствующие базовые реперные элементы.

Технологические свойства эталонных методов увязки. Все эталонные методы увязки относятся к категории методов, построенных по принципу связанного образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции. Поэтому им свойственен основной недостаток этого принципа — узкий фронт работ при изготовлении, взаимной увязке и использовании как самих эталонов и контрэталонов, так и средств контактного переноса размеров и формы с эталонов на технологическую оснастку и на сопрягаемые элементы конструкции ЛА.

Начиная от воспроизведения размеров, приведенных в чертежах, построения теоретических и конструктивных плазов и изготовления по ним ШКС для эталонов поверхности и кончая переносом геометрической информации с эталонов на технологическую оснастку, а затем на сами элементы конструкции, изготовление и увязка технологической оснастки, деталей и сборочных единиц при эталонных методах осуществляются последовательно.

Пока не будут изготовлены и взаимно увязаны эталоны поверхностей на смежные сборочные единицы, нельзя начинать изготовление жестких носителей для контактного переноса размеров и формы с эталонов на технологическую оснастку. Пока не будут изготовлены объемные средства увязки, нельзя начинать изготовле заготови-

тельно-штамповочной оснастки и сборочных приспособлений и т.д. Большую сложность и трудоемкость составляют изготовление, отработка и взаимная увязка эталонов поверхности на сопрягаемые сборочные единицы. Все это в значительной мере удлиняет и усложняет цикл технологической подготовки производства.

Положительным свойством эталонных методов является то, что они при увязке сложных пространственных элементов конструкции, устраняют разрыв в увязке, имеющий место при плазовых методах с использованием шаблонов плоских сечений. Эталонные методы обеспечивают точное воспроизведение размеров, формы и их увязку в зоне сопряжения соединяемых элементов не только в отдельных плоских сечениях, но и по всей поверхности сборочной единицы. Они обеспечивают возможность сравнительно быстрого, простого, но вместе с тем точного переноса увязанных размеров поверхностей и контуров с эталона на элементы конструкции ЛА и технологическую оснастку путем контактного копирования.

В планере любого ЛА есть сборочные единицы и детали, отработку конструкции и размерную увязку которых можно осуществить только с применением эталонных методов, так как другие технологические методы, в том числе и программные, не могут обеспечить необходимую точность согласования их размеров и формы. Поэтому эталонные методы, несмотря на сложность и большую трудоемкость изготовления первоисточников и специальных средств увязки, нашли достаточно широкое применение для размерной увязки сопрягаемых элементов конструкции сложной пространственной формы, выходящих на аэродинамическую поверхность, а также различных патрубков, трубопроводов, воздухозаборников и других сложных пространственных конструкций.

Следует отметить, что эталонные методы увязки тесно связаны с плазовыми методами; первоисточники увязки этих двух методов в плазовых сечениях должны быть строго одинаковыми, что предотвратит разрыв в увязке плоских и пространственных деталей и сборочных единиц в зонах их соединения; только при этом непременном условии может быть достигнут необходимый уровень геометрической взаимозаменяемости указанных элементов конструкции.

Основные направления совершенствования эталонных методов увязки. Эталонные методы увязки обеспечивают простой и точный перенос размеров и формы с эталонов и их частей на увязываемые поверхности, устраняя разрыв в увязке между плоскими сечениями

теоретической поверхности. Вместе с тем они отличаются большой трудоемкостью. Особую сложность составляет изготовление первоисточников увязки — эталонов поверхностей. Этот существенный недостаток ограничивает применение эталонных методов увязки.

Частично устранить этот недостаток можно за счет широкого применения в эталонных методах электронно-вычислительной техники и оборудования с ЧПУ. Уже удалось резко снизить трудоемкость всех подготовительных работ, начиная с расчета теоретических контуров плоских сечений и кончая изготовлением шаблонов сечений для эталонов.

Значительного снижения трудоемкости изготовления эталонов поверхности и повышения их точности удалось достигнуть за счет применения для их изготовления фрезерных станков и контрольно-измерительных устройств (машин) с ЧПУ.

Управляющие программы для этого оборудования получают путем расчета на ЭВМ математической модели поверхности. Следует отметить, что управляющая программа в данном случае служит не первоисточником увязки, а средством изготовления эталона поверхности. Первоисточником увязки является эталон поверхности, на котором после отработки на плавность расчерчивается конструкция деталей каркаса и обшивки, выходящих на поверхность, и взаимная увязка их контуров.

Применение электронной техники позволяет существенно уменьшить применение малопроизводительного ручного труда при изготовлении эталонов и повысить эффективность их использования в производстве ЛА.

Программные методы

Сущность программных методов. Первоисточники увязки. В качестве первоисточников увязки в программных методах применяют программы, записанные на специальном программоносителе (на перфокартах, магнитной или перфорированной ленте) и обеспечивающие возможность многократного физического воспроизведения записанных контуров и поверхностей на оборудовании с ЧПУ, которое является неотъемлемой составной частью программных методов увязки.

Увязка геометрических параметров сопрягающихся элементов конструкции при программных методах осуществляется аналитически на основе расчета математической модели поверхности (для объемных сборочных единиц и деталей) либо математической модели контура (для плоских конструкций) без их графического построения на плазах.

В этом заключается принципиальное отличие программных методов от других методов обеспечения взаимозаменяемости и увязки. Их отличительной особенностью являются также специфические требования в части задания аэродинамических обводов в теоретических чертежах аналитическими зависимостями.

Это требование обязательно для выполнения потому, что при программных методах увязки монолитные детали, выходящие на аэродинамическую поверхность, а также шаблоны, обтяжные пуансоны, рубильники сборочных приспособлений и другую оснастку и ее элементы изготовляют на станках с числовым программным управлением. Применяемые при этом математические методы формирования обводов ЛА должны полностью и однозначно описывать поверхности агрегатов ЛА, не допуская зон, сводимых "на плавность" на плазах или сглаживания на макетах поверхности [37].

Точность увязки сопрягаемых элементов конструкции при программных методах находится в прямой зависимости от точности применяемых средств увязки и определяется в основном точностью изготовления технологической оснастки и сопрягаемых элементов конструкции ЛА.

При автоматизированных системах проектирования летательных аппаратов увязку обводов выполняет конструктор в режиме диалога с ЭВМ, осуществляемого с помощью дисплея и "светового пера". Конструктор с учетом различных аэродинамических и конструктивных требований может скорректировать очертание поверхности ЛА непосредственно на экране дисплея, а ЭВМ учтет эту корректировку при аппроксимации поверхности одним из математических методов. В этом случае опыт и интуиция конструктора дополняются большим объемом памяти и огромными вычислительными возможностями современных ЭВМ [37].

Программные методы иногда называют бесплазовыми, что не совсем правильно, так как и при них теоретические плазы тоже применяют, но не для целей увязки, а для визуальной и размерной проверки плавности рассчитанных контуров и для последующей более

точной проверки их с помощью специальных контрольно-измерительных машин. Построение теоретических контуров на плазе осуществляется автоматически с помощью графопостроителей с ЧПУ.

По результатам проверки в случае необходимости осуществляется корректировка цифровой информации математической модели и соответствующих управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Конструктивные плазы при программных методах тоже применяют. Их построение ведется иногда традиционными методами путем ручного расчерчивания конструкции плоского сечения внутри теоретического контура; последний при программных методах наносится на заготовку конструктивного плаза графопостроителями с ЧПУ.

Более эффективно применение графопостроителей для расчерчивания внутренней конструкции сечения по специальной сложной для разработки программе. Но и в этом случае иногда выполняется последующая ручная доработка тех зон плаза, конфигурацию контуров которых трудно или невозможно запрограммировать.

Программы на программоносителе при программных методах увязки записывают с применением соответствующих кодов, обеспечивающих работу оборудования с ЧПУ.

Расчет программ для оборудования с ЧПУ представляет определенную сложность и ведется с применением цифровых электронно-вычислительных машин (ЭЦВМ), работающих тоже по специальной программе, разработку которой ведут с использованием специальных языков программирования, что представляет не меньшую сложность.

Цифровая информация математической модели, полученная при расчете на ЭВМ, проходит специальную проверку и технологическую проработку, связанную с выделением тех контуров и поверхностей, которые необходимы для последующей увязки конкретных сопрягающихся элементов конструкции планера ЛА и соответствующей им технологической оснастки.

Выделенная увязанная цифровая информация на сопрягающиеся контуры в дальнейшем однозначно отображает заданную поверхность и служит основным документом для изготовления обводообразующей технологической оснастки и элементов планера ЛА. Она вводится в оперативную или внешнюю память ЭВМ и по мере надобности может быть извлечена из нее и использована для решения конкретных задач при технологической подготовке производства.

Цифровая информация, извлеченная из памяти машины, с помощью соответствующего электронного или электронно-механического оборудования (интерполяторов) с применением соответствующего кода может быть перенесена (записана) в качестве управляющей программы на программоноситель, который используется для автоматизированного воспроизведения заданных контуров и поверхностей.

Для материализации управляющей программной записи используется оборудование с ЧПУ. Автоматизированное расчерчивание линий на плоскости, как уже отмечалось, производится графопостроителями с ЧПУ. С использованием указанного оборудования могут решаться следующие задачи:

автоматизированное построение теоретических и конструктивных плазов, используемых либо для визуальной и машинной проверки качества увязки контуров, либо в качестве первоисточников размеров и формы для последующей размерной увязки элементов конструкции плоских сечений; последние используют при плазовых методах увязки;

автоматизированное изготовление различных плоских жестких носителей размеров и формы (шаблонов), применяемых в качестве средств увязки для переноса увязанных размеров на технологическую оснастку при ее изготовлении;

автоматизированное изготовление объемных жестких носителей размеров и формы для переноса увязанной формы на объемную технологическую оснастку при ее изготовлении;

непосредственное изготовление и контроль деталей и сборочных единиц;

изготовление и контроль плоской и объемной заготовительно-штамповочной оснастки;

изготовление и контроль плоской и объемной контрольно-доводочной оснастки для контроля и доводки деталей из листовых материалов, прессованных профилей и тонкостенных труб;

изготовление фиксирующих и базовых элементов (рубильников, ложементов) сборочных приспособлений;

изготовление кондукторов для сверления отверстий по разъемам агрегатов и мастер-плит для стапельной оснастки.

Выполнение указанных задач осуществляется при высоком уровне автоматизации и может с достаточно высокой точностью многократно повторяться за счет повторного использования программ, записанных на программоносителе.

Следует отметить, что первоисточниками увязки в программных методах могут служить только те программы, которые получены на основе расчета математической модели поверхности либо контура. К первоисточникам увязки не могут быть отнесены программы, записанные с плазов или эталонов. Такие программы выполняют роль средства увязки, а первоисточниками увязки в этом случае являются плазы и эталоны.

К первоисточникам увязки не могут быть отнесены также программы, применяемые для расчерчивания плазов или изготовления эталонов для плазовых и эталонных методов. В этих случаях программы служат средством изготовления первоисточников увязки — плаза или эталона.

Исходными данными для разработки программ — первоисточников увязки — могут быть: образмеренные чертежи изделий либо прилагаемые к ним аналитические таблицы координат точек, лежащих на заданной поверхности, а также математические зависимости, приведенные в теоретических чертежах и позволяющие получить расчетным путем координаты любых точек.

В основу программных методов увязки могут быть положены принципы независимого или зависимого (связанного) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции. Геометрические параметры объектов увязки при этом воспроизводятся либо раздельно друг от друга, либо на определенных этапах переноса совместно в связи с наличием общих технологических размеров, характерных для зависимого принципа.

Наиболее прогрессивным является программно-инструментальный метод увязки (ПРИМ), построенный по принципу независимого образования геометрических параметров. Он обладает существенным преимуществом перед другими методами увязки, так как базируется на широком использовании оборудования с ЧПУ для непосредственного воспроизведения по заданной программе геометрических параметров изделий без применения каких-либо специальных промежуточных средств увязки.

ПРИМ используют для увязки размеров и формы обводообразующей заготовительно-штамповочной оснастки (формблоков, оправок, доводочных приспособлений, обтяжных пуансонов) и базовых элементов сборочных приспособлений (ложементов, рубильников). Его применяют также для непосредственного изготовления по записанной программе сопрягающихся элементов конструкции сборочных единиц.

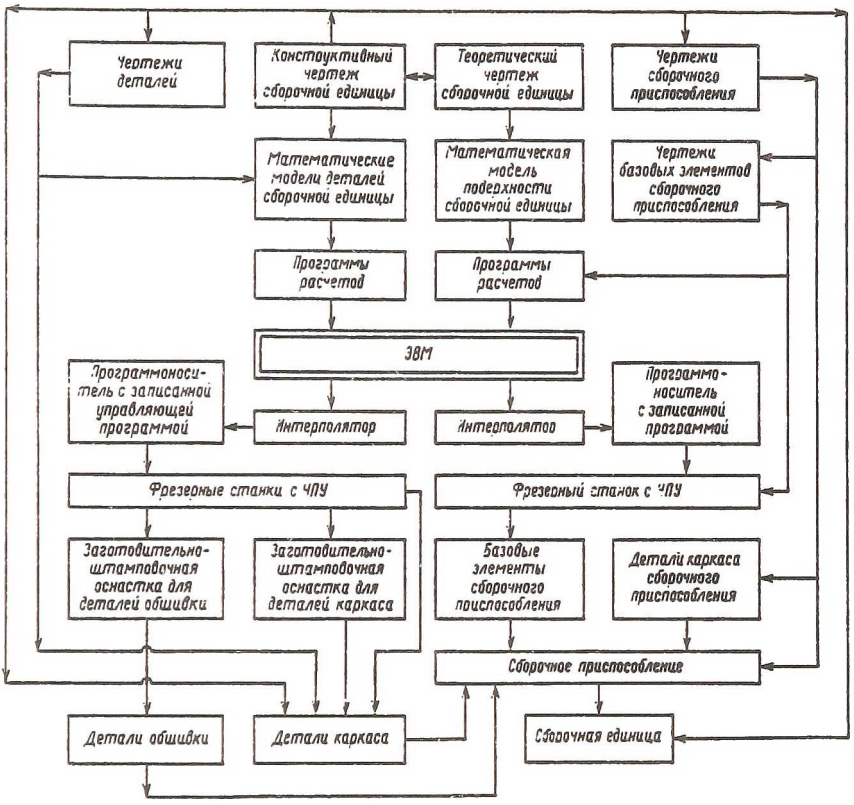


Рис. 10.54. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при программно-инструментальном методе увязки

Для контроля размеров и формы изготовленных изделий при этом методе увязки используют контрольно-измерительные машины, работающие по специальной программе, увязанной с программой для станков с ЧПУ. Область применения ПРИМ непрерывно расширяется.

Один из возможных вариантов схемы увязки при программно-инструментальном методе показан на рис. 10.54. Здесь для проверки увязки элементов конструкции плоского сечения использован конструктивный плаз, построенный с применением графопостроителя. После соответствующей доработки и уточнения конструктивный плаз используется для записи программ, предназначенных для отработки фиксирующих и базовых поверхностей элементов заготовительно-штамповочной и станочной оснастки на станках с ЧПУ.

К программным методам, построенным по принципу связанного (зависимого) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции, относятся: программно-шаблонный метод увязки (ПРШМ) и программно-макетный метод увязки (ПРММ).

При программно-шаблонном методе увязки по программе, составленной на основе расчета математической модели поверхности сборочной единицы, на станках с ЧПУ изготовляют производственные шаблоны, которые затем используют для переноса увязанных размеров на заготовительно-штамповочную технологическую оснастку и на сборочные приспособления для воспроизведения обычным способом и контроля геометрических параметров деталей и сборочных единиц.

ПРШМ является как бы переходным к программно-инструментальному методу увязки. Его применяют в случаях, если непосредственное изготовление оснастки и деталей на оборудование с ЧПУ невозможно или нерационально. Этот метод эффективен для расширения фронта работ при технологической подготовке производства.

По мере увеличения парка оборудования на предприятиях авиационного профиля и внедрения автоматизированной разработки программ для станков с ЧПУ область применения ПРШМ будет уменьшаться.

Одна из возможных схем обеспечения взаимозаменяемости и увязки при программно-шаблонном методе показана на рис. 10.55. Перспективным является ПРММ, при котором в качестве специальных средств увязки используют макеты, изготовленные на станках с ЧПУ по программе, составленной на основе расчета математической модели поверхности сборочной единицы.

Для переноса увязанных размеров с макетов на рабочую и контрольную технологическую оснастку используют способ контактного копирования (способ слепков и контрслепков), обеспечивающий высокую точность воспроизведения геометрических параметров технологической оснастки и сопрягающихся элементов планера ЛА. Увязка геометрических параметров при этом осуществляется аналитически при расчете математической модели поверхности и составлении программ для станков с ЧПУ.

Контактное копирование рабочей технологической оснастки (заготовительно-штамповочной, сборочной, контрольной) по одному и тому же макету является несомненным преимуществом по сравнению

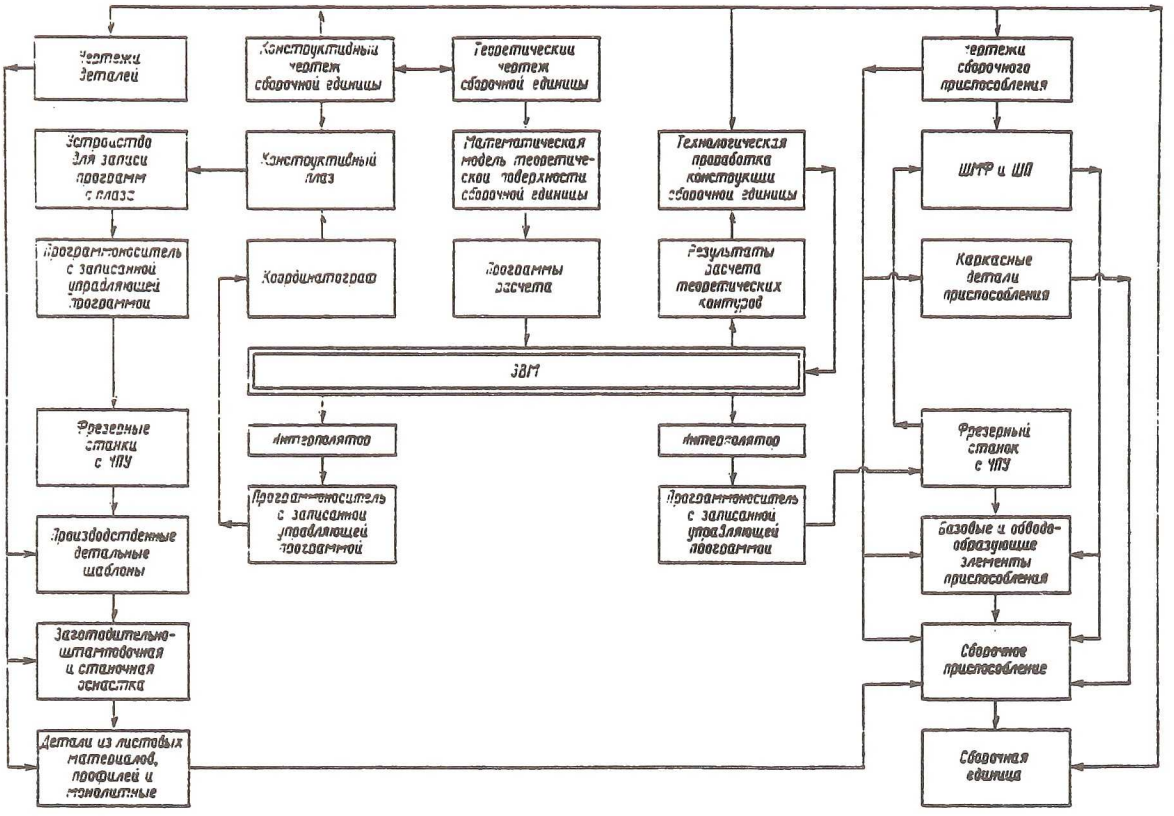


Рис. 10.55. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при программно-шаблонном методе увязки

с раздельным изготовлением на станках с ЧПУ по специальным программам. Затраты времени на изготовление и отработку базовых элементов оснастки будут намного меньше, а точность увязки — выше.

Укрупненная перспективная схема программно-макетного метода увязки элементов конструкции сборочной единицы и технологической оснастки для ее изготовления и изготовления деталей, входящих в ее состав, показана на рис. 10.56.

В настоящее время внедрение этого метода увязки ограничено в связи с отсутствием специального крупногабаритного оборудования с ЧПУ для изготовления макетов. С созданием и расширением выпуска такого оборудования область применения ПРММ будет расширяться.

Техническое обеспечение программных методов увязки. Программные методы увязки могут функционировать только при соответствующем техническом обеспечении. Само возникновение и эффективное использование этих методов стало возможным благодаря бурному развитию электронно-вычислительной техники и появлению различного рода электронных, электронно-механических и кибернетических устройств и систем.

Электронно-вычислительная техника. Основной базой применения и развития программных методов увязки являются цифровые электронно-вычислительные машины, с помощью которых ведутся расчеты математических моделей поверхностей и аналитическая увязка геометрических параметров сопрягаемых элементов конструкции ЛА.

С появлением ЭВМ новых поколений получают дальнейшее развитие и программные методы. Существенное влияние на эффективность последних при этом оказывают быстродействие ЭВМ и объем как оперативной, так и внешней памяти.

В современных программных методах увязки наиболее широкое применение получили ЭВМ серии ЕС и СМ. К категории средств электронно-вычислительной техники кроме собственно ЭВМ относятся также различные внешние устройства, обеспечивающие возможность использования ЭВМ для решения конкретных практических задач, связанных с обеспечением взаимозаменяемости и увязки сопрягаемых элементов конструкции. К ним относятся устройства для ввода и вывода перфокарт и перфолент, предназначенных для регистрации входной и выходной информации, печатающие устройства для вывода информации на печать и накопители информации на магнитных дисках.

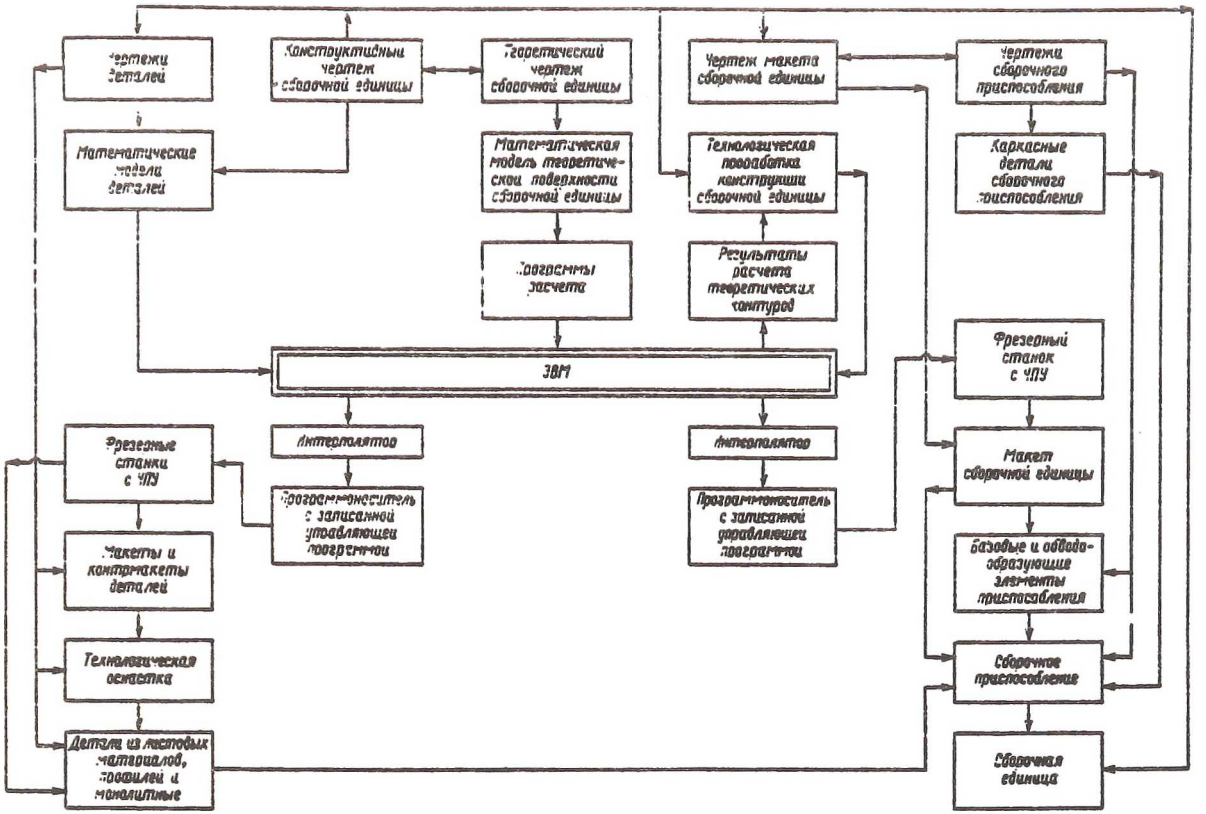


Рис. 10.56. Структурная схема обеспечения геометрической взаимозаменяемости при программно-макетном методе увязки

Выходная информация может отображаться на алфавитно-цифровых дисплеях (электронно-лучевых трубках), представляющих собой выводные устройства, осуществляющие временную регистрацию информации для визуального наблюдения.

В комплект электронно-вычислительной техники, применяемой в программных методах, включается также различное периферийное оборудование, в состав которого входят устройства для ввода и вывода алфавитно-цифровой и графической информации на дисплеи, графические регистрирующие устройства и устройства группового управления с выносными пультами.

Все перечисленные электронные и электронно-механические устройства обеспечивают нормальное функционирование электронно-вычислительной техники: ввод необходимой информации, ее регистрацию, накопление и хранение, расчет, вывод результатов расчета и обработку информации для практического пользования.

Обеспечивается также возможность размножения данных, накопления и хранения массивов информации, выдачи управляющих программ для оборудования с ЧПУ и контроля входной и выходной информации.

Средства обработки графической информации. К средствам обработки полученной графической информации в программных методах увязки относятся: электронно-механические графопостроители обычно со встроенными интерполяторами, обеспечивающими преобразование цифровой информации, полученной с ЭВМ, в управляющую для оборудования с ЧПУ.

Графопостроители дают возможность воспроизводить графическую информацию на стандартных панелях при автоматизированном расчерчивании рабочих чертежей изделий, теоретических и конструктивных плазов.

Применяется также электронно-оптическое оборудование для преобразования графической информации, представленной на плазах, в управляющую для станков с ЧПУ путем непосредственной записи (считывания) программ с линий плаза. С помощью электронно-оптических устройств графическая информация, представленная на плазах, может быть преобразована в цифровую для использования ее при последующих вычислениях на ЭВМ.

Полученные таким образом управляющие программы и графические построения во избежание возможных ошибок и неточностей, возникших при их разработке, проходят выходной контроль

с использованием специальных электронно-механических средств контроля (измерительных машин).

Металлообрабатывающее оборудование с числовым программным управлением. Для изготовления плоских жестких носителей размеров и формы (шаблонов), объемных средств увязки (макетов), различной заготовительно-штамповочной оснастки и базовых элементов сборочных приспособлений при программных методах увязки применяют различного рода металлообрабатывающее оборудование с ЧПУ.

Управляющие программы для этого оборудования разрабатываются на основе расчета математических моделей поверхности или контура. Числовая информация, полученная с ЭВМ, перерабатывается в управляющую с помощью интерполяторов, обычно встроенных в оборудование. Запись программ осуществляется многострочно на перфокартах, перфорированных и магнитных лентах.

Для изготовления плоской немалкованной оснастки применяется двухкоординатное, а для малкованной — трехкоординатное оборудование.

К двухкоординатным кроме фрезерных станков относятся также высечные станки (пресса) с ЧПУ, применяемые для сравнительно грубой обработки шаблонов по заданному контуру (с припуском на чистовую обработку), и лазерные станки с ЧПУ для высокоточной вырезки шаблонов по контуру, в основном из листовой стали.

Трехкоординатные фрезерные станки с ЧПУ применяют для изготовления плоской заготовительно-штамповочной оснастки (формоблоков, контрольных плазов) и рубильников к сборочным приспособлениям, имеющим как открытую, так и закрытую малки.

Для изготовления крупногабаритной плоской заготовительно-штамповочной оснастки, базовых элементов сборочных приспособлений и шаблонов применяют продольно-фрезерные трехкоординатные станки с ЧПУ (ВФ-3МВ, ВФ-3М81 и др.).

Для изготовления объемной оснастки (макетов, обтяжных пуансонов, ложементов) применяются пяти- и шестикоординатные станки с ЧПУ (РФП-5, СФПУ-20, ОФП-11 и др.).

Технологические свойства программных методов увязки и перспективы их развития. Программные методы в зависимости от применяемых средств увязки могут быть построены по принципам как независимого, так и связанного (зависимого) образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции.

Наиболее прогрессивным является метод, построенный по принципу независимого образования размеров и формы [программно-инструментальный метод (ПРИМ)]. Он не имеет основных недостатков, присущих плазовым и эталонным методам, и обеспечивает широкий фронт работ при технологической подготовке производства наряду со значительным снижением трудовых и материальных затрат и повышением точности увязки размеров и формы сопрягаемых деталей и сборочных единиц.

Точность увязки при программных методах в среднем на 30 — 50 % выше той, которая обеспечивается традиционными плазовыми методами. Происходит это в основном за счет сокращения числа этапов переноса размеров на изготовляемые изделия.

По этой же причине уменьшается число увязочной оснастки (средств обеспечения увязки), что, естественно, приводит к сокращению трудовых и материальных затрат при технологической подготовке производства и значительному сокращению ее цикла.

Точность аэродинамических обводов, полученная при расчете математической модели поверхности или ее контуров, практически не оказывает влияния на точность увязки, так как полученная числовая информация находится в числе общих этапов переноса первичных размеров на изготовляемое изделие.

Очень важно, что программные методы увязки могут быть совмещены с системами автоматизированного (машинного) проектирования изделий, что создает все условия и возможности для комплексной автоматизации проектирования, технологической подготовки производства и процессов изготовления ЛА.

Известно, что процесс формирования геометрических параметров элементов конструкции ЛА может быть разделен на три этапа. Первый из них осуществляется в процессе проектирования изделия, когда определяются теоретические обводы и выбирается оптимальный вариант его облика. Второй — при технологической подготовке производства, когда разрабатываются технологические процессы изготовления деталей и сборочных единиц ЛА, конструируются, изготовляются и отлаживаются обводообразующая технологическая оснастка, специальное оборудование и средства контроля.

Третий этап соответствует процессу производства, когда детали, сборочные единицы и в целом ЛА изготовляются в металле.

Программные методы увязки, в основе которых лежат математические модели поверхностей агрегатов или математические модели

контуров плоских сечений, применение различных кибернетических устройств и оборудования с ЧПУ могут служить эффективным связующим звеном на всех трех этапах формирования геометрических параметров изделия.

Существующие системы автоматического проектирования (САПР) изделий основаны на графическом управлении размерами, численном описании и воспроизведении сложных геометрических параметров: линий на плоскости и поверхностей в пространстве. По существу математические модели поверхностей создаются с помощью ЭВМ в процессе проектирования ЛА.

Зарубежными авиационными предприятиями совместно с научно-техническими институтами и изготовителями ЭВМ созданы и опробованы САПР для конструирования агрегатов самолета, их узлов и деталей [56]. В конструкторских подразделениях используется обычно несколько автоматизированных систем проектирования, которые отличаются друг от друга структурой и функциональным назначением. Их применяют для конструирования аэродинамических обводов, проектирования конструкции узлов и деталей, изготовления рабочих чертежей, спецификаций, моделирования различных процессов и составления отдельных моделирующих программ.

Расчетные и моделирующие программы в своем большинстве включают отдельные программные модули (пакеты отдельных программ), которые будучи подключены к другим системам, могут быть использованы для контроля и оптимизации разработанных структур, узлов, деталей. Используя вычислительные программы можно решать такие задачи, выполнение которых иными путями просто немыслимо [56].

Применение единого языка описания геометрических параметров поверхностей изделий, кодирования информации и способов задания и воспроизведения контуров и поверхностей в системах автоматизированного проектирования с программными методами увязки обеспечивает возможность использования одной и той же математической модели, заложенной в память ЭВМ, или записи ее числовой информации на программоносителе как на стадии проектирования изделия, так и на стадии технологической подготовки производства и изготовления изделия в металле.

Машинная графика, которая применена в процессе проектирования изделия, полученные математические модели и записи на программоносителе с применением соответствующих кодов, цифро-

вая информация геометрических параметров аэродинамических обводов могут быть использованы либо непосредственно, либо в качестве исходных данных при разработке программ для изготовления технологической оснастки и элементов конструкции ЛА на оборудовании с ЧПУ, которое имеется на заводе-изготовителе ЛА.

В настоящее время многие САПР наряду с конструкторской разработкой изделия предусматривают составление управляющей информации для таких станков. Геометрические параметры спроектированного изделия с учетом данных станка преобразуются в технологические управляющие команды. Эта управляющая информация в понятном для станка закодированном виде записывается на носителе информации (перфорированную или магнитную ленту), используя эту запись изготовляют изделия в металле [56].

Таким образом геометрические параметры, полученные в процессе конструкторской разработки изделия, и внутримашинное их представление, содержащее элементы математических формулировок, математические модели, рассчитанные в процессе проектирования, позволяют осуществить разработку управляющих программ для материализации контуров и поверхностей элементов конструкции ЛА и технологической оснастки в процессе технологической подготовки производства. Наряду с проектированием конструкции изделия в современных системах автоматизированного проектирования может быть предусмотрено создание программных модулей, обеспечивающих возможность автоматизированной разработки технологических процессов изготовления изделия и выполнения контрольных операций. Благодаря этому резко сокращаются трудоемкость, сроки и общий цикл всей технологической подготовки, производства изделия.

К недостаткам программных методов следует отнести отсутствие наглядности в процессе увязки размеров и формы деталей и сборочных единиц в зонах сопряжения и в процессе аналитического построения теоретических обводов и контуров. Поэтому возможны ошибки и неточности, которые выявляются на заключительной стадии процесса путем построения кривых и сопряжений на дисплее или с применением графопостроителей. Это позволяет произвести визуальный контроль аналитических расчетов и программ, однако только после того, как они уже реализованы: в случае обнаружения ошибок необходима трудоемкая корректировка программ с последующей визуальной проверкой результатов ее уточнения.

Объемы и перспективы применения технологических методов увязки в производстве летательных аппаратов

Каким же методом увязки на современном уровне развития авиационной техники и технологии следует отдать предпочтение? Какие методы являются основными, главными в современном производстве?

На эти вопросы нельзя дать однозначного ответа. Казалось бы, что наиболее перспективными, которым следовало бы отдать предпочтение, являются программные методы. Однако, как показала практика последних лет, несмотря на бурное их развитие, они не могут полностью заменить все другие, применяемые в производстве ЛА, методы увязки.

У каждого метода увязки, включая и плазовые, есть своя область эффективного использования, где они обеспечивают наибольшую точность увязки с наименьшими затратами труда, материалов и позволяют получить наиболее высокий уровень взаимозаменяемости.

Поэтому в современных условиях при изготовлении сложных конструкций чаще всего используют одновременно все указанные методы увязки или большинство из них. При этом применяемые методы должны быть обязательно взаимно согласованы для того, чтобы не имелось разрывов в увязке и обеспечивалась наиболее высокая ее точность.

Следует отметить, что взаимное согласование различных методов при параллельном их использовании для увязки элементов конструкции одного и того же ЛА представляет собой сложную инженерную задачу, которая должна решаться в периоды как конструкторской, так и технологической подготовки производства.

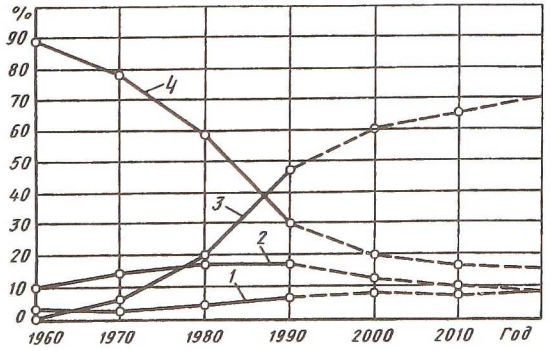


Рис. 10.57. Диаграмма объемов применения технологических методов обеспечения геометрической взаимозаменяемости в производстве летательных аппаратов

Для ее решения необходима система взаимоувязанных чертежей, плазов, эталонов и программ, которые в каждом отдельном случае разрабатываются специально для конкретного ЛА или его составных частей.

Объемы применения отдельных методов увязки для конкретных изделий могут быть различными, причем с развитием авиационной техники и технологии непрерывно изменяются и будут изменяться как объем их внедрения, так и удельный вес отдельных методов в общем процессе увязки.

Примерная динамика применения рассмотренных четырех групп методов увязки в авиационном производстве с 1960 г. и на перспективу до 2020 г. показана на рис. 10.57. Программные (кривая *3*) и частично чертежные (кривая *1*) методы получат преимущественное развитие и применение.

Использование эталонных (кривая *2*) и особенно плазовых (кривая *4*) методов в значительной степени уменьшится. Однако все четыре группы методов увязки, по-видимому, будут иметь применение и в первой половине третьего тысячелетия.

1. **Автоматизация** проектирования технологических процессов в машиностроении / Под общ. ред. И.М. Капустина. М.: Машиностроение, 1985. 304 с.

2. **Автоматизация** технологической подготовки производства / Под редакцией С.П. Митрофанова. М.: Машиностроение, 1974. 358 с.

3. **Амиров Ю.Д., Яновский Г.А.** Методика отработки конструкций на технологичность и оценка уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. М.: Изд-во стандартов, 1973. 52 с.

4. **Балакшин Б.С.** Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. 559 с.

5. **Белянин П.Н., Идзон М.Ф., Жогин А.С.** Гибкие производственные системы. М.: Машиностроение, 1988, 255 с.

6. **Бойцов В.В., Григорьев В.П., Разумихин М.И.** Сборочные и монтажные работы. М.: Оборонгиз, 1959. 470 с.

7. **Бойцов В.В.** Механизация и автоматизация в мелкосерийном производстве. М.: Машгиз, 1962.

8. **Бойцов В.В.** Научные основы комплексной стандартизации технологической подготовки производства. М.: Машиностроение, 1982. 319 с.

9. **Богданович В.И., Барвинок В.А., Цидулко А.Г.** Системный анализ технологических методов обработки, применяемых в производстве летательных аппаратов. Куйбышевский авиационный институт, 1989. 66 с.

10. **Бойцов В.В., Григорьев В.П.** Сборочные и монтажные работы в самолетостроении. М.: Оборонгиз, 1959.

11. **Вагнер Е.Т.** Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1977. 170 с.

12. **Васильев В.П., Садовская Т.Г.** Организационно-экономические основы гибкого производства. М.: Высшая школа, 1988. 271 с.

13. **Вигдорчик С.А.** Технологические основы проектирования и конструирования самолетов. Ч. 1. М.: Московский авиационный институт, 1975. 127 с.

14. **Вигдорчик С.А.** Технологические основы проектирования и конструирования самолетов. Ч. 2. М.: Московский авиационный институт, 1975. 139 с.

15. **Гаврилов А.Н.** Основы технологии приборостроения. М.: Высшая школа, 1976. 326 с.

16. **Гиммельфарб А.Л.** Основы конструирования в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1980. 367 с.

17. **Горбунов М.Н.** Основы технологии производства самолетов. М.: Машиностроение, 1976. 257 с.

18. **Горанский Г.К., Бендереева Э.И.** Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 455 с.

19. **Григорьев В.П.** Технология самолетостроения. М.: Оборонгиз, 1960. 541 с.

20. **Григорьев В.П.** Взаимозаменяемость агрегатов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1969. 258 с.

21. **Данилевский В.В.** Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1976. 416 с.

22. **Егоров М.Е.** Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1976. 534 с.

23. **Зернов И.А., Коноров Л.А.** Теоретические основы технологии и процессы изготовления деталей самолетов. М.: Оборонгиз, 1960. 627 с.

24. **Капустин Н.М.** Ускорение технологической подготовки механосборочного производства. М.: Машиностроение, 1972. 254 с.

25. **Ковшов А.Н.** Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.

26. **Крысин В.Н.** Технологическая подготовка авиационного производства. М.: Машиностроение, 1985. 200 с.

27. **Леньков С.С., Орлов С.Т.** Шаблоны и объемная оснастка в самолетостроении. М.: Оборонгиз, 1963. 394 с.

28. **Маталин А.А.** Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.

29. **Митрофанов С.П.** Групповая технология машиностроительного производства. 3-е изд. Л.: Машиностроение, 1984. 427 с.

30. **Митрофанов С.П., Григорьев Л.П., Клепиков Ю.М.** Гибкие технологические системы холодной штамповки. Л.: Машиностроение, 1987. 283 с.

31. **Митрофанов С.П.** Научная организация серийного производства. М.: Машиностроение, 1970. 520 с.

32. **Нарышкин А.А.** Технологическая подготовка производства летательных аппаратов. М.: Московский авиационно-технологический институт, 1973. 120 с.

33. **Обеспечение** технологичности конструкций изделий машиностроения и приборостроения. Методические рекомендации МР 186—85. М.: ВНИИНМАШ, 1986. 52 с.

34. **Основы** технологии машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова, М.: Машиностроение, 1977. 416 с.

35. **Пляскин И.И.** Оптимизация технологических решений в машиностроении. М.: Машиностроение, 1982. 176 с.

36. **Попилов Л.Я.** Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 543 с.

37. **Проектирование** самолетов / Под ред. проф. С.М. Егера. М.: Машиностроение, 1983. 615 с.

38. **Пытьев П.Я.** Структура, содержание и общие принципы проектирования технологических процессов изготовления летательных аппаратов. Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1985. 91 с.

39. **Пытьев П.Я.** Общие принципы формирования и технологического обеспечения качества летательных аппаратов. Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1988. 90 с.

40. **Пытьев П.Я.** Технологические методы обеспечения взаимозаменяемости элементов конструкции летательных аппаратов и увязки технологической оснастки. Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1989. 89 с.

41. **Пытьев П.Я.** Геометрическая взаимозаменяемость и увязка элементов конструкции летательных аппаратов при плазово-шаблонном методе. Самара: Куйбышевский авиационный институт, 1981. 79 с.

42. **Пытьев П.Я., Смеляков Е.П.** Технология листовой штамповки в производстве летательных аппаратов. Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1984. 79 с.

43. **Разумихин М.И., Юркеник Т.А.** Математические методы в плазово-шаблонном производстве. Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1974. 72 с.

44. **Саксогонский Т.Д.** Организация производства на машиностроительном заводе. М.: Машиностроение, 1969. 255 с.

45. **Смирнов Н.Н., Мулкиджанов И.К.** Эксплуатационная технологичность транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1972. 268 с.

46. **Соколовский А.П.** Научные основы технологии машиностроения. Л.: Машгиз, 1955. 515 с.

47. **Старик Д.Э., Парамонов Ф.И., Бугаков И.И.** Экономика, организация и планирование авиационного производства. М.: Машиностроение, 1976. 373 с.

48. **Технология** производства летательных аппаратов. Под ред. В.Г. Кононенко. Киев: Вища школа, 1974. 217 с.

49. **Технология** самолетостроения / Под ред. А.Л. Абибова. М.: Машиностроение, 1982. 550 с.

50. **Технологичность** конструкций изделий / Под ред. Ю.Д. Амирова. М.: Машиностроение, 1985. 368 с.

51. **Технологические** методы и средства контроля качества в самолетостроении / Под ред. И.М. Дунаева. М.: Машиностроение, 1987. 448 с.

52. **Технологичность** конструкций: Справочное пособие / Под ред. С.Л. Ананьева, В.П. Купровича. М.: Машиностроение, 1969.

53. **Чударев П.Ф.** Проблемы понятий в технологии. М.: Московский авиационный институт, 1983. 63 с.

54. **Чударев П.Ф.** Методические основы технологии. М.: Московский авиационный институт, 1967. 70 с.

55. **Шекунов Е.П.** Основы технологического членения конструкции самолета. М.: Машиностроение, 1986. 165 с.

56. **Шпур Г., Краузе Ф.Л.** Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. 647 с.

57. **Шурков В.Н.** Основы автоматизации производства и промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1989. 238 с.

58. **Щетинин Г.М., Лысов М.И., Буров В.М.** Механизация образования соединений при сборке авиационных конструкций. М.: Машиностроение, 1987. 256 с.

59. **Ярковец А.И.** Основы механизации и автоматизации технологических процессов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1991. 223 с.

Предисловие 3
1. Основные понятия, определения и термины технологии производства летательных аппаратов 5
1.1. Понятие о технологии производства летательных аппаратов 5
1.2. Понятие о технологическом и частном технологическом процессах изготовления ЛА 8
1.3. Технологические методы выполнения частных технологических процессов 11
1.4. Средства выполнения технологических процессов 17
2. Технологический процесс изготовления летательного аппарата и его укрупненная структура 21
2.1. Основные принципы деления технологического процесса изготовления летательного аппарата на частные технологические процессы . . 21
2.2. Общая структура технологического процесса изготовления летательного аппарата 27
2.3. Членение частных технологических процессов на составляющие элементы 31
3. Факторы, влияющие на характер, структуру и технико-экономические показатели технологических процессов 37
3.1. Основные факторы, от которых зависят частные технологические процессы. Зависимость технологических процессов от конструкции объекта производства 37
3.2. Зависимость технологических процессов изготовления изделий от объема производства 49
3.3. Зависимость технологических процессов изготовления летательного аппарата от производственной обстановки предприятия 62
3.4. Зависимость технологических процессов от требований техники безопасности и охраны окружающей среды 64
4. Производственный процесс предприятия и его связь с технологическим процессом 66
4.1. Понятие о производственном процессе предприятия. Структура производственного процесса 66

4.2. Связь производственного процесса с технологическим процессом и производственной структурой предприятия 68
4.3. Основные принципы организации подразделений предприятия, выполняющих производственный процесс. Влияние технологии на организацию подразделений 70
4.4. Производственные процессы, функционирующие в подразделениях предприятия 72

5. Технологическая подготовка производства летательных аппаратов 75

5.1. Состав, структура, этапы, термины и определения 75
5.2. Технологические службы предприятий авиационного профиля 81
5.3. Технологичность конструкции летательных аппаратов 84
5.4. Технологическое проектирование 102
5.5. Технология изготовления элементов конструкции изделий в гибких производственных системах 138
5.6. Экономическая эффективность технологических процессов 150
5.7. Оформление технологических процессов. Технологическая документация 161
5.8. Организация разработки и изготовления средств технологического оснащения 163
5.9. Автоматизация технологической подготовки производства 164

6. Общие принципы формирования и технологического обеспечения качества летательных аппаратов 171

6.1. Качество летательных аппаратов и его технологическое обеспечение 171
6.2. Формирование качества. Понятие о точности выполнения показателей качества 179
6.3. Экономическая оценка качества 182
6.4. Контроль качества в производстве и эксплуатации летательных аппаратов. Виды контроля 185
6.5. Службы предприятий, осуществляющие контроль качества 193
6.6. Роль технологии в обеспечении качества летательных аппаратов 195
6.7. Взаимозаменяемость и ее роль в обеспечении качества изделий 199

7. Геометрические параметры изделий, их формирование и влияние на качество 212

7.1. Точность выполнения геометрических параметров и ее влияние на качество изделий 212
7.2. Влияние точности выполнения геометрических параметров изделий на другие показатели качества 218
7.3. Образование размеров и формы деталей и сборочных единиц в процессе их изготовления 219
7.4. Погрешности размеров, формы и расположения поверхностей 228
7.5. Определение суммарной производственной погрешности 233
7.6. Допуски размеров и их назначение 238

8. Применение аппарата размерных цепей для анализа точности геометрических параметров 245

8.1. Основные понятия и определения 245
8.2. Основные выводы и закономерности теории размерных цепей 250
8.3. Общие принципы построения размерных цепей 255
8.4. Расчеты размерных цепей 256

9. Увязка размеров и формы элементов конструкции 259

9.1. Понятие об увязке размеров и формы деталей и сборочных единиц в зоне их сопряжения 259
9.2. Независимое образование размеров и формы элементов конструкции в зоне сопряжения 262
9.3. Зависимое (связанное) образование размеров и формы элементов конструкции в зоне сопряжения 266
9.4. Основные пути повышения точности изготовления деталей и сборочных единиц 269

10. Технологические методы обеспечения взаимозаменяемости элементов конструкции летательных аппаратов и увязки геометрических параметров технологической оснастки 279

10.1. Общие положения, понятия, определения 279
10.2. Классификация технологических методов обеспечения взаимозаменяемости и геометрической увязки, применяемых в производстве летательных аппаратов 286
10.3. Структурные схемы обеспечения геометрической взаимозаменяемости и увязки размеров 289
10.4. Исходная информация для построения первоисточников увязки 293
10.5. Основные виды средств увязки, применяемых в технологических методах обеспечения геометрической взаимозаменяемости 308
10.6. Общая характеристика технологических методов обеспечения геометрической взаимозаменяемости и увязки, применяемых в производстве летательных аппаратов 338

Список литературы 393

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Барвинок Виталий Алексеевич,
Пытьев Петр Яковлевич,
Корнев Евгений Петрович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Редактор *А.И. Баранова*
Технический редактор *Н.М. Харитонова*
Корректор *Г.Л. Сафонова*

ИБ № 7611

Лицензия ЛР № 080003 от 15.08.91 выдана Комитетом Российской Федерации по печати

Сдано в набор 29.12.94. Подписано в печать 27.04.95.
Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 24,5. Усл.кр.-отт. 24,5. Уч.-изд.л. 23,05.
Тираж 1000 экз. Заказ 181

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Машиностроение",
107076, Москва, Стромынский пер., 4.
Оригинал-макет изготовлен в издательстве "Машиностроение" на персональных ЭВМ

Отпечатано на полиграфическом предприятии «Офсет».
400001, Волгоград, ул. КИМ, 6.