

Министерство образования и науки Украины
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

Кафедра технологии производства летательных аппаратов

Тараненко М.Е., Демченко А.В., Маковецкий А.В.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

УДК 658.512:621.7

Харьков – 2010

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ	3
1.1 Историческая справка о развитии технологии машиностроения	3
1.2 Технология машино-приборостроения как предметная область и научная дисциплина. Понятие о производственной и технологической системах	6
2 СТРУКТУРА И ОБЩИЙ СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ	10
3 КОМПЛЕКСНАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА	25
4 ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ	40
4.1 Основные методы оценки производительности труда в простых (по структуре) технологических процессах	40
4.2 Оценка технологической себестоимости изготовления в машиностроении	47
4.3 Выбор варианта технологического процесса, обеспечивающего минимальную себестоимость	55
4.4 Технологические пути обеспечения качества: точность и взаимозаменяемость	57
5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВИАСТРОЕНИЯ	59
5.1 Современное понятие о точности в машиностроении	59
5.2 Точность заготовок	64
5.3 Технологический маршрут и расчет припусков	69
6 КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	73
6.1 Общий подход к качеству технологических решений	73
6.2 Выбор используемых материалов	77
6.3 Размеры деталей и их точность	79
6.4 Параметры качества поверхностного слоя деталей	82
6.5 Точность соединений	83
6.6 Общие требования к технологичности конструкции	89
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	99
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	102
НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА	103

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНО- И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

1.1 Историческая справка о развитии технологии машиностроения

История технологии начинается с древних времен с того момента, когда люди обнаружили, что острая каменная пластинка помогает легче расчленять туши добытых животных, обрабатывать палки и копья для защиты от хищников и строить жилища. Самые примитивные ножи и топоры появились около 50 тыс. лет назад. В 8...10 тыс. лет до н.э. нож начал использоваться как столовый прибор. Крупным событием в истории человечества было получение знания о том, что плавление металла в разных условиях из различных природных веществ обеспечивает получение его различных свойств. Около 6...7 тыс. лет до н.э. человек впервые начал использовать самородные металлы: золото, серебро, медь. В 5...4 тыс. до н.э. началась выплавка из руд меди, олова, свинца - наступил медный век. Медные орудия труда и оружие вытесняют каменные. Затем наступили бронзовый и железный века - новые этапы развития литейных процессов. Начало нашей эры ознаменовалось появлением литья в земляные формы, т.е. процессов современной формы.

В начале XIV века появились процессыковки железа и стали и волочения драгоценных металлов. Процесс прокатки появился несколько позже.

С момента появления несколько тысячелетий технология развивалась на уровне ремесла с передачей знаний и умений по наследству. Но и само средневековое общество не настойчиво требовало продукции промышленного производства.

Мощный толчок развитию технологии дало открытие Христофором Колумбом Америки в 1492 г. и, главное, его известие о большом количестве золота там. В Западной Европе началось широкое строительство кораблей для покорения новых земель. Тысячи, десятки тысяч крестьян сменили род деятельности и стали сначала подмастерьями и ремесленниками, а потом рабочими на верфях, мануфактурах и мастерских. Это потребовало резкого повышения производительности труда и обучения работников. Передача им знаний и умения не могла осуществляться старым путем - по наследству. Начала появляться система передачи знаний, сначала в устной форме, а потом в письменной. Чуть позже пришли к почти современной системе обучения.

В это время Восточная Европа с ее громадными просторами несколько отставала в развитии промышленности в связи с отсутствием больших географических открытий: как ездили тысячи лет на санях и телегах, так и продолжали ездить. Вспомним историю Войска Запорожского. Несмотря на собственное производство некоторых видов оружия, снаряжения и предметов труда, их лучшие образцы в больших количествах шли из Западной Европы.

Оживление промышленного производства началось в конце 16-начале 17 веков, после начала покорения Сибири. В 1632 г. около Тулы были построены заводы для производства литых пушек, стволы которых изготавливались сверлением и растачивались. А.К. Нартовым (1680-1765) был разработан ряд новых технологических процессов, станков и инструментов. Начало механизации и автоматизации этих процессов было осуществлено им же созданием первого в мире токарного станка с механическим суппортом. Существенный вклад в развитие технологии оружейного производства внесли работники Тульского оружейного производства М.В. Сидоров, Я. Батищев и П.Д. Забава, разработавшие не только ряд новых процессов, но и создавшие значительное количество необходимых станков и инструментов. На Тульском оружейном заводе еще в 1761 г., впервые в мире было разработано и использовано изготовление взаимозаменяемых деталей и их измерение при помощи калибров. В дальнейшем технология машиностроения интенсивно развивалась на заводах, создававших новую технику и оружие (корабли, паровые двигатели, вагоны, станки, винтовки и артиллерийские орудия).

При рассмотрении истории развития мирового промышленного производства вводится понятие «технологический уклад».

Появлением этого понятия мир обязан нашему соотечественнику, ученому-экономисту Николаю Дмитриевичу Кондратьеву. Он занимал ответственный пост во Временном правительстве Керенского, а затем возглавлял знаменитый московский Конъюнктурный институт. Изучая историю капитализма, Кондратьев пришел к идее существования больших – протяженностью в 50-55 лет – экономических циклов, для которых характерен определенный уровень развития производственных сил («технологический уклад»). Как правило, такие циклы заканчиваются кризисами, подобными сегодняшнему, за которыми следует этап перехода производительных сил на более высокий уровень развития.

Согласно теории Кондратьев, научно-техническая революция развивается волнообразно. К настоящему времени известно пять технологических укладов (волн).

Первая волна (1785-1835) сформировала технологический уклад, основанный на новых технологиях в текстильной промышленности, использования энергии воды.

Вторая волна (1830-1890) – ускоренное развитие железнодорожного и водного транспорта на основе паровых машин, широкое внедрение паровых двигателей в промышленное производство.

Третья волна (1880-1940) – использование в промышленном производстве электрической энергии, развитие тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности на основе использования стального проката, новых открытий в области химии. Распространение радиосвязи, телеграфа, развитие автомобильной промышленности. Образование крупных фирм, картелей, синдикатов и трестов. Господство монополий на рынках. Начало концентрации банковского и финансового капитала.

Четвертая волна (1930-1990) – формирование мирового уклада, основанного на дальнейшем развитии энергетики с использованием нефти и нефтепродуктов, газа, средств связи, новых синтетических материалов. Период массового производства автомобилей, тракторов, самолетов, различных видов вооружения, товаров народного потребления. Широкое распространение компьютеров и программных продуктов. Использование атомной энергии в военных и мирных целях. Конвейерные технологии становятся основой массовых производств. Образование транснациональных и межнациональных компаний, которые осуществляют прямые инвестиции в рынки различных стран.

Пятая волна (1985-2035) – опирается на достижения в области микроэлектроники, информатики, биотехнологии, геной инженерии, использования новых видов энергии, материалов, освоения космического пространства, спутниковой связи и т.п. Происходит переход от разрозненных фирм к единой сети крупных и мелких компаний, соединенных электронной сетью на основе на основе интернета, осуществляющих тесное взаимодействие в области технологий, контроля качества продукции, планирования инноваций.

Предполагается, что с ускорением научно-технического прогресса период между сменами технологических укладов будет сокращаться.

По мнению генерального директора Института авиационных материалов акад. Е.Н. Каблова сегодня мир стоит на пороге шестого технологического уклада. Его контуры только начинают складываться в развитых странах мира, в первую очередь в США, Японии и КНР, и характеризуются нацеленностью на развитие и применение наукоемких, или, как теперь говорят, «высоких технологий». У всех на слуху сейчас био- и нанотехнологии, геной инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микромеханика, термоядерная энергетика – синтез достижений на этих направлениях должен привести к созданию, например, квантового компьютера, искусственного интеллекта и в конечном счете обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления государством, обществом, экономикой.

Специалисты по прогнозам считают, что при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития, шестой технологический уклад начнет оформляться в 2010-2020 годах, а в фазу зрелости вступит в 2040-е годы. При этом в 2020-2025 годах произойдет новая научно-техническая и технологическая революция, основой которой станут разработки, синтезирующие достижения названных выше базовых направлений. Для подобных прогнозов есть основания. В США, например, доля производительных сил пятого технологического уклада составляет 60%, четвертого – 20%. И около 5% уже приходится на шестой технологический уклад.

Накапливающийся производственный опыт изготовления машин и потребности расширения их производства вызывали необходимость передачи знаний и умений большему числу людей, желавших получить такие знания. Появилась потребность в учебниках.

Накопленный опыт был впервые описан профессором Московского университета И. Двигунским, выпустившим в 1807 г. книгу "Начальные основания технологии или краткое описание работ, на заводах и фабриках производимых". В дальнейшем развитие технологии шло все более убыстряющимися темпами и регулярно выпускались учебники.

Общий курс "Основы технологии машиностроения" постепенно превратился в общинженерную дисциплину. По мере развития технологии она начала специализироваться по отраслям. Существуют отдельные курсы: "Технология производства самолетов", "Технология судостроения", "Технология приборостроения" и т.д. Конечно, в этих отраслях существуют одинаковые техпроцессы, но их общий состав во многом отличается.

Среди производителей распространена поговорка: "Скажи мне, какова технология твоего изделия, и я скажу тебе, каким оно будет". Это абсолютно точно отражает суть дела: именно технология определяет качество, надежность, точность, долговечность и ряд других служебных характеристик изделия, его конкурентоспособность и жизненную силу.

Состав технологических процессов изготовления изделия, в первую очередь, определяется назначением изделия, техническими требованиями к нему и объемом выпуска. В этом плане аэрокосмическая техника (АКТ) является одной из самых сложных составляющих технического развития человечества.

Такая техника должна развивать очень большие скорости, в несколько раз превышающие скорость звука, что требует:

- использование специфичных материалов, обладающих высокой удельной прочностью, теплостойкостью и т.д.;
- изготовление деталей обтекаемой, т.е. сложной формы и высокой точности контура и поверхности, что усложняет их производство;
- малые объемы выпуска изделий, относительно небольшие сроки их эксплуатации и удорожают производство.

АКТ эксплуатируется в условиях вакуума, интенсивного электромагнитного излучения, низких температур и высоких плотностях выделяемой энергии, что предполагает использование специфичных, труднообрабатываемых материалов, применение наукоемких технологических процессов для их обработки.

АКТ должна обладать высокой надёжностью и длительными сроками эксплуатации. Это в первую очередь касается пассажирских и грузовых самолётов и вертолётов. Они должны обладать высокой степенью ремонтпригодности.

Этим объясняется специфичность технологических процессов производства АКТ.

1.2 Технология машино-приборостроения как предметная область и научная дисциплина. Понятие о производственной и технологической системах

Современный человек живет в искусственных условиях - в среде предметов и условий, разительным образом отличающихся от предметов и условий естественной природы - в среде "второй природы". Она отвечает требованиям существования и развития людей,

удовлетворяет их разнообразным потребностям и защищает от неблагоприятных явлений. Предметы, образующие "вторую природу", - от большинства продуктов питания и одежды до различных зданий, самолетов, космических кораблей и компьютеров, создаются или производятся искусственными преобразованиями предметов естественной природы с помощью трудовой производственной деятельности людей.

Вначале она основывалась на непосредственном использовании ручных орудий труда - ручных инструментов, а затем на все более опосредованном применении технических средств (машин и инструментов). В человеческом обществе качество и уровень жизни людей определяется эффективностью производства.

Производственный процесс представляет собой совокупность действий людей и технических средств, в результате которых материалы и полуфабрикаты превращаются в готовую продукцию, соответствующую своему назначению.

Производственный процесс традиционного машиностроительного предприятия охватывает на основе накопленной информации подготовку средств производства и организацию обслуживания рабочих мест; получение и хранение материалов и полуфабрикатов; все стадии изготовления деталей машин; сборку узлов и изделий; настройку, контроль и сбыт готовой продукции.

Предприятия промышленного производства - это сложные объекты, которые с точки зрения современного научного подхода рассматриваются как системы особого рода - **человеко-машинные функциональные системы**. Все составляющие такой системы объединяет в единое целое осуществляемый системой процесс, т.е. производственный процесс.

Здесь необходимо определить, что в современной науке **системой** называется совокупность объектов и отношений между ними, образующая единое целое.

При более строгом подходе к понятию «система» необходимо отметить, что в ней (особенно производственной системе) первичным является ее окружение, а структура является вторичным. Система по сравнению с объектом есть более широкое понятие, объединяющее структуру (объект) и окружающую внешнюю среду.

Поэтому, **производственная система** - это единство материальных и нематериальных компонентов анализируемого объекта, их внешних и внутренних связей, обеспечивающих рациональность информационных, производственных, управленческих и других процессов по переработке входа системы объекта в ее выход и достижения целей субъекта управления. Иначе, объект (предприятие, организация) будет бессистемным, хаотичным.

С точки зрения управления Большими техническими Системами следует, что **процесс** - это совокупность средств и методов переработки по заданным регламентам компонентов входа системы в ее выход. Процессы могут быть общественными и личными, экономическими, природными, трудовыми, производственными, технологическими, управленческими и др.

Технологическая система - часть производственной системы непосредственно связанная с целенаправленным преобразованием состояния или определению состояния предмета труда.

Совершенно очевидно, что производственный процесс представляет совокупность разнородных действий - подпроцессов того или иного специфического рода. Среди таких процессов прежде всего выделяют технологические процессы.

Технологическим процессом называется часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния предмета производства. Здесь под изменением состояния понимается целенаправленное изменение (преобразование) структуры, форм, размеров, положения в пространстве предметов производства на всех их стадиях.

Содержание производственных технологий составляют методы, способы и приемы преобразования (обработки) исходных материалов в изделия, технические средства, а также информация, определяющая целенаправленность и организованность технологических процессов.

Здесь: метод - (греч. - путь исследования) - способ достижения какой-либо цели, решения конкретной задачи, совокупность приемов и операции практического или теоретического познания (освоения) действительности.

Способ - действие или система действий, применяемых при исполнении какой-либо работы или осуществлении чего-либо.

Следует отметить, что в практической плоскости это сложное, но общее, определение понятия «технологический процесс» часто заменяется «технология». Этот термин определяет близкие по значению, но несколько разные понятия:

1. Совокупность методов, способов и приёмов получения сырья, его обработку (переработку) и хранение;
2. Последовательность действий для реализации процесса производства;
3. Описание отдельных операций технологического процесса (штамповки, механической обработки, сборки и т.д.) с составлением технологических документов (технологических карт, инструкций, графиков и т.д.);
4. Науку, изучающую и разрабатывающую рациональные методы, способы и приёмы технологических преобразований.

Всё перечисленное, так или иначе, отвечает на вопрос **как** провести целенаправленные преобразования. Это коренным образом отличается от действий конструкторов, которые своими действиями отвечают на вопрос **что сделать**.

Опыт орудийного труда по преобразованию предметов природы в изделия, осмысление наблюдаемых при этом фактов, направленное на увеличение возможных преобразований и уменьшение их трудоемкости, явилось основным фактором становления знаний о материальном мире - естественнонаучных знаний. Увеличение объема этих знаний привело к их дифференциации. Появились фундаментальные и прикладные науки. В отдельную науку - **технологию** - выделились знания о преобразованиях материального производства и условиях их осуществления. К середине XX века сложились представления о предмете технологии как науке с её общими законами, носящими объективный характер и независимый от области деятельности (машиностроение, медицина или информатика). К этому времени на базе компьютерной техники произошло становление современной **информационной технологии** - методов и способов генерирования, переработки и реализации информации.

Все это изменяет характер промышленных предприятий, идет становление интегрированных производств, в которых происходит суммирование материальных и информационных технологий на основе автоматизации процессов создания и преобразования материальных и информационных объектов. Очень остро стала задача оптимального проектирования и управления технологическими системами. Выполнение этого возможно только на основе **системного подхода** и **системного анализа**. В настоящее время **предмет технологии** как науку можно определить так - это технологическая среда, образованная технологическими системами разных уровней организации, их составляющие, а также методы и способы целенаправленного использования явлений и процессов взаимодействия материальных объектов.

Выработанная современной наукой концепция развития утверждает, что источниками развития объектов или явлений являются внутренние противоречия. Для технологических систем характерны два главных противоречия – материальное и социальное.

Главным материальным технологическим противоречием является противоречие между исходным предметом природы и предметами "второй" природы, удовлетво-

ряющими потребности современного человека. Очевидно, какой разительной глубины достигает это противоречие в настоящее время. Наши предки решали (снимали) сознательно это противоречие достаточно просто - обтесал камень или срубил бревно. Чтобы изготовить современное сложное изделие - автомобиль, компьютер, космический корабль необходимо реализовать десятки и сотни тысяч частных преобразований предметов природы. Преодоление этого противоречия на современном этапе идет в направлении разработок новых физико-технических эффектов для более глубокого уровня преобразований, обеспечивающих эффективное производство.

Главным социальным технологическим противоречием является противоречие между потребностью в предмете с комплексом свойств, не существующих в природе, и необходимостью затрачивать труд для его создания. Затраты живого труда - это затраты жизненных ресурсов человека, которые он далеко не всегда желает израсходовать на участке в технологических процессах, тем более своим живым физическим трудом.

Эти противоречия привели к разделению труда на умственный и физический, промышленный и крестьянский, управленческий и исполнительский.

Решение последнего противоречия собственно в технологии шло в направлении механизации, механизации и автоматизации осуществления технологических процессов. В последние десятилетия - это компьютеризация - замена не только физического, но и умственного монотонного труда человека работой машины.

Из желания иметь больше предметов, удовлетворяющих разносторонние потребности, но которые не мог выполнить один человек или даже небольшая группа людей, разилось классовое деление общества.

В состав современных технологических систем, по крайней мере, входит несколько:

- автоматизированная система научно-технических исследований (АС-НТИ);
- автоматизированные системы проектирования и конструирования изделий и проектирования технологических процессов (САПР-К и САПР-ТП; САД - в англоязычных странах);
- автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП).

Возвращаясь к составляющим производственного процесса, необходимо отметить, что помимо технологической составляющей, в него входят экономическая, финансовая, бухгалтерские и другие системы, которые изучаются в соответствующих курсах.

Потребности общества и возможности его научно-технического развития привели к появлению CALS-стратегий, являющихся основой «высоких технологий» производства материальных объектов, в т.ч. производства АКТ.

Под CALS-стратегией в самом широком смысле подразумевается направление деятельности, ориентированное не комплексное, сквозное автоматизированное сопровождение всех стадий жизненного цикла изделий, набор наилучших способов построения деловых связей, позволяющих организовать эффективное взаимодействие между субъектами хозяйствования, процессами, членами трудовых коллективов, а также пользователями, образующих совокупность участников контрактов или проектов.

В такой трактовке CALS понимается в трёх близких смыслах:

- бизнес в высоком темпе - технологии, ориентированные на широкое использование информационных магистралей и электронной коммерции;
- стратегия создания, поддержки и применения единой компьютерно-информационной модели изделия, распространяющейся на всю петлю качества, начиная с первых шагов и заканчивая утилизацией;
- непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделия.

Следующим шагом развития технологии будут НООН-технологии – «разумные технологии» (от НООН-сферы – сферы разума). НООН-технологии – это технологии управления информационно-обменными процессами как при создании, так и при применении информации семантического характера с оптимальным учётом человеческого мышления в этих процессах.

В данный курс входят:

- общая характеристика технологических превращений;
- общая характеристика физико-механических и других свойств, геометрических характеристик технологических объектов;
- краткая характеристика материалов объектов технологии;
- технологические системы литья, получение керамических и композиционных материалов и неметаллов;
- технологические системы процессов преобразования формы, объема и поверхности детали, а также их сборки;
- оценка производительности труда, технологической себестоимости и качества продукции; а также технологические методы управления ими.

2 СТРУКТУРА И ОБЩИЙ СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Все изделия материального мира когда-то возникают, используются человеком, изнашиваются и устаревают, а затем их приходится утилизировать. В последующем возникает новая продукция аналогичного назначения и цикл повторяется. Поэтому мы можем говорить о жизненном цикле продукции.

Жизненный цикл продукции (ЖЦ) – совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательного изменения состояния продукции от формирования исходных требований к ней до окончания ее эксплуатации (потребления) и утилизации.

Как любая историческая категория жизненный цикл может быть разделен на определенные структурные составляющие. Первым уровнем деления является деление его на стадии жизненного цикла.

Стадия жизненного цикла – часть жизненного цикла продукции, устанавливаемая в нормативно-технической документации и характеризующаяся определенным состоянием продукции, видом предусмотренных работ и их результатом.

Принимаемое к рассмотрению количество стадий и их наименование, отвечающее содержанию может быть различно. Это зависит от задач изучения. Но в любом варианте это должен быть замкнутый цикл.

Государственным стандартом Системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП) устанавливаются следующие стадии:

- исследование и проектирование;
- изготовление;
- обращение и реализация;
- эксплуатация (потребление) и утилизация.

Такая структуризация более логично показывает характер преобразований на этапе, возможность проведения их в разных пространствах (организациях), позволяет четко вести документооборот, а также организовывать входной и выходной контроль.

Согласно международному стандарту ISO 9004 жизненный цикл продукта подразделяется на 11 этапов:

1. маркетинг, поиск и изучение рынка (МРК) – устанавливается какая продукция требуется потребителю, какого качества и по какой цене;
2. проектирование и разработка технических требований, разработка изделия, конструкторская подготовка производства (КПП) – конструктор устанавливает возможность изготовления продукции, материалы и ориентировочную цену;
3. материально-техническое обеспечение (МТО);
4. техническая подготовка производства (ТПП);
5. производство;
6. контроль, проведение испытаний и обследование;
7. упаковка и сохранение;
8. реализация и распределение продукции;
9. монтаж и обслуживание;
10. техническое обслуживание и помощь;
11. утилизация после пользования.

Как видно во втором варианте ЖЦ структурирован на небольшое количество стадий, но характер стадий не обоснован, объем работ по стадиям и их сложность резко отличаются (сравни, например, стадии 3 и 4 или 5 и 7). Такая формулировка стадий не отвечает сложившимся научным и учебным дисциплинам, таким как: «Организация производства», «Логистика», «Технология машиностроения» и др. Тем не менее, такое структурирование имеет право на существование, как записанное в нормативном документе.

С момента появления мнения о возможности изготовления новой продукции начинаются маркетинговые исследования, которые должны дать обоснованную информацию к принятию или нет решения о ее производстве. Последовательность выполнения работ на этом участке ЖЦ, их методы изучаются в курсе «Инновационный менеджмент». В ходе этих работ изучаются рынки сбыта продукции, существующие на рынке требования к ней, возможные диапазоны цен в разных секторах рынка, определяются основные требования к ее качеству с установлением количественных показателей, возможные масштабы производства и по возможности другую информацию, необходимую при дальнейшем проведении работ ЖЦ.

Такая работа может проводится «Заказчиком» продукции или самостоятельными консалтинговыми фирмами.

С этого момента начинаются затраты на реализацию инновационного проекта, т.е. затраты на реализацию ЖЦ продукции.

С финансовой точки зрения ЖЦ состоит из двух периодов (рис.1):

- периода развития, в течение которого финансовые потоки направляются на исследование и проектирование, а также на подготовку производства. Это затраты на освоение продукции;

- рыночного периода, который начинается после выхода продукции на рынок. В начале этого периода финансовые потоки меняют направление – начинается реализация продукции, появляется доход. Только после определенного времени появляется и увеличивается прибыль.

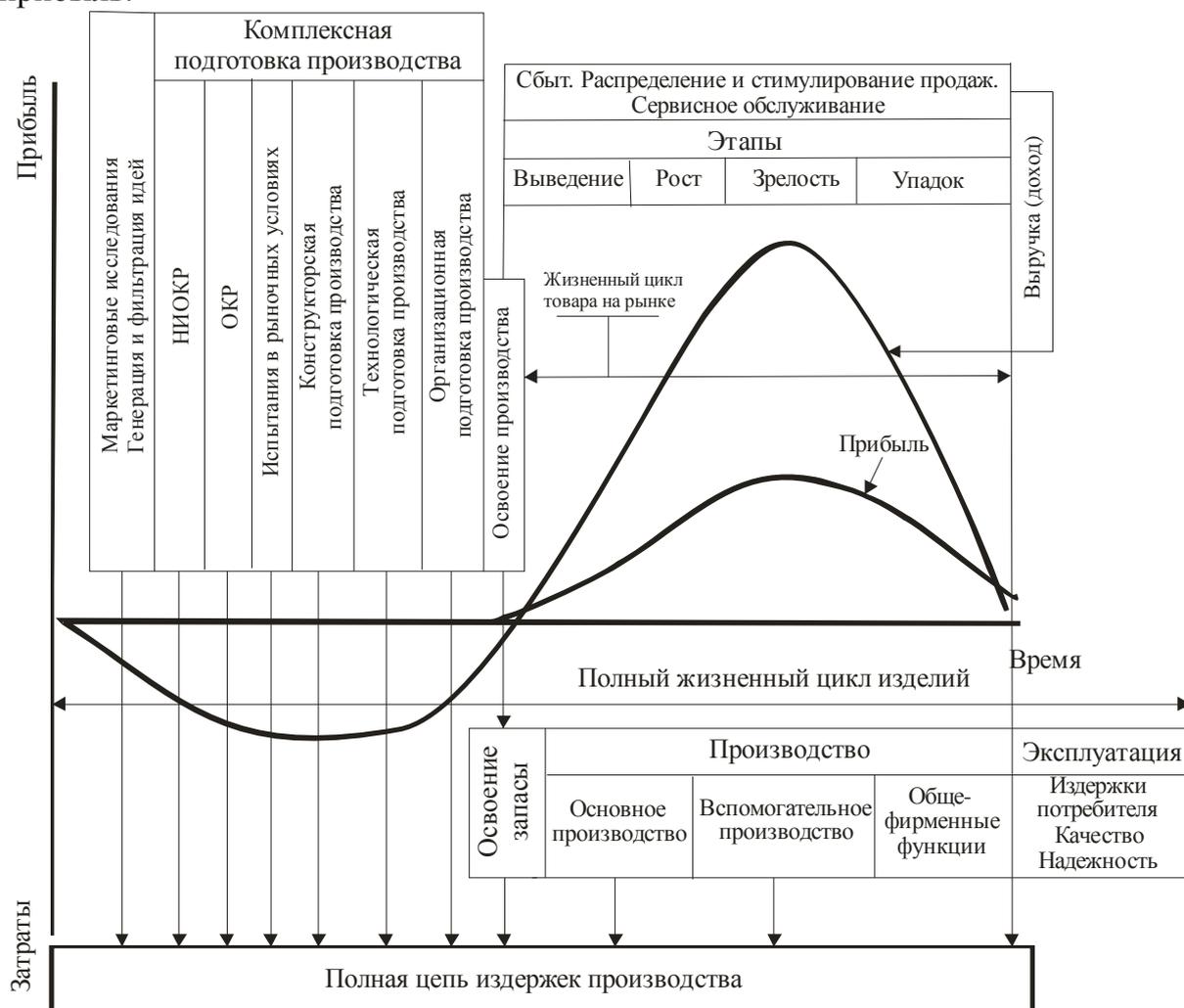


Рис. 2.1 – Изменение финансовых потоков на протяжении ЖЦ и укрупненный состав работ, выполняемых в этот период

После принятия менеджментом проекта решения о начале работ по проекту, принятого, в том числе, на документальной основе – отчете о маркетинговых исследованиях, начинается этап комплексной подготовки производства. Он включает научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), организационную и техническую подготовку производства. Последняя состоит из двух видов работ (этапов): конструкторской подготовки производства (КПП) и технологической подготовки производства (ТПП). Заключением комплексной подготовки производства является этап освоения производства.

По окончании этого этапа начинается рыночный этап ЖЦ. С начала реализации продукции появляется первая выручка (доход) от реализации проекта. Эти финансовые потоки еще не позволяют получать прибыль, так как есть затраты на организацию установившегося производства, но уменьшается разница между затратами на проект и доходом. Кроме того, очень важным показателем является скорость возрастания выручки, которая свидетельствует о правильности выбранного направления работ.

Непосредственно на самом предприятия производится усовершенствование принятых техпроцессов, СТО, производственных связей, улучшение качества продукции за счет внутренних ресурсов.

На рыночном этапе ЖЦ кривая изменения выручки имеет колокообразную форму. Максимум соответствует стабильно функционирующему установившемуся производству.

После максимума выручки и прибыли от производства неизбежно следует спад этих параметров и наступает этап снятия продукции с производства, который требует финансовой поддержки.

На этом этапе ЖЦ осуществляется сервисное гарантийное и послегарантийное обслуживание продукции у потребителя. Заключительным этапом ЖЦ является утилизация продукции.

Эффективность производства той или иной продукции зависит от длительности периодов развития и нахождения на рынке и размеров финансовых потоков (затрат и прибыли) на них. Для увеличения эффективности производства продукции необходимо стремиться к сокращению периода развития и уменьшению затрат в этом периоде, удлинению ЖЦ за счет рыночного периода.

Этим определяется целесообразность модернизации продукции, которая может значительно удлинить рыночный период ЖЦ, т.е. удлинить сроки функционирования существующего производства и получать эффект, например в области экологии. Пример: значительное удлинение сроков эксплуатации самолётов МиГ-25 за счет установки на них новых двигателей и авионики.

Вообще величина длительности ЖЦ разной продукции довольно своеобразный параметр. В основном наблюдается следующая зависимость: чем меньше по габаритам продукция, тем меньше длительность ее ЖЦ. Сравним: легковой автомобиль-самолет-корабль. Но есть и исключения: электрическая лампочка – предмет массового и длительного спроса и т.д.

В самолетостроении общее правило выполняется четко: чем меньше размер самолета, тем его ЖЦ короче.

Для понимания важности этапов подготовки производства для современной высокотехнологичной продукции надо оценить длительность и объемы затрат реализующиеся в ЖЦ крупного самолёта.

По советской и российской статистике:

– длительность разработки конструкции магистрального самолёта 7-12 лет, разработка его двигателя должна начинаться на 5-6 лет раньше. Сравни: длительность разработки легкового автомобиля 1-2 года;

– длительность эксплуатации широкофюзеляжного самолёта 15-20 лет, легкого самолёта 5-7 лет, автомобиля 2-5 лет. Исключения: самолёты Ан-2 эксплуатируются более 40 лет, Ан-24 – более 35 лет;

– при этом стоимость 1 кг массы магистрального самолёта – более 1050 долл, бытовой электроники – 100 долл, автомобиля – 20 долл.

Для справки. При рассмотрении ЖЦ современной АКТ поучительна история американских шаттлов. В начале 1972 г. в США - возвращение к авиакосмической концепции – шаттл – это крылатые пилотируемые космические аппараты. На орбиту должна выводиться полезная масса 29,5 т при массе возвращаемого на Землю груза 14,5 т. Должна существовать возможность бокового маневра при спуске до 2000-2500 км.

Март 1972 г. – утвержден облик шаттла: стартовые твердотопливные ускорители, бак с топливом и орбитальный корабль с тремя маршевыми двигателями. Многократно должно использоваться все, кроме внешнего бака. Разработка такой системы оценивалась в 5,1 млрд. долл.

Июль 1972 г. – заключение контракта с 4-мя коммерческими фирмами для проектирования и разработки основных блоков шаттла. Правительство США не было готово обеспечить бюджет и конструкторам пришлось экономить на всем. Однако перерасход средств составил 29%.

Постройка первого корабля была закончена в сентябре 1976 г. Его назвали «Энтерпрайз». Его испытания в 1977-1978 г. показали, что необходимо существенное усиление крыльев и фюзеляжа. Довели до летной кондиции машину №2.

Январь 1979 г. – объявили имена 4-х орбитальных кораблей – «Колумбия», «Челленджер», «Дискавери», «Атлантис» (в соответствии с именами морских исследовательских судов США). Позднее был построен «Индевор».

Первый старт «Колумбии» - 12 апреля 1981 г. (20 лет после полета Ю.А. Гагарина) Т.о. 9 лет было потрачено для подготовки первого судна. Орбита оказалась очень низкой для продолжения полета – в апогее только 148 км, а в перигее – 24 км. Астронавты осуществляли довыведение с помощью маршевых двигателей.

За тридцать лет состоялось 132 полета шаттла, последний – май 2010 г. В ходе эксплуатации и испытаний корабли многократно модернизировались: после катастрофы «Челленджера» в 1986 г. кабины оборудовали системой аварийного спасения на взлете, в 2003 г. «Колумбия» разрушилась при спуске из-за повреждения тепловой защиты.

В целом программа шаттлов не признана полностью успешной.

Возвращаясь к описанию стадий ЖЦ необходимо подчеркнуть, что каждая из них, в свою очередь, представляет совокупность взаимосвязанных и закономерно чередующихся этапов, в течении которых проходят определенные процессы. Это очень важный момент, так как здесь необходимы крупные затраты финансов и большие сроки их восстановления. Для оптимизации соотношения этих параметров научно обоснована и разработана оформленная в нормативный документ – **система разработки и постановки продукции на производство**. СРПП (класс 15.) – система правил, определяющих порядок проведения работ по созданию, производству продукции и обеспечению ее применения []. Это сложная система, включающая 14 государственных стандартов и 4 руководящих нормативных документа. Она постоянно должна применяться, расширяться и дополняться, в соответствии с вновь возникающими задачами и целями разработок. СРПП разработана в 80-х годах XX века в СССР, но большинство правил и положений не устарели и, в целом, за исключением некоторых формулировок используются в мировой практике.

Кратко рассмотрим **первую стадию** жизненного цикла – исследование и проектирование, последовательность этапов и решаемые задачи []:

Этапы	Задачи
1. Научно-исследовательская работа по созданию продукции (НИР)	Комплекс исследований, проводимых в целях получения обоснованных исходных данных, изыскания принципов и путей создания новой или модернизации выпускаемой продукции.
НИР выполняют прикладные институты или специализированные фирмы по созданию и освоению новой техники.	
Этапы	Задачи
2. Разработка аванпроекта	Вид работ, предшествующих разработке продукции, выполняемой в целях технико-экономического обоснования целесообразности разработки продукции и путей ее создания, производства и эксплуатации.
Выполняется будущим ее разработчиком по заданию заказчика или основного потребителя.	
3. Разработка продукции	Процесс создания образцов и (или) технической документации, необходимых для организации промышленного производства.
Исследование соответствия технической документации установленным требованиям с оценкой совершенства заложенных в ней технических и художественных решений.	
Виды работ выполняемых на данном этапе:	
– разработка и согласование технического задания;	
– опытно-конструкторские работы (ОКР);	
– опытно-технологические работы (ОТР);	
– экспертиза технической документации.	
4. Оценка технического уровня продукции	Совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство продукции, определение и сопоставление этих показателей с базовыми.
Выполняется разработчиком. Могут привлекаться независимые эксперты.	
5. Патентные исследования	Исследование технического уровня и тенденций развития объекта техники, его патентоспособности и патентной чистоты.
Проводится разработчиком по патентной, научно-технической литературе. Они могут включаться в этапы: обращения, реализации и эксплуатации.	
6. Исследовательские испытания	Изучение определенных характеристик свойств объекта
Испытания могут быть: доводочные, предварительные, приемочные (государственные, межведомственные, ведомственные и т.д.). Ограничения испытаний лежит на «Изготовителе» опытного образца и «Разработчике». Они часто выступают в одном лице.	
7. Корректировка технической документации	
8. Доработка опытного образца	
9. Опытная апробация	Формирование и изучение спроса потребителя на разрабатываемую продукцию по результатам реализации опытной партии.
Проводится «Заказчиком» или «Изготовителем»	
10. Промышленное производство (рис. 2.2)	



Рис. 2.2 – Этапы промышленного производства

Более подробно этапы и виды работ комплексной подготовки производства рассмотрим далее.

Вторая стадия ЖЦ – изготовление продукции, представляет собой строго установленную систему последовательных преобразований, выработанную на протяжении нескольких мирового промышленного производства (рис. 2.3). Эта последовательность физически и экономически оправдана, она применяется во всем мировом промышленном производстве.

Исходными материалами для производства предметов потребления являются предметы природы – разнообразные руды, вода, нефть и газ, воздух. Их добычей и первичной переработкой занимаются добывающая и перерабатывающая отрасли промышленности. Конечным продуктом преобразований, проводимых в этих отраслях является сырье – очищение руды или концентраты природных материалов.

При преобразовании состояния некомпактные неструктурированные предметы природы в результате приложения энергии Э, материального Тр и интеллектуального труда в виде информации, знаний и умения работников I превращаются в структурированный продукт, имеющий какую-либо простую форму и обладающий определенными, заранее заданными свойствами качества. На современном историческом этапе развития технологий получения металлов в абсолютном большинстве случаев в основе преобразований этого этапа лежит плавление (выплавка) полезного продукта из предметов природы. Значительно реже используются процессы, основанные на других физических эффектах (гидрометаллургия, петрургии, гальваника в производстве редких металлов, химической промышленности и т.д.)

Полученный продукт обладает большой остаточной тепловой энергией. Поэтому для исключения ее потерь и уменьшения теплового загрязнения окружающей среды эту остаточную энергию используют на следующем этапе преобразования – придания этому горячему металлическому продукту определенной формы и улучшения его качества за счет совершенствования его макроструктуры.

Металл на машиностроительное производство поступает не бесформенной массой, а в виде структурированной продукции: прутков, проволоки, труб, плит, профилей более или менее простой формы и соответствующих размеров. Выпуском металла таких форм (первичное производство) занимается металлургическое производство, к которому относятся:

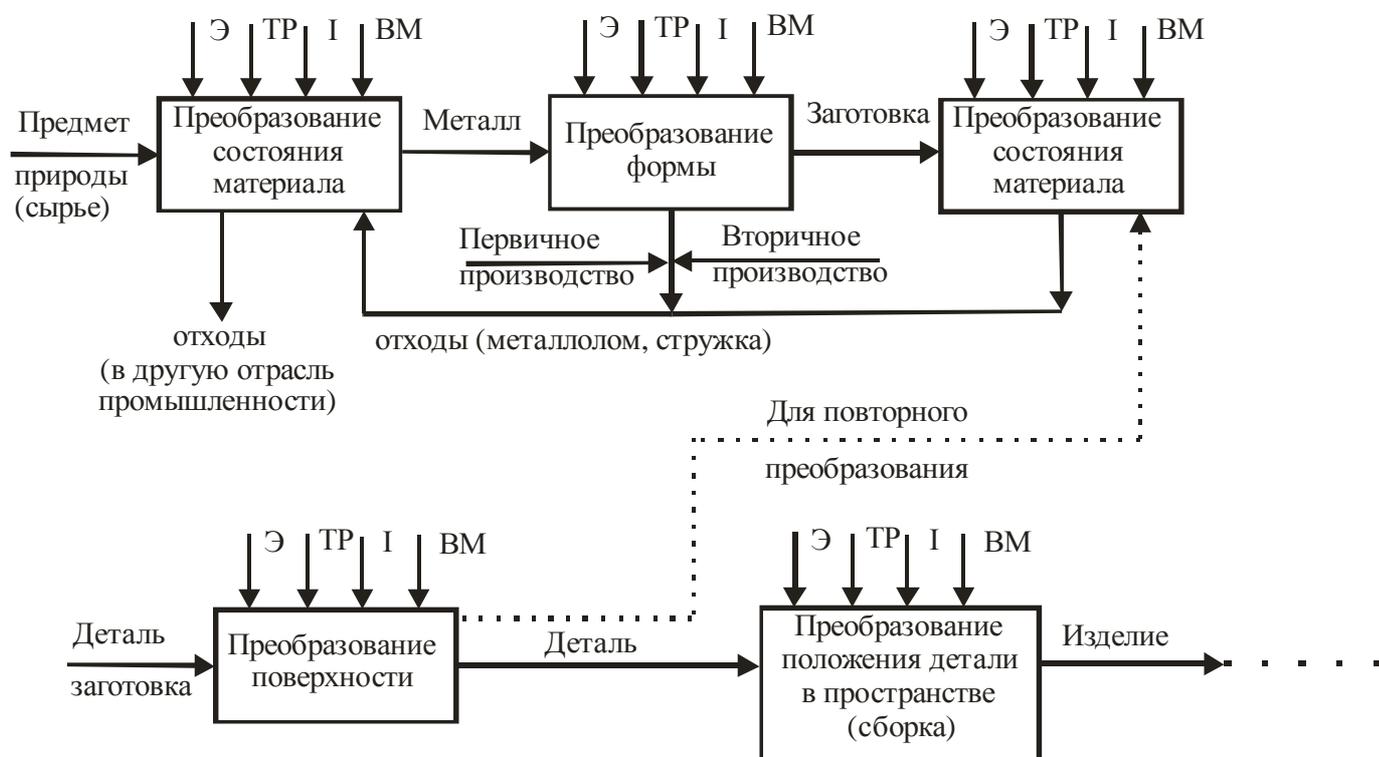
– прокатное производство, основанное на многократном обжатии заготовок крупного сечения между вращающимися валками. Его продукцией являются: листы, плиты, прутки, профили сложной формы, трубы, проволока, детали массового потребления относительно простые по форме (оси и диски колес железнодорожных вагонов, кольца, лопатки, диски зубчатых колес и т.д.);

– прессовое производство, в котором металл выдавливается через инструмент определенной формы и получают продукцию в виде профилей сложного профиля, труб, прутков, плит, панелей и др.;

– волочильное производство, в котором металл вытягивают через инструмент (волоку), имеющую необходимую форму. Продукцией такого производства являются проволока из различных материалов, трубы, прутки сложного сечения, но небольших размеров и т.д.

Часть продукции этих производств (трубы, прутки, профили) одинаковая по форме, но отличается качеством поверхности, точностью размеров и стоимостью. Например, катанные и калиброванные прутки и трубы, гнутые и прессованные профили.

На машиностроительных заводах (вторичное производство) производится дельнейшее преобразование формы заготовок в большей степени приближающее ее к форме детали. Затем производится преобразование объема и поверхности заготовки, в результате которых получают детали, поступающие на сборку изделия.



Э – энергия; Тр – труд; I – информация; ВМ – вспомогательные материалы

Рис. 2.3 – Основная схема технологических преобразований в машиностроении

Схема (рис. 2.3) несколько упрощенно иллюстрирует последовательность и характер преобразований заготовок разной степени готовности в детали и изделия, но позволяет оценить в целом производственный процесс, его длительность и трудоемкость, а также связи между разными видами преобразований.

Следует обратить внимание на то, что на выходе каждого преобразования появляется деталь, которая, в то же самое время является заготовкой для последующего преобразования.

Проведение каждого из процессов преобразований возможно несколькими вариантами. Это необходимо в силу большой специфичности геометрии деталей, технических требований к ним, в том числе по качеству, особенности производств, на которых производят преобразования, масштабов этих производств и ряда других факторов.

Поэтому на каждом конкретном предприятии в соответствии со своими особенностями выбирают один (или несколько) вариант соответствующих преобразований – для преобразования формы литье, деформирование или сварку, для преобразования объема. Можно использовать точение, фрезерование, строгание, шлифование и т.д.

На рис. 2.4 показана структура вариантов заготовительно-обрабатывающих процессов, которые реализуются на большинстве машиностроительных производств.

Каждая из этих групп процессов, в свою очередь, может быть реализована с помощью процессов, отличающихся между собой применяемым оборудованием, оснасткой, последовательностью операций и использованием разных вспомогательных материалов, в конечном итоге себестоимостью и качеством продукции. Например, широко используются способы литья: в песчано-глинистые формы; литье в кокиль (металлическую форму), по выплавляемым моделям, под давлением, в оболочковые формы, центробежное литье. Объединяет в одну группу эти процессы только несколько основных операций, например, для литья – подготовка шихты (состав для плавления), ее плавление и заливка жидкого металла в форму. Остальные операции могут быть отличны.

Такой набор процессов позволяет подобрать для каждого предприятия наиболее подходящие для него по разным условиям процессы преобразования.

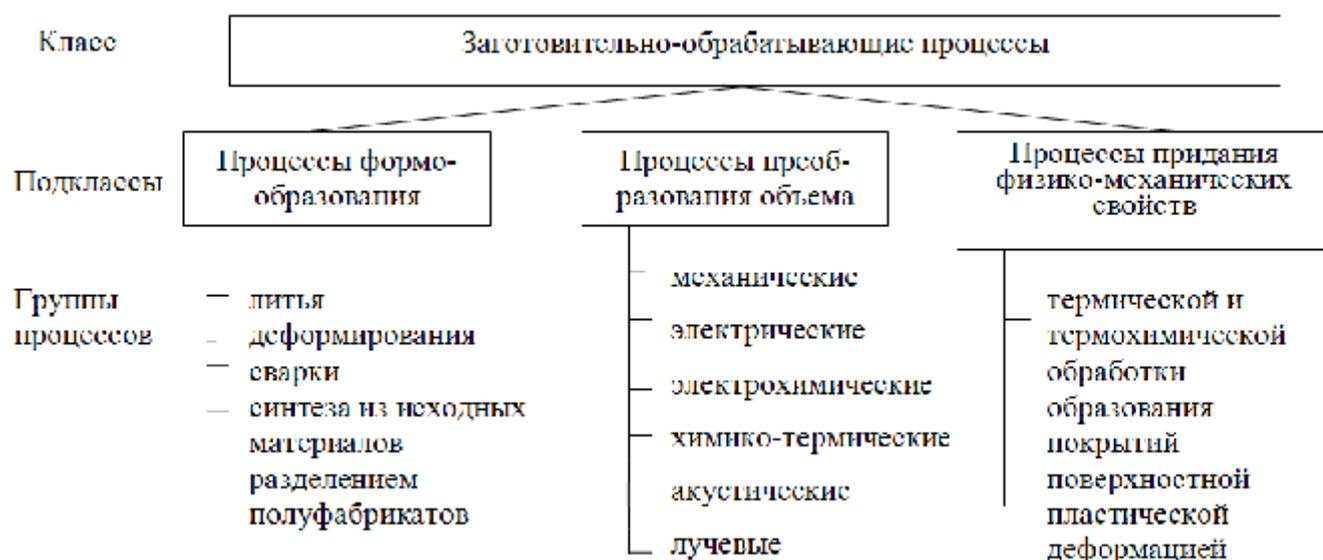


Рис. 2.4 – Схема вариантов заготовительно-обрабатывающих процессов

Например, при выборе способов литья для производства деталей определяющими факторами являются технические требования, предъявляемые к качеству деталей, технико-экономические показатели, технологические возможности имеющегося или возможного для покупки оборудования, а также показатели качества металла отливки, определяемые последовательностью технологического процесса литья. Некоторые показатели вышеназванных групп приведены в табл. 2.1. В ней сведены обобщенные сугубо ориентированные данные с большим диапазоном характеристик, без учета свойств выбранного литейного и режима процесса литья конкретной детали. В таблице не указаны необходимые требования к подготовительным процессам (подготовки шихты, необходимых способах нагрева и/или вакуумирования и проч.), а также последующие процессы улучшения качества отливок (отжига, нормализации и т.д.).

В свою очередь, группа техпроцессов деформирования включает в себя, в частности, процессы, приведенные на рис. 2.5.

Группы процессов

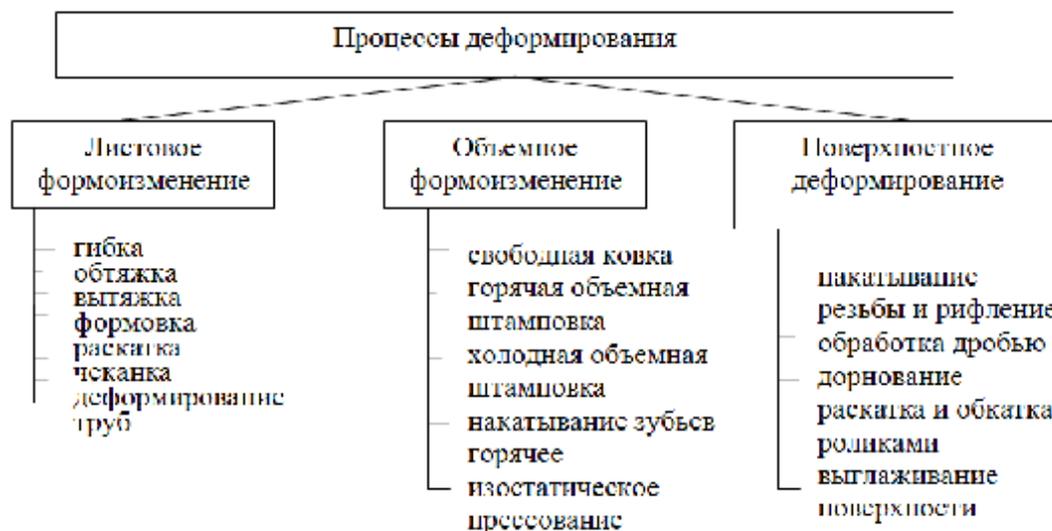


Рис. 2.5 – Группа процессов преобразования формы деформированием из заготовок простой формы

Каждый из этих процессов имеет определенный диапазон технологических возможностей, показателей качества и областей применения. Для примера в табл. 2.2 приведены некоторые характерные показатели процессов объемной штамповки, используя которые и учитывая особенности каждого производства можно подобрать рациональные способы объемной штамповки. Особенности эксплуатации и характеристики таких процессов могут достаточно сильно отличаться. Например, при свободной ковке используется очень простой инструмент и оборудование, которые можно считать универсальными, но при этом трудоемкость процесса формоизменения достаточно высока и требуется рабочий персонал высокой квалификации. В отличие от этого процесса горячая объемная штамповка в штампах значительно более производительна, для нее не требуется рабочие высокой квалификации, но необходим дорогой специальный инструмент – штампы. Поэтому, этим процессам отдается предпочтение в условиях массового и крупносерийного производства, для которого сокращение трудоемкости процесса является приоритетным.

Таблица 2.1 – Технологические возможности и сравнительные показатели качества разных способов литья [18]

Показатель	Способы литья ¹					
	П	Д	К	В	О	Ц
Минимальная масса отливки, кг	250000	50	2000	100	200	50000
Максимальный размер отливки, м	20	1,2	2,0	1,0	1,5	10
Минимальная толщина стенки отливки, мм	3,0	0,5	2,2	0,5	1,5	4
Квалитет по ГОСТ 25346-89 ²	13	11	12-13	11	14	13-14
Степень точности поверхности отливки ³	7-22	2-11	4-14	3-13	6-17	4-14
Шероховатость поверхности (Ra), мкм	8-100 ⁴	2,5-20	4-40	3,2-32	6,3-80	4-40
Минимальный припуск на обработку (на сторону) ³ , мм	0,3-6	0,2-0,5	0,3-1	0,1-0,6	0,4-2,0	0,3-1,0
Литейные уклоны, град	0,5-3	0,5-1	0,5-1,2	1-2	1-2	3-6
Коэффициент использования металла, %	60-70	90-95	75-80	90-95	80-95	70-90
Выход годной	30-50	50-65	40-60	30-60	50-60	90-100

продукции, %						
Относительная себестоимость 1 т отливок	1,0	1,8-2,0	1,2-1,5	2,5-3	1,5-2,0	0,6-0,7
Экономическая оправданная серийность, шт	Без огранич.	1000	400-800	1000	200-500	100-1000
Преобладающие типы серийности производств ⁵	Ед, Мс, С, Кс	Кс, Мас	С, Кс, Мас	Ед, Мс	С, Кс, Мас	С, Кс, Мас
Преобладающие разновидности (группы) отливок по массе ⁶	М, Ср, Кр, О _{кр}	М	М, Ср	М	М, Ср	М, Ср

1 Способы литья: П – в песчаные формы; Д – под давлением; К – в кокиль; В – по выплавляемым моделям; О – в оболочковые формы; Ц – центробежное литьё;

2 Номер качества (ГОСТ 25346-89) определяется по классу точности отливки (ГОСТ 26645 – 85) для каждого способа литья путем сопоставления значений допусков;

3 Согласно ГОСТ 26645 – 85 с изменением №1 1989 г.;

4 Более 100 мкм;

5 Ед – единичное; Мс – мелкосерийное; С – серийное; Кс – крупносерийное; Мас – массовое;

6 М – мелкие; Ср – средние; Кр – крупные; О_{кр} – очень крупные

Таблица 2.2 – Сравнение характеристик различных способов объемной штамповки иковки

Способ получения поковки	Тип производства	Материал поковок	Масса поковок, кг	Припуски на сторону, мм	Штамповочные уклоны, град	Достижимая точность, квалитет	Шероховатость поверхности, R_z , мкм	Ориентировочные размеры партии, шт	Относительная себестоимость, %	Технологические особенности	Характер детали
Ковка	Е, С	Углерод. и легирован. стали, легкие сплавы	0,5...250000	По сечению: 2...40, по длине 8...70	-	16...17 и выше	320...40	50...200	130...220	Наиболее простые конструктивные формы	Роторы гидротурбин, валы, фланцы, диски, колеса, кубики
Горячая штамповка на молотах	С, М	Стали, цветные металлы	0,1...2000	0,75...4,25	7...10	15...17	320...40	Для тяжелых заготовок 2500...3000, для средних и мелких 4000...10000	100	Заготовка весьма сложной формы без поднутрений и выступов, мешающих извлечению из штампа	Зубчатые колеса, рычаги, чашки, ступицы, фитинги, кницы, кронштейны
Горячая штамповка на механич. прессах	С, М	-	0,1...1000	0,5...3,0	3...7	13...17	160...20	-	85...100	-	Кольца, гайки, рычаги, фланцы, крышки, полые корпуса
Горячая штамповка на ГКМ	С, М	-	0,5...100	1,5...3,25	В матрицах 1..7, в пуансонах 0,25...2,0	13...17	160...20	Стойкость матриц 24000...64000 пуансонов 3000...11000	70...75	Осесимметричные стержни со сплошными и полыми головками, фланцами	-
Горячая штамповка и калибровка	М	-	0,3...120	0...0,4	5...7	11...15	32...10	-	77..93	Поверхности после холодной калибровки не требуют механообработки	Панели, фланцы, крышки, штепсельные разъемы
Штамповка выдавливанием на гидропрессах	С	Малопластичные стали, цветные металлы	0,25...80	По сечению: 0,5...1,5, по длине 1,5...4,0	0,5...4,0	13...17	160...20	700...2000	110-115	Заготовки с тонкими и длинными стенками, стержни	Спецболты, баки, контейнеры, трубы с фланцами

Помимо выбора процесса формоизменения требуется выбирать сопутствующие процессы получения мерных заготовок для штамповки из известного набора методов разделки длинномерных прутков на мерные заготовки. Эти методы разделки тоже отличаются своими показателями (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Сравнение способов разделки прутков на штучные заготовки

Способ резки	Характеристика способа			
	По производительности, балл	По расходу металла, балл	Точность длины заготовки, мм	Особенности применения
На сортовых ножницах (при прокатке)	1	1	$\pm 0,8 \dots \pm 4,5$	Высокая металлоемкость оборудования. В массовом производстве
На хладноломах	1	1	$\pm 1,0 \dots \pm 3,5$	
Дисковыми пилами	3	4	$\pm 0,8 \dots \pm 4,5$	Простое оборудование. Прутки малой и средней прочности
Абразивными кругами	2	2	$\pm 0,5 \dots \pm 1,5$	
Приводными ножницами	6	3	$\pm 0,8 \dots \pm 2,5$	
Анодно-механическая	5	2	$\pm 0,1 \dots \pm 0,5$	Твердые, прочные труднообрабатываемые материалы. Специальное оборудование
Кислородная	4	5	$\pm 0,1 \dots \pm 3,0$	Требуется последующий отжиг. Углеродистые стали
Плазменная резка	3	3	$\pm 0,1 \dots \pm 2,0$	Любые материалы, сложные по форме резы. Возможность автоматизации

Примечание. – Увеличение балла в таблице указывает на ухудшение характеристики

Далее заготовки для горячей штамповки необходимо нагревать. Существует ряд способов нагрева заготовок для горячей штамповки, отличающихся своими технико-экономическими показателями (табл. 2.4). Важность правильного выбора метода нагрева определяется значительными затратами энергии, исключением потерь качества будущих деталей за счет выгорания легирующих элементов при перегреве, возможных внутренних трещин при очень быстром нагреве поверхности заготовки и других факторов.

Таблица 2.4 – Техничко-экономические показатели способов нагрева мерных заготовок для горячей штамповки

Метод нагрева	Стоимость 1 кВт установленной мощности, усл. ед.	Расход энергии на нагрев 1 кг стали, кВт/ч	Скорость нагрева, град/с
Печной	20...35	Топлива 6...12 % от веса детали	До 1,0
Электроконтактный	57	0,3...0,4	До 100
Электролитический	45		10...50 (до 200)
Индукционный	150	0,5...4	100...250
Электронно-лучевой нагрев в печах с контролируемой атмосферой	250...700	0,2...5	10...100

Некоторые характеристики технологических возможностей процессов механической обработки цилиндрических и плоских поверхностей приведены в табл. 2.5, 2.6.

Таблица 2.5 – Классификация основных видов обработки наружных цилиндрических поверхностей и их некоторые характеристики

Метод обработки	Достижимый квалитет	Среднеарифметическая высота микронеровностей, Ra, мкм
Точение	черновое	14-12
	получистовое	13-11
	чистовое	10-8
	тонкое	8-6
Шлифование	предварительное	9-8
	чистовое	7-6
	тонкое	6-5
Отделочная обработка	Хонингование	5-4
	Доводка	5-3
	Суперфиниширование	5-3
	Полирование	4-3
Обработка давлением	Обкатывание	10-8
	Выглаживание	7-5
	Накатывание	Размеры рифлений
		Размеры рифлений

Количественные значения показателей качества и характеристик сопоставленных процессов дают возможность, используя методы квалиметрии – науки о количественных показателях качества, рассчитывать оптимальные или близкие к ним показатели качества каждого конкретного производства, обеспечивать его конкурентоспособность в многочисленном ряду подобных предприятий и получать продукцию высокого качества.

Подобные варианты техпроцессов существуют для преобразований объема и поверхностей (рис. 2.6, 2.7, 2.8).



Рис. 2.6 - Группы процессов преобразования объема

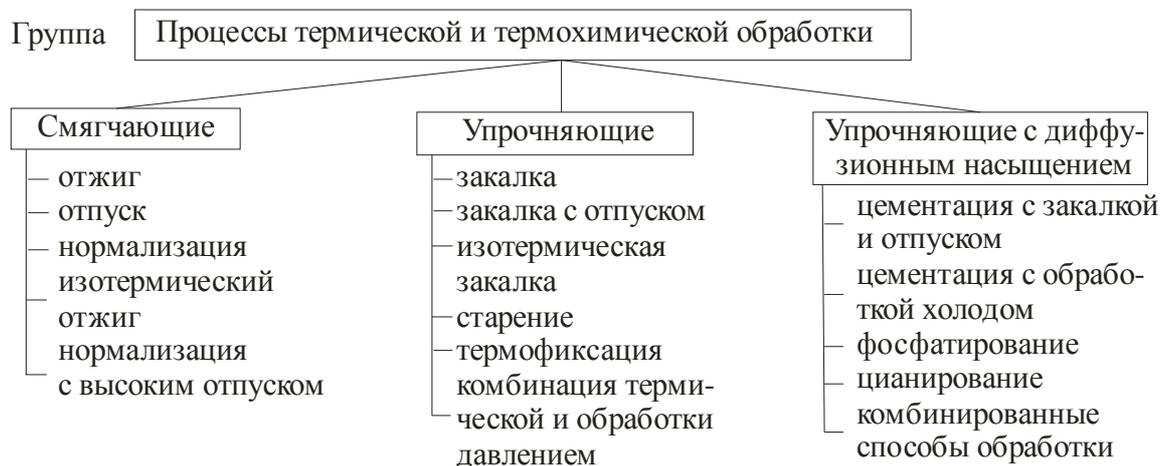


Рис. 2.7 - Группы процессов термической и термохимической обработки



Рис. 2.8 - Группы процессов образования покрытий

Таблица 2.6 - Возможности методов обработки в обеспечении точности размеров и параметров качества плоских поверхностей деталей машин (для конструкционных сталей)

Метод обработки	Достижимый квалитет	Средне-арифметическая высота микро-неровностей, Ra, мкм	Величина остаточных напряжений в поверхностном слое, $\pm \sigma_{ост}$ МПа
Торцевое фрезерование	черновое	12-14	4,0-16,0
	чистовое	9-11	1,0-4,0
	тонкое	6-8	0,32-1,25
Строгание	черновое	12-14	6,4-40,0
	чистовое	9-11	1,0-6,3
	тонкое	6-8	0,32-1,6
Торцевое точение	черновое	12-13	6,4-32
	чистовое	9-11	1,6-6,4
	тонкое	6-8	0,32-1,6
Шлифование	черновое	8-9	1,6-40
	чистовое	6-7	0,32-1,6
	тонкое	5-6	0,08-0,32
Шабрение	чистовое	5-6	0,63-2,5
	тонкое	4-5	0,1-0,8
Суперфиниширование	обычное	5-6	0,05-0,32
Притирка	обычная	4-6	0,02-0,1
Обтачивание поверхностей вращения	черновое	12-14	12-40
	получистовое	10-12	2,0-16
	чистовое	8-9	0,8-2,5
Выглаживание		5-9	0,05-2,0

Подобные данные приводятся в справочниках технологов по всем видам технологических преобразований, включая испытания и настройку.

Важными и трудоемкими этапами ЖЦ, прямым образом связанными с машиностроительным производством являются техническое обслуживание техники у потребителя и ее утилизация после окончания срока эксплуатации. Это специфические этапы и в данном курсе они не рассматриваются.

В заключение надо подчеркнуть, что в течении производственной части ЖЦ реализуется сложная система процессов разных преобразований продукции, которая существует сначала в виртуальном виде или в виде требований к ней, а затем приобретает физический вид. Для рационального, без существенных финансовых, временных потерь проведения преобразований необходимо строго следовать разработанным правилам, методикам и формам проведения этих работ.

3 КОМПЛЕКСНАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Очень важным, трудоемким, относительно дорогим, а главное, обеспечивающим успешные результаты промышленного производства, является этап стадии «Исследование и проектирование – комплексная подготовка производства» (рис. 2.1). В составе жизненного цикла этот этап предваряет стадию «Изготовление», но в данном курсе для удобства изложения он расположен за ранее изложенным материалом.

Прежде чем в серийном производстве появится новый самолет, машина, станок и т.д., необходимо установить физическую возможность появления новой техники с показателями качества, отвечающими требованию потребителя, спроектировать, изготовить и испытать опытные образцы, разработать технологические процессы, спроектировать и изготовить технологическое оснащение, спланировать и организовать производство. Весь указанный объем работ называется **комплексной подготовкой производства**.

Стоимость этих работ, по американским данным, 2300...3500 долларов на 1 кг взлетной массы самолета и имеет тенденцию к увеличению. Это очень большие затраты. В других отраслях промышленности наблюдается такая же тенденция.

Основные положения, виды и последовательность этих работ изложены в нормативных документах.

Целью комплексной подготовки производства новой продукции является выдача подразделениям (цехам) установившегося производства утвержденных технологий производства продукции в соответствии с нормативами по количеству, качеству, затратам, срокам и другим параметрам. Качество технологий должно гарантировать качество производственных процессов по материализации продукции обязательно на уровне, заложенном в инновационный проект. Если производственные процессы в соответствии с технологиями будут низкого качества, то и на «выходе» предприятия будет продукция низкого качества. К комплексной подготовке производства должен применяться комплексный подход, предусматривающий одновременное изучение и реализацию требований конструкторской, технологической, эргономической, экологической, экономической, психологической, организационной и других видов подготовки (дополнительно могут быть маркетинговая, геологическая и строительная).

Первым видом работ при комплексной подготовке производства, в том числе при постановке продукции на производство являются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР).

Подробно проведение НИОКР изучается в курсах «Инновационного менеджмента» или «Организация производства», или НИРС.

Основными задачами НИОКР являются: получение новых знаний в области развития природы и общества, новых областей их применения; теоретическая и экспериментальная проверка возможности материализации в сфере производства разработанных на стадии стратегического маркетинга нормативов конкурентоспособности товаров организации; практическая реализация портфеля новшеств и инноваций. Реализация перечисленных за-

дач позволит повысить эффективность использования ресурсов, конкурентоспособность организаций, жизненный уровень населения.

Основными принципами НИОКР являются: выполнение ранее рассмотренных научных подходов, принципов, функций, методов менеджмента при решении любых проблем, разработке рациональных управленческих решений. Количество применяемых компонентов научного менеджмента определяется сложностью, стоимостью объекта управления и другими факторами; ориентация инновационной деятельности на развитие человеческого капитала. НИОКР подразделяются на следующие этапы (виды) работ:

- фундаментальные исследования (теоретические и поисковые);
- прикладные исследования;
- опытно-конструкторские работы (ОКР);
- опытные, экспериментальные работы, которые могут выполняться на любом из предыдущих этапов. К ним относятся опытно-технологические работы.

Результаты теоретических исследований проявляются в научных открытиях, обосновании новых понятий и представлений, создании новых теорий. К поисковым относятся исследования, задачей которых является открытие новых принципов создания изделий и технологий; новых, неизвестных ранее свойств материалов и их соединений; методов менеджмента. В поисковых исследованиях обычно известна цель намечаемой работы, более или менее ясны теоретические основы, но отнюдь не конкретные направления. В ходе таких исследований находят подтверждение теоретические предположения и идеи, хотя они иногда могут быть отвергнуты или пересмотрены.

Приоритетное значение фундаментальной науки в развитии инновационных процессов определяется тем, что она выступает в качестве генератора идей, открывает пути в новые области. Но вероятность положительного выхода фундаментальных исследований в мировой науке составляет около 5%. В условиях рыночной экономики заниматься этими исследованиями не может себе позволить отраслевая наука. Фундаментальные исследования должны, как правило, финансироваться за счет бюджета государства на конкурсной основе, а также могут частично использовать и внебюджетные средства.

Прикладные исследования направлены на изучение путей практического применения открытых ранее явлений и процессов. Они ставят своей целью решение технической проблемы, уточнение неясных теоретических вопросов, получение конкретных научных результатов, которые в дальнейшем будут использованы в опытно-конструкторских работах (ОКР).

ОКР – завершающая стадия НИОКР, это своеобразный переход от лабораторных условий и экспериментального производства к промышленному производству. Под разработками понимаются систематические работы, которые основаны на существующих знаниях, полученных в результате научных исследований и разработок (НИР) и/или практического опыта. Разработки направлены на создание новых материалов, продуктов или устройств, внедрение новых процессов, систем и услуг или значительное усовершенствование уже выпускаемых или введенных в действие. К ним относятся:

- разработка определенной конструкции инженерного объекта или технической системы (конструкторские работы);
- разработка идей и вариантов нового объекта, в том числе нетехнического, на уровне чертежа или другой системы знаковых средств (проектные работы);
- разработка технологических процессов, т.е. способов объединения физических, химических, технологических и других процессов с трудовыми в целостную систему, производящую определенный полезный результат (технологические работы);
- создание опытных образцов (оригинальных моделей, обладающих принципиальными особенностями создаваемого новшества);
- испытание опытных образцов в течение времени, необходимого для получения технических и прочих данных и накопления опыта, что должно в дальнейшем найти отражение в технической документации по применению нововведений;
- определенные виды проектных работ для строительства, которые предполагают использование результатов предшествующих исследований.

Опытные экспериментальные работы — вид разработок, связанный с опытной проверкой результатов научных исследований. Опытные работы имеют целью изготовление и отработку опытных образцов новых продуктов, отработку новых (усовершенствованных) технологических процессов. Экспериментальные работы направлены на изготовление, ремонт и обслуживание специального (нестандартного) оборудования, аппаратуры, приборов, установок, стендов, макетов, необходимых для проведения НИОКР. Опытная база науки – совокупность опытных производств (завод, цех, мастерская, опытно-экспериментальное подразделение, опытная станция и т.п.), выполняющих опытные, экспериментальные работы.

Таким образом, целью ОКР является создание (модернизация) образцов новой техники, которые могут быть переданы после соответствующих испытаний в серийное производство или непосредственно потребителю. На стадии ОКР производится окончательная проверка результатов теоретических исследований, разрабатывается соответствующая техническая документация, изготавливаются и испытываются образцы новой техники. Вероятность получения желаемых результатов повышается от НИР к ОКР.

Завершающей стадией НИОКР является освоение промышленного производства нового изделия. Следует рассматривать следующие уровни (области) внедрения результатов НИОКР:

1. Использование результатов НИР в других научных исследованиях в разработках, являющихся развитием законченных НИР либо выполняющихся в рамках других проблем и направлений науки и техники.
2. Использование результатов НИОКР в экспериментальных образцах и лабораторных процессах.
3. Освоение результатов ОКР и экспериментальных работ в опытном производстве.
4. Освоение результатов НИОКР и испытания опытных образцов в серийном производстве.

5. Широкомасштабное распространение технических новшеств в производстве и насыщение рынка (потребителей) готовыми изделиями.

На предприятии-потребителе результатов НИОКР организуется тщательный контроль результатов этой работы, например, по видам, указанным на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Виды входного контроля проектно-конструкторской документации на новую продукцию, выполняемого ее изготовителем

Следующим за НИОКР этапом является техническая подготовка производства. Этот этап включает в себя:

– **конструкторскую подготовку производства (КПП)** – разработку конструкции изделия и создание его сборочных чертежей, рабочих чертежей деталей (вне зависимости от вида носителя информации), запускаемых в производство, с оформлением соответствующих спецификаций и другой конструкторской документации;

– **технологическую подготовку производства (ТПП)** – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства, которая определяется наличием на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения (СТО), необходимых для изготовления изделий с установленными технико-экономическими показателями в заданном объеме в определенные сроки.

Упрощенно структура этого этапа и функции подготовки приведены на рис. 3.2.

Техническая подготовка производства – очень трудоемкий этап подготовки. Так, по данным приведенным в работе [4] в США затраты на организационно-технологическую подготовку производства в 11 раз больше затрат на НИОКР. По исследованиям, проведенным в Государственном университете управления (Россия), это соотношение равно от 4,6 (в мелкосерийном производстве) до 8,0 (в крупносерийном) [39]. По мере роста серийности выпускаемой продукции увеличивается потребность в разработке целевых научно-технических программ, которые предусматривали бы широкомасштабное освоение этой продукции в условиях крупносерийного или массового производства. И, наоборот, в условиях единичного и мелкосерийного производства новой продукции такие программы фактически не нужны. Для этих типов производств весьма актуальны проблемы механизации и автоматизации технологических процессов на базе оборудования с ЧПУ, обрабатывающих центров, гибких производственных систем (ГПС).

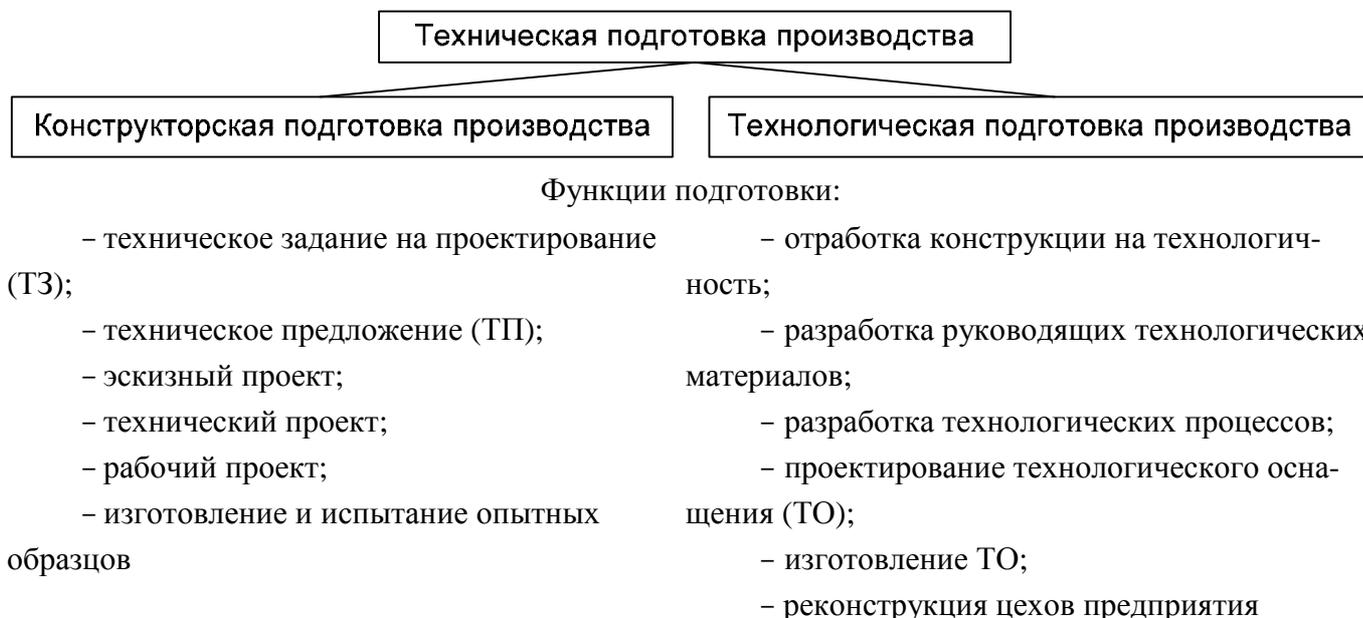


Рисунок 3.2 – Структура и функции технической подготовки производства

Высокая трудоемкость ТПП, анализ возможностей применения вычислительной техники и основных целей системы автоматизированного проектирования (САПР) приводит к выводу о необходимости разделения решаемых при ТПП задач на четыре группы:

- оформление документов – 30...50% трудоемкости от всего объема. Возможно применение САПР;
- поиск информации – 15...20%. Возможно использование информационных систем;
- инженерные расчеты – 20...40%. Возможно использование ЭВМ;
- логические рассуждения и принятие решений ~10%.

ТПП частично ведется разработчиком продукции, а, в основном, вспомогательным производством предприятия, на котором будет изготавливаться изделие.

В условиях конкуренции на соответствующих рынках очень важным является сокращение длительности комплексной подготовки производства. В работе [4] очень точно сформулированы основные факторы сокращения:

1. Соблюдение научных подходов и принципов рациональной организации процессов.
2. Тщательный входной контроль проектно-конструкторской документации на новую продукцию на предмет ее соответствия требованиям рынка (конкурентоспособности), обеспечения простоты ее конструкции (структуры), технологичности.
3. Увеличение в конструкции удельного веса унифицированных и стандартизованных составных частей и конструктивных элементов (стандартных мелких деталей, диаметров, видов резьбы, размеров, форм поверхности, покрытий, видов термообработки и т.д.). Увеличение в конструкции удельного веса самостоятельных легкоотделимых блоков и агрегатов, обеспечивающих простоту технического обслуживания и ремонта. Выполнение требований по унификации и стандартизации продукции вступает в противоречие с обеспечением оригинальности и патентоспособности продукции. Поэтому оптимальный уровень унификации и стандартизации продукции, ее компонентов, технологий, оснастки,

оборудования, методов организации труда и производства должен быть экономически обоснован. Развитие – это борьба со старым, рутинным, стандартным. В свою очередь стандартизация позволяет резко сократить продолжительность освоения нового.

4. Автоматизация проектирования, применение САПР, автоматизированных систем управления технической подготовкой производства и других систем, основанных на новых информационных и телекоммуникационных технологиях.

5. Параллельно-последовательное ведение работ путем интеграции конструкторской, технологической и других видов подготовки производства, частичных процессов внутри этих видов.

6. Обеспечение гибкости производства путем применения бригадной формы организации производства (взамен автоматических линий), внедрения гибких (блочных) производственных систем (ГПС).

7. Применение непрерывных процессов на основе микроэлектроники, биотехнологий, генной инженерии с использованием экстремальных условий в замкнутых безотходных циклах автоматизированного производства.

8. Внедрение CALS-технологий, интегрирующих параметры качества продукции, затраты и процессы по всем стадиям ее жизненного цикла. CALS-технологии внедряются во всех передовых компаниях (корпорациях) мира (с 2000 г. они стали внедряться и в России, на некоторых предприятиях военно-промышленного комплекса). CALS-технологии позволяют автоматизировать сбор, обработку, координацию и использование информации, характеризующей параметры качества продукции, элементы затрат и качество производственных процессов по всем стадиям жизненного цикла продукции – от стратегического маркетинга до ее утилизации (списания).

9. Выполнение расчетов производственной мощности, потребности в различных видах ресурсов, кадрах, информации, производственных площадях, разработка оперативно-календарных планов и т.д., отвечающих требованиям пропорциональности, непрерывности, прямоточности, параллельности, ритмичности и других принципов организации.

10. Разработка и функционирование системы учета, контроля, оперативного управления, стимулирования и ответственности за качество и сроки выполнения работ и другие факторы.

В настоящее время реализация перечисленных факторов сокращения продолжительности подготовки и освоения новой продукции существенно затруднена, так как в Украине значителен удельный вес теневой экономики, развита коррупция, сохраняется монополистическая практика ценообразования и поведения на рынке.

Нормативная база процессов подготовки производства.

Организация НИОКР последующих этапов и видов работ базируется на следующих межотраслевых системах документации:

- Государственная система стандартизации (ГСС);
- Единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- Единая система технологической документации (ЕСТД);

- Единая система технологической подготовки производства
- (ЕСТПП);
- Система разработки и постановки продукции в производство (СРПП);
- Государственная система качества продукции;
- Государственная система «Надежность в технике»;
- Система стандартов безопасности труда (ССБТ) и др.

Здесь необходимо отметить сложившееся положение со стандартами на Украине. Основополагающими и приоритетными в использовании являются Державні стандарти України (ДСТУ). Они обязательны для исполнения в области безопасности и жизнедеятельности человека и небольшом ряде других областей, определенных законодательством Украины. Следующими по приоритету использования являются международные и межгосударственные стандарты. К ним относятся стандарты ISO и стандарты бывшего СССР, по тематике которых не установлены (приняты) ДСТУ. Все эти стандарты рекомендованы, но необязательны, для исполнения. При сертификации продукции при выходе ее на международные рынки обязательно использование соответствующих стандартов. За указанными по приоритету стандартами следуют стандарты организации и заявленные технические условия (ТУ), выполнение которых обязательно в данной организации. В авиастроении действуют стандарты Авиационного регистра Межгосударственного авиационного комитета (АР МАК), международные стандарты ISO по качеству и межгосударственные стандарты бывшего СССР (ГОСТ).

Результаты опытно-конструкторских работ оформляются в соответствии с требованиями ЕСКД. Система ЕСКД — это комплекс государственных стандартов, устанавливающих единые, взаимосвязанные правила и положения по составлению, оформлению и обращению конструкторской документации, разрабатываемой и применяемой в промышленности, научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими организациями и предприятиями. В ЕСКД учтены правила, положения, требования, а также положительный опыт оформления графических документов (эскизов, схем, чертежей и т.п.), установленных рекомендациями международных организаций — ИСО (Международная организация по стандартизации), МЭК (Международная электротехническая комиссия) и др.

ЕСКД предусматривает повышение производительности труда конструкторов; улучшение качества чертежно-технической документации, углубление внутримашинной и межмашинной унификации; обмен чертежно-технической документацией между организациями и предприятиями без переоформления; упрощение форм конструкторской документации, графических изображений, внесение в них изменений, возможность механизации и автоматизации обработки технических документов и дублирование их (АСУ, САПР и т.п.).

Единая система технологической документации (ЕСТД) - комплекс стандартов и руководящих нормативных документов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформления и обращения

технологической документации, применяемой при изготовлении, ремонте, контроле, испытаниях и перемещении изделий. Назначением системы является:

- обеспечение применения различных методов и средств проектирования, обработки информации и размножения технологических документов;
- обеспечение оптимальных при передаче технологических документов;
- применение унифицированных бланков;
- применение единых правил оформления технологических документов в зависимости от типа и характера производства, состава и видов техпроцессов (операций), применяемых способов их описания;
- создания необходимых условий для разработки прогрессивных, типовых и групповых процессов;
- создание информационной базы для автоматизированных систем управления и проектирования;
- создание предпосылок по снижению трудоемкости инженерно-технических работ в сферах ТПП и управления производством;
- обеспечение взаимосвязи с разработанными системами стандартов.

В ЕСТД входят стандарты, начиная с ГОСТ 3.1001-81, где цифровой индекс «3» – шифр класса стандартов системы. Обозначения стандартов в этой системе представлено на рис 3.3.

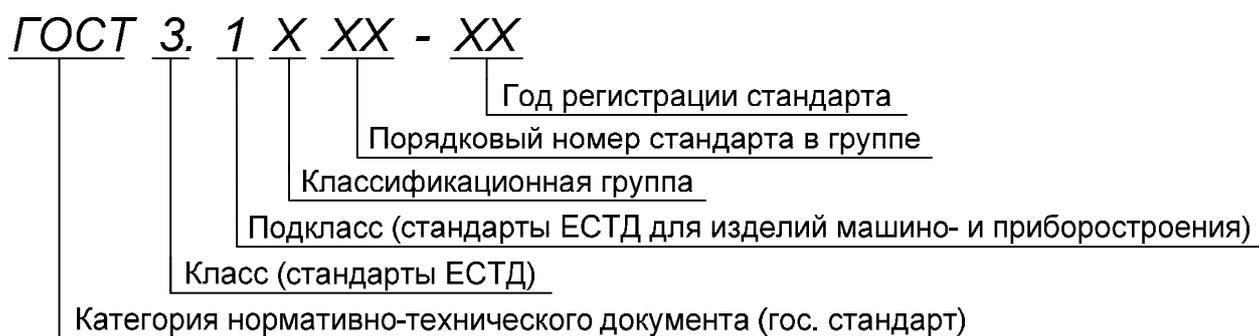


Рисунок 3.3 – Структура обозначения стандартов ЕСТД

Все стандарты ЕСТД распределены по следующим классификационным группировкам: 0 – общие положения; 1– основополагающие стандарты; 2 – классификация и обозначение технологических документов; 3 – учет применяемости деталей, сборочных единиц и средств технологического оснащения; 4 – основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на процессы, специализированные по видам работ; 5 – основное производство. Формы технологических документов и правила их оформления на испытания и контроль; 6 – вспомогательное производство; 7 – правила заполнения технологических документов; 8 – резервная группа; 9 – информационная база.

Исключительно важной является группа нормативных документов Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

ЕСТПП – установленная государственными стандартами система организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной

технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ.

Основная цель ЕСТПП – обеспечение необходимых условий для достижения полной готовности любого типа производства к выпуску изделий заданного качества, в оптимальные сроки при оптимальных затратах ресурсов. Система ЕСТПП призвана обеспечить: единый для каждого предприятия, организации системный подход к выбору, применению методов и средств ТПП, соответствующих передовым достижениям науки, техники и производства; высокую приспособленность производства к непрерывному его совершенствованию, быстрой переналадке на выпуск более совершенной техники; рациональную организацию механизированного и автоматизированного выполнения комплекса инженерно-технических работ, в том числе автоматизацию конструирования объектов и средств производства, разработки технологических процессов и управления ТПП; взаимосвязь ТПП с другими АСУ и подсистемами; высокую эффективность ТПП [42].

Структура ЕСТПП определяется совокупностью двух факторов: функциональным составом ТПП и уровнями решения его задач. Задачи ТПП решаются на всех уровнях и группируются по следующим четырем функциям: обеспечение технологичности конструкций изделий; разработка технологических процессов; проектирование и изготовление средств технологического оснащения; организация и управление ТПП. Основу ЕСТПП составляют: системно-структурный анализ цикла ТПП; типизация и стандартизация технологических процессов изготовления и контроля продукции; стандартизация технологической оснастки и инструмента; агрегатирование оборудования из стандартных элементов (блоков).

Для упрощения поиска необходимых документов стандарты ЕСПТТ, начинающиеся с ГОСТ 14.001-73, обозначаются следующим образом (рис. 3.4).

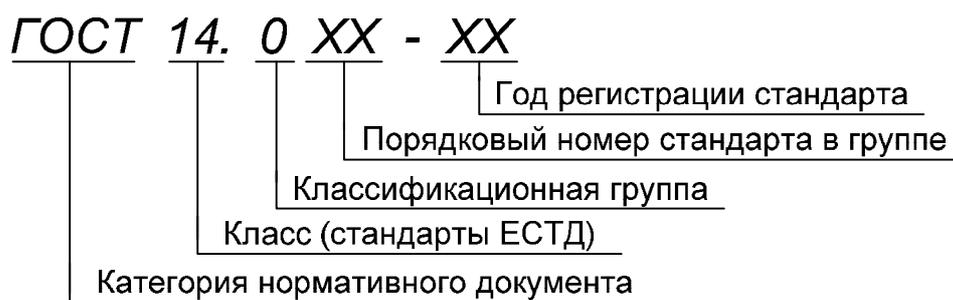


Рисунок 3.4 – Структура обозначения стандартов ЕСТПП

Стандарты ЕСТПП включают в себя следующие группы: 0 – общие положения; 1 – правила организации и управления ТПП; 2 – правила обеспечения технологичности конструкции; 3 – правила разработки и применения технологических процессов и средств технологического оснащения; 4 – правила применения технологических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ; 5 – прочие стандарты.

Система ЕСТПП повышает уровень использования типовых и стандартных технологических процессов с 14 до 60%, стандартной переналаживаемой оснастки – с 20 до 80%, агрегатного переналаживаемого оборудования с 1 до 10%, средств автоматизации произ-

водственных процессов и инженерно-технических работ с 5 до 15%. Эта система дала возможность: сосредоточить усилия конструкторов, технологов, организаторов производства на решении главных задач развития техники, технологии и организации; повысить гибкость производственных процессов к переналадке на выпуск техники нового поколения; сократить цикл ТПП и снизить затраты на ее проведение в 1,5 – 2 раза; повысить производительность труда исполнителей на 30 – 35% в мелкосерийном и на 10 – 15% в крупносерийном и массовом производствах; повысить технический уровень производства и качество изготовления продукции.

Этими стандартами устанавливается следующая терминология.

Технологическая подготовка производства – совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, затратах и объеме выпуска (ГОСТ 14.004-83).

Программа выпуска изделий – перечень наименований изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и срока выполнения по каждому наименованию.

Объем выпуска – количество изделий определенных наименований, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых объединением, предприятием или его подразделением в течение планируемого интервала времени.

Тип производства – классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпускаемой продукции. Различают единичное, серийное, массовое.

Единичное производство – производство, характеризуемое широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий.

Серийное производство – производство, характеризуемое ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска.

Массовое производство – производство, характеризуемое узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

Опытное производство – производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработки конструкторской и технологической документации для установившегося производства.

Вид производства – классификационная категория производства, выделяемая по признаку применяемого метода изготовления изделий. Примеры: литейное, сварочное и т.д.

Производственный цикл – интервал времени от начала до окончания производственного процесса изготовления или ремонта изделий.

Производственная мощность – расчетный максимально возможный в определенных условиях объем выпуска изделий в единицу времени.

Технологичность конструкции – это свойство конструкции (изделия, детали и т.д.), обеспечивающее его изготовление на данном производстве, в установленные сроки, в заданном количестве, при определенном (заданном) качестве с минимальными затратами. Различают производственную и эксплуатационную технологичность.

Главными факторами, определяющими требование к технологичности, являются: вид изделия (конструкции), ее качество, объем выпуска и тип производства. Они определяют сокращение средств и времени на производство за счет существующих технологических оборудования и оснащения, используемых техпроцессов и опыта персонала, уровня механизации и автоматизации производства.

Показателей технологичности много (более 30 штук), но основными являются: трудоемкость и себестоимость изготовления, а также сроки выпуска продукции.

Рассматривая технологическую систему производства сложных и наукоемких машин и аппаратов, необходимо привлекать понятие **технологической наследственности**. Это свойство процессов преобразования (технологических процессов) переносить свои особенности и сохранять их последствие у объектов преобразований. Чаще всего это проявляется в появлении у деталей после окончания техпроцесса полей остаточных напряжений, определенных параметров шероховатости обработанной поверхности, нарушение сплошности материала детали или появление технологических загрязнений. Может наблюдаться и проявление более сложных эффектов. Эти свойства могут быть как полезными, так и вредными. В процессе появления и сохранения определенных свойств важную роль играет наследственная информация, которая несет большой перечень показателей качества.

Маршрутный технологический процесс – перечень кратких описаний простых технологических операций и более подробным описанием сложных или новых операций, а также, при необходимости, суммарной трудоемкости процесса.

Определенную сложность для неопытного технолога представляет выбор рационального маршрутного технологического процесса. Для упрощения этого процесса в справочниках технологов изложены варианты построения маршрутных технологических процессов типовых деталей.

В свое время был разработан документ – высшие классификационные группировки общемашиностроительного классификатора продукции (ВКГ ОКП), в котором помимо классификации продукции включен классификатор деталей. В его основу положена комбинация конструктивного принципа и служебного назначения.

В этом документе технологов-машиностроителей, в первую очередь, интересуют следующие структурные единицы:

Класс 71 – детали – тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей

Класс 72 – детали – тела вращения с элементами зубчатого зацепления: трубы, шланги, проволоочки, разрезные секторы, сегменты, изогнутые из листов, полос и лент, аэродинамические, корпусные, опорные, емкостные подшипники

Класс 73 – детали – не тела вращения: корпусные, опорные, емкостные

Класс 74 – детали – не тела вращения, плоскостные, рычажные, грузовые, тяговые, аэрогидродинамические, изогнутые из листов, полос и лент, профильные, трубы

Класс 75 – детали – тела вращения и (или) не тела вращения, кулачковые, карданные, с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные пояснительные, маркировочные, защитные, посуды, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные

Класс 76 – детали технологической оснастки, инструмента

Каждый класс деталей имеет свой иллюстрированный определитель, с помощью которого легко определить код детали в классификаторе. По коду детали выбирается типовой технологический процесс (в идеале). Но классификатор не учитывает свойства деталей, например, материал, твердость, упругость и т.д. Это является его недостатком.

Для огромного многообразия деталей с разными свойствами разработано много технологических процессов, позволяющих получать детали нужной геометрии с заданными свойствами и минимальными затратами на производство.

Возможности технологических процессов определяются достигаемым качеством обрабатываемых деталей.

В машиностроении качество детали (а также исходной заготовки и полуфабрикатов, получаемых после каждой технологической операции) характеризуется двумя наиболее распространенными параметрами оценки: точностью размеров и шероховатостью поверхностей.

Степень точности размеров поверхностей называется квалитетом. Всего предусмотрено 19 квалитетов, обозначаемых номерами: 01; 0; 1; 2; 3;...17, где квалитеты 01 и 0 – самые точные, а 17 – наименее точный. В соответствии с этой шкалой назначаются допуски на размеры деталей.

Шероховатость поверхности определяется совокупностью неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности на базовой длине (от 0,08 до 8 мм). Для характеристики шероховатости используется в основном два параметра, определяемых в пределах базовой длины: R_a – это среднее арифметическое отклонение профиля, а R_z – высота неровности профиля по десяти точкам. Количественные значения этих параметров приводятся в справочных таблицах.

Структура изделий современного машиностроения (термины и определения)

Изделием (ГОСТ 2/101-68) называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на производстве.

В самолетостроении широко используется структурная схема изделия, показанная на рис. 3.5. В этой отрасли машиностроения изделием является самолет с комплектом инструментов, запасных частей и приборов (ЗИП), предусмотренных технической документацией. Агрегаты: крылья, двигатели, отсеки фюзеляжа и т.д. Узлами (сборочные единицы) называются различные приводы, кресла, замки и т.д. Для крупного агрегата – планера составляющими единицами являются отсеки, которые, в свою очередь состоят из сборочных

единиц и деталей. Такая терминология удобна при проектировании техпроцессов агрегатной и общей сборки. Детальями являются: панели обшивки и облицовки, обтекатели, стенки и другие.

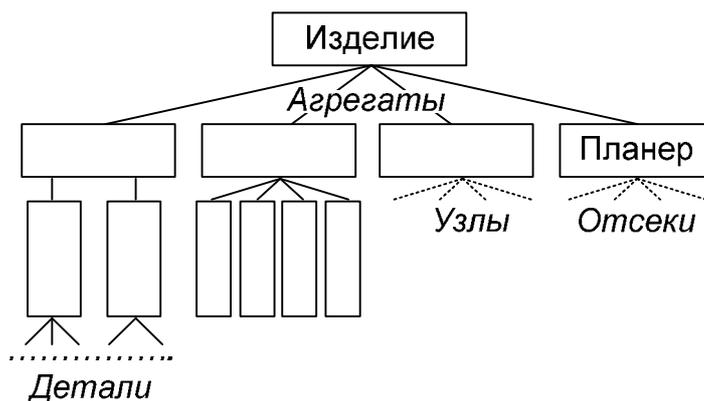


Рисунок 3.5 – Структура изделий

В соответствии с указанным стандартом, **деталь** – изделие, изготовленное из материала одной марки без применения сборочных операций. Функционально деталь является комплексом взаимосвязанных поверхностей, выполняющих различные функции.

Полуфабрикат – изделие предприятия-поставщика, подлежащее дополнительной обработке или сборке.

Сборочная единица – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями. Функционально сборочная единица, как правило, предназначается для передачи или увеличения силы, преобразования движения и осуществления других действий, необходимых для выполнения машиной своих функций. В частном случае самолетостроения сборочная единица является частью отсека, входящего в планер, но может считаться отдельным целым, собираемым в изделие при общей сборке.

Комплект – несколько изделий общего функционального назначения, как правило, вспомогательного характера, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями.

Различают в соответствии с назначением или происхождением следующие **виды изделий**: комплектующее, покупное, кооперативное, отремонтированное, запасная часть и т.д.

Серия изделий – все изделия, изготовленные по конструкторской и технологической документации без изменения ее обозначения.

Конструктивная преемственность изделий – совокупность свойств изделия, характеризующих единством повторяемости в нем составных частей, относящихся к изделиям данной классификационной группы, и применимости новых составных частей, обусловленной его функциональным значением.

Техническая преемственность – совокупность свойств изделия, характеризующих единство преемственности и повторяемости технологических методов, относящихся к изделиям данной классификационной группы.

Структура машиностроительного предприятия

Машиностроительным предприятием называется предприятие, осуществляющее машиностроительное производство (рис.3.6). Любое такое предприятие независимо от объемов производства включает три группы подразделений: а) подразделения, перерабатывающие исходные материалы в продукцию предприятия (основное производство); б) подразделения, изготавливающие изделия или продукцию, необходимые для производства основной продукции, например, инструменты, чертежи, приспособления, эту группу называют вспомогательным производством предприятия; в) подразделения, обеспечивающие функционирование подразделений основного и вспомогательного производств, например, энергию, тепло, ремонт. Эту группу называют обслуживающим производством предприятия.

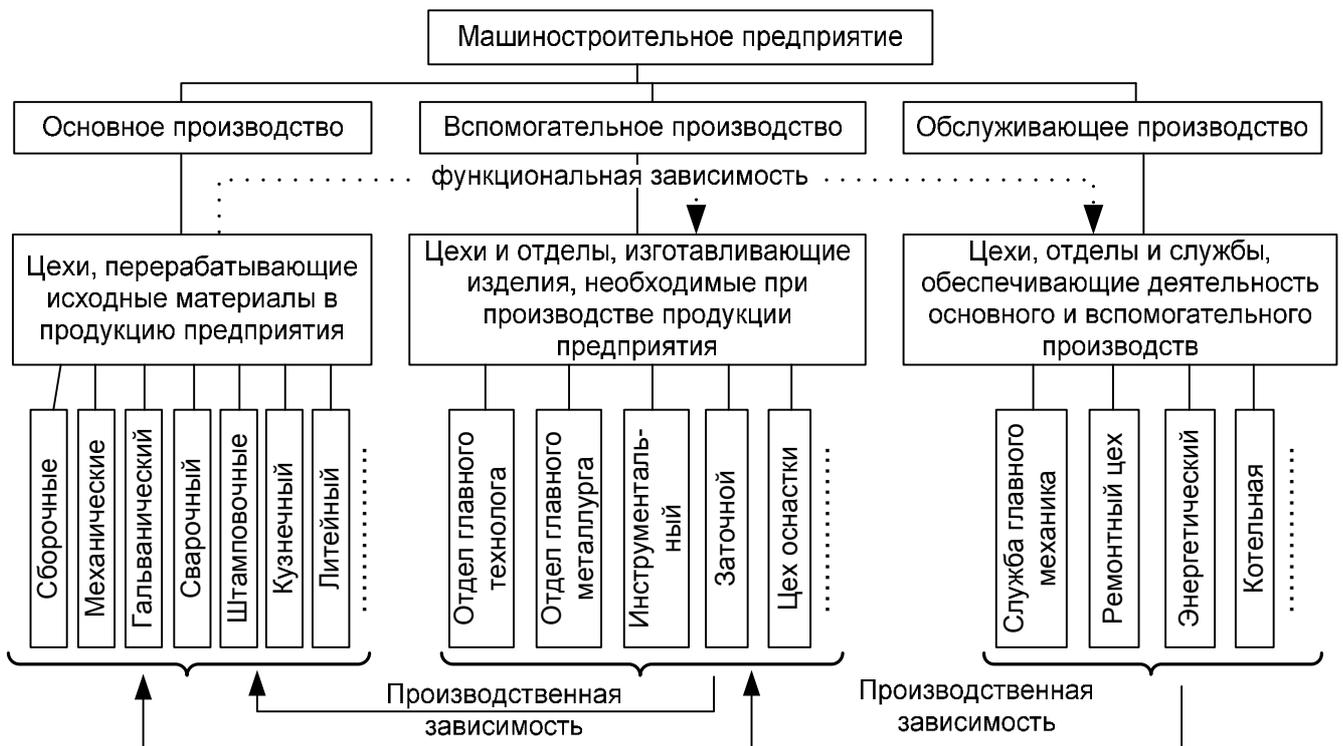


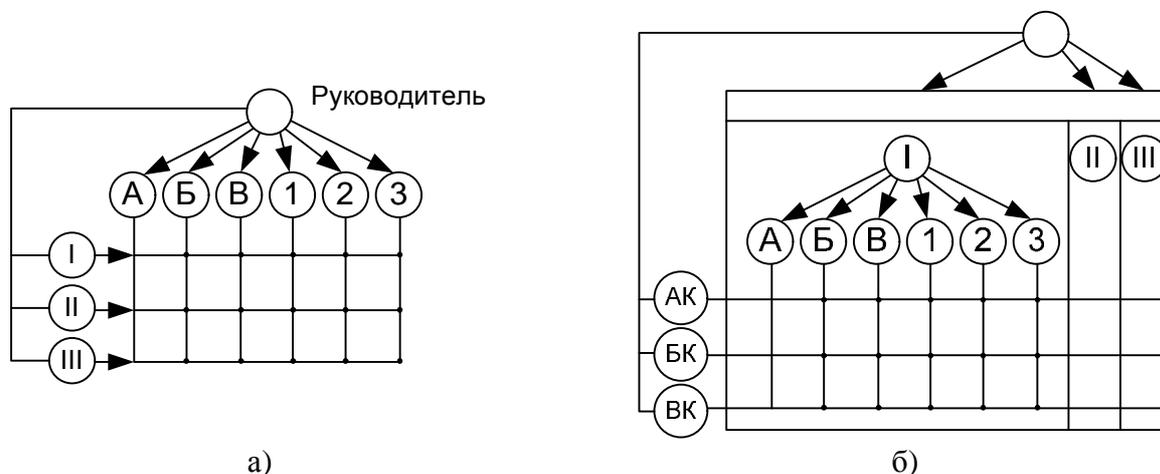
Рисунок 3.6 – Линейная структура машиностроительного предприятия

Количественные и качественные соотношения между этими группами зависят от характера выпускаемого изделия, особенностей технологических процессов, уровня связей предприятия с предприятиями-смежниками, развитием рыночных отношений и ряда других факторов.

С финансовой точки зрения вспомогательные и обслуживающие производства существуют за счет основного производства.

Линейная структура используется на машиностроительных предприятиях, выпускающих продукцию одного типа наименований (самолеты и машины одной марки, простые аппараты нескольких наименований преимущественно большими сериями). Особенностью этой структуры являются простые процессы планирования и контроля деятельности, осуществляемые по вертикали от руководителя до производственных подразделений.

Но как показывает мировая практика, наиболее конкурентоспособными являются многопрофильные предприятия – концерны, производственные объединения, выпускающие продукцию различного назначения и использующие технологические процессы высокого уровня и самого разного назначения и состава. Такие предприятия имеют более сложные структуры, например, матричного или дивизионного типа (рис. 3.7).



а)

б)

Рисунок 3.7 – Производственная структура сложных многопрофильных предприятий (на примере ПО «Южмаш», г. Днепропетровск [6]): а – матричная; б – дивизионная; А, Б, В – отделы: планово-производственный, технический, финансовый; 1, 2, 3 – производства: заготовительное и обслуживающее, обрабатывающее, сборочное; I, II, III – генеральные конструкторы по: ракетноносителям, тракторам, троллейбусам; АК – заместители генерального директора концерна по: маркетингу, НИОКР, технологии и т.д.

Такие структуры более устойчивы и, с другой стороны, позволяют гибко реагировать на изменение разноплановой окружающей среды.

В зависимости от возникающих задач используются другие структуры: функциональная, линейно-функциональная, бригадная и т.д. Но во всех структурах используются принципы единоначалия и администрирования.

При рассмотрении структуры предприятия используются следующие термины.

Машиностроительное производство - производство с преимущественным применением методов технологии машиностроения при выпуске изделий.

Производственная структура – состав цехов и служб предприятия с указанием связей между ними.

Цех – совокупность производственных участков.

Рабочее место – элементарная единица структуры предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживаемое техническое оборудование, часть конвейера ограниченное время, оснастка и предметы труда.

4 ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

4.1 Основные методы оценки производительности труда в простых (по структуре) технологических процессах

Производительность труда определяется количеством потребительских стоимостей, создаваемых одним работающим в единицу времени. В силу общности и некорректности определения понятия стоимостей производительность труда, в основном, измеряется в относительных единицах (повышение на столько-то % или уменьшение на ... %). Но такая оценка используется в общем случае анализа функционирования предприятия. В конкретных условиях действующего производства для простых по структуре технологических процессов производительность труда определяется временем, затрачиваемым на изготовление единицы того или иного продукта (детали). Такой показатель удобен еще и тем, что позволяет нормировать технологические процессы.

В общем случае время, затрачиваемое на изготовление детали, расходуется с разными целями. Примерная структура затрат рабочего времени показана на рис. 4.1.

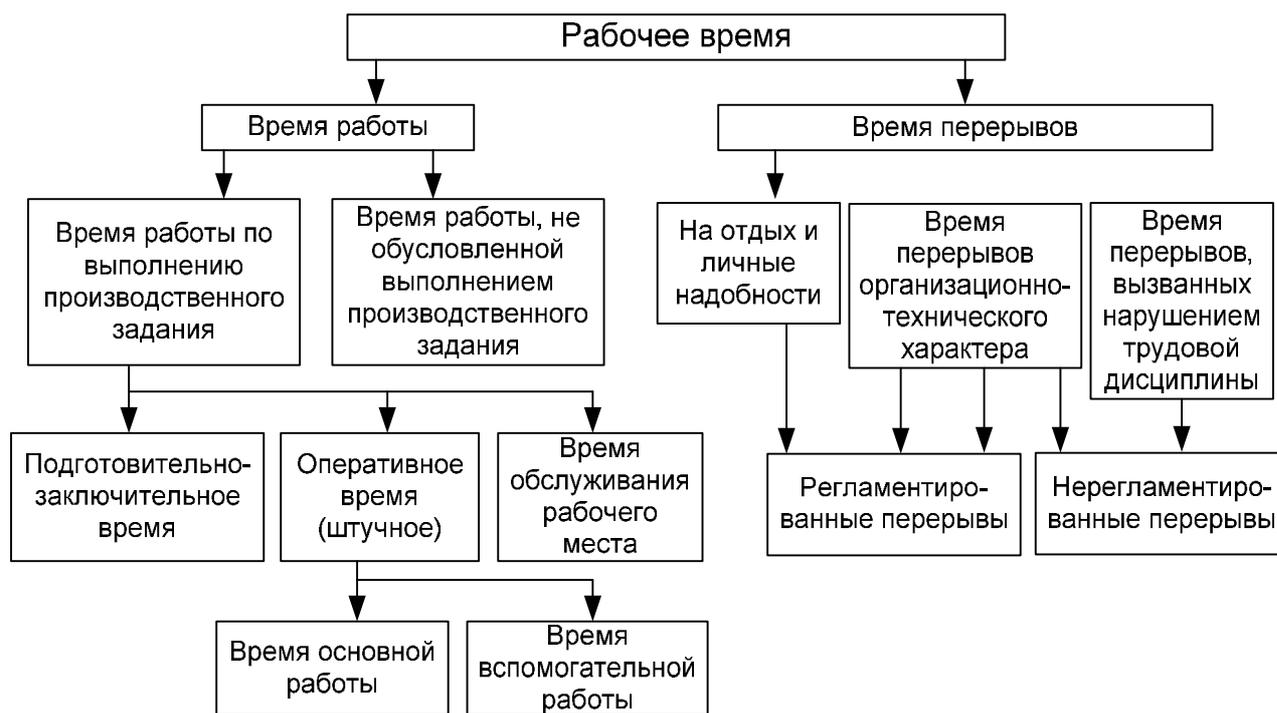


Рисунок 4.1 – Структура затрат рабочего времени

Соотношение этих затрат для разных технологических процессов разное – на тяжелых физических работах (горячая штамповка, литейные работы и т.д.) время, необходимое для отдыха, значительно больше, чем аналогичный параметр в легких условиях труда.

Характерные затраты рабочего времени можно определить следующим образом.

Штучно-калькуляционное время и его составляющие. Общее время, которое необходимо затратить на технологический процесс изготовления детали или изделия, скла-

дывается из отдельных составляющих, затрачиваемых на непосредственное выполнение операций техпроцесса, вспомогательные операции, подготовительно-заключительные и некоторые другие действия работающего.

Основное время t_0 – время, затрачиваемое на непосредственную обработку предмета труда, т.е. на изменение его формы, размеров, физико-химических свойств и т.д.

Для большинства технологических процессов резания основное время определяется:

$$t_0 = i \frac{L}{S_M} = i \frac{L}{nS}, \quad (4.1)$$

где i – число проходов для снятия припуска; L – длина рабочего хода в направлении подачи, мм; S_M – подача, мм/мин; S – подача на оборот или двойной ход (детали или инструмента), мм; n – число оборотов или двойных ходов, 1/мин.

Подставляя в формулу значения геометрических и кинематических параметров обработки, здесь учитывают, что:

$$L = l + y, \quad (4.2)$$

где l – длина обрабатываемой поверхности; y – длина врезания и перебега инструмента.

Вспомогательное время t_{ecn} – время, в течение которого совершаются действия, направленные на создание условий, необходимых для выполнения основной работы и повторяющиеся с каждым предметом труда или через определенное число их.

Во вспомогательное время входят его затраты на:

- установку и снятие детали;
- изменение режима работы оборудования;
- подвод и отвод инструмента;
- замену инструмента в процессе обработки;
- измерение детали в процессе обработки;
- смазку, охлаждение и очистку инструмента и приспособления, а также другие действия.

Сумма основного и вспомогательного времени называется **оперативным временем**:

$$t_{on} = t_0 + t_{ecn}. \quad (4.3)$$

Для других процессов преобразования процессов труда эти зависимости могут иметь несколько иной вид.

В течение рабочей смены работающий затрачивает время на выполнение и других действий, необходимых для обслуживания рабочего места, отдых и личные надобности, а также другие затраты времени. Это время оценивается в процентах к оперативному времени.

Штучное время t_{um} – время, необходимое для изготовления одной детали в течение смены или какого-либо определенного времени:

$$t_{um} = (t_0 + t_{ecn}) \cdot \left(1 + \frac{a}{100} + \frac{b}{100} + \frac{g}{100}\right), \quad (4.4)$$

где a – отношение времени, необходимого на техническое обслуживание рабочего места, к оперативному времени, %; b – то же для организационного времени; g – то же в отношении времени, потребного на отдых и личные надобности.

Значения этих коэффициентов, определенные статистическими методами, и приводятся в справочниках по нормированию труда.

Подготовительно-заключительное время $T_{n.з.}$ – время, затрачиваемое на ознакомление с работой, на наладку оборудования и инструмента, установку технологической оснастки и некоторые другие работы. Это время тратится на изготовление партии деталей.

Среднее время, необходимое для изготовления одной детали из партии, в течение смены или другого определенного времени, называется **штучно-калькуляционным временем** $t_{ум.-к.}$:

$$t_{ум.-к.} = t_{ум.} + \frac{T_{n.з.}}{n}, \quad (4.5)$$

где n – количество деталей в партии, шт.

Разделив длительность рабочей смены или другое определенное время на штучно-калькуляционное время, определяется расчетным методом, какое количество деталей можно изготовить в течение этого времени. Эта операция называется **нормированием**. Его точность существенно зависит от количества статистического материала, сопоставимости условий его получения и действующих условий и некоторых других условий.

Для более точного нормирования в конкретных условиях производства используется «метод фотографии». Для этого в конкретных производственных условиях при выполнении работы рабочим соответствующей квалификации определяется время, фактически затрачиваемое на выполнение операций, переходов и приемов, установленных технологическим процессом. Например, при выполнении операции подрезки торца детали на токарном станке определяется время, затрачиваемое на выполнение перехода "Установить деталь в патроне" как сумму времен переходов: "взять заготовку, поднести и вставить в патрон", "зажать деталь в патроне", "пустить станок", "подвести резец".

После суммирования времени всех приемов, выполняемых рабочим в течение смены, соответствующей статистической обработке результатов и деления на количество деталей, изготовленных за этот период времени, определяется время, фактически затрачиваемое на выполнение соответствующей работы. Это время называется **фактической нормой времени**. После сравнения со значением расчетной нормы времени и анализа этих величин устанавливается технически обоснованная норма времени. Это значение реально отражает затраты времени и в дальнейшем используется для планирования производства, расчетов зарплат, отчетов и анализа экономической деятельности.

Одной из основных задач организаторов производства, менеджеров и технологов является задача постоянного повышения производительности труда. Наибольшее повышение может быть достигнуто при:

– выборе наиболее прогрессивного процесса обработки и сборки, например, штамповки и чеканки вместо механической обработки;

- применении наиболее высоко производительного оборудования и оснастки, например, сварочных автоматов вместо сварочных машин или станков с ЧПУ и обрабатывающих центров вместо металлорежущих станков с ручным управлением;
- максимальном использовании технологических возможностей выбранного оборудования и оснастки;
- наиболее рациональном использовании квалификации и времени работающих.

Существующие технологические процессы должны периодически пересматриваться и совершенствоваться, а также соответственно нормироваться.

Разработаны общие технологические мероприятия по повышению производительности труда. Их можно определить при анализе формул (4.1-4.5).

Технологические методы сокращения основного времени:

- уменьшение числа проходов за счет применения более совершенного инструмента или приспособлений;
- повышение скорости обработки (увеличение числа оборотов);
- увеличение подачи;
- уменьшение длины рабочего хода (уменьшение длины врезания и перебега);
- одновременная обработка нескольких поверхностей;
- параллельная обработка нескольких деталей;
- многостаночное обслуживание.

Сокращение вспомогательного времени достигается:

- сокращением времени на установку и снятие детали;
- снижением времени на управление оборудованием;
- снижением времени на смену инструмента;
- сокращением времени на измерения;
- параллельным выполнением нескольких вспомогательных работ;
- совмещением вспомогательного времени с основным.

Для резкого сокращения вспомогательного времени при массовом производстве применяются автоматические или роторные линии. Однако они эффективны лишь в условиях массового производства при длительных сроках выпуска одной и той же продукции. Перестройка их на другой вид продукции экономически не целесообразна.

В настоящее время в промышленно развитых странах около 50...70% продукции выпускается в условиях мелкосерийного производства. Автоматизировать такое производство чрезвычайно сложно, так как характерной его чертой является частая сменяемость выпускаемой продукции и небольшой объем изделий в каждой отдельной партии. Поэтому говорят, что такое производство для своей целесообразности должно быть гибким.

Для производств с частой сменой выпускаемой продукции или периодически повторяющимися заказами, использующих кооперативные поставки комплектующих изделий, применяется более комплексный подход к оценке трудоемкости изготовления продукции. Он основывается на следующих рассуждениях [19].

Затраты труда при осуществлении того или иного технологического процесса $T_{техн}$ складываются из затрат труда, связанных с непосредственным превращением полуфабриката в изделие $T_{изз}$; изменения затрат труда в последующих или предыдущих технологических процессах при превращении полуфабрикатов в законченную деталь за счет принятого технологического процесса $T'_{изз}$; затрат труда на изделие от оснастки и вспомогательных материалов, необходимых для осуществления заданного технологического процесса $T_{осн}$; затрат труда, связанных с нерациональным использованием основных материалов $T_{мат}$; затрат труда, связанных с созданием средств (оборудования и другой техники производства) для выполнения заданного технологического процесса $T_{обор}$, а также прочих затрат, связанных с транспортировкой изделия в процессе производства, затрат энергии и других затрат, вызванных осуществлением заданного технологического процесса $T_{прочее}$. Очевидно, что тот технологический процесс из сравниваемых будет наиболее совершенным в данных условиях производства, который требует наименьшей суммы указанных выше элементов затрат общественно необходимого труда, т. е.

$$T_{техн} = T_{изз} \pm T'_{изз} + T_{осн} + T_{мат} + T_{обор} + T_{прочее}. \quad (4.6)$$

Затраты труда на превращение полуфабриката в изделие при осуществлении заданного технологического процесса $T_{изз}$ могут быть представлены зависимостью:

$$T_{изз} = t_0 + t_{всп} + \frac{t_{н.з.}}{n}, \quad (4.7)$$

где n – количество деталей в партии; t_0 – основное время; $t_{всп}$ – вспомогательные время; $t_{н.з.}$ – подготовительно-заключительное время.

Изменение трудоемкости от заданного технологического процесса при последующей или предыдущей обработке полуфабриката в процессе превращения его в законченную деталь $T'_{изз}$, может быть как положительным, так и отрицательным.

Затраты труда, приходящиеся на одну деталь от оснастки, создаваемой для осуществления заданного технологического процесса, могут быть выражены

$$T_{осн} = \frac{(1-K_1)}{m} \left(t_{осн} + \frac{1}{K_2 g_2} G_{осн} \cdot u_1 \right), \quad (4.8)$$

где m – количество деталей, снимаемых с оснастки до морального или полного механического ее износа, в шт.; K_1 – коэффициент универсальности оснастки, изменяющийся в зависимости от объема универсальных элементов в оснастке, $K_1 = 0$ – сугубо специальная оснастка, $K_1 = 1$ – строго универсальная оснастка; $t_{осн}$ – трудоемкость изготовления оснастки в час; K_2 – коэффициент использования материала оснастки; g_1 – стоимость одного часа труда рабочего (средней квалификации), занятого на изготовлении оснастки, в руб.; $G_{осн}$ – вес оснастки в кг; u_1 – средняя цена 1 кг материала оснастки в руб.

Снижение затрат труда на изделие за счет оснастки и вспомогательных материалов, необходимых для изготовления этой оснастки в металле, складывается из снижения затрат

труда на изготовление оснастки и затрат, вызванных расходом материалов на ее изготовление.

Одним из эффективных путей снижения этих затрат является применение универсальной и нормализованной оснастки, сохраняющейся до полного физического или морального ее износа, а также в отдельных отраслях применение упрощенной оснастки (для единичного и мелкосерийного производства).

Из анализа величин, выражающих $T_{осн}$, следует, что при всех прочих равных условиях эта величина будет наименьшей, если использована универсальная оснастка, с широким применением нормализованных элементов.

Процессы штамповки резиной, жидкостью или газами являются прогрессивными, поскольку эти процессы предусматривают применение универсального деформирующего инструмента, – резиновой, жидкостной или газовой матрицы или пуансона.

Затраты труда, связанные с нерациональным использованием основных материалов, могут быть выражены

$$T_{\text{мат}} = \frac{(1 - K_u) u_2 G_{\text{дет}}}{K_u g_2}, \quad (4.9)$$

где $G_{\text{дет}}$ – вес детали в кг; K_u – коэффициент использования материала; u_2 – цена 1 кг материала в руб.; g_2 – стоимость 1 часа труда рабочего, занятого в производстве исходных полуфабрикатов для изготовления детали.

Затраты труда на создание оборудования, необходимого для осуществления заданного технологического процесса, выражаются

$$T_{\text{обор}} = (1 - K_3) \frac{u_{\text{обор}}}{g_3 N}, \quad (4.10)$$

где $u_{\text{обор}}$ – цена заказываемого оборудования в руб.; K_3 – коэффициент универсальности оборудования ($K_3 = 0$ в случае применения специального пресса для изготовления деталей данной конструкции; $K_3 = 1$ в случае применения универсального пресса, пригодного для изготовления данной и последующих конструкций деталей); N – количество деталей, узлов, агрегатов, снимаемых с заказываемого оборудования; g_3 – средняя стоимость 1 часа труда рабочего, занятого в производстве оборудования.

Снижение затрат труда, связанных с созданием средств (машин, приборов и другого оборудования) для осуществления заданного технологического процесса, определяется прежде всего степенью универсальности оборудования, его трудоемкостью и металлоемкостью. Придание универсальности оборудованию за счет нормализации его узлов и агрегатов (создание агрегатного оборудования) является тем прогрессивным направлением, которое способствует снижению затрат и придает наибольшую преемственность орудиям производства при смене продукции основного производства. Затраты труда на оборудование определяются в значительной степени также затратами материалов на его изготовле-

ние. Поэтому понятна актуальность борьбы за наименьшую металлоемкость создаваемого оборудования.

Прессы и установки для штамповки резиной, жидкостью или газами представляют большой интерес, являясь одним из характерных видов специализированного оборудования, обладающего большой универсальностью.

Наименьшие прочие затраты труда, включающие затраты на транспортировку изделий в процессе выполнения заданного технологического процесса, и энергетические затраты являются также элементами, входящими в показатель совершенства технологического процесса и уровня производства. Эти затраты должны учитываться в зависимости от их удельного веса при оценке качества проектируемого технологического процесса.

Количественный критерий оценки совершенства и выбора оптимального варианта технологического процесса или метода изготовления детали может быть представлен формулой

$$T_{\text{мехн}} = \pm \left(t_0 + t_{\text{всн}} + \frac{t_{\text{н.з.}}}{n} \right) \pm T'_{\text{изг}} + \frac{1 - K_1}{m} \left(t_{\text{осн}} + \frac{1}{K_2 g_2} G_{\text{осн}} u_1 \right) + \frac{(1 - K_u) u_2 G_{\text{дем}}}{K_u g_2} + (1 - K_3) \frac{u_{\text{обор}}}{g_3 N} + T_{\text{пр}} \quad (4.11)$$

В различных отраслях производства (в зависимости от характера и вида его) удельный вес отдельных видов затрат труда может меняться в общем объеме затрат общественно необходимого труда, но метод оценки совершенства технологического процесса остается при этом неизменным для всех отраслей машиностроения.

Оценка совершенства проектируемого или принимаемого технологического процесса по наименьшим затратам общественно необходимого труда позволяет технологу комплексно учитывать все стороны производства.

Если же два или несколько из сопоставляемых технологических процессов равноценны по затратам общественно необходимого труда, предпочтение, очевидно, должно быть отдано тому процессу, который в большей степени обеспечивает улучшение условий труда рабочего; этот критерий является в данном случае решающим.

Наиболее значительным вкладом в автоматизацию мелкосерийного производства было создание оборудования с программным управлением (ЦПУ и ЧПУ) – металлорежущих станков, промышленных роботов, координатно-измерительных машин (измерительных роботов), и других устройств. Это оборудование легко поддается быстрой переналадке на новый тип деталей путем замены одной управляющей программы на другую.

Поскольку станки с ЧПУ характеризуются более высокой производительностью и стоимостью, чем универсальные станки того же назначения, остро встали вопросы оптимизации их загрузки. Первый опыт их применения показал, что загрузка составляет в среднем 30...35% общего времени работы. Это связано с недостаточным уровнем организации традиционного производства. Повысить загрузку станков с ЧПУ без коренной перестройки производственного процесса и использования ЭВМ не удастся.

Следующим этапом по пути автоматизации мелкосерийного производства стали гибкие автоматизированные системы (ГАП), которые кроме станков с ЧПУ включают устройства для загрузки и транспортирования заготовок, а также системы автоматизированного контроля деталей, диагностики состояния инструмента и оборудования. ГАП управляется от ЭВМ, которая координирует работу систем ЧПУ станков, транспортной системы, роботов и других элементов ГАП.

Металлорежущее оборудование, предназначенное для ГАП, снабжено системами адаптивного контроля. Адаптивное управление значительно снижает трудоёмкость ТПП и повышает производительность труда при обработке.

Для повышения производительности инженерно-технического труда применяются интегрированные производственные системы (ИПС), в которых на базе широкого использования ЭВМ автоматизированы процессы ТПП, используются системы САПР ТП оснастки, инструментального хозяйства и других частей вспомогательного производства.

В ближайшее время развитие технологии в этой области будет идти в направлении углубления степени автоматизации всех уровней производственного процесса и расширения сфер применения ИПС во все виды обработки в машиностроении.

4.2 Оценка технологической себестоимости изготовления в машиностроении

Процесс производства промышленной продукции связан с затратами живого и овеществленного труда (в материалах, средствах производства). Величина этих затрат не может характеризоваться просто рабочим временем. Соизмерение затрат труда различного вида возможно лишь на основе использования закона стоимости. Денежным выражением стоимости является цена продукции.

Основной задачей любого развивающегося общества, любого предприятия является постоянное снижение себестоимости продукции.

При экономическом анализе производственного процесса основным показателем является себестоимость продукции. Она представляет собой денежное или какое-нибудь (например, в человеко-часах или нормо-часах) выражение затрат предприятия на производство единицы продукции. В неё входят материальные издержки производства, зарплата, накладные расходы, налоги и прибыль предприятия.

Отдельные составляющие себестоимости продукции по-разному изменяются при переходе от одного технологического процесса обработки к другому. При выборе того или иного процесса её составляющие различны. Например, при штамповке удельная стоимость технологической оснастки значительно больше, чем при механической обработке резанием. Некоторые из них вовсе не зависят от изменения технологического процесса, другие зависят достаточно сильно.

При анализе экономики технологических процессов рассматривается не вся себестоимость, а так называемая технологическая.

Технологическая себестоимость – часть себестоимости продукции, включающая отдельные расходы, существенно изменяющиеся с изменением технологического процесса.

В практических расчётах принимают:

$$C_{mex} = \sum_{i=1}^m (M + Z + \mathcal{E} + A + П + И + Н + M_p + \dots), \quad (4.12)$$

где m – количество технологических процессов, с помощью которых изготавливается деталь; M – затраты на материал заготовки; Z – затрата на зарплату производственных рабочих; \mathcal{E} – затраты на потребленную энергию; A – амортизационные отчисления; $П$ – расходы на приспособления; $И$ – расходы на инструмент; $Н$ – затраты на наладку; M_p – затраты на расходуемые материалы.

Вообще это не полный перечень статей технологических расходов. В разных производствах в него могут включаться дополнительные статьи, например, затраты на использование ресурсов, расходы на ТПП или программные продукты.

В самолетостроении в технологическую себестоимость включают достаточно большие затраты на содержание производственных помещений сборочных производств. Потребная площадь сборочных цехов (общей и агрегатной сборки) существенным образом зависит от выбранной технологии сборки крупногабаритных деталей (самолетов, вертолетов и их агрегатов).

Точные расчёты этих расходов и затрат весьма трудоёмки и являются предметом курса «Экономика предприятия». Для серийного производства используют упрощённые методы, дающие достаточно точные для практики результаты.

Проанализируем типичный состав затрат, входящих в C_{mex} и их зависимости от параметров техпроцессов.

Расходы на основные материалы и полуфабрикаты M .

Основными материалами и полуфабрикатами называют такие, из которых изготавливаются выпускаемая продукция:

$$M = B_M \Pi_M - B_O \Pi_O, \quad (4.13)$$

где B_M – масса материала заготовки (полуфабриката); B_O – масса отходов; Π_M – цена этого материала; Π_O – цена отходов.

Если стоимость полуфабрикатов, например, поковок, определяется поштучно, то затраты на полуфабрикаты определяют умножением цены на количество использованных штук.

Зарплата производственных рабочих Z .

$$Z = \sum_{i=1}^m t_{шт.-к_i} \cdot Z_{c_i} \cdot K_i, \quad (4.14)$$

где $t_{шт.-к_i}$ – штучно-калькуляционное время i операции; Z_{c_i} – часовая тарифная ставка соответствующего разряда на i операции; K_i – количество рабочих, занятых выполнением i операции.

К затратам на зарплату производственных рабочих обычно прибавляются затраты по социальному страхованию, оплате отпусков, пенсий и налогов. Эти расходы считаются в процентах от зарплаты производственных рабочих. Также поступают и с затратами на зарплату вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала.

Расходы на эксплуатацию оборудования.

Расходы, непосредственно связанные с эксплуатацией оборудования, состоят из расходов на его ремонт (P) и на использованную энергию \mathcal{E}_n :

$$\mathcal{E} = P + \mathcal{E}_n, \quad (4.15)$$

Расходы на ремонт включают в себя зарплату рабочих, производящих ремонтные работы, расходы по эксплуатации оборудования и режущего инструмента в ремонтном цехе, а также на ремонтный материал, комплектующие и запчасти. Для равномерного распределения расходов на ремонт по времени работы производственного оборудования суммируют расходы на все виды ремонта за период ремонтного цикла, т.е. время между двумя капитальными ремонтами, и относят их к единице времени работы оборудования:

$$P'_c = \frac{p \cdot Gr.c.}{Цр.о.}, \quad (4.16)$$

P'_c – расходы на ремонт, приходящийся на 1 мин. работы оборудования; p – расходы на все виды ремонтных работ за период ремонтного цикла для единицы оборудования первой группы ремонтной сложности; $Gr.c.$ – группа ремонтной сложности оборудования; $Цр.о.$ – ремонтный цикл, мин.

Значения p и $Gr.c.$ берутся из нормативов системы планового предупредительного ремонта (ППР).

Расходы на ремонт, приходящиеся на одно изделие, определяют по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^m P'_c \cdot t_{um.i}, \quad (4.17)$$

где m – число анализируемых операций технологического процесса. Следует отметить, что затраты на ремонт оборудования прямо зависят от штучного времени i –операции.

Расходы на затрачиваемую энергию определяются видом потреблённой энергии по формулам, зависящим от вида энергии. Для металлорежущих станков расход электроэнергии складывается из 2-х частей: энергии холостого хода и энергии, затрачиваемой непосредственно на процесс обработки, например, на процесс резания или штамповки.

Общая мощность, затрачиваемая при обработке:

$$N_{эл} = 0,25 \cdot N_y + N_p, \quad (4.18)$$

где N_y – установленная (установочная) стоимость оборудования; 0,25 – коэффициент, учитывающий мощность холостого хода; N_p – мощность, необходимая для осуществления процесса обработки. При обработке резанием она определяется как произведение усилия резания и скорости резания.

Здесь необходимо подчеркнуть, что общая затрачиваемая мощность зависит, в том числе, и от установленной мощности оборудования.

Расходы на электроэнергию:

$$\text{Эн} = \sum_{i=1}^m (0,25 \cdot N_{y_i} + N_{P_i}) \cdot C_{\text{ЭЛ}} \cdot t_{M_i}, \quad (4.19)$$

где $C_{\text{ЭЛ}}$ – цена единицы электроэнергии, руб./кв.-час; t_{M_i} – машинное время работы оборудования на i операции, час. По величине оно близко к оперативному времени t_o .

В общем случае к этой величине прибавляют стоимость затраченной энергии другого вида, например, сжатого воздуха, пара, тепла и т.д., которые рассчитываются по соответствующим нормативам на одну деталь.

Амортизационные расходы A .

В процессе эксплуатации оборудование изнашивается и постепенно утрачивает свои производственные качества. Кроме того, происходит моральный износ, характеризующий отставание оборудования по техническому совершенству от последних моделей. Экономическое возмещение износа оборудования путём постепенного перемещения его стоимости на каждую единицу вырабатываемой продукции называется амортизацией оборудования.

В соответствии со всеми видами износа устанавливается величина годовых амортизационных отчислений, причём в них учитываются и расходы на ремонт оборудования. Эта величина зависит от типа оборудования.

Для универсального оборудования машиностроительных производств руководствуются годовой нормой амортизации:

$$a = \frac{C_{\phi} + P_c - L}{D \cdot C_{\phi}}, \quad (4.20)$$

где C_{ϕ} – полная первоначальная стоимость оборудования; P_c – стоимость ремонта за время его функционирования; L – остаточная стоимость оборудования (стоимость лома); D – срок службы оборудования в годах.

Учитывая, что стоимость ремонта считается по другой статье, а стоимость лома по величине не велика, условно величину ежегодных амортизационных отчислений можно считать по формуле:

$$a' = \frac{C_{\phi}}{D}, \quad (4.21)$$

Если на оборудовании в течение года выполняют работы по изготовлению различных деталей, то сумму годовых амортизационных отчислений разносят по деталям пропорционально длительности операций обработки каждой из них по формуле:

$$A = \frac{a' \cdot t_{\text{ум.к.}}}{K_u \cdot \Phi}, \quad (4.22)$$

где Φ – годовой фонд времени работы оборудования; K_u – коэффициент использования оборудования.

Расходы на приспособления Π .

В расходы на приспособления включается цена покупного приспособления или себестоимость приспособлений собственного изготовления и расходы на его ремонт. Эти расходы распределяются на всю изготовленную в приспособлении продукцию.

Затраты на приспособления:

$$P' = C_{n.n.} + C_{c.n.} + C_{к.р.} \cdot n + C_{с.р.} \cdot n + C_{м.р.} \cdot n, \quad (4.23)$$

где $C_{n.n.}$, $C_{c.n.}$ – цена и себестоимость покупного и собственного изготовления приспособлений соответственно; $C_{к.р.}$, $C_{с.р.}$, $C_{м.р.}$ – расходы на капитальный, средний и мелкий ремонты соответственно; n – количество соответствующих ремонтов.

Расходы на универсальные приспособления, приходящиеся на одно изделие:

$$P_y = \frac{P' \cdot t_{ум.к.}}{T_u}, \quad (4.24)$$

где T_u – срок службы приспособления до полного износа; $t_{ум.к.}$ – штучно-калькуляционное время обработки детали в приспособлении. Общие расходы на приспособление:

$$P = \sum_{i=1}^m P_y + P_c, \quad (4.25)$$

где P_c – расходы на специальные приспособления, отнесенные к одной детали.

Расходы на инструменты I .

Расходы на инструмент включают затраты на изготовление (покупку), переточку, ремонт и его проверку.

Различают универсальный обрабатывающий инструмент, металлический и абразивный, измерительный. Для каждого вида по соответствующим формулам рассчитывают его стоимость на одну деталь. Например, при штамповке взрывом крупногабаритных деталей, для изготовления которых необходим очень дорогой инструмент, стоимость оснастки относят к количеству изготовленных деталей.

$$I = \frac{C_{осн.}}{N}, \quad (4.26)$$

где $C_{осн.}$ – стоимость оснастки. Иногда к ней плюсуют стоимость восстановительного ремонта; N – количество изготовленных на ней или планируемых к выпуску (берётся по статистическим данным) деталей.

Расходы по наладке оборудования H .

Этот вид расходов учитывается в технологической себестоимости лишь в тех случаях, когда на рабочем месте выполняется последовательно несколько операций или выполняется несколько разнотипных деталей, требующих переналадки оборудования.

Расходы по наладке, приходящиеся на одну деталь определяются по формуле:

$$H = \frac{T_H \cdot Z_H}{n}, \quad (4.27)$$

где T_H – продолжительность наладки; Z_H – зарплата наладчиков за единицу времени; n – размер партий деталей, обрабатываемых за время одной наладки.

Затраты на расходуемые материалы M_p .

При изготовлении деталей разными технологическими процессами расходуются разнообразные материалы. При штамповке взрывом - бризантные взрывчатые вещества. При листовой штамповке на прессах - электрические диафрагмы, машинное масло, специальные электроды и т.д. При механической обработке на станках с ЧПУ - магнитные носители, материалы для моделирования процесса, регистрирующие материалы и прочее.

Эти затраты, если они постоянны и соизмеримы с другими статьями затрат, рассчитываются на одну деталь тем или иным способом.

Другие затраты.

В определенных случаях в технологическую себестоимость входят:

- накладные расходы, определяемые в % от зарплаты основных рабочих;
- плата за ресурсы (вода, земля, дороги, транспортные расходы и прочее);
- штрафы за загрязнение окружающей среды;
- прочие расходы, определяемые технологическим процессом обработки.

Технологические методы снижения себестоимости изготовления.

Снижение себестоимости изготовления нужно вести по всем составляющим элементам. При анализе приведенных формул видно, что наибольшее значение имеет производительность труда, так как она определяется затратами времени $t_0, t_M, t_{o.n}, t_{ук.к}, T_u$, входящими сомножителями в формулы соответствующих затрат.

Использование нового высокопроизводительного оборудования, инструмента и специальных приспособлений в проектируемом технологическом процессе всегда ведет к повышению производительности труда. Вместе с тем, применение более совершенных технологических средств, связано с увеличением расходов по эксплуатации оборудования, расходов на инструмент и приспособления.

Проведем качественный анализ суммарного влияния новой техники и некоторых других факторов на себестоимость продукции. Отдельные составляющие себестоимости можно разбить па три группы:

- не зависящие от времени обработки и объёма производства: M, M_p ;
- зависящие только от времени обработки: A_c, P_c, I_c, H, M'_p .

Все расходы, зависящие от времени обработки, имеют сомножителем t_0, t_M или $t_{ук.-к}$.

С известной степенью условности, допустимой для качественного анализа, сумму этих расходов можно записать в виде:

$$(Z^* + P^* + A_y^* + \mathcal{E}^* + P_y^* + I_y^*) \cdot t \quad (4.28)$$

Ту же операцию проведем для третьей группы расходов:

$$\frac{1}{N} (A_c^* + P_c^* + I_c^* + H^* + M'_p) \quad (4.29)$$

Тогда техническую себестоимость одной детали можно определить следующим образом:

$$C_{техн} = M + A \cdot t + B / N, \quad (4.30)$$

где M, A, B – условные группы затрат.

Из формулы видно, что в условиях больших объемов выпуска (больших N) вполне целесообразно применение специального оборудования, специальных приспособлений и инструментов, а также станков специального настроенного типа. Этим достигается резкое снижение t , т. е. повышение производительности труда. Но увеличение расходов группы B компенсируется большим объемом выпуска.

Но на самолетостроительных заводах (и в ряде других отраслей) объемы выпуска ограничены. Поэтому просматриваются два направления снижения технологической себестоимости: искусственное увеличение объемов выпуска (N) – "кооперирование производства"; создание таких конструкций оборудования, приспособлений, инструментов и средств настройки станков, которые по производительности приближались бы к специальным, а по характеру перенесения стоимости на продукцию - к универсальным. Этот метод называется комплексной нормализацией элементов технологического процесса.

Пример: УСП – универсальные сборные приспособления, агрегатные станки и др.

С точки зрения конструктора необходимо стремление к типизации формы детали. Здесь вводится термин "преемственность конструкции" и "технологичность конструкции".

Снижение расходов на материалы и полуфабрикаты.

В самолетостроении стоимость материалов и полуфабрикатов достигает 25...30% стоимости самолета. В автомобилестроении – 25...40%, при производстве тюля – 60%. Поэтому экономия материалов имеет большое значение.

Технолог может влиять на величину всех 4-х составляющих, определяющих расходы на материалы (формула).

Основным направлением снижения является снижение массы заготовки V_M , т. е. максимальное приближение массы заготовки к массе готовой детали. Степень приближения этих величин характеризуется коэффициентом использования материала:

$$K_{им} = (m_0 / m_3) \cdot 100\% , \quad (4.31)$$

Снижение массы заготовки достигается применением прогрессивных процессов пресования, холодной высадки, точной штамповки или специальных видов литья, (табл.4.1).

Таблица 4.1 – Характерные значения $K_{им}$

Вид заготовки	$K_{им}$, %
Прутки, толстостенные трубы, плиты	40...55
Холодная высадка	85...95
Поковки габаритные	3... 10
Поковки фасонные	8...17
Точные горячие отштамповки	55...80
Литье в "землю"	60...80
Литье по выплавляемым моделям	75...95
Прессование панели	75...90
Листовая штамповка	80...95

Другое мероприятие – применение специальных сортаментов материала, выпускаемых в металлургическом производстве.

Цену единицы массы заготовки C_m можно уменьшать путем использования более дешевых материалов, но придавая им заданные качества соответствующей обработкой. Для листового материала его цену можно уменьшить, подбирая лист меньшего размера.

Величину цены отходов (C_o) можно увеличить путем изменения вида отхода. Например, применяя вместо спиральных сверл большого диаметра специальные трубчатые сверла, которые позволяют получить отходы в виде прутка, используемого в дальнейшем. Другим примером может быть прессование спиральной стружки в монолитные таблетки, что повышает цену отходов.

Снижение расходов на ремонт. Статистически установлено, что величина расходов на ремонт за весь период работы оборудования в несколько раз превышает его первоначальную стоимость. Технолог, проектируя техпроцесс, в состоянии влиять на величину $\Gamma_{p.c.}$, выбирая более простое для ремонта оборудование. Значительное влияние на расходы ремонтных служб оказывает штучно-калькуляционное время.

Снижение расходов на энергию \mathcal{E}_n .

Основными путями снижения расходов по этой статье являются следующие:

- повышение КПД оборудования;
- более полная загрузка оборудования по мощности (см. формулу 4.8);
- использование энергии, сообщенной заготовке на предыдущих операциях техпроцесса;
- при листовой штамповке – приложение энергии только в нужных местах;
- уменьшение времени на холостые ходы;
- уменьшение t_m за счет параллельной обработки нескольких поверхностей;
- уменьшение потерь сжатого воздуха, тепла, пара и др.;
- переход на более дешевые виды энергии.

Снижение расходов по амортизации оборудования A .

Статистика утверждает, что для металлообрабатывающего оборудования $A = (0,05...0,2) \cdot C_{mex}$. Для оборудования, в котором используются блоки автоматики и компьютерной техники, эти затраты в два-три раза больше.

Практически снижение этих расходов осуществляется за счет более полного использования оборудования (увеличение K_u в формуле 4.22) и уменьшение t_{um} , расширения номенклатуры деталей, обрабатываемых на данном оборудовании, более полным использованием его технологических возможностей.

Снижение расходов на приспособления Π .

Большие результаты в этом случае дают:

- улучшение использования специальных приспособлений;
- уменьшение числа специальных приспособлений;

- при сборке – расширение фронта работ – параллельная работа нескольких рабочих; уменьшение износа приспособлений;
- применение универсальных сборных и универсальных наладочных приспособлений (УСП и УНП), которые собираются по принципу детской игрушки "Конструктор". Их использование экономически выгодно уже при изготовлении в них 3...4 типоразмеров деталей.

Снижение расходов на инструмент I .

Универсальный инструмент выбирается с учетом влияния этих расходов на себестоимость. В этом случае чаще приходится решать такую задачу: более дорогой инструмент – выше скорость обработки, меньше $t_{ум}$ и наоборот.

Специальный инструмент следует выбирать более простой конфигурации. Унификация приводов инструмента (электрический, пневматический) дает положительные результаты.

Хорошие результаты дает получение специального инструмента путем переточки универсального.

Снижение расходов по наладке оборудования H .

Основными направлениями снижения этих расходов являются:

- уменьшение времени наладки;
- уменьшение точек наладки;
- применение специального инструмента при наладке.

4.3 Выбор варианта технологического процесса, обеспечивающего минимальную себестоимость

Суммарные расходы на изготовление заданного количества деталей (изделий), входящие в технологическую себестоимость, можно разделить на две группы:

- равномерно нарастающие по мере выпуска продукции: $M, Z, Э, A, П_y, И_y$. Все они изменяются пропорционально объему выпуска продукции;
- изменяющиеся скачком через определенное количество изготовленных деталей (изделий): $П_c, И_c, H, M_p$. Такое изменение объясняется тем, что определенное количество деталей невозможно изготовить с помощью одного комплекта штамповой оснастки, специального приспособления и т. д. в заданный промежуток времени. Поэтому приходится увеличивать число комплектов приспособлений, инструмента, число наладок и прочее.

Графически нарастание разных затрат в зависимости от объема выпуска (N) или времени показано на рисунке 11.1.

Изменения технологических расходов первой группы в зависимости от объема выпуска или во времени – это прямые линии, начинающиеся в нулевой точке (рис 4.2, а). Расходы второй группы изменяются ступенчато, т.к., скажем, через каждые 500 шт. деталей требуется одна наладка станка, но между ними наладок нет и соответственно нет затрат. Поэтому линии, соединяющие эти точки, горизонтальны (рис. 4.2, б). Изменение

суммарных затрат ,т.е. технологической себестоимости, показано на рис. 4.2, в. По первому варианту техпроцесса существуют минимальные начальные расходы P_0^1 , но относительно быстро возрастает технологическая себестоимость с увеличением объема выпуска деталей.

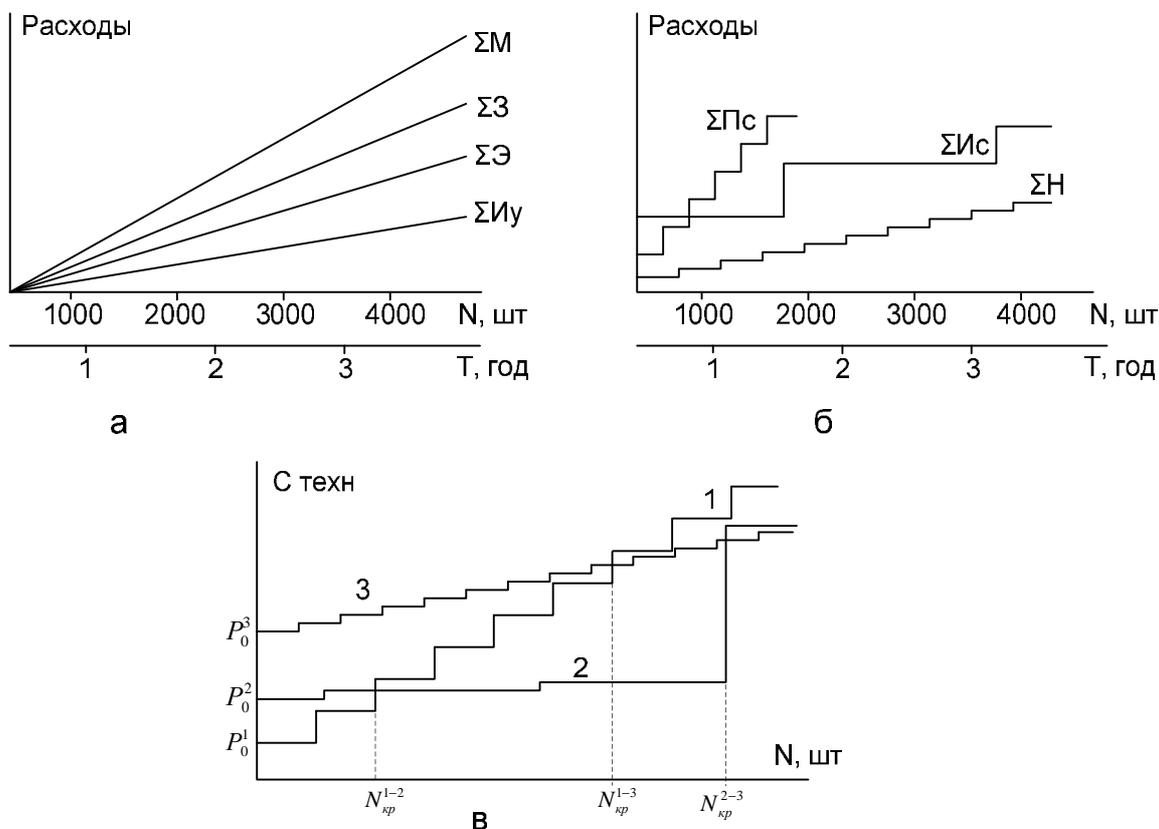


Рисунок 4.2 – Графики изменения технологических расходов в зависимости от объема выпуска деталей: а – изменение затрат первой группы в формуле 4.29; б – изменение затрат второй группы в формуле 4.29; в – изменение технологической себестоимости изготовления детали по 1, 2, 3 вариантам техпроцессов: P_0^1, P_0^2, P_0^3 – начальные расходы по соответствующим техпроцессам.

Для третьего варианта техпроцесса характерны относительно большие начальные расходы P_0^3 , но медленное их возрастание в дальнейшем.

В точках $N_{кр}^{1-2}, N_{кр}^{1-3}, N_{кр}^{2-3}$ эти графики пересекаются. Объемы выпуска деталей, в которых технологическая себестоимость по соответствующим техпроцессам равна, называются критическими. При необходимом объеме меньше критического вариант технологического процесса экономически целесообразен. В конкретном случае (рис 4.2, в) первый вариант технологического процесса экономически оправдан только при $N < N_{кр}^{1-2}$, второй вариант – при $N_{кр}^{1-2} < N < N_{кр}^{2-3}$. При больших объемах выпуска преимущество имеет третий вариант техпроцесса.

При сравнении вариантов техпроцесса не всегда нужно сравнивать все расходы по составляющим технологической себестоимости. Следует учитывать только те расходы, которые изменяются в различных вариантах техпроцессов.

При выборе технологического процесса следует учитывать, что экономичность новых прогрессивных процессов изготовления по мере их освоения повышается, и процессы, нерентабельные в настоящее время, могут оказаться рентабельными в дальнейшем.

Минимальная себестоимость изготовления не является единственным экономическим критерием выбора технологического процесса. Кроме неё следует учитывать другие показатели:

- для сборочных процессов крупногабаритных изделий большое значение имеет показатель использования производственных площадей;
- соображения сокращения ТПП играют важную роль;
- качество и надежность получаемых деталей зачастую определяют выбор технологического процесса. В этом случае в понятиях "качество и надежность" учитывается вес листовых деталей, их усталостная прочность, наличие или отсутствие остаточных напряжений и т. д.;
- вопросы экологии производства;
- расходы природных ресурсов (вода, воздух и т. д.).

4.4 Технологические пути обеспечения качества: точность и взаимозаменяемость

Под качеством машины понимается совокупность свойств и показателей, определяющих ее пригодность для удовлетворения потребностей в соответствии с назначением. Для его оценки используются группы показателей:

- показатели надежности;
- показатели технологичности;
- показатели точности и взаимозаменяемости;
- эргономические показатели (гигиенические, антропологические, физиологические, психологические и т. д.);
- показатели технической эстетики;
- показатели унификации и стандартизации;
- показатели патентной чистоты;
- и т. д.

Показатели качества могут быть частными, комплексными и интегральными. Например:

- частный показатель надежности – наработка на отказ;
- частный показатель технологичности – удельная трудоемкость.

Комплексный показатель – уровень технологичности конструкции. Наука о методах количественной оценки качества – квалиметрия.

Уровень качества – показатель, влияющий на экономику: высокое качество – меньше потребление товара; низкое качество – никто не покупает. Поэтому остро встает проблема оптимального качества.

В настоящее время разработана единая система управления качеством, основной задачей которой является разработка научных основ планирования параметров качества. Для оценки качества самолетов применяют показатели:

- соответствие действительной характеристики самолета тактико-техническим требованиям;
- соответствие совокупности действительных показателей качества совокупности базовых показателей (по трудоемкости, по себестоимости, по отказам и др.);
- отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации самолета к суммарным затратам на изготовление и эксплуатацию (стоимость перевозки 1 кг груза);
- другие показатели.

Из множества показателей качества рассмотрим некоторые технологические пути достижения качества машин.

Обеспечение точности размеров.

Под точность геометрических размеров машины в целом или отдельных узлов и деталей понимается степень соответствия их действительных значений значениям, заданным проектом.

Известно, что изготавливать абсолютно одинаковые детали ни с технической, ни с экономической точек зрения невозможно. Деталь считается годной, если ее размеры находятся в определенных пределах.

Например: задан диаметр детали $\varnothing 40^{+0,25}_{-0,1}$. Допуски задаются на все размеры: линейные, угловые, формы, расположения поверхностей. Значит, все детали с размерами от $\varnothing 39,9$ $\varnothing 40,25$ будут годными.

Структура погрешности геометрических параметров

Погрешности геометрических параметров можно классифицировать по разным признакам (рис.4.3):

- по источникам и причинам их возникновения;
- по физическим явлениям, обуславливающим их появление (упругие деформации от сил резания, тепловые деформации, износ и т. д.);
- по другим признакам.

Эти погрешности необходимо учитывать при разработке технологических процессов. Следующим важнейшим признаком качества является качество поверхностного слоя детали. Параметры, определяющие этот признак, способы их достижения рассматриваются далее в курсах резания и метрологии.

Различные методы достижения точности сборки

Задачи, связанные с достижением требуемой точности машин и их механизмов на всех этапах их создания (проектирование, изготовление, сборка), решаются с помощью размерных и кинематических цепей.

В зависимости от типа производства различают пять методов достижения точности замыкающего звена при сборке: 1) полной взаимозаменяемости; 2) неполной (частичной) взаимозаменяемости; 3) групповой взаимозаменяемости; 4) регулировки; 5) пригонки.

В основном применяют первые два метода, обеспечивающих взаимозаменяемость при сборке с наименьшими затратами труда.



Рисунок 4.3 Схема классификации погрешностей

5 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВИАСТРОЕНИЯ

5.1 Современное понятие о точности в машиностроении

В производстве авиационнокосмической техники общемашиностроительные требования к точности изделий проявляются в более жестком виде, что обуславливается особенностями ее эксплуатации. К ним относятся:

- необходимость соблюдения высокой точности аэродинамических форм, определяющих летно-технические характеристики изделий;
- соблюдение аэроупругости несущих поверхностей, которые имеют большие и очень большие размеры;
- получение высоких значений удельных показателей прочности и жесткости, расходу топлива, несущей способности и других характеристик качества;
- высокая технологичность конструкции и ее эксплуатации всего изделия и отдельных узлов, определяющих экономическую эффективность использования техники при заданном относительно небольших объемах производства.

Высокие требования к точности позволяют обеспечивать высокую конкурентоспособность техники. Достаточно полно этот тезис раскрывается в работе [14].

Под точностью понимают степень соответствия параметров отдельных характеристик готового изделия, определенных значением этого параметра, заданным по чертежу. Такое значение является эталонным.

Поскольку характеристик каждого изготовленного изделия, как правило, много, то из большого их количества отбирают те показатели точности, которые играют решающую роль в оценке качества изделия. Так, точностные показатели изделий могут относиться к массе изделия, напряжениям, шероховатости поверхности, отражательной способности поверхности и др. Однако в технологии авиастроения наибольшее распространение имеют геометрические показатели точности.

Так как ни одна характеристика изделия не может иметь абсолютного значения, непременным условием оценки точности является установление допустимых отклонений значений характеристик. Эти отклонения формируют допуск. Допуск представляет собой разности между двумя предельными допустимыми значениями характеристик. Различают функциональные, конструкторские и технологические допуски. Первые устанавливают исходя из надежного функционирования машины. Сюда, например, могут быть отнесены допуски на размеры проходных сечений жиклеров, форсунок, трубопроводов, формы самолета в целом, а также его агрегатов и др. Конструкторский допуск регламентирует изменение различных параметров изделия, в том числе технических, за жизненный цикл детали или изделия.

Назначение технологических допусков в технологии машиностроения еще не нашло должного развития. Если функциональный или конструкторский допуск имеют вполне определенное и единственное значение, устанавливаемое на рабочих чертежах в виде чисел (количественное представление), то технологические допуски имеют множество значений, соответствующих построению конкретного операционного технологического процесса.

Такие допуски относятся прежде всего к размеру, форме и взаимному расположению поверхностей деталей.

Поскольку после каждого технологического перехода или операции возникают свои геометрические (и иные) параметры, то они должны иметь свои технологические промежуточные размеры и допуски. Их определяют на основе методики расчета припусков по переходам. Промежуточные размеры необходимы для конструирования технологической оснастки, применяемой в ходе изготовления детали. Так, базирующие элементы кондукторов определяют исходя из промежуточных размеров и допусков. Например, первый кондук-

тор конструируют исходя из размеров и допусков на начальной технологической операции, а второй кондуктор для изготовления той же детали, но на конечных операциях конструируют и изготавливают на основе совершенно других данных.

Понятие точности должно быть непременно связано с функционированием технологической системы. Такая система – станок – заготовка – инструмент – оснастка непременно должна быть замкнутой. Разомкнутая система не может характеризовать точность. Не является правомерным утверждение о том, что точность детали определяется точностью металлорежущего станка. Все элементы системы переносят свои свойства и особенности на изготавливаемую деталь. Приоритет «станочной составляющей» точности был характерен для первой половины XX века. Но за весь век точностные параметры изделий ужесточились примерно в 2000 раз. На первый план выходят тепловые, динамические и другие показатели технологических систем, регламентирование отклонений формы и взаимного расположения поверхностей. Особое значение такая постановка проблемы имеет при рассмотрении «технологической составляющей» почти всех этапов жизненного цикла изделия, а также при создании виртуальных производств, этапы которых должны рассматриваться с позиции технологических и информационных систем.

Это важно для самолетостроения, в котором удельный вес механически обрабатываемых деталей постепенно увеличивается. Ранее изготавливаемые сборными лонжероны, панели обшивки, шпангоуты и др. в настоящее время изготавливаются целю фрезерованными. Это стало возможным благодаря широкому использованию агрегатных станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, оснащенных современными системами управления.

Рассмотрение единичной поверхности изготавливаемой детали и оценка точности по важнейшим показателям, безусловно, необходимы. Вместе с этим становится наиважнейшей в научном плане оценка системы взаимосвязей поверхностей изготовленной детали. Совокупное представление поверхностей дает единственно правильное понимание роли конкретной детали в собранной машине. Так, достижение с высокой геометрической точностью показателей шейки вала, а также обеспечение малой шероховатости вполне могут быть обесценены, если не будут оговорены характеристики опорных торцев вала и методы обеспечения малых отклонений от плоскостности торцев к оси вала. Это, в свою очередь, может потребовать системного подхода и к другим поверхностям того же вала.

Во многих случаях оценка точности изделий проводится с помощью размерного анализа. Методика такого анализа разработана детально для многих технологических решений. Измерительная аппаратура позволяет определять размеры с высочайшей точностью не только непосредственным измерением, но и дистанционная оценка размеров в трехмерном пространстве дает возможность в должной мере развивать компьютерную литографию. В связи со сказанным важнейшей задачей является переход к более полной оценке отклонений формы и взаимного расположения поверхностей объектов. Чрезмерное увлечение чисто размерным анализом может только затормозить развитие проблемы точности в авиастроении. Необходимо все методические положения размерного анализа распространять на смежные области точности машиностроительных изделий.

Еще одна особенность технологических допусков относится к операциям сборки. Сборку нельзя себе представить без силового взаимодействия сопрягаемых деталей. Силы и моменты сил, возникающие на операциях сборки, непременно деформируют детали. Эти деформации могут быть как малыми, так и такими, которые выводят детали за пределы допусков. Необходима оценка возникающих деформаций, т.е. погрешностей. Деформированная деталь предстает совершенно в новом свете, поскольку нарушаются поверхности контактов, возникают кромочные явления и целая серия отклонений от геометрических образцов, представленных на рабочих чертежах деталей. Так возникает еще одна серия технологических допусков. Методика оценки таких допусков, их зависимость от

технологических факторов и регламентирование значений факторов на многих машиностроительных фирмах содержатся в секрете. Решение же рассмотренной проблемы в последнее время связано с компьютерной поддержкой принимаемых технологических решений. Собственно технологические решения позволяют при правильном осмыслении физической картины явления повысить точность по многим параметрам, не прибегая к дополнительным материальным затратам.

Причины, вызывающие отклонения различного характера в ходе изготовления деталей, практически действуют одновременно. Все эти погрешности как бы аккумулируются на детали. Годность же самой детали проверяют соответствием параметров реальных поверхностей и параметров материала, которые к моменту контроля сформировались в результате технологических воздействий.

Особо оговаривается экономическая составляющая достижения заданной точности. Не существует линейной зависимости между стоимостью машины и величиной достигаемой точности. Например, если металлорежущий станок токарной группы имеет при его нормальной точности отклонение между осями шпинделя и отверстия задней бабки Δ мм, то он стоит N у.е. Станок же с отклонением $0,25 \Delta$ стоит $100N$ у.е. Такие соотношения допустимых отклонений и стоимости считаются нормальными. В ряде случаев размерная цепь, составленная из прецизионных деталей, не дает необходимой точности замыкающего звена. Дальнейшее увеличение точности составляющих звеньев не дает ощутимого результата, а стоимость изделия резко возрастает. В таких случаях на сборке используют метод пригонки, иногда требующий, в свою очередь, некоторого изменения конструкции изделия.

Метрологический аспект рассмотрения проблемы точности требует особого внимания. Даже определение отклонения от прямолинейности, когда измерение проводится только по одной трассе, оказывается в производственных условиях операцией, требующей больших затрат времени и средств. Сама методика определения данного отклонения предусматривает рассмотрение нескольких величин, полученных измерением, и определения наименьшего из них. Аналогичное замечание необходимо отнести к определению отклонения от плоскостности.

Специальных методик требует определение отклонений от цилиндричности и от конусности.

Оценка точности машиностроительных изделий по параметрам параллельности, перпендикулярности, симметричности и др. может потребовать специальной измерительной аппаратуры, часто использующей электронику и оптику. Предпочтение следует отдавать таким измерительным средствам, которые имеют самопишущие устройства. Соответствующая диаграмма измерений является объективным свидетельством достигнутой точности. Здесь на первом месте стоят кругломеры, которыми снабжены многие машиностроительные предприятия, выпускающие точные изделия. На кругломерах определяют отклонения от крутости наружных цилиндрических и конических поверхностей, а на некоторых моделях кругломеров - отклонения от прямолинейности образующих. Собственно отклонение от круглости определяют по шаблону, налагаемому на круглограмму, выполненную самописцем.

Анализ проблемы точности и ее динамики приводит к выводу, что в текущем веке все параметры точности в машиностроении будут ужесточаться еще больше. В ряде стран введено понятие «нанотехнология», предусматривающее как изготовление, так и измерение параметров, прежде всего геометрического характера с точностью до одной миллиардной метра. Образно говоря, нанотехнология призвана сменить микротехнологию.

Принципиальным является вопрос о характере обеспечения заданной точности. Режущие инструменты в виде клина уже не могут выполнять заданный размер, так как режущая кромка лезвийного или абразивного инструмента имеет скругление. Поэтому часть

материала сходит по передней грани инструмента, а другая часть сглаживается тем же инструментом на поверхности заготовки. На смену таким методам достижения точности, т.е. в противовес методу удаления массы материала, приходит метод нанесения материала в виде тончайших слоев с размерами в нанометрах. Одновременно следует отметить, что собственно нанесение таких слоев позволяет буквально конструировать заготовку, когда на смену слоя из определенного материала приходит другой слой, скрепленный с первым. Если необходимо, создаются оксидная, нитридная и другие зоны или слои заготовки.

Развитие нанотехнологии сопровождается одновременным созданием различных микромашин, требующих высокой точности. По японским и швейцарским данным, такие машины представляют собой миниатюрные насосы для перекачки крови из одного сосуда в другой, роботы, выполняющие медицинские операции внутри полостей человеческого организма, и другие устройства. Точность частей таких механизмов требует, в свою очередь, создания миниатюрных металлорежущих станков. Сообщается, что уже созданы токарные станки со станинами всего в несколько десятков миллиметров и двигателем мощностью в 3 Вт. На таких станках возможно обтачивание валов диаметром до 0,6 мм. Также созданы фрезерные станки высотой, несколько превышающей 100 мм. Во всех случаях создание новых машин, устройств, оборудования диктуется самой жизнью, но непременно связано с ужесточением параметров точности.

Основные термины и определения в области точности, допусков и посадок устанавливаются ГОСТ 25346-89.

Вал – термин, применяемый для обозначения наружных(охватываемых) элементов деталей. Основной вал - вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Отверстие – термин, применяемый для обозначения внутренних (охватываемых) элементов деталей. Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

Размер – числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т.д.) в выбранных единицах.

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Предельные размеры – два предельных допустимых размера, между которыми должен находиться (или который может быть равен) действительный размер.

Наибольший предельный размер – больший из двух предельных размеров.

Наименьший предельный размер – меньший из двух предельных размеров.

Номинальный размер – размер, относительно которого определяют предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений.

Верхнее предельное отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами.

Нижнее предельное отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладывают отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные вниз.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим допустимыми предельными размерами.

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним предельными отклонениями.

Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии.

Посадка – характер соединения деталей, определяемый получающимися в нем зазорами или натягами.

5.2 Точность заготовок

Во многих случаях заготовку выбирает конструктор детали. Такой выбор уже отражается в рабочем чертеже. Так, очень четко можно по форме детали (характерные размеры, ребра жесткости, перемычки и пр.) определить, что ее заготовка отливается или штампуется. Такому выбору способствует также и указание на материал детали. Так, литую заготовку из чугуна или силумина нельзя спутать со стальной заготовкой, выполненной из проката.

Если указанные данные в рабочих чертежах отсутствуют (что прежде всего относится к форме), то технолог сам назначает заготовку и отражает в технологической документации все ее особенности. Во всех случаях точностные параметры заготовок связываются с функциональным назначением детали, изготовленной из заготовки. Ряд точностных требований указывается на рабочих чертежах в технических условиях.

В мировой практике существует тенденция изготавливать заготовки, конфигурации которых оказываются близкими к детали. Такая тенденция диктуется возможностью последующей разработки коротких технологических цепочек, в которых сравнительно часто отсутствует лезвийная обработка различных поверхностей. Конфигурация и точностные геометрические показатели обеспечиваются только шлифованием. Однако вместе с этим

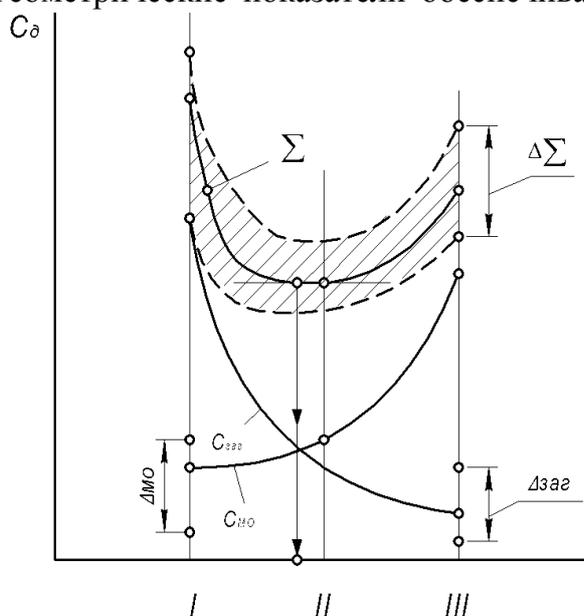


Рис. 2.1 – Графики для определения стоимости деталей, выполненных из заготовок различной точности: $C_{заг}$ – стоимость изготовления заготовки; $C_{МО}$ – стоимость механической обработки; *I, II, III* – варианты степени точности. Σ – суммарная стоимость изготовления детали

необходим экономический анализ стоимости заготовок высокой точности, поскольку необходимы затраты на точные штампы, пресс-формы, кокили и пр.

Эту ситуацию рассмотрим на основе рис. 5.1. Стоимость детали - C_d - оказывается различной при использовании заготовок: *I* - наиболее точной, *II* - средней точности и *III* - наименьшей точности. Стоимость механической обработки (МО), естественно, увеличивается при использовании менее точных заготовок. Однако стоимость заготовок с уменьшением их точности, наоборот, падает. Суммарная кривая Σ имеет минимум, который указывает на наиболее целесообразное использование заготовок с позиции стоимости детали. Рассеяние значений стоимости заготовок - $\Delta_{заг}$ и механической обработки - $\Delta_{МО}$ приводит к рассеянию значений $\Delta\Sigma$ но принципиально картину не изменяет.

Минимум на кривой Σ обязателен, однако его расположение вдоль горизонтальной оси графика зависит от конкретных условий производства. В связи с общим удорожанием производства наблюдается более резкое удорожание

точных заготовок. На рис. 5.2, а показана стоимостная картина, характерная для прошлых лет, а на рис. 5.2, б - для настоящего времени. Удорожание точных заготовок приводит к смещению минимума стоимости детали вправо, что означает более широкое использование менее точных заготовок. Это обстоятельство противоречит мировой тенденции стремления к точным заготовкам и, по-видимому, является временным.

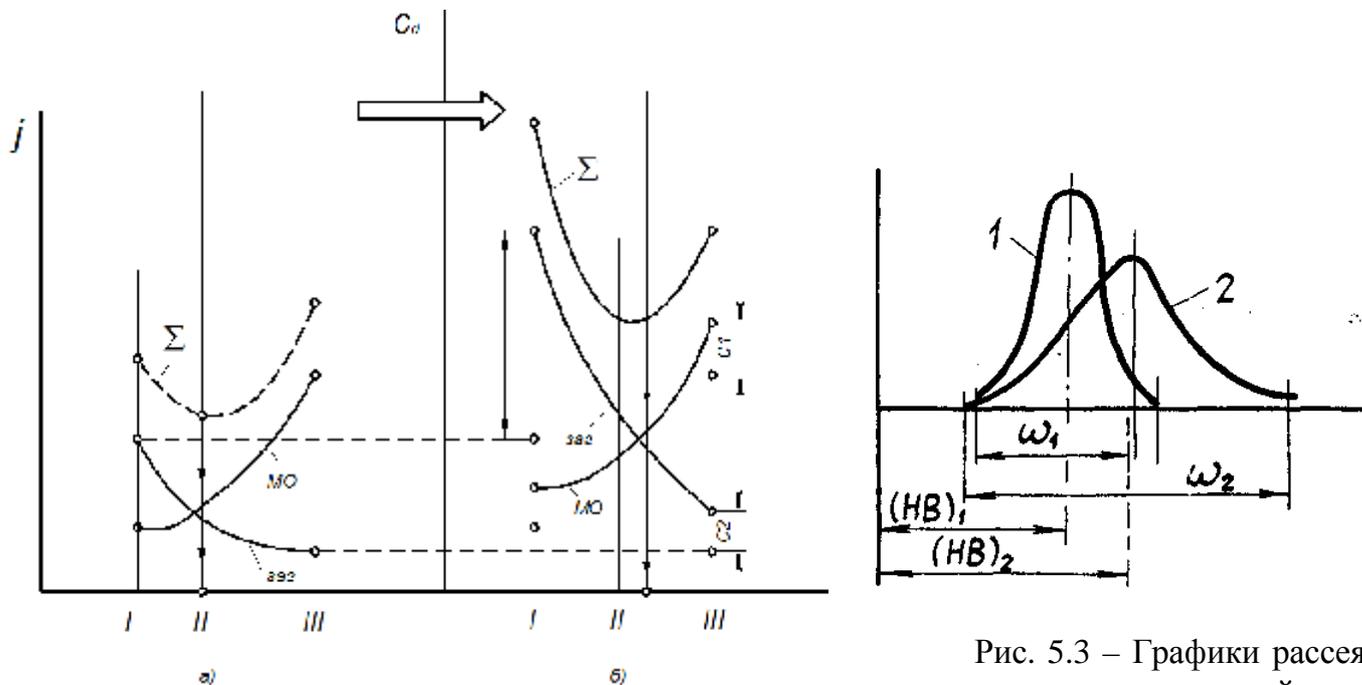


Рис. 5.3 – Графики рассеяния твердости у двух партий заготовок, отличающихся твердостью поверхности

Рис. 5.2 – Графики уточнения стоимости детали при разном характере ее изменения в зависимости от степени точности

У заготовок показатели точности физико-механического характера также отражают состояние производства. Особое внимание обращается на рассеяние показателей точности. Чаще всего это относится к твердости поверхностных слоев и сердцевины заготовок и напряжениям поверхностных слоев. Сравним, например, две партии заготовок по параметру твердости, колебание которой (точность) оговаривается в состоянии поставки (рис. 5.3). Партия заготовок 1 имеет рассеяние, которое характеризуется соответствующей кривой распределения. Поле рассеяния - ω_1 - количественно показывает допустимое отклонение по твердости. Аналогичные показатели отмечаются и у партии 2. Математическое ожидание $(NB)_2$ оказывается выше, чем $(NB)_1$. Средняя твердость второй партии заготовок выше. Тем не менее на этом основании не следует считать партию 2 более качественной, чем партию 1. Возможен обратный вывод: более качественной является партия 1, поскольку точность ее по параметру твердости выше. Аналогичный подход правомерен и к другим показателям заготовок и материалов для них. Распространены методы входного контроля заготовок не только по геометрической точности, но и по неметаллическим включениям, даже с указанием вида таких включений. Допустимые отклонения указываются в виде полей рассеяния (предельные значения).

Для процессов листовой штамповки аналогично рассматриваются параметры: пределы прочности и пластичности, относительных равномерных удлинений и сужений и др.

Наиболее полно взаимосвязь этапов разработки технологических процессов по пересмотру точности наблюдается, естественно, на примере геометрических параметров. Известно, что из заготовки, например, вала, имеющей больший диаметр, изготавливается и вал наибольшего диаметра. Это же явление характерно для других классов деталей. Во всех этих случаях наблюдаются явления копирования, т.е. частный случай технологического наследования. В большинстве же случаев самые разнообразные свойства заготовок передаются на изготовление детали по более сложным зависимостям, сам же факт передачи является объективным физическим законом.

Особый вид погрешностей заготовок - пространственные отклонения поверхностей. Эти погрешности - взаимного расположения и сюда относятся отклонения от перпендикулярности поверхностей, отклонения от параллельности, соосности, симметрии и др. Точ-

ность таких заготовок определяют по специальным нормам, регламентируемым стандартами. В этом случае также проявляется технологическая наследственность. Количественные же показатели точности ощутимо сказываются на величинах припусков на механическую обработку.

Рассмотрим один важный момент, когда геометрическая точность заготовок практически не играет роли. Такая ситуация может оказаться характерной для предприятия с серийным типом производства и сравнительно большими объемами годового выпуска. На рис. 5.4 показаны три заготовки для изготовления зубчатого колеса. В зависимости от величины партии колес выбирается определенный вид заготовок – от самой сложной – 1 до простейшей - 3. Однако если величина партии колес очень велика, стоимость каждой очень сложной заготовки уменьшается. При этом затраты на такие заготовки оказываются меньше, чем затраты на изготовление оснастки и механическую обработку заготовок для колес 2. Поэтому на предприятиях компонуют схожие по конфигурации заготовки для последующего изготовления самых разных деталей, выполняют одну-, единственную заготовку сложной формы. Такая заготовка может оказаться близкой к форме готовой детали. Вместе с тем вопрос о геометрической точности таких заготовок снимается вовсе, равно как и оценка технологического процесса по коэффициенту использования материала. Общая же выгода от использования таких заготовок оказывается весьма ощутимой.

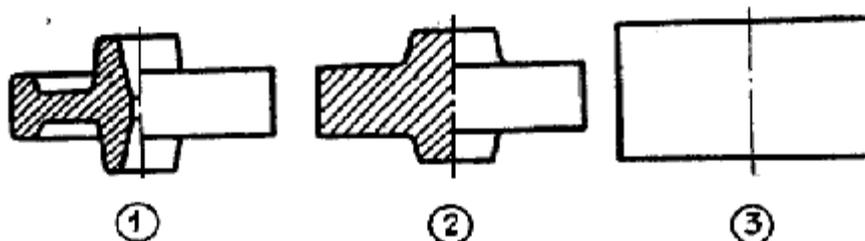


Рис. 5.4 – Различные формы заготовок для изготовления зубчатого колеса

Несмотря на неоспоримые достижения мировой практики в деле создания новых и рационального использования оригинальных комбинированных заготовок, основу заготовительного производства определяют заготовки литые, полученные методами обработки давлением, сварки, порошковой технологии.

Точность литых заготовок существенно зависит от метода их получения. При ручной формовке с использованием песчаных смесей масса заготовок не ограничивается. Такие заготовки выполняют из чугуна, стали, цветных и алюминиевых сплавов. Толщины стенок у чугунных заготовок, а также цветных материалов может быть ограничена 3 - 8 мм. Для стальных заготовок она доходит до 5 - 8 мм.

При машинной формовке точность заготовок повышается, но масса их ограничивается до 10 т. Использование специальной оснастки для сборки стержней точность заготовок может быть еще больше повышена, но и масса их ограничивается до 3 - 5 т.

Литье в оболочковые формы ограничивает массу заготовок до 0,15 т, но толщины стенок отливок могут быть уменьшены до 3 - 5 мм из стали и 1 - 1,5 мм из алюминиевых сплавов. Такой же массы заготовки достигают при литье по выплавляемым моделям. Толщина стенки может доходить до 0,5 мм при обеспечении сложной формы отливки из сталей и труднообрабатываемых материалов.

Для деталей, имеющих форму тела вращения, удобно применить центробежный метод отливки для таких материалов, как чугун, сталь и цветные сплавы. Масса отливки колеблется в интервалах 0,01 — 1 т с достижением толщин стенок 5-8 мм.

Если партия заготовок не менее 300 шт., целесообразно литье в кокиль. Масса отливок колеблется в пределах 0,25 - 7 т, но допустимая минимальная толщина стенок увеличивается и достигает для алюминиевых сплавов 3 мм, стали 10 мм и чугуна 15 мм.

Для сплавов из цветных металлов при больших партиях заготовок успешно используют метод литья под давлением. Масса заготовок в этом случае достигает 0,1 т при минимальной толщине стенок 0,5 мм.

Допуски линейных размеров отливок зависят от их номинальных размеров, а также класса точности отливок и оговариваются в каждой стране, а в отдельных случаях и на фирмах (особо). Так, в России для интервалов номинальных размеров от 4 до 10 000 мм стандартом предусматривается 16 классов точности, но есть и дополнительные классы точности. Стандарт соответствует международному стандарту ИСО 8062-84. Стандарты регламентируют способы литья, наибольшие габаритные размеры отливки, типы металлов и сплавов, а также достигаемую шероховатость.

Точность заготовок, получаемых обработкой давлением, также зависит от метода их получения. Очень крупные поковки (массой до 250 т) сравнительно простой формы получают на молотах и прессах. Материалами таких повок являются углеродистые и легированные стали и специальные сплавы. Если для этих же материалов использовать подкладные кольца и штампы, то при тех же толщинах стенок удастся получить более сложные заготовки, но масса их ограничивается и доходит до 10 кг.

Заготовку в виде ступенчатых тел вращения удобно получать на радиально-ковочных машинах из прутка или трубы при сохранении тех же толщин стенок.

Штамповка на молотах и прессах увеличивает точность заготовки, особенно с последующей калибровкой. В этих случаях удается получить толщину стенки до 2,5 мм. Однако при извлечении штампованной заготовки из штампа возникают деформации в виде погрешностей формы и расположения.

Сравнительно простые по форме заготовки получают на горизонтально-ковочных машинах. Метод применяется для сталей и цветных сплавов для заготовок массой до 0,015 т с достижением толщин стенок до 2,5 мм. Для получения заготовок сравнительно простой формы преимущественно в виде тел вращения и диаметром до 200 мм применяют также метод выдавливания. Он используется как для углеродистых, так и легированных сталей, а также специальных и алюминиевых сплавов.

Штамповка на чеканочных криволинейно-коленных прессах позволяет получать заготовки массой до 0,1 т. Однако в этом случае точность заготовок оказывается на 25 - 30 % выше, чем при изготовлении на молотах.

Холодная высадка на автоматах позволяет с большой производительностью получать заготовки размером 1 - 30 мм преимущественно в виде тел вращения. Она используется для сравнительно широкого круга материалов.

Справочная литература располагает достаточно полными данными о точностных показателях заготовок. При разработке технологических процессов с использованием таких заготовок необходимы соответствующие коррективы. Таковыми являются размеры заготовок, расположение плоскости разъема штампа, степень сложности заготовки, особенности оборудования, износ штампов и оборудования и т.д.

Методом холодной штамповки получают заготовки из листового материала. Такой материал поставляют в виде полос и ленты. Точность листовой штамповки в совмещенном штампе $\pm (0,02 \dots 0,08)$ мм, в последовательном $\pm (0,1 \dots 0,3)$ мм и в раздельном $\pm (0,3 \dots 0,5)$ мм.

Для повышения точности заготовок, получаемых методом обработки давлением, применяют правку. Она устраняет искривления и коробление заготовок. Правку производят в горячем и холодном состояниях. Однако применительно к прецизионным изделиям правки заготовок стараются избегать вовсе, так как через некоторое время после нее заготовка (или деталь) имеет тенденцию вернуться в исходное состояние. Величину такой деформации оценивают особо.

Весьма распространены заготовки из проката. Круглый прокат, точностные характеристики которого приводятся в справочной литературе, используют в единичном и мелкосерийном производстве, а для среднесерийного, крупносерийного и массового производства прокат является исходной заготовкой для штамповки. Прутковый материал, полученный прокаткой и волочением, находит применение и в массовом производстве. Органическим недостатком таких заготовок является кривизна проката. Правка таких заготовок вполне допустима. Проведение этой операции на валках обеспечивает уменьшение кривизны оси проката до 1 ... 2 мм на длине 1 м.

К числу прогрессивных справедливо относят заготовки из периодического проката. Детали типа валов, изготовленные из указанных заготовок, представляют собой участки длинных штанг переменного профиля. Собственно заготовка получается разрезкой штанги на части. Шейки предполагаемого вала предпочтительно не обтачивать на станках, а сразу шлифовать. При этом предпочтение отдается одновременному шлифованию нескольких шеек вала. Прочие же поверхности валов не обрабатывают вовсе. Примером таких деталей являются полуоси автомобилей.

Прокат тел вращения является наиболее прогрессивной заготовкой (например, заготовки для колес железнодорожных вагонов и др.). В этом случае показатели точности заготовок (включая физико-механические характеристики) выдерживаются в достаточно жестких пределах.

Фасонные профили, особенно из цветных сплавов, являются промежуточными заготовками для создания сложных штампо-сварных или клепанных конструкций. Соответствующая заготовка определенного профиля изгибается, и несколько заготовок свариваются для последующей механической обработки резанием. Аналогичным способом создают штамполитосварные заготовки. Во всех случаях разработки технологических процессов с использованием заготовок точностные характеристики являются той основой, которая позволяет логически переходить от одной технологической операции к другой.

Все большее распространение получают заготовки, изготовленные на основе порошковой металлургии. В этом случае возможно также получение готовых деталей, так как точность их отдельных элементов соизмерима с точностью деталей, полученных методами резания на металлорежущих станках. При изготовлении рассматриваемых заготовок характерны три стадии: получение порошков, прессование и спекание. При этом операции прессования и спекания могут быть совмещены. Отдельные заготовки пропитывают расплавленным металлом. Для повышения точности заготовки калибруют.

Основным показателем точности физико-механических характеристик таких заготовок является их плотность, выражаемая в процентах. Эти точностные показатели находятся в прямой зависимости от функционального назначения детали. Для различных условий изготовления указанные характеристики дают в справочной литературе по порошковой технологии. Заготовки разделяют по группам сложности. Для заготовок из цветных металлов предпочтительными для условий крупносерийного производства оказываются группы с 1 по 7, а для стальных и чугунных заготовок - с 1 по 5.

Наибольшее распространение получило холодное прессование порошков с последующим спеканием. Для этих условий высотные параметры заготовок находятся в пределах $IT\ 11 \dots 12$, а диаметральные параметры - в пределах $IT\ 6 \dots 8$. Возможно достижение шероховатости $Ra\ 0,16$. Для получения таких результатов, безусловно, регламентируется давление при прессовании. В необходимых случаях повышение точности достигается чеканкой заготовок в калибровочных пресс-формах. Регламентируется также точность пресс-форм, она должна быть на один квалитет выше, чем точность изготавливаемых заготовок.

Выбор заготовок при разработке технологических процессов изготовления деталей является одним из главных этапов проектирования ТП поскольку непосредственно связан с материальными затратами на производство. Определение вида и, далее, способа изготовле-

ния заготовки количественно оценивается точностными параметрами, каждый из которых, в свою очередь, выражается стоимостными показателями. Ресурсы производства, используемые при выборе заготовок, анализируются методами сравнения. Чаще всего точностные данные относятся к категории приоритетных. Автоматизированная поддержка решений проблемы в последние годы становится одним из главных методических решений, используемых на передовых предприятиях. Каждое из таких предприятий постоянно пополняет базу данных, упрощая и ускоряя последующие технологические разработки. Для разных видов заготовок есть характерные показатели. Для литых заготовок автоматизированный вариант предусматривает выбор по марке материала, массе заготовки, габаритным размерам, толщине стенки отливок, площади стенок, глубине и диаметру как сквозных, так и глухих отверстий и ряду других заданных показателей качества детали и заготовки. Следует ожидать, что автоматизированные поддержки при выборе заготовок любого вида станут нормой принятия технологических решений.

5.3 Технологический маршрут и расчет припусков

При разработке технологических процессов изготовления деталей заготовка предстает перед технологом как вполне реальный объект производства с указанием всех параметров, большую часть которых составляют точностные параметры. Применительно к конкретной заготовке разрабатывают технологический маршрут, он представляет собой документ, в котором определены последовательность проведения предлагаемых технологических операций и их количество. При этом точностные взаимосвязи между операциями являются основными звеньями всей технологической цепи.

В маршруте разрабатывают технологические базы, используемые в ходе всего процесса, виды закреплений заготовок и т.д. Разработка каждой схемы базирования основывается на том, что заготовка как твердое тело должна быть лишена всех степеней свободы. Возможные же перемещения заготовок (как неупругие, так и упругие) рассматриваются как очаги возникновения погрешностей с потерей точности. Именно возможная потеря точности при обработке заставляет технолога назначать базы в виде поверхностей, линий или точек исходя из наиболее устойчивого положения заготовки с одновременной увязкой взаимного расположения технологических и измерительных баз.

Каждый технологический маршрут предполагает соответствующий набор операций (а в последующем и переходов). При этом после каждой операции у заготовки возникает свой новый размер, допуск на этот размер или другой параметр точности, а также шероховатость. Точностная взаимосвязь между размерами обязательна. Она определяет исходные данные технологической оснастки и режимы обработки при использовании как черновых так и основных баз. Все эти данные формируют мыслительную деятельность технолога в исключительно сложных условиях многовариантности технологических процессов. Разработка маршрутов для поточного производства выставляет дополнительные требования и условия.

Еще на начальных стадиях развития технологии машиностроения как науки было установлено, что существует некоторая точностная связь между технологическими операциями или переходами. Количественно такая связь характеризовалась коэффициентом уточнения K_{ym} ,

$$K_{ym} = \frac{\Delta y}{\Delta a}; \quad K_{ym} < 1,$$

здесь Δy - погрешность или свойство, возникающее на данной операции или переходе; Δa - погрешность или свойство, оставшееся от предыдущей операции или перехода.

Чаще всего величины этого коэффициента относили к размеру, и для правильно разработанного технологического процесса значение $K_{ym} < 1$, считалось нормой.

На рис. 5.5 представлены варианты изменения точности для различных технологических маршрутов. В ходе технологических операций от 1 до 6 и т.д. коэффициент уточнения не изменяется и равен единице (рис. 5.5, а). Однако нельзя однозначно утверждать, что данный технологический маршрут совершенен или должен быть отвергнут. Оценку можно вынести лишь тогда, когда речь идет о конкретном показателе точности. Так, если маршрут оценивается по точности размера, то он должен оцениваться однозначно отрицательно, так как уточнения размеров не происходит. Если же речь идет, например, о точности уровня напряжений поверхностного слоя объекта производства, то маршрут должен оцениваться положительно, так как сохранение заданного уровня напряжений (допуск по напряжениям) в ходе процесса оказывается неизменным условием.

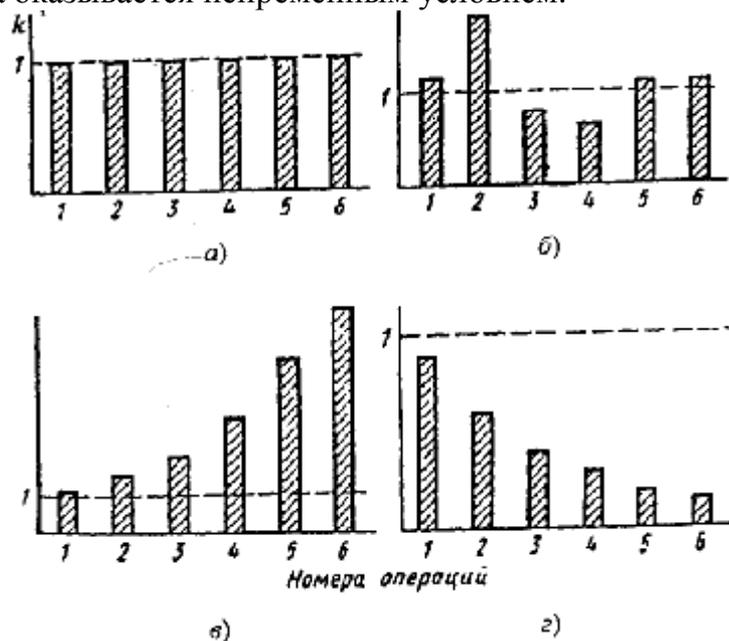


Рис. 5.5 – Графики вариантов изменения показателей точности при определенной последовательности операций (1-6)

В ходе маршрута по рис.5.5, б наблюдается колебание коэффициента уточнения. Такой технологический маршрут всегда оценивается отрицательно вне зависимости от того, какой параметр точности анализируется. Непременным условием высокой оценки технологического маршрута является монотонное изменение коэффициента уточнения, который в общем виде можно назвать коэффициентом технологического наследования. Когда коэффициент K_{ym} , отрицательно характеризующий качество, постоянно увеличивается (рис. 5.5, в), технологический маршрут благоприятен. При этом на всех технологических операциях $K_{ym} > 1$. Точностной показатель, характерный для операции 1, планомерно увеличивается. Очевидно, что такая ситуация, т.е. рост показателя точности, неоднозначно положительно характеризует маршрут обработки.

В правильно реализуемом технологическом процессе коэффициент уточнения в большинстве случаев $K_{ym} < 1$ (рис. 5.5, г), а соответствующий показатель не только сохраняется, но и монотонно убывает.

Многовариантность технологических ситуаций при разработке технологических маршрутов делает задачу весьма сложной. Оптимизация решений в данном случае не всегда является возможной. Теория принятия технологических решений помогает генерировать технологические варианты, которые сначала компонуется во множества, а из них вырабатывается единственное решение. Эта работа в большинстве случаев проводится с использованием точностных показате-

лей. Неопределенность технологической обстановки часто затрудняет принятие решения. Тогда на помощь технологу приходят логические рассуждения, методика которых приводится в литературе по теории принятия решений. Отметим, что многие решения оказываются из-за недостатка данных труд-ноформализуемыми.

Одним из основных и простых правил разработки технологических маршрутов является уточнение или ликвидация отрицательных свойств объекта производства на начальных операциях технологического процесса. Такой вывод очевиден и объясняется в основном экономическими соображениями.

Технологический маршрут как важнейший этап разработки технологических процессов включает расчет припусков на механическую обработку. Припуском называется поверхностный слой материала заготовки, удаляемый или пластически деформируемый для обеспечения требуемых точности размеров и качества поверхности детали. Классификация припусков предполагает, во-первых, различие припусков на симметричные и несимметричные и, во-вторых, общие и промежуточные. К настоящему времени уже существуют стандарты для определения припусков, например, штампованных или литых заготовок. В этих случаях припуск определяют по таблицам суммарно. Тщательный подход к расчету припусков всегда оправдан. Это объясняется тем, что при больших объемах годового выпуска экономия материала становится особенно ощутимой. Точное определение припуска связано с технологическими расчетами, для которых при разработке маршрутов имеются все необходимые данные.

Основная идея расчетов припусков сводится к тому, что с заготовки необходимо удалять на данном переходе или операции все, что пришло с предшествующих этапов технологического процесса и снижает качество детали или изделия.

Для необходимых расчетов технолог располагает принятым маршрутом обработки, знанием шероховатости заготовки, физико-механическими показателями ее поверхностного слоя, величинами пространственных отклонений и погрешностью установки заготовки. Все эти значения должны быть представлены количественно.

В припуск должна входить шероховатость поверхности, оставшаяся после предыдущего перехода. Ее удобно представить значением R_z . Кроме этого, в припуск должна перейти та часть поверхностного слоя, которая оказывается дефектной, разрушенной в результате действия на заготовку различных инструментов на предшествующем переходе. Такую часть припуска обозначают H .

Развитие технологии машиностроения как науки покрывает, что этот так называемый дефектный слой, во-первых, не всегда следует удалять, а, во-вторых, его удаление с заготовки иногда целесообразно распределить на весь маршрут обработки поверхности. Первый случай имеет место, если поверхность заготовки, работающей в условиях абразивного трения и изнашивания, имеет износостойкий отбеленный слой. Второй же случай распределяется на труднообрабатываемые материалы с целью их экономии и снижения себестоимости обработки.

Поскольку, далее, заготовка, подлежащая обработке на данном переходе, имеет различные пространственные отклонения (от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметрии и др.), то данные отклонения также должны быть включены в припуск. Такие отклонения - r - также остаются от предшествующих переходов.

Еще одной составляющей припуска является погрешность установки e с проявлением всех ее трех составляющих (базирования, закрепления и применения приспособлений). Во многих случаях учитывают значения только погрешности базирования и погрешности закрепления.

На рис. 2.6 представлена схема для расчета припусков. Все составляющие элементы показаны в утрированном виде. Значение r представляется волнистостью обрабатываемой поверхности. Погрешность установки может быть учтена как погрешность закрепления, возникающая под действием сил P . В ряде случаев в погрешность e могут включаться и погрешности базирования (в зависимости от системы простановки размеров), и погрешно-

сти, например, связанные с изнашиванием опорных элементов приспособлений. В итоге припуск Z определяется по следующей структурной формуле:

$$Z_i = Rz_{i-1} + H_{i-1} + r_{i-1} + e_i, \quad (5.1)$$

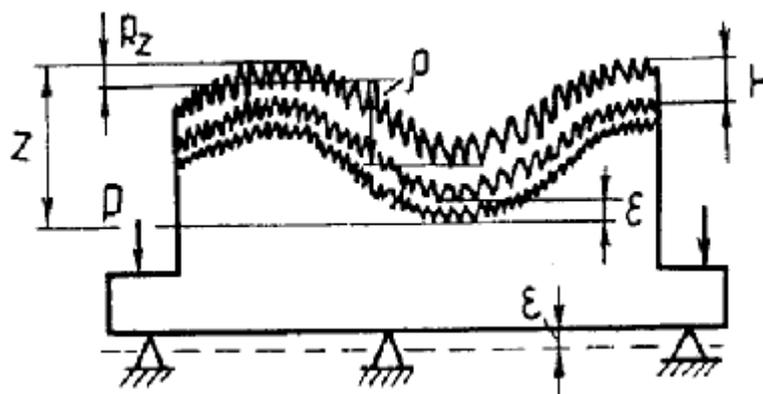


Рис. 5.6 – Схема для расчета припусков на обработку

В этой формуле индекс $i - 1$ означает, что данная величина соответствует значению погрешности предшествующего перехода, если i - номер перехода технологического маршрута. Таким образом, все данные для расчета припусков, кроме последнего, характерны для предшествующих переходов. Погрешность же установки соответствует выполняемому переходу.

Во многих случаях приходится учитывать не одну, конкретную погрешность, связанную с пространственными отклонениями поверхностей, а суммарное проявление этих отклонений. Поэтому в формуле расчета припусков должна учитываться сумма $\Delta \sum$ этих отклонений, и формула для Z принимает вид

$$Z_i = Rz_{i-1} + H_{i-1} + \Delta \sum_{i-1} + e_i. \quad (5.2)$$

Простота представленных формул и очевидность самой идеи расчета припусков на практике часто приводят к тому, что припуск определяют формально, без должного анализа физической сути процесса обработки заготовки. Отметим в этой связи некоторые особенности суммирования значений составляющих припуска.

Значения Rz и H всегда следует суммировать арифметически. Значения же r и e требуют особого рассмотрения для конкретных схем обработки. Так, при определении припусков для деталей типа валов, изготавливаемых в центрах, следует учитывать, что кривизна заготовки вала - r проявляется в одной плоскости, а погрешность зацентровки, равноценная погрешности установки e , - в другой плоскости. Поэтому сложение этих составляющих, возведенных в квадрат, следует вести (как случайные величины) под знаком квадратного корня:

$$(r_{i-1} + e_i) \rightarrow \sqrt{r_{i-1}^2 + e_i^2}.$$

В случае, например, одностороннего фрезерования литых заготовок с малыми пространственными отклонениями наблюдается коробление. Значение этого коробления в виде r должно быть учтено при последующих переходах. В зависимости от метода обработки основная формула также может видоизменяться.

Различные методики расчета припусков, появившиеся в технической литературе, могут касаться различных уточнений расчетов и особенностей процесса. Вероятностно-статистический метод расчета припусков является дальнейшим развитием расчетно-аналитического метода.

Все составляющие формулы z_i имеются в справочной литературе и соответствуют различным технологическим маршрутам и особенностям производства.

6 КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

6.1 Общий подход к качеству технологических решений

В современных условиях мирового промышленного развития конкурентоспособность выпускаемой продукции является определяющим фактором выживания в острой конкуренции мирового рынка продукции машиностроения.

Конкурентоспособность – это свойство объекта и системы сервиса его потребителей, характеризующихся степенью потенциального или реального удовлетворения ими конкретной потребности по сравнению с аналогичными объектами, представленными на данном рынке. Ее достижение и поддержание невозможны без высокого качества этого объекта.

Под **качеством изделий машиностроения** понимается совокупность свойств, обуславливающих их пригодность выполнять свое функциональное назначение в заданном диапазоне изменения условий эксплуатации и удовлетворяющих потребностям потребителей.

В настоящее время основной концепцией промышленного развития является концепция «всеобъемлющего управления качеством» (TQM). Кратко ее положения сводятся к следующему:

- качество есть основной инструмент конкуренции между предприятиями в условиях глобализации мировой экономики;
- высокое качество закладывается на первых этапах ЖЦ продукции и поддерживается на всех последующих;
- для выживания в конкурентной борьбе между производителями высокий уровень качества должен быть технологически оправданным (высокое качество должно быть экономичным).

Эти положения логично вытекают из истории развития промышленности, практически проверены в промышленном производстве Японии, США и ряда промышленно развитых регионов мирового промышленного производства.

Таким образом, перед изучением методов его формирования в производстве необходимо рассмотреть, чем характеризуется качество промышленной продукции. Как количественно, с помощью каких показателей оценивать качество и как достигать высоких его показателей.

Во многом ответы на такие вопросы дает наука о количественном оценивании качества – квалиметрия, а также ее ветви: агроквалиметрия – наука о качестве в сельхозпроизводстве, квалиметрия транспортных средств, техноквалиметрия – наука о показателях качества в технологии машиностроения и др.

Всю производственную продукцию по характеру использования можно разделить на три группы:

- расходуемую при использовании или хранении;
- расходующую свой ресурс при использовании;
- производственные процессы (морально стареющие).

Первая группа – это сырье, материалы, топливо, отдельные детали и прочие изделия (провода, кабели, электрические резисторы и т.д.).

Вторая группа – машины (самолеты, автомобили, тракторы), в том числе, для оказания услуг, оборудование для производства любой продукции первой группы, приборы и аппараты (химические, электрические и т.д.).

Третья группа продукции – производственные процессы, наиболее динамичная и сложная. Ее основное назначение – производство продукции первых двух групп, удовлетворяющей определенные потребности, и получение прибыли.

Несколько обособленно по этой классификации выглядит интеллектуальная или научная продукция в виде определенных знаний, “ноу-хау”, информации любого типа, компьютерных программ. Она обладает уникальным свойством – при ее продаже потребителю, она, за редким исключением, остается и у разработчика (изготовителя, продавца), а сама ее реализация стимулирует появление новой, более совершенной продукции такого вида. По признаку морального старения ее можно отнести к продукции третьей группы, но ее свойства, а следовательно, и показатели качества достаточно специфичны.

Любой производственный процесс представляет собой процесс превращения предметов природы в предметы (продукцию) потребления, удовлетворяющие потребности заказчика или общества за счет проявления своих определенных свойств. По признаку функциональной структуры ПП разделяют на основные, вспомогательные и обслуживающие, основные показатели качества которых, естественно, должны быть различными. По признаку влияния на предмет обработки различают организационно-управленческую составляющую (организационно-управленческий аппарат) и непосредственно производственный процесс. Естественно, что результаты функционирования этих составляющих могут оцениваться по-разному.

Свойства, присущие той или иной продукции, характеризуются показателями качества. Набор этих показателей достаточно относителен во времени и по номенклатуре. Например, в давние времена топливо (дрова) характеризовалось одним показателем: сухие – мокрые (хорошие – плохие), а современное топливо оценивается множеством показателей.

Производство первой группы можно охарактеризовать наименьшим по составу набором показателей качества – назначения, надежности (сохранности), технологичности при изготовлении, экономичности, экологичности, транспортабельности и т.д. (табл. 1.1). Набор ПК второй группы продукции значительно шире. Его можно разделить на две группы:

- показатели функционирования машины для выпуска продукции;
- ПК производимой на этой машине (оборудовании) продукции (услуг).

Таблица 6.1 – Показатели качества промышленной продукции

1. Продукция, расходуемая при использовании	2. Продукция, расходуемая свой ресурс	3. Производственные процессы (морально стареющие)
ПК назначения; ПК надёжности: – безотказность; – долговечность; – ремонтпригодность; – сохраняемость; ПК экономичности; ПК эргономичности; ПК эстетичности; ПК экологичности; ПК технологичности; ПК транспортабельности; ПК стандартизации и унификации; ПК патентно-правовые; ПК безопасности	1. ПК производимой продукции (услуги) 2. ПК функционирования машины как объекта эксплуатации: назначение; надёжность; экономичность; производительность; эргономичность; эстетичность; экологичность; технологичность (при изготовлении и применении); стандартизация и унификация; патентно-правовая чистота; технологическая универсальность	1. ПК производимой продукции 2. ПК применяемого оборудования 3. Показатели, определяемые процессом: способность к перестройке (гибкость); способность к воссозданию, тиражированию и освоению; приспособляемость к окружающей среде (адаптивность); необходимые объёмы информации (управляемость); сложность организационной структуры; широта технологических возможностей; надёжность процесса; безопасность процесса; технологическая наследственность; экономичность процесса

Качество машин характеризуют показатели назначения, экономичности и надёжности при функционировании, эргономичности, эстетичности, стандартизации, унификации и преемственности при изготовлении, а также патентно-правовые показатели.

Наиболее широк набор ПК производственных процессов. Он включает в себя наборы ПК продукции первой и второй групп, которые являются следствием и средством процесса, а также определённый набор показателей, характеризующих продукцию как процесс. Такие показатели оказывают существенное влияние на ПК продукции первых двух групп. Таким образом, система показателей промышленной продукции взаимосвязана.

Большинство показателей, приведенных в табл. 6.1, состоит из ряда частных показателей первого, второго и последующих уровней, раскрывающих большую часть свойств продукции. В комплексе они представляют собой «дерево показателей качества». Для примера на рис. 6.1 показано такое «дерево» для некоторых ПК продукции второй группы.

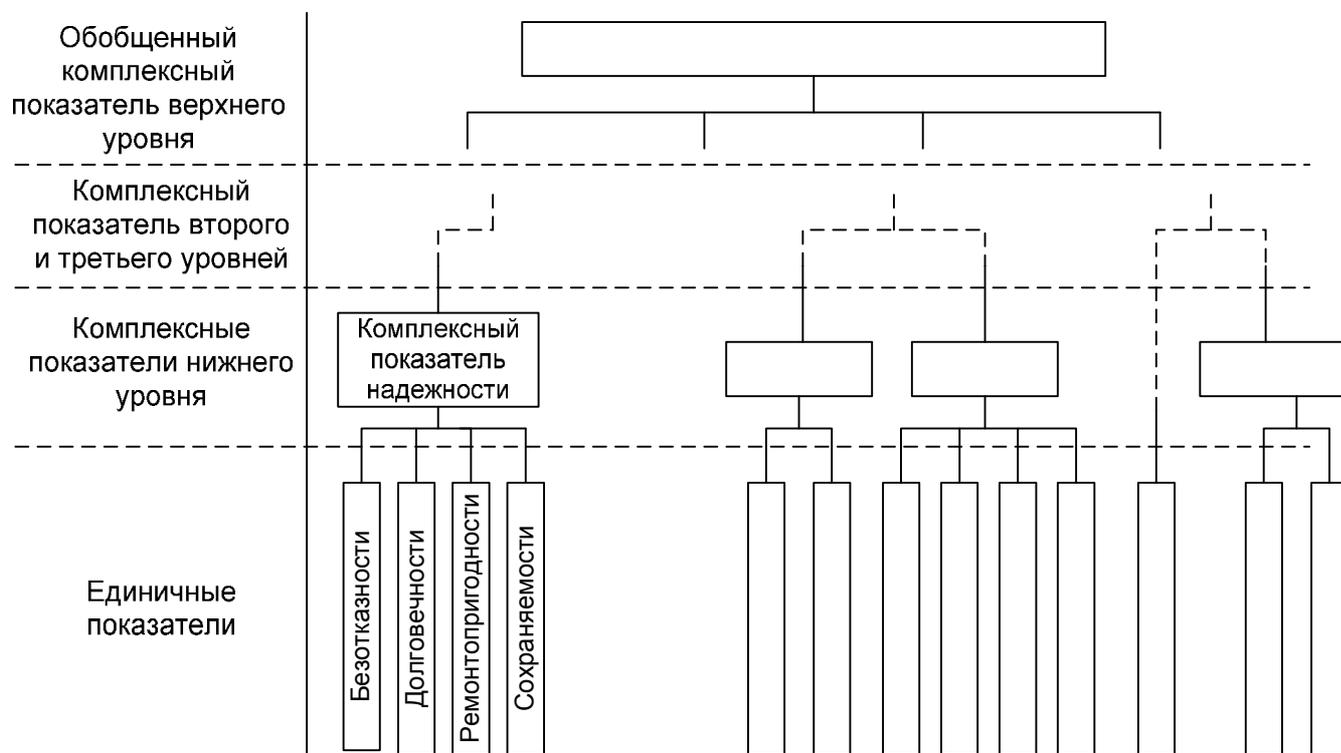


Рисунок 6.1 – Многоуровневая структура показателей качества. Для примера на фоне всего «дерева показателей» показано формирование комплексного показателя надежности

В силу разнообразия свойств промышленной продукции, сложности процессов её производства, а также широких возможностей изготавливаемой современной техники количество частных ПК достаточно велико. Разными нормативными документами рекомендуются различные составы ПК. Например, в составе ПК по технологичности конструкции изделия по ГОСТ14.202-73 насчитывается 35 наименований показателей. Они распространяются на условия функционального применения, технологического обслуживания, хранения и транспортирования. Большинство названных показателей не имеют конкретного технического или физического смысла и не показывают связи конкретных параметров детали, изделия или продукции с себестоимостью, трудоёмкостью или другими ресурсными характеристиками, позволяющими прямым образом оценивать связь «качество – цена».

Многообразию показателей качества (ПК) объединяют в определенные группы в зависимости от целей анализа. Например, к группе эксплуатационных относятся показатели назначения, надежности, эргономики, эстетики, экологии и другие. Показатели этой груп-

пы формируются на этапах ЖЦ предшествующих эксплуатации. В нашем случае следует рассмотреть группу производственно-технологических показателей.

Конкурентоспособность формируется на стадиях стратегического маркетинга и НИОКР. С целевым назначением закладываются ПК продукции, превышающие аналогичные показатели, существующие в выбранном секторе рынка. Значения ПК полученные при этом материализуются в производстве и реализуются на стадиях потребления и сервиса.

Производственно-технологические показатели характеризуют затраты общественного (реального или овеществленного) труда на производство единицы продукции и свидетельствуют о степени совершенства конструкции продукции и технологии производства машины, процесса, детали перед аналогичными образцами, присутствующими на мировом рынке. Эта группа показателей включает в себя показатели технологичности конструкции, показатели функционирования производственного оборудования и технологического оснащения, а также показатели качества техпроцессов и процессов производства (например, показатели технологической наследственности, гибкость и управляемость производственной структуры и т.д.).

К показателям технологичности конструкции, в первую очередь, относятся показатели трудоемкости, материало- и энергоемкости (в общем ресурсоемкости), показатели конструктивной стандартизации и унификации, группы показателей точности.

Рассмотрим последовательность формирования высоких значений ПК какой-либо конструкции машины. На начальных этапах КПП подбираются материалы, из которых должны быть изготовлены детали этой машины.

6.2 Выбор используемых материалов

При выборе материалов деталей, обеспечивающих получение качественного изделия, рассматриваются их свойства, в первую очередь, с двух сторон:

- обеспечения функционального назначения деталей, т.е. всей машины в целом;
- применения материала с высокими технологическими свойствами при минимальной его стоимости.

К числу конструктивно-технологических свойств материалов относятся интегральные свойства, например:

- энергия, необходимая для обеспечения заданной жесткости конструкции в целом, отн. ед.;
- энергия, необходимая для изготовления сжатой панели с заданной критической нагрузкой, отн. ед.

Примеры сравнительных механических, конструктивно-технологических и технологических свойств некоторых материалов показаны в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Сравнительные механические и конструктивно-технологические характеристики некоторых материалов

Материал	S_B , МПа	$S_{0,2}$, МПа	E, ГПа	r , кг·10 ³ /м ³	$\frac{S_B \cdot 10^6}{r}$, м ² /с ²	$\frac{E \cdot 10^6}{r}$, м ² /с ²	$e_{равн}$, %	$T_{раб}$, К	Э1, отн. ед.	Э2, отн. ед.	Технологи- ческие свой- ства, баллов
Сталь низко- углеродистая	1200	500	210	7,8	0,151	36,8	22	720	1	1	1,0
Сталь ЭП962П	1680	1220	210	8,1	0,207	0,26	14	110	7	7	2,0...5,0
Алюминиевый сплав Д16Т	300	220	72	2,7	0,111	25,3	6-9	470	4	2	0,8...1,0
Алюминиевый сплав 1450	490	440	80	2,6	0,19	30,6	7,5	620	5	3	0,3...0,5
Магний	220	200	42	1,7	0,13	24,0	5	350	4	2	0,3...0,5
Титан	850	520	120	4,5	0,19	26,6	4-6	900	13	9	4,0...5,0
Дуб (вдоль и поперек во- локна)	96 35	48 15	11 8,5	0,9	0,106 0,39	12,2 9,4	–	300	0,3	0,2	0,2...0,5
Углепластик	800	–	120	1,45	0,55	82,8	–	420	17	17	1,5...2,5
Стеклопластик	600	–	50	2,2	0,273	22,7	–	420	15	13	1,15...1,25
Боропластик	1400	–	200	3,8	0,37	52,6	–	450	20	18	2,0...4,0
Органопла- стик	400	–	40	1,2	0,33	33,3	–	420	17	13	1,5...2,5

К числу важных технологических свойств материалов относятся специфические свойства, характеризующие его способность к таким или иным технологическим преобразованиям:

– способностью к литью, которая характеризуется жидкотекучестью (измеряется в метрах в специальных приспособлениях), усадкой (%), газопоглощением и ликвацией;

– ковкостью – способностью к эффективной горячей штамповке. Она определяется сочетанием высокой пластичности с низким сопротивлением деформированию;

– технологической пластичностью, которая характеризует способность материалов подвергаться обработке методами пластического деформирования. Количественно это свойство оценивают по относительным удлинению или сужению материала, специальным характеристикам, определяемым при испытаниях на скручивание, развальцовку, вытяжку и т.д. Критерием высокой формуемости сплавов является отношение $S_{0,2}/S_B$. Для сталей высокой формуемости $S_{0,2}/S_B = 0,50...0,65$;

– обрабатываемостью сплавов резанием, которая зависит от химического состава, твердости и прочности материала. Количественно определяется при резании в баллах в сравнении с материалами-эталоном;

– свариваемостью – способностью металлов и сплавов образовывать сварное неразъемное соединение, соответствующее качеству основного материала;

– закаливаемостью и прокаливаемостью – способностями материала повышать твердость в результате закалки на поверхности и определенной глубине.

К технологически важным физическим свойствам материалов относятся: плотность, коэффициент теплового расширения, теплофизические свойства, электрические и магнитные свойства. Диапазоны изменения технологических свойств материалов достаточно велики.

Все перечисленные свойства могут сильно влиять на состав технологических процессов и необходимого технологического оснащения. Например, коэрцитивная сила некоторых никелево-кобальтовых сплавов, используемых в качестве магнитопроводов, сильно зависит от количества ударов, прикладываемых к сплаву при вырубке пазов (окон) для расположения электрических обмоток. Для их обработки без потери качества используются штампы специальной конструкции.

Некоторые сплавы очень плохо штампуются и могут подвергаться формоизменению только литьем или наоборот. Другие сплавы успешно подвергаются точной штамповке (холодной или теплой), а это может практически исключать механическую обработку.

Применяемые в современном машиностроении материалы имеют большое количество разнообразных свойств, влияние которых на качество или одно из его определяющих комплексных свойств – технологичность – необходимо учитывать. С помощью методов квалиметрии все влияние этих свойств можно свести к нескольким комплексным показателям.

6.3 Размеры деталей и их точность

Размеры деталей определяются исходя из их функционального назначения и действующих рабочих нагрузок. Эти размеры на рабочих чертежах по своему назначению могут быть разбиты на несколько групп.

Габаритные размеры используют при выборе типа и моделей технологического оборудования. При этом необходимо учитывать, что наиболее технологичными являются размеры, соответствующие середине диапазона технологических возможностей оборудования.

Координирующие размеры применяют для определения взаимного положения поверхностей деталей, а также осей. Это, как правило, размеры ответственных поверхностей, которые определяют служебное назначение детали. Например, у корпусных деталей ответственными являются плоские поверхности и отверстия для размещения валов, подшипников. Координирующие размеры увязывают плоские и цилиндрические поверхности корпуса.

Сборочные размеры используют для определения положения узлов относительно других элементов машины. Это, прежде всего размеры присоединительных поверхностей. У корпусных деталей присоединительными чаще всего бывают плоские поверхности (стыки отсеков планера) или более сложной формы (вильчатые поверхности соединений центроплана и отъемной части крыла).

Кроме того, применяют технологические размеры, которые необходимы при изготовлении и контроле деталей.

Для оценки качества детали ее форма имеет первостепенное значение. Отклонения и допуски формы оговорены ГОСТ 24643-81.

В соответствии с этим документом поверхность детали описывается математическими зависимостями (рядами Фурье или тригонометрическим полиномом), коэффициенты при слагаемых этих зависимостей количественно характеризуют фактическое отклонение.

Для установления этих зависимостей применяют учение о **технологической наследственности**, т.е. явления переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим. Носителями наследственной информации является собственно материал детали, а также ее поверхности.

Качество геометрии деталей оценивается также отклонениями расположения поверхностей, т.е. отклонениями реального положения поверхности от ее номинального расположения. При такой оценке, отклонение формы поверхности детали из рассмотрения исключаются, а реальные профили заменяются прилегающими. Реальные оси, центры реальных поверхностей, поверхности симметрии и т.д. заменяются прилегающими элементами. Каждое из отклонений расположения поверхностей имеет свое точное определение и методики производственной оценки.

Качество детали по отклонению от параллельности оценивают по положению двух прилегающих к реальным поверхностям плоскостей, измеряя расстояние между этими плоскостями в различных местах нормируемого участка. Отклонения расстояния поверхностей могут определяться с помощью осей.

С помощью прилегающих элементов определяют отклонение от перпендикулярности. Оно, например, оценивается углом между двумя плоскостями, прилегающими к реальным поверхностям конкретной детали. При оценке отклонения от симметричности относительно базовой плоскости определяют положение последней и от него измеряют расстояние до плоскости симметрии реального профиля.

Все отклонения формы и расположения поверхностей должны быть ранжированы применительно к конкретным деталям исходя из их служебного назначения. Так, в одном случае решающее влияние на качество детали оказывает отклонение от круглости, а в другом - перекос осей и т.д. Значения отклонений формы и расположения оговорены в ГОСТ 24643-81, в котором предусмотрено 16 степеней точности. Значения допусков от одной степени к другой увеличиваются в 1,6 раза. Установлены также уровни относительной точности, которая зависит от соотношения между допуском размера и допусками формы и расположения. Таких уровней три: А – нормальная относительная точность, В – повышенная относительная точность и С – высокая относительная точность. Для этих уровней допуск формы или расположения в среднем составляет соответственно 60, 40 и 25 % допуска размера. Для цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения относительная геометрическая точность для А, В и С составляет соответственно 30, 20 и 12 % допуска размера.

Указанные соотношения оказываются весьма полезными для практических целей. Допуск размера, установленный конструктором на основе расчетов, экспериментов или практических наблюдений уже предполагает определенные допустимые отклонения формы и расположения поверхностей. В особых случаях допуски формы и расположения оговариваются дополнительно в технических условиях на изготовление детали. Изготовление деталей с допустимыми отклонениями параметров является основной задачей в сфере производства. Она решается на основе разработки оптимальных технологических процессов. При этом каждому методу обработки соответствует определенная допустимая точность, что оговаривается в справочной литературе. Так, с одной стороны, для каждого номинального размера и качества его допуска (А, В, С) в таблицах оговариваются соответствующие допуски на любые геометрические параметры, с другой стороны, имеются табличные данные, указывающие, каким именно технологическим методом можно достичь заданной точности. Табличные данные постоянно обновляются, числовые значения уточняются, а также конкретизируются условия обработки (обработка заготовок из различных материалов, учет жесткости технологических систем и др.).

Вид допуска формы и расположения обозначается в соответствии с ГОСТ 24643-81. Вид допуска представляется знаком, а сам допуск - числовым значением. Эти данные заносятся в рамку, имеющую, как правило, три секции. Вначале в рамке указывают знак, затем допуск, и, наконец, базу, относительно которой определяют допуск.

6.4 Параметры качества поверхностного слоя деталей

Наружный слой детали, имеющий макро- и микроотклонения от идеальной геометрической формы и измененные физико-химические свойства по сравнению со свойствами основного материала, называют поверхностным слоем. Он формируется при изготовлении и эксплуатации и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Поверхностный слой определяется геометрическими характеристиками и физико-химическими свойствами (рис. 6.2).

Под геометрическими характеристиками понимают макроотклонение, волнистость, шероховатость и субшероховатость.

Макроотклонение 1 поверхности – это неровность высотой $10^2 \dots 10^3$ мкм на всей ее длине или ширине.

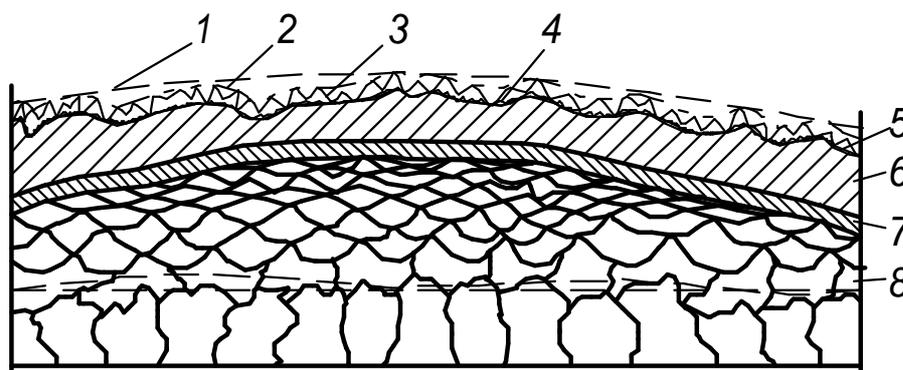


Рисунок 6.2 – Схема поверхностного слоя детали: 1 – макроотклонение; 2 – волнистость; 3 – шероховатость; 4 – субшероховатость; 5 – адсорбированная зона; 6 – зона оксидов; 7 – границная зона материала; 8 – зона материала с измененными физико-химическими свойствами

Волнистость 2 поверхности – совокупность неровностей высотой примерно $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом, большим, чем базовая длина l , используемая для измерения параметров шероховатости.

Под шероховатостью 3 поверхности понимают совокупность неровностей высотой около $10^{-2} \dots 10^3$ мкм с шагом, меньшим, чем базовая длина, используемая для ее измерения.

Субшероховатость 4 – это субмикронеровности высотой примерно $10^{-3} \dots 10^{-2}$ мкм, накладываемые на шероховатость поверхности.

Верхняя зона 5 толщиной около 10...100 мкм - это адсорбированный из окружающей среды слой молекул и атомов органических и неорганических веществ (например, воды, СОЖ, растворителей, промывочных жидкостей).

Промежуточная зона 6 толщиной примерно 10^{-3} ...1 мкм представляет собой продукты химического взаимодействия металла с окружающей средой (обычно оксидов).

Граничная зона 7 имеет толщину, равную нескольким межатомным расстояниям со значительно измененными кристаллической и электронной структурой и химическим составом.

Зона 8 имеет толщину примерно 10^{-4} ...10 мм с измененными физико-химическими свойствами по сравнению со свойствами основного материала. Под физико-химическими свойствами поверхностного слоя понимают остаточные напряжения, наклеп и структуру. Оценка геометрических характеристик и физико-химических свойств может быть непараметрической и параметрической.

В настоящее время для оценки параметров состояние поверхностного слоя предложено использовать более двух десятков показателей, характеризующих микротопографию, субшероховатость, наклеп, структуры остаточных напряжений, поверхностей деформации, химического состава, экзоэлектронной эмиссии и т.д.

Для оценки микротопографии наиболее широкое распространение в соответствии с ГОСТ 24773-81 получили:

Ra – среднее арифметическое отклонение микроповерхности от средней плоскости, мкм;

Rz – максимальная высота микронеровностей, мкм.

Более подробно о параметрах качества поверхностного слоя см. [14].

6.5 Точность соединений

Отдельные детали в ходе операций сборки компонуются посредством соединений в сборочные единицы и машины. Элементарным сочетанием поверхностей деталей является соединение, т.е. две или несколько подвижно или неподвижно соединенных деталей. Форма сопрягаемых деталей может быть различной, но большинство деталей сопрягаются по круговым цилиндрическим, плоским и круговым коническим поверхностям. Эти поверхности называют сопрягаемыми, и именно их взаимодействие гарантирует точность соединений.

Типичным является такое соединение, когда одна деталь входит в другую. Поэтому все поверхности разделяют на охватываемые и охватывающие. Их называют также валом и отверстием. Эти термины условны, поскольку форма сопрягаемых поверхностей решаю-

щей роли не играет. Как вал, так и отверстие имеют допуск. При соединении двух деталей может возникнуть зазор или натяг, что связано с посадкой. **Посадкой** называют характер соединения деталей, определяемый значением получающегося зазора или натяга. Положение одной детали относительно другой зависит от взаимодействия полей допусков сопрягаемых деталей. Кроме посадок, обеспечивающих зазоры или натяги, существует переходная посадка, при которой возможно возникновение как зазора, так и натяга.

Посадка в наибольшей степени влияет на качество соединения, так как она гарантирует заданное состояние деталей при их соединении, например, подвижность (вал должен обязательно вращаться во втулке) либо неподвижность (вал должен быть обязательно связан со втулкой в одно целое). Существует понятие допуск посадки. При посадке с зазором допуском посадки будет разность между наибольшим и наименьшим допустимыми зазорами, а при посадке с натягом – разность между наибольшим и наименьшим допустимыми натягами.

Во многих случаях зазоры определяют по размерам деталей. Это может быть оправдано для соединений сравнительно низкой точности. С возрастанием точности деталей машины-зазоры необходимо определять с учетом отклонений формы сопрягаемых поверхностей. Тогда в каждом сечении возникает свой зазор, а соединение характеризуется бесчисленно большим числом различных зазоров. За действительный зазор в этом случае принимают расстояние между описанным и вписанным цилиндрами соответственно для вала и отверстия. Такие цилиндры вписывают в действительные поверхности сопрягаемых деталей или описывают вокруг них. Чем выше точность изготовления соединения, тем правомернее использование прилегающих элементов.

Для деталей, образующих посадки с натягами, необходимо определить средние значения размеров сопрягаемых поверхностей. Такие размеры находят в результате измерений деталей в нескольких сечениях и нескольких направлениях. И в этом случае также учитывают отклонение формы. Отклонения формы и размеров, главным образом, влияют на качество соединения. Так, например, в пределах посадки H7/s6 натяг, а, следовательно, и прочность как один из показателей качества в диапазоне диаметров 80...100 мм меняется в 3,5 раза, а для посадки H7/p6 – в 7 раз. Следовательно, точность размера и точность формы сопрягаемых деталей являются основными характеристиками, обеспечивающими качество соединений.

Допуски и посадки представляются соответствующей системой, в основе которой лежат ряды значений. Такая система стандартизована, что дает ощутимый экономический

эффект. В большинстве стран мира применяют систему допусков и посадок ISO. Переход на эту систему отечественной металлообрабатывающей промышленности существенно упрощает решение проблем качества, в частности, на основе взаимозаменяемости. Внедрение системы ISO проводится по мере разработки норм взаимозаменяемости. Допуски и посадки по ISO предусмотрены в системе вала и в системе отверстия. Посадки в системе вала (h), обеспечивают зазоры и натяги соединением отверстий различных размеров (с учетом допусков) с основным валом.

Система допусков предусматривает наличие единиц допуска. Такая единица является мерой точности в зависимости от номинального размера. Для размеров $l - 500$ мм в Российской системе стандартов была принята единица допуска $i = 0,5\sqrt[3]{d}$, для этого же интервала размеров в системе ISO принято $i = 0,45\sqrt[3]{d} + 0,001D$, где d – среднее арифметическое; D – среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала в миллиметрах. Слагаемое $0,001D$ введено для учета погрешности измерения. Единицы допуска определяют в микрометрах.

Для любого качества (системы точности) допуск $T+a_i$, где a – число единиц допуска, зависящее от качества. Значение a от номинального размера не зависит.

Наиболее точным методом определения посадок является расчетный, при этом учитывают основные физические явления при взаимодействии сопрягаемых деталей (например, подшипников скольжения и вращающихся в них валов). В этом случае можно учесть одновременное влияние на служебные свойства деталей многих параметров. Поскольку расчеты могут оказаться сложными и трудоемкими, для обеспечения качества следует пользоваться рекомендациями (ориентировочно). Зазор в посадке, определенный при температуре 20°C , должен быть увеличен на расчетную величину для компенсации температурной деформации деталей.

Переходные посадки H/js; H/k, H/m; H/n применяют для неподвижных разъемных соединений при центрировании деталей. Они характеризуются малыми зазорами и натягами и предусмотрены только в 4...8-м качествах. При выборе посадок следует учитывать следующее: H/js применяется для часто разбираемых узлов; H/k обеспечивает точность центрирования и применяется для посадки на шпонках шкивов и зубчатых колес; H/m обеспечивает передачу существенных статических и небольших динамических нагрузок и применяется в редкоразбираемых соединениях; H/n применяется при значительных силах ударов и вибрациях; H/k и H/js применяются при частых разборках соединений; H/n и H/m обеспечивают высокую точность центрирования и передачу больших нагрузок.

Посадки с зазором имеют следующие области применения:

H7/c8, H8/c8 - в соединениях, работающих при повышенных температурах и не требующих высокой точности центрирования;

H9/d9, H8/d9, H7/d8 – в механизмах невысокой точности, в крупных подшипниках, имеющих большие угловые скорости и малые нагрузки, и в компрессорах для сопряжения поршень-цилиндр;

H7/e8, H8/e8, H7/e7, H9/e9 – в легкоподвижных соединениях при жидкостном трении, для быстровращающихся валов крупных машин, в турбогенераторах и электромоторах, работающих при больших нагрузках; H7/s7, H8/f8 – для подшипников скольжения электродвигателей малой и средней мощности, для поршневых компрессоров и коробок скоростей станков;

H5/g4, H6/g5, H7/g6 – в точных подвижных соединениях с гарантированным зазором, обеспечивающих точность центрирования;

H8/h7 – в пинолях задней бабки и сменных зубчатых колесах станков, сменных кондукторных втулках; обеспечивает центрирование при несколько сниженных требованиях к соосности;

H9/h9, H10/h10, H11/h11 – для посадки шкивов, зубчатых колес и муфт с закреплением шпонкой при невысокой точности и небольших нагрузках.

С помощью посадок с натягом получают неподвижные неразъемные соединения без дополнительного закрепления деталей. Отсутствие взаимного перемещения обеспечивается силами сцепления по контактирующим поверхностям вследствие их деформирования, создаваемого натягом. Посадки с натягом распространены благодаря относительной простоте их обеспечения.

Посадки с натягом применяют в соединениях: H7/r6 – тонкостенных деталей при передаче небольших нагрузок;

H7/r6 – кондукторных втулок с корпусом и шатунных втулок с шатуном;

H7/u7 – венца червячного колеса со ступенью, втулок подшипников скольжения с корпусами и деталей, передающих большие нагрузки.

На предприятиях авиационной отрасли накоплен большой опыт по увеличению надежности соединений применением посадок с натягом с учетом отклонений формы сопрягаемых деталей, их шероховатости, конструктивных факторов и методов сборки. Качество соединений (прежде всего прочность) может быть повышено также благодаря гальваническим покрытиям сопрягаемых поверхностей или нанесению на них мелких следов – рифлей.

Соединения могут быть образованы несколькими деталями, взаимосвязь которых регламентируется исходя из служебного назначения узла или машины. Такая взаимосвязь определяется размерами деталей и допусками на них. Их колебание решающим образом влияет на качество соединения. Задачи о взаимосвязях деталей решаются с помощью размерных цепей.

Размерные цепи представляют собой замкнутые контуры, состоящие из размеров тех деталей, которые непосредственно определяют параметр качества всего соединения. Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями. Так, совокупность деталей по рис. 2 образует размерную цепь со звеньями $A_1, A_2 \dots$. В ходе проектирования машины разрабатывают конструкторские размерные цепи. При изготовлении деталей определяют технологические допуски и осуществляют анализ технологических размерных цепей. Все звенья цепи делят на составляющие (A_1, \dots, A_5) и замыкающее – A_0 . Замыкающим звеном соединения по рис. 2 должен быть зазор, который и определяет качество соединения. Его наличие является неперенным условием правильной эксплуатации соединения при колебаниях размеров составляющих звеньев. Колебания размеров обусловлены допусками на размеры изготавливаемых деталей и температурными деформациями в ходе эксплуатации. Отсутствие зазора исключает вращательные движения расположенных на валу деталей.

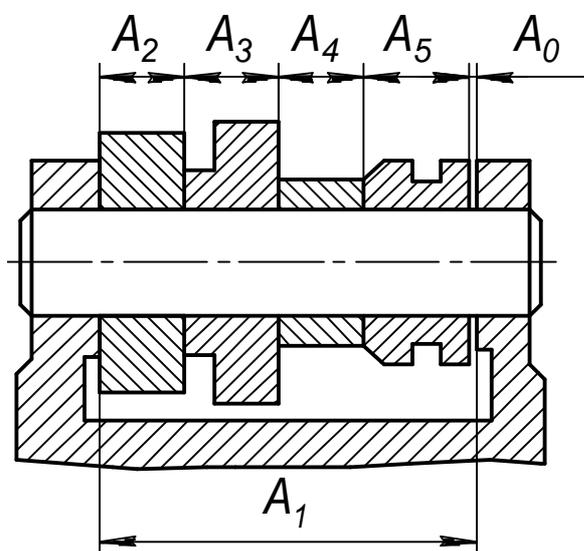


Рисунок 6.3 – Схема для расчета размерной цепи

Оценка качества соединений с помощью размерных цепей основана на установлении количественной связи между размерами деталей машин. Номинальное значение зазора A_0 можно легко установить исходя из размеров составляющих звеньев. Аналогично определяют допуски на замыкающие звенья. Различают увеличивающие и уменьшающие составляющие звенья. Увеличивающие при их увеличении увеличивают замыкающее звено, а уменьшающие при их увеличении уменьшают замыкающее звено.

$$\text{Допуск на замыкающее звено } TA_0 = \sum_{i=1}^n TA_{i_{ув}} + \sum_{i=n+1}^{n+p} TA_{i_{ум}},$$

где $TA_{ув}$ – допуск на увеличивающее составляющее звено; $TA_{ум}$ – допуск на уменьшающее составляющее звено.

Если принять, что m – общее число звеньев в цепи и $m - 1 = n + p$, то $TA_0 = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i$.

Следовательно, допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев. При решении практических задач в последнюю формулу можно подставлять предельные значения допусков (метод «максимум - минимум») либо их вероятностное значение (вероятностный метод).

Размерные цепи могут быть линейными, если все размеры располагаются вдоль одной линии (нескольких параллельных линии), плоскими, если размеры располагаются в одной или нескольких параллельных плоскостях, или пространственными, если все или часть размеров располагаются в непараллельных плоскостях. Существуют также угловые размерные цепи (образованы сочетанием углов). Принципиальный же подход к анализу размерных цепей остается общим, и в его основе лежит аналитическое или графическое определение допуска размера замыкающего звена.

Во многих случаях соединения образуются при действии силовых факторов, т.е. сил и моментов сил. Это характерно для соединений, которые точно фиксируют взаимное положение деталей. Наличие силовых факторов приводит к возникновению упругих деформаций сопрягаемых деталей. При этом изменяется характер посадок, возникают отклонения формы, снижающие качество соединения. Лишь в редких случаях силовые факторы приводят к повышению качества.

Деформирование при сборке в значительной степени ощутимо для высокоточных соединений. Например, вследствие деформирования возникают давления, отличающиеся от номинальных, зазоры приобретают формы, отличающиеся от расчетных, а натяги становятся неравномерными. Направляющие планки в результате прикрепления их винтами к корпусным деталям получают отклонения от прямолинейности и плоскостности. На рабочей поверхности возникает своеобразная волнистость с числом волн, равным числу винтов. Поэтому деталь, перемещающаяся по таким планкам, будет контактировать лишь с вершинами волн, а указанные отклонения могут привести к возникновению чрезмерно большого давления и снижению долговечности соединений. Аналогично отклонения формы на дорожках качения подшипников из-за деформирования корпусных деталей в районе расположения установочных поверхностей под подшипниками так существенно влияют на работу последних, что их долговечность снижается в несколько раз. Так, снижение высоты волн с 1,5 мкм в 5 раз приводит к увеличению долговечности подшипников качения примерно в 2,5 раза.

Погрешности, возникающие в соединениях, во многих случаях определяют расчетным методом. Это относится к цилиндрическим и коническим поверхностям (кольца, втулки, гильзы, стаканы, валы, корпуса), плоским поверхностям (торцы колец, столы, планки, клинья), а также при определении отклонений расположения поверхностей деталей в соединении. Применяют также экспериментальные методы определения погрешностей соединения.

6.6 Общие требования к технологичности конструкции

Основной целью технических решений по обеспечению технологичности конструкций является создание предпосылок рационального использования различных видов ресурсов в процессе разработки и изготовления изделий с учетом конкретных особенностей производства. Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется комплексно: на уровне деталей, сборочных единиц и изделия в целом. Непременным условием обеспечения технологичности изделий является выполнение ряда требований, предъявляемых к конструкции изделия и входящих в него сборочных единиц и деталей. Эти требования достаточно хорошо известны из работ, посвященных вопросам технологичности изделия [2, 24–28]. Они вошли в отраслевые стандарты и в комплекс государственных стандартов системы ЕСТПП. Основные положения указанных требований сводятся к наличию в конструкции следующих свойств:

- рациональность членения, компоновки изделий и их составных частей, а также выбора типа применяемых заготовок;
- широкое использование принципов конструктивной и технологической преемственности, унификации, стандартизации и симплификации (упрощения);
- рациональное ограничение количества марок и сортов материалов;
- более широкое использование недефицитных материалов и материалов, обработка которых не вызывает трудностей;
- рациональное назначение допусков и параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей;
- целесообразная простановка размеров с учетом особенностей обработки деталей на определенных видах технологического оборудования;
- обеспечение удобства базирования деталей при их обработке и, по возможности, достижение достаточной жесткости конструкции;

- соблюдение условий взаимозаменяемости деталей, упрощения сборочных работ и возможности их механизации;
- создание деталей таких конструктивных форм, которые позволяют применять более производительные методы механической обработки, а для процессов штамповки – форм, благоприятствующих формообразованию, и использовать высокопроизводительное оборудование;
- обеспечение условий врезания и выхода режущего инструмента, а также хорошего доступа для обработки и осуществления измерений поверхностей детали;
- уменьшение многообразия видов обрабатываемых поверхностей и геометрических размеров однотипных элементов конструкции детали;
- максимально возможное упрощение конструкции сборочных единиц и деталей;
- возможность применения прогрессивных технологических процессов, высокопроизводительного оборудования и более совершенных методов организации труда, для чего может потребоваться наличие в деталях или сборочных единицах определенных конструктивных элементов;
- удобство технического обслуживания, ремонта в процессе эксплуатации, что также может потребовать внесения в конструкцию определенных элементов.

Эти наиболее общие качественные показатели технологичности конструкции изделий конкретизируются и уточняются с учетом особенностей конкретных видов работ (штамповки, литья, механической обработки, сборки и т.д.).

В деталях, подвергающихся термической обработке, требуется предусматривать галтели или радиусные переходы. Внутренние резьбы должны быть по возможности сквозными. Ряд дополнительных требований к деталям, подвергающимся механической обработке, обуславливается особенностями применяемого технологического оборудования.

Необходимость обеспечения высококачественного проведения сборочных работ определяет номенклатуру специальных требований к конструкции изделий.

При членении сложной сборочной единицы на более простые элементы необходимо выполнять ряд требований [29].

1. Сборочные единицы должны быть рассчитаны на минимальное количество различных видов соединений (соединение болтами, клепкой, сваркой, пайкой и т. д.). Они должны быть по возможности простыми, представлять собой законченное изделие для определенного производственного участка и иметь минимально возможное количество сочленений.

2. Расчленение сложной сборочной единицы на простые должно осуществляться с учетом производственной структуры предприятия-изготовителя. Это расчленение должно предусматривать соединение простых сборочных единиц в определенной последовательности таким образом, чтобы одна сборочная операция не мешала выполнению других.

3. Расчленение сложной сборочной единицы должно быть выполнено с учетом возможности замены любой простой сборочной единицы без нарушения других соединений простых сборочных единиц.

4. Конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность проведения регулировочных и контрольных операций. При этом частные регулировки не должны нарушать регулировки сложной сборочной единицы.

При использовании робототехнических систем, станков с ЧПУ, гибких автоматизированных производств имеют место специфичные требования к технологичности конструкций. Одним из существенных направлений повышения эффективности применения дорогостоящих станков с ЧПУ является применение для обработки на них деталей, отработанных на технологичность с учетом особенностей этого вида оборудования. В результате отработки конструкций на технологичность появляется возможность повысить скорость обработки, уменьшить сроки подготовки программ и сократить время на переналадку оборудования при переходе на изготовление другого типоразмера деталей. Для станков с ЧПУ технологичной может быть конструкция деталей сложной конфигурации, отличающихся большим количеством обрабатываемых поверхностей с высокими требованиями к точности и параметрам шероховатости. Форма поверхностей может описываться сферой, дугами, параболой, гиперболами, эллипсами и другими сложными контурами.

Наиболее технологичными с точки зрения подготовки программ являются детали, обрабатываемые поверхности которых представляют собой прямые линии и дуги окружностей. Известно, что наиболее технологичны детали, конструкция которых обеспечивает обработку поверхностей с одной установки одним инструментом без применения сложных приспособлений и поворотных устройств. Технологичны также детали симметричной формы, позволяющие проводить обработку с применением одного комплекта инструмента с одной установки в поворотном устройстве по одной программе.

Сложные корпусные детали могут быть признаны технологичными при использовании многоцелевых станков с ЧПУ. Эти детали требуют многосторонней обработки. На каждой из сторон могут быть выступы, карманы, пазы, ребра и другие конструктивные элементы, а также отверстия различных видов (гладкие, ступенчатые, конические, резьбо-

вые), размеров, глубины и точности. Часто требуется обработка внутренних полостей, в которых могут быть перемычки, стенки, ребра жесткости, карманы.

Выполнение требований к технологичности изделий является только необходимым условием отработки их конструкции. Определение наиболее технологичного варианта изделия может быть обеспечено только на основании анализа результатов количественной оценки этого свойства конструкции.

Не вдаваясь в подробности, изложенные в многочисленной научной и учебной литературе [1, 2, 5-7, 10, 11, 14] можно утверждать, что при научно-обоснованном подходе к выбору материалов, точности размеров и параметров качества поверхностного слоя деталей машин можно существенно повысить закладываемое при проектировании качество их функционального назначения. В частности, в работе [14] приведены некоторые параметры, определяющие эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений (табл. 6.3).

Эти же параметры достаточно сильно влияют на другой очень существенный показатель качества, а именно, технологичность конструкции детали (узла, машины).

Технологичность крупногабаритных листовых деталей, в первую очередь, определяется следующими факторами:

- габаритными размерами в плане, глубиной детали, а также их соответствиями технологическим возможностям оборудования;
- допустимой разнотолщинностью и местом ее расположения;
- конструктивными параметрами детали (размеры радиусов и углы гиба, относительной толщиной, коэффициентом вытяжки, формовки и т.д.);
- генеральной формой детали, формой ее локальных элементов и местом их расположения;
- точностью тех или иных поверхностей и их взаимным расположением;
- стоимостью и длительностью ТПП;
- материалом детали (отношением s_T / s_B);
- коэффициентом использования металла по листу или рулону;
- параметрами технологической наследственности (s_{oct}).

Эти факторы при известных объемах производства определяют выбор схемы и метода штамповки, необходимое оборудование, а, следовательно, себестоимость и трудоемкость техпроцесса штамповки.

Для деталей, формообразуемых методами горячей объемной штамповки, перечень факторов, влияющих на их технологичность, несколько иной. В этом случае преобладающее значение имеют (см. табл. 6.4).

Часто возникает противоречие при выборе параметров технологичности и параметрами, определяющими эксплуатационные свойства. Производительность и себестоимость обработки заготовок, определяющие уровень технологичности, в значительной степени зависят от предъявляемых требований к точности и шероховатости поверхности изготавливаемых деталей. В работе [14] (рис. 6.4) приведены зависимости трудоемкости и себестоимости обработки валов от величины допусков и высоты неровностей обработанных поверхностей. Эти зависимости показывают, что параметры технологичности изменяются по закону гиперболы. Это объясняется тем, что возрастает основное время в связи с появлением дополнительных рабочих ходов и снижением режимов резания; увеличивается вспомогательное время, связанное с контрольными операциями, установкой, выверкой положения заготовки на станке, установкой режущего инструмента на размер (при работе по методу потребных ходов), применяются более сложные и точные, а, следовательно, и более дорогие станки; возрастают затраты на режущий инструмент и в ряде случаев применяются более дорогие способы обработки.

Диаграммы (рис. 6.5) показывают, что при повышении точности обработки стальных валов диаметром 10...18 мм на токарно-револьверных станках с 11-го до 7-го качества фактические суммарные затраты времени на обработку, установку резца на размер и на измерение заготовки возрастают в 3 раза. При этом особенно резко увеличиваются затраты времени на контроль заготовки. Для сравнения: машинное время в этом случае возрастает почти в 2 раза, а время на контрольные измерения увеличиваются в 7 раз. Кроме того, в процессе точной обработки появляется брак, затраты на который составляют 2% общей стоимости обработки по 8-му качеству и 17% – при обработке по 7-му качеству. При дальнейшем увеличении точности до 6-го качества затраты на брак достигают 32%.

Второй пример из области штамповки крупногабаритных листовых деталей – параболических антенн космической связи диаметром 900...1200 мм. Сама форма детали – неглубокое днище, которое можно изготовить за один переход на одном комплекте оснастки при нормальной точности, соответствующей принятой точности днищ. Но в данном случае отклонение вогнутой поверхности детали от формы параболоида вращения не должно превышать нескольких десятых долей миллиметра и фокус этой поверхности должен находиться в одной строго заданной точке. Для выполнения этих требований приходится проводить штамповку за два перехода в двух комплектах оснастки. Причем второй пере-

ход осуществляется по менее энергетически выгодной схеме деформирования. В целом это вызывает увеличение технологической себестоимости изготовления детали более, чем в 2 раза по сравнению с деталями, к которым не предъявляются такие высокие требования по точности.

Приведенные примеры показывают, что качество, закладываемое при проектировании и поддерживаемое в процессе производства, должно быть оправданным и проявляться при эксплуатации с заданными высокими показателями.

Таблица 6.3 – Параметры, определяющие эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений

Эксплуатационные свойства	Свойства материалов				Размер, его точность		Параметры качества поверхностного слоя																				
	s_B	s_T	E	HB	d_1, l_1, B	T	H_{max}	H_p	W_Z	W_P	Sm_w	R_a, R_z	R_{max}	R_p	t_p	S_m	S	R'_a	S'_m	s_{ocm}	h_{s0}	H_{m0}	h_H	e	I_S	rD	
Контактная жесткость:																											
первое нагружение	0	+	+	+	+*	-*	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+*	+	0	0	0	+*	0	+*	0	-*	-*	-*	
повторное нагружение	0	0	+	-	+*	-*	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+*	+*	0	0	0	-	0	-	0	-*	-*	-*	
Коэффициент трения	+	+	+	+	0	0	+	+*	+	+*	-	+	+	+*	-*	-	-	+	-	-	0	+*	0	+	-	-	
Износостойкость	+	+	+	+	+	-*	-	-*	-	-*	+	-	-	-*	+*	+*	+	-	+	+*	0	+*	0	+*	-*	-*	
Герметичность соединений	0	-	-*	-	-*	-*	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+*	-*	-	-	-	-	0	-*	0	0	0	0	
Прочность посадок	0	-	+*	-	+*	-*	-	-*	-	-*	-	-	-	-*	+*	-	0	-	0	-	0	-*	0	0	0	0	
Прочность деталей	+*	+	+*	-	+*	0	0	0	0	0	0	-	-*	+	-	+*	0	0	0	+*	+*	+*	+*	+	-*	-*	
Усталостная прочность	+	+*	+	-*	+*	0	0	0	0	0	0	-	-*	+	-	+*	0	0	0	+*	+*	+*	+*	+*	-*	-*	
Коррозионная стойкость	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	+	-*	-	-	+	+*	+*	-*	+*	-*	-	-	-	-*	+*	-*	
Поверхностная теплопроводность	-	-	0	0	+*	-*	-*	-*	-*	-*	-	-*	-	-*	+*	-	-	-*	-	-	-	-	-	-	+	-	
Термостойкость	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	+	+	0	0	0	-	0	-	0	-	-*	-*	

Примечание. 1. «+» и «-» означают соответственно, что увеличение или уменьшение этих параметров вызывает улучшение или ухудшение данного эксплуатационного свойства; * – параметр оказывает основное влияние на данное эксплуатационное свойство; «0» – параметр не оказывает влияния на данное эксплуатационное свойство;
 2. Здесь: s_B, s_T – пределы прочности и пластичности; E – модуль упругости; HB – твердость; T – параметр точности; H_{max} – высота микроотклонения; H_p – высота сглаживания микроотклонения (расстояние от средней линии профиля до огибающей); W_Z – средняя высота волн; W_P – высота сглаживания волнистости; Sm_w – средний шаг волн; R_a и R_z – среднее арифметическое отклонение профиля и высота неровностей профиля; R_{max} – наибольшая высота профиля; R_p – высота сглаживания профиля шероховатости; t_p – относительная опорная длина профиля; S_m – средний шаг неровностей профиля; S – средний шаг местных выступов профиля; R'_a и S'_m – среднее арифметическое отклонение микроповерхности от средней плоскости и средний шаг неровностей субшероховатости; s_{ocm} и h_{s0} – величина остаточных напряжений и расстояние от поверхности детали до слоя с $s_{ocm} = 0$; H_{m0} – поверхностная микротвердость; h_H – глубина наклепа; e – степень поверхностного деформирования; I_S – активность эмиссии; rD – плотность дислокаций.

Таблица 6.4 – Показатели технологичности при горячей объемной штамповке

Свойство	Параметры, определяющие показатели технологичности			Примечание	
Деформируемость (штампуемость; технологическая пластичность)	$k_1 = S_s / S_e$	$k_2 = \Delta S_T / \Delta T^0 C$	e_k	<ul style="list-style-type: none"> - чем ближе k_1 к 1, тем более труднодеформируемым и менее технологичным является материал заготовки; - чем меньше величина k_2, тем более технологичный материал; - e_k зависит от НДС и термомеханических параметров: повышение температуры нагрева и количества повторных промежуточных подогревов повышает деформируемость, а повышение скорости деформации может приводить к преждевременному разрушению и, как следствие, понижает данную способность материала. 	
	$-k_1 \rightarrow \uparrow$	$-k_2 \rightarrow \uparrow$	$+e_k \rightarrow \uparrow$		
Температурный интервал штамповки	ТИШ [$T_1; T_2$]			<ul style="list-style-type: none"> - увеличение ТИШ по абсолютной величине приводит к повышению технологичности, а увеличение температуры начала горячей штамповки T_1 - к снижению технологичности. 	
	+ТИШ $\rightarrow \uparrow$				
Технологические ограничения на конструкцию штамповки	Толщина полотна, $h_{пол}$		Толщина и расположение ребер, b_p и a_{min}		<ul style="list-style-type: none"> - чем больше площадь полотна S, тем больше должна быть и толщина полотна $h_{пол}$, т.е. технологичность при этом меньше; - чем больше отношение длины к ширине полотна $a_{пол}/b_{пол}$, тем толщина полотна $h_{пол}$ может быть меньше; - чем больше высота ребра h_p, тем больше должна быть его ширина b_p и тем самым будет снижена технологичность заготовки, но технологичность изготовления штамповой оснастки больше (трудно изготавливать высокие и узкие полости), в практике принято $h_p/b_p = 6,5...10$; - чем больше высота ребра h_p, тем больше должно быть минимальное расстояние между ребрами a_{min} (т.к. быстро изнашивается выступ штампа, формирующий полотно).
	$S/h_{пол}$	$a_{пол}/b_{пол}$	h_p/b_p	h_p/a_{min}	
	$+h_{пол} \rightarrow \downarrow$		$+b_p \rightarrow \downarrow$	$+a_{min} \rightarrow \downarrow$	
Штамповочные уклоны	a; b			<ul style="list-style-type: none"> - притом, что увеличение штамповочных уклонов a; b приводит к снижению технологичности заготовки (увеличивается КИМ) и усложняет изготовления штампа, это облегчает удаление заготовки из полости штампа; - при производстве заготовок в штампах с выталкивателями должны быть выбраны такие уклоны, чтобы возникающие при выталкивании напряжения не вызывали коробления отштампованных заготовок. 	
	+a; b $\rightarrow \downarrow$				
Припуск, напуск и допуск	$z_{min}; z_{max}$		T		<ul style="list-style-type: none"> - чем больше величина припусков на дальнейшую обработку, напусков (технологических припусков) тем, с одной стороны, технологичность ниже (ниже КИМ), а с другой стороны, более технологичным является изготовление оснастки, могут быть снижены энергетические характеристики процесса штамповки, облегчены условия заполнения гравюры штампа материалом заготовки; - величина допуска на размер зависит от класса точности и расположения элементов штампованной заготовки.
	$+z \rightarrow \downarrow$		$+T \rightarrow \uparrow$		

Принятые обозначения: $-k_1 \rightarrow \uparrow$ - снижение величины приведенного параметра приводит к повышению показателя технологичности.

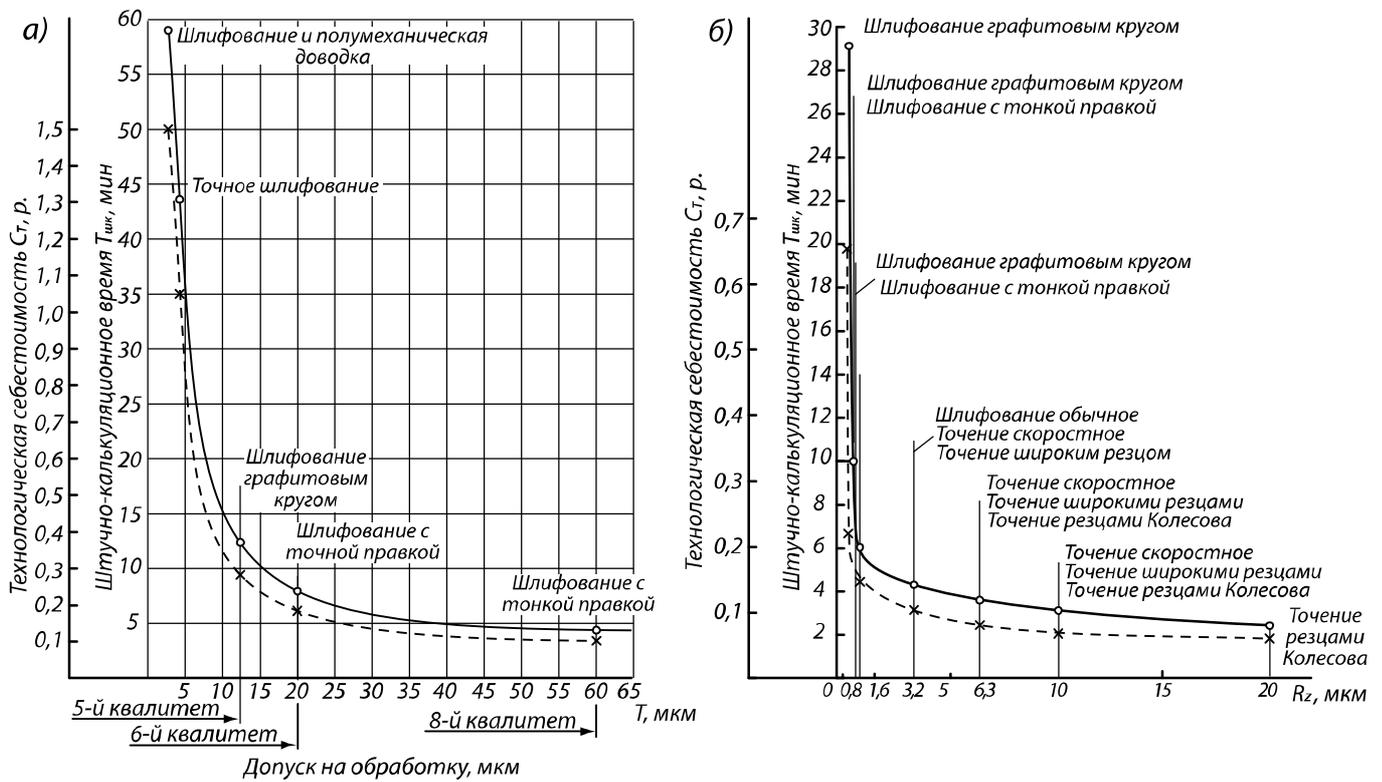


Рисунок 6.4 – Зависимость трудоемкости и себестоимости заготовок от точности и шероховатости поверхности: а – вал Ø 60 × 200 мм из закаленной стали; б – вал Ø 60 × 300 мм из сырой стали Т8 (о-о –штучно-калькуляционное время; х-х – технологическая себестоимость)

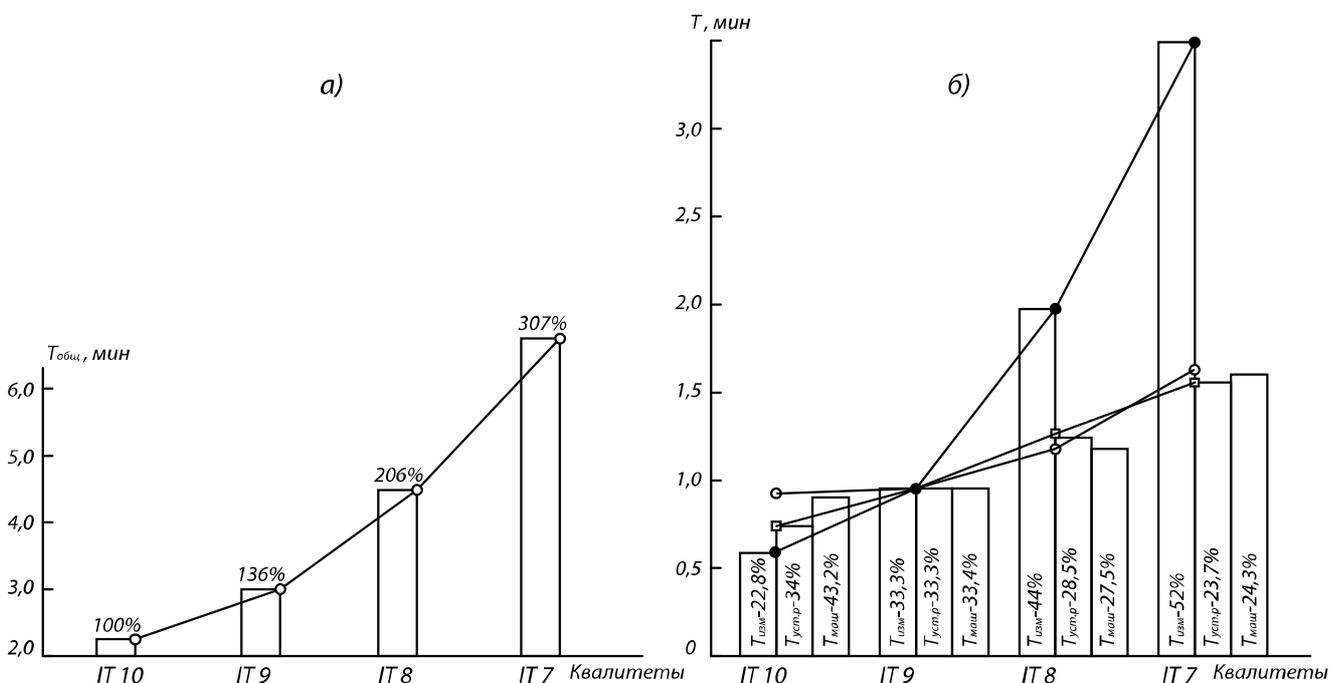


Рисунок 6.5 – Зависимость трудоемкости обработки от требуемой точности: а – суммарные затраты времени - $T_{\text{общ}}$; б – отдельные элементы затрат времени; $T_{\text{маш}}$ – машинное (основное время); $T_{\text{уст.р}}$ – время на установку резца; $T_{\text{изм}}$ – время на измерение

Рассмотрим общий характер изменения показателя качества продукции в периоды комплексной подготовки производства и ее производства (рис. 6.6). При проведении НИОКР и КПП формируют высокое качество продукции за счет использования новых закономерностей природы, или более разумного применения известных процессов, нахождения более совершенных конструктивных решений и тщательно выполненных расчетов, использование новых материалов с высокими служебными характеристиками. При ТПП подбирают более совершенные технологические процессы, оборудование и технологическое оснащение в комплексе обеспечивающее получение продукции высокого качества. При организационно-технической подготовке создаются системы контроля качества продукции и управления качеством. К моментам передачи конструктивной и технологической документации в производство показатель качества достигает своего максимального значения. Существуют два предельных показателя качества: верхний – выше которого выпуск продукции становится экономически нецелесообразным и нижнее – ниже которого продукция не конкурентоспособна.

В ходе производственного процесса действует ряд факторов, часто носящих двойственный характер, но в комплексе влияющих таким образом, что показатель качества продукции снижается. По истечении определенного времени для исключения уменьшения его ниже минимального значения необходимо предпринимать предупреждающие или корректирующие действия для поддержания значения ПК на номинальном уровне.

Отслеживание этого процесса и подача сигнала о необходимости применения решений о корректировке является функцией системы управления качеством продукции.

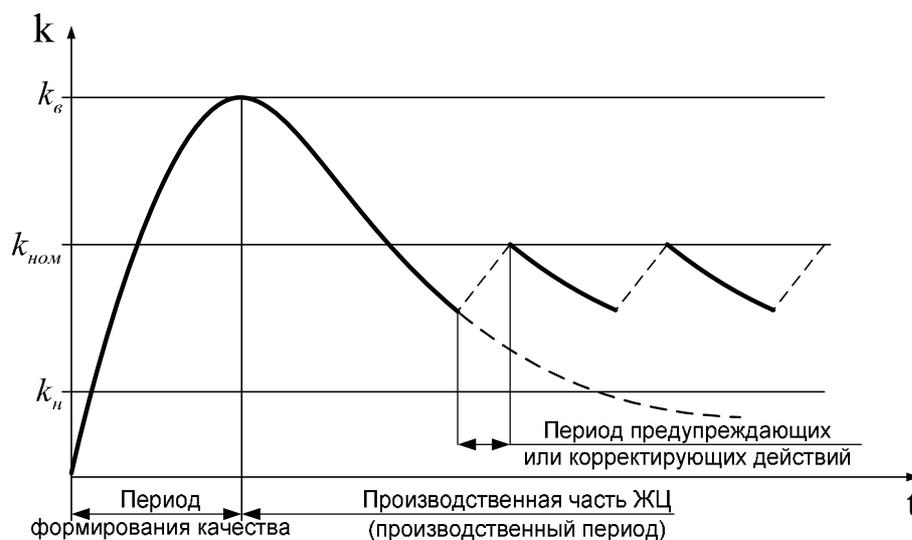


Рисунок 6.6 – Характер изменения показателя качества продукции во времени на этапах подготовки и производства продукции

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятиям:
производственная система, технологическая система, технологический процесс, производственный процесс.
2. В чем состоит содержание производственных технологий?
3. Дайте объяснение понятиям CALS- и НООН-технологии.
4. Что такое жизненный цикл продукции? Какие известны варианты членения этого цикла на стадии? Почему этот отрезок времени называется циклом?
5. Перечислите этапы и задачи, решаемые в них.
6. Опишите основную схему технологических преобразований в машиностроении.
7. Назовите состав основных заготовительно-обрабатывающих процессов.
8. Что такое первичное и вторичное производство?
9. Что является продукцией металлургического и машиностроительного производств?
10. Назовите варианты процессов формообразования литьем. В чем их отличие?
11. Назовите варианты процессов формообразования деформированием. В чем их отличие?
12. Что такое квалиметрия?
13. Назовите состав процессов преобразования объема.
14. Назовите состав механических процессов преобразования объема.
15. Назовите состав электрофизических процессов преобразования объема.
16. Назовите состав электрохимических процессов преобразования объема.
17. Назовите состав процессов термической и термохимической обработки.
18. Назовите состав процессов образования покрытий.
19. Дайте определение комплексной подготовке производства.
20. Какие виды подготовки являются составляющими комплексной подготовки производства?
21. Какова цель комплексной подготовки производства?
22. В чем заключается суть НИОКР? Состав этого вида работ.
23. Какие стороны НИОКР подвергаются контролю при принятии ее результатов для дальнейшей подготовки производства?
24. Дайте определение КПП и ТПП.
25. Покажите структуру технической подготовки производства.
26. В чем заключаются функции КПП?
27. В чем заключаются функции ТПП?
28. Опишите нормативную базу процессов подготовки производства.
29. Что такое ЕСКД? Дать определение.
30. Что такое ЕСТД? Дать определение.
31. структура обозначения стандартов единых систем.
32. Что такое ЕСТПП? Дать определение.

33. Дать определение терминов:
- программа выпуска изделий;
 - объем выпуска;
 - тип производства;
 - вид производства.
34. Дать определение терминам:
- производственный цикл;
 - производственная мощность;
 - технологичность конструкции изделия (детали);
 - маршрутный технологический процесс.
35. Опишите структуру изделий современного машиностроения и авиастроения.
36. Дать определение терминам: изделие, полуфабрикат, сборочная единица, приемственность изделия.
37. Опишите структуру машиностроительного предприятия.
38. Дайте определения терминам: машиностроительное производство, производственная структура, цех, рабочее место.
39. Чем по характеру использования отличаются вспомогательное и подготовительно-заключительное времена?
40. На какой характер работ затрачивается основное время?
41. На какой характер работ затрачивается вспомогательное время?
42. Что включает в себя штучное время?
43. Каков характер работ, выполняемых в подготовительно-заключительное время?
44. Запишите зависимость штучно-калькуляционного времени.
45. Каковы технологические методы сокращения основного времени?
46. Каковы технологические методы сокращения вспомогательного времени?
47. Каковы технологические методы сокращения штучно-калькуляционного времени?
48. В чем заключается метод фотографий при нормировании?
49. Что такое технологическая себестоимость?
50. Какие затраты включает в себя технологическая себестоимость?
51. В чем заключаются технологические методы снижения себестоимости?
52. В чем заключается выбор варианта технологического процесса?
53. В чем заключаются технологические методы повышения качества деталей?
54. Дайте определение понятию точность.
55. Дайте определение понятиям: вал, отверстие, размер, допуск.
56. Дайте определение понятиям: предельные размеры, нулевая линия, действительный и номинальный размеры.
57. Каков характер зависимости стоимости обработки от степени точности заготовки?
58. Каково предпочтительное распределение точности обработки по операциям технологического маршрута?
59. Каковы принципы расчета технологических припусков на механическую обработку?

60. Перечислите номенклатуру показателей качества промышленной продукции.
61. В чем заключается многоуровневая структура показателей качества?
62. Что такое квалиметрия? В чем заключаются ее основные положения?
63. Что такое конкурентоспособность? Как формируется конкурентоспособность?
64. Состав свойств материалов деталей авиационного назначения.
65. Какие группы размеров наносятся на чертеж детали?
66. Что такое технологическая наследственность?
67. Что такое степени точности детали?
68. Опишите структуру поверхности механически обрабатываемых деталей.
69. Что такое соединение? Что такое посадка?
70. Что такое размерная цепь?
71. В чем заключаются общие требования к технологичности конструкции детали?
72. Какими факторами определяется технологичность крупногабаритных листовых деталей?
73. Перечислите примеры параметров, определяющих эксплуатационные свойства машин, формируемые при их механической обработке.
74. Перечислите показатели технологичности деталей, подвергаемых горячей объемной штамповке.
75. Как зависит трудоемкость механической обработки детали в зависимости от требуемой точности?
76. Каков характер изменения показателей качества во времени на этапах подготовки и производства продукции?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; под ред. А.М. Дальского –М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. –564 с.
2. Технология машиностроения: В 2 т. Т.2. Производство машин: Учебник для вузов/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, О.М. Деев и др.; под ред. Т.Н. Мельникова –М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. –640 с.
3. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения –М.: Машиностроение, 1969. –358 с.
4. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник –М.: ИНФРА-М, 2005. – 528 с.
5. Современные технологии авиастроения/ Кол. авторов. Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова –М.: Машиностроение, 1999. –832 с.
6. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів. Нав. посібник /Ю.С. Алексеев, О.Є. Джур, О.В. Кулик, Л.Д. Кучма и др. /Под.ред д.т.н. Є.О. Джура –Д.: АРТ-ПРЕС, 2007. –480 с.
7. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Резников В.А. Система управления качеством производства авиационной техники. –К.: Техника, 2004. –272 с.
8. Авиадвигателестроение. Качество, сертификация и лицензирование: Учеб. пособие /В.Ф. Безъязычный, А.Ю. Замятин, В.Ю. Замятин и др. Под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. М.: Машиностроение, 2003. –840 с.
9. Тараненко М.Е. Инжиниринг качества (техноквалиметрия). Учеб. пособие /Тараненко М.Е., Романцов А.В. –Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2008. –129 с.
10. Хвастунов Р.М. Квалиметрия в машиностроении: учебник /Р.М. Хвастунов, А.Н. Феофанов, В.М. Корнеева, Е.Г. Нахапетян –М.: Изд-во «Экзамен», 2009. –285 с.
11. Федюкин В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учеб. пособие. –М.: КНОРУС, 2009. –320 с.
12. Тараненко М.Е. Система технологий в машиностроении. В 2 частях. Конспект лекций –Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003, –Ч.1 –99 с.
13. Система технологий: учеб. пособие /Под ред. проф. П.Д. Дудко –Х.: ООО «Изд-во «Бурун книга», 2003. –336 с.
14. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. –684 с.
15. Амиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка производства. –М.: Экономика, 1989. –230 с.
16. Технологичность конструкции изделия. Справочник /Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.П. Волков и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. –М.: Машиностроение, 1990. –768 с.
17. Кононенко В.Г., Кушнарченко С.Г., Прялин М.А. Оценка технологичности и унификации машин. –М.: Машиностроение, 1986. –160 с.

18. Материаловедение и технология металлов. /Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. –М.: Машиностроение, 2008. –638 с.

19. Исаченков Е.И. Штамповка резиной и жидкостью. –М.: Машиностроение, 1962, – 326с.

НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ЕСКД. Единая система конструкторской документации
2. ЕСТД. Единая система технологической документации
3. ЕСТПП. Единая система технологической подготовки производства
4. СРПП. Система разработки и постановки продукции на производство
5. Единая система обеспечения единства измерений
6. ДСТУ 1.3-2003. «Національна стандартизація. Основні положення»
7. ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения.
8. ГОСТ 15895-77. Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.
9. ГОСТ 19665-74 Организация труда. Основные положения, термины и определения.
10. ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделия.