Р.П. Дидык, В.А. Жовтобрюх, С.Т. Пацера

# ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рекомендован Ученым Советом Национального горного университета
в качестве учебника для студентов ВУЗов, обучающихся
по специальностям направления «Инженерная механика».

(протокол №5 от 29 апреля 2014 г.)

библиотека иностранного студента

«СИМ»
Харьков – 2015

Рецензенты:

Джур Е.А., заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии производства Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара;

Ивщенко Л.И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Запорожского Национального технического университета;

Петраков Ю.В., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Национального технического университета Украины «КПИ»

Изложены основы технологии машиностроения и сборки горных машин. Рассмотрена технологичность деталей и особенности обработки на станках с числовым программным управлением. Приведены выбор стратегии параметров обработки на станках с ЧПУ и инструмента, а также основные тенденции развития CAD/CAM систем в машиностроении. Учебник содержит раздел, в котором изложены основные этапы технологической подготовки производства.

Для студентов, обучающихся по специальности «Технология машиностроения» направления «Инженерная механика».

# Предисловие

В учебнике отражен многолетний опыт преподавания кафедрой технологии горного машиностроения профессионально-ориентированных дисциплин, определяющих современный квалификационный уровень подготовки инженеров-технологов машиностроительного производства. Учебник состоит из 8 разделов, в которых изложены основы технологии машиностроения на примере изготовления деталей горных машин и их сборки. В отличие от предыдущих изданий в учебник включены разделы, описывающие системы моделирования, программирования и автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки, основу которых составляют CAD/CAM-программы высокого уровня. Учебник содержит раздел, в котором изложена концепция автоматизации технологической подготовки производства в современных условиях на малых и средних предприятиях.

# Введение

Подготовка инженеров-технологов для машиностроения является приоритетной задачей, так как именно технологии являются одной из главных объективных предпосылок экономического развития и на этой основе удовлетворения потребностей общества с помощью новых продуктов, новых материалов, машин, новых процессов или их возможных комбинаций.

Современное понятие – технология – трактуется как совокупность управленческих, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и инжиниринговых процессов, являющихся фундаментном продуктивной деятельности предприятия.

Общепринято: в создании любого вида оборудования и машин – «конструкция – определяющая, технология – решающая составляющая».

Основная задача горного машиностроения – на базе новейших достижений науки и техники и современных технологий выпускать в необходимом количестве для горнодобывающего комплекса высококачественные машины и оборудование.

Подчеркнем важное: уровень всего индустриального производства в стране, научно-технический потенциал в большей степени зависят от того, в каких масштабах и в каких отраслях экономики применяются современные технологии, кто является участником процесса создания продукции от идеи до выхода ее на рынок, какова степень интеграции их знаний, умений и опыта. В этой связи, дисциплина «Основы технологии машиностроения» для подготовки специалистов технологов-машиностроителей приобретает жизненно важное значение.

Компьютерная интеллектуальная среда, включая пакеты прикладных программ автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей, расчетно-графические модули, системы управляющих программ на современном станочном оборудовании, являются органической частью дисциплины технология горного машиностроения.

Основоположником технологии машиностроения, как науки, является проф. И.А. Тимме (1838-1920), который создал первый капитальный труд «Основы машиностроения, организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ» (1885). Фундаментальные работы в области машиностроения изложены в трудах



академика В.М. Саверина и профессора И.В. Двигунского. Дальнейшее развитие науки о машиностроении связано с именами Б.С. Балакшина, М.Е. Егорова, Н.Ф. Бородачева, Ф.С. Демьянюка, И.А. Каширина, Ю.М. Соломенцева, А.М. Дальского, А.Г. Суслова, Ю.В Петракова, А.И. Грабченко, Ю.Н.Внукова, А.Н. Михайлова и др.

Различие машиностроительных производств определяется спецификой выпускаемого оборудования, масштабами его производства. поэтому создание обобщающих научных трудов по технологии машиностроения сочетается с работами, отражающими условия и опыт отдельных машиностроительных отраслей. Одной из таких развитых отраслей машиностроения Украины является горное машиностроение. Заводы этого профиля действуют в Харькове, Днепропетровске, Горловке, Донецке, Краматорске, Дружковке, Конотопе, Александрии, Кривом Роге и др. городах.

Горное машиностроение характеризуется широкой номенклатурой изделий, что обусловлено не только большим разнообразием горных машин, но и стремлением приспособить их к разнообразным горногеологическим условиям эксплуатации. В результата этого на заводах отрасли практически отсутствовало крупносерийное и массовое производства, что повышало себестоимость изготовления горной техники. Снижение удельных затрат обеспечивалось постепенным повышением уровня стандартизации размеров, формы и относительного расположения обрабатываемых поверхностей деталей и присоединительных поверхностей сборочных единиц горных машин. Результатом этого процесса явилось изменение масштабов производства, что позволило резко повысить уровень автоматизации горного машиностроения, Большое значение в настоящее время имеет широкое внедрение гибких переналаживаемых производственных систем и высокоэффективного оборудования со встроенными средствами управления и контроля на базе микропроцессорной техники.

К горным машинам предъявляются специальные требования (ДСТУ 2364 – 94), вытекающие из специфики условий их применения – взрывобезопасность, пыленепроницаемость, ограничение габаритных размеров, коррозионная стойкость, способность противостоять ударным нагрузкам. Все эти требования необходимо учитывать в процессе изготовления горной техники.

Технический прогресс в горной промышленности определяется значительным увеличением выпуска существующих горных машин и комплексов и освоением большого числа новых высокопроизводительных машин. Большое внимания при этом должно уделяться повышению качества, надежности и долговечности машин, а также их прогрессивному обслуживанию, ремонту и монтажу.

Значение повышения надежности в широком смысле этого понятия непрерывно возрастает в связи с интенсификацией технологических процессов горного производства, повышением производительности оборудования и увеличением воздействующих на него нагрузок. Надежность горных машин закладывается, в том числе, на стадии их производства и является неотъемлемым показателем качества.

Одно из основных условий, которому должно удовлетворять оборудование, является его безотказная работа в течении заданного периода времени, что обеспечивается высоким уровнем качества горной техники. Большой вклад в развитие технологии горного машиностроения, прогнозирования сроков службы эксплуатации горных машин, методики оценки уровня качества горной техники внесли отечественные ученые П.М. Шилов, Г.И Солод, В.И. Морозов, И.А. Бегагоен, В.П. Малеев и др. Качество горной техники это понятие, концентрирующее современные научно-технические достижения в проектировании, технологии и организации производства, эксплуатации средств механизации горного производства.

Авторы выражают глубокую благодарность коллективу кафедры «Технология горного машиностроения» ГВУЗе «Национальный горный университет» за помощь в подготовке рукописи учебника.



# 1. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Технология машиностроения* – наука, изучающая закономерности процессов обработки и устанавливающая факторы, наиболее эффективно сказывающиеся на интенсификации производительности и качестве продукции. Предметами изучения являются совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материалов или полуфабрикатов, применяемых в производственном процессе с целью получения изделий заданного качества в установленном программой выпуска количестве при наименьших затратах труда и материалов, минимальной себестоимости и максимальной производительности в условиях полной безопасности.

*Производственный процесс* – совокупность действий людей и орудий труда, связанных с переработкой сырья и полуфабрикатов в заготовки, готовые детали, сборочные единицы и готовые изделия на данном предприятии. **Основной производственный процесс** непосредственно связан с изменением форм, размеров и свойств материала изготовляемых деталей, сборки из них механизмов, машин и оборудовния. **Вспомогательный производственный процесс** связан с подготовкой и перенастройкой инструмента, установкой приспособлений, обслуживанием и диагностикой оборудования, контролем и транспортированием продукции и т.д.

*Технологический процесс* – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. Технологический процесс может быть отнесен к изделию, его составной части (заготовке или сборочной единице) или к методам обработки, формообразования и сборки. Технологический процесс связан с изменением размеров, форм и свойств материала обрабатываемой заготовки. В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 3.1109 - 82 различают единичный, типовой и групповой технологические процессы.

**Единичный технологический процесс** – изготовление или ремонт изделий одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

**Типовой технологический процесс** – изготовление группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

**Групповой технологический процесс** – изготовление группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Основу технологического процесса составляет технологическая операция.*Технологическая операция* – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. Различают типовую и групповую технологические операции.

**Типовая технологическая операция** характеризуется единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

**Групповая технологическая операция** – совместное изготовление группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Основными элементами операции являются установ, переход (технологический и вспомогательный), позиция, ход (рабочий и вспомогательный) и др.

**Установ** – часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

**Технологический переход** – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

**Вспомогательный переход** – законченная часть технологической операции, состоящая из действий, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода (например, смена инструмента, закрепление заготовки и т.д.).

**Позиция** – одно из фиксированных положений, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.



**Рабочий ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхностей и свойств заготовки.

**Вспомогательный ход** – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

Рабочий и вспомогательный ходы выполняются приемами или движениями. **Прием** – законченная совокупность действий, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением. **Движение** – простейший элемент приема.

Учитывая широкое использование термина «изделие», необходимо установить понятие об изделии и его элементах.

*Изделием* называют предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению. Изделия для поставки заказчикам или реализации торговыми организациями называют основными, а для собственных нужд предприятия-изготовителя – вспомогательными. Различают несколько видов изделия: детали, сборочные единицы, комплексы, комплекты.

**Деталь** – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например литой корпус, отрезок кабеля и др.

**Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой и т.п.), например станок, редуктор, сварной корпус и др.

**Комплекс** – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например комплексы по добыче угля на пологих пластах, вскрышные комплексы и др.

**Комплект** – два и более изделия, не соединенных на предприятии–изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение, как правило, вспомогательного характера, например комплект запасных деталей для погрузочной машины, комплект гаечных ключей и слесарного инструмента для ремонта и др.

## 1.2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

*Технологичность конструкции изделия* – это совокупность функциональных свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Таким образом, конструкция изделия считается технологичной, если обеспечиваются оптимальные затраты труда и средств на проектирование, изготовление, техническое обслуживание, ремонт при заданном уровне качества и безопасности работы. Технологичность изделия определяется также условиями изготовления, объемом и тактом выпуска, специализацией, организацией и оснащенностью производства, квалификацией обслуживающего персонала.

Отработка конструкции на технологичность производится на всех стадиях производства: при проектировании, составлении рабочей документации на изготовление опытного образца, окончательной доводке изделия и технологического процесса в период изготовления контрольной серии изделия. При отработке на технологичность конструкции изделия должны быть решены следующие задачи: снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия, снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия, снижение общей материалоемкости изделия (расход материала и энергетических ресурсов), при гарантированных сроках эксплуатации.

Первая задача решается повышением серийности, применением стандартизации, унификации, агрегатирования, группирования изделий по их главным конструктивным признакам, ограничением номенклатуры конструкций и материалов, применением типовых технологических решений по подбору приспособлений, режущего и измерительного инструмента и т.д.

Вторая задача решается выполнением рациональной конструкции, которая обеспечивает удобное обслуживание и ремонт, повышает надежность и безопасность работы. Особенно это важно для горных машин и оборудования, которые эксплуатируются в ограниченных объемах горных выработок и в условиях повышенной концентрации газов, пыли и влажности.

Третья задача решается применением рациональных сортаментов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей и др.



Оценка технологичности конструкции изделия может быть двух видов: *качественная* и *количественная*. Качественная оценка предшествует количественной. *Качественная оценка* характеризует технологичность конструкции обобщенно, на основании опыта исполнителя. *Количественная оценка* технологичности конструкции изделия выражается различными показателями: **базовыми**, являющимися предельными нормативами технологичности, обязательными при разработке изделия; показателями технологичности, **достигнутыми** при разработке изделия (трудоемкость, удельная материалоемкость, технологическая себестоимость изделия, средняя операционная трудоемкость и стоимость технологического обслуживания, коэффициент применяемости материала и др.); **показателями уровня технологичности**.

При обеспечении *технологичности сборочных единиц* (ГОСТ 14.203 - 73) следует учитывать их функциональное различие в составе изделия. Сборочные единицы могут быть: составной частью изделия и не выполнять самостоятельных функций (например, корпус клапана); составной частью изделия и выполнять самостоятельные функции (например, насос в отдельном корпусе относительно двигателя). Необходимо учитывать следующие требования при разработке технологичности сборочной единицы: сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегатирования; конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей; конструкция сборочной единицы должна предусматривать базовую составную часть, которая является основной для расположения остальных составных частей; в конструкции базовой составной части следует предусматривать возможность использования конструкторских баз в качестве технологических и измерительных; компоновка составных частей сборочной единицы должна обеспечивать удобный доступ к местам, требующим контроля, регулирования, обеспечивать возможность использования рациональных способов соединения составных частей; выбор метода сборки должны проводиться на основании расчета и анализа размерных цепей и др.

Технологичность конструкции детали должна отвечать ряду требований: конструкция детали должна состоять из стандартных или унифицированных конструктивных элементов; деталь следует изготовлять из стандартных или унифицированных заготовок; формы и размеры конструктивных элементов должны обеспечивать необходимые прочность и жесткость детали, легкий подвод и вывод инструмента при обработке, возможность одновремен-

ной обработки нескольких деталей, что способствует сокращению времени обработки и повышению производительности и т.п.; показатели базовой поверхности (точность, шероховатость) должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля.

Для создания оптимальных форм деталей применяют определенные технологические методы изготовления и обработки заготовок. Например, в *многоступенчатых валах* ступени должны иметь размеры стандартного ряда, причем, если размеры убывают от середины, то необходимо (по возможности) предусматривать унифицированные формы и размеры ступеней, что дает возможность использовать при переустановках детали одни и те же многорезцовые наладки; не следует предусматривать большую разницу между размерами соседних ступеней; следует стремиться исключить проточки и выемки на торцах детали, что уменьшает затраты на резание (*рис. 1.1*).

На *рис. 1.1, а* показана нетехнологичная конструкция вала, имеющая различные размеры шеек. Для обработки такого вала потребуется две его установки и две переналадки. Для получения технологичной конструкции вала следует принять длину и диаметры шеек одинаковыми на обоих его концах. При этом сократится число переналадок.

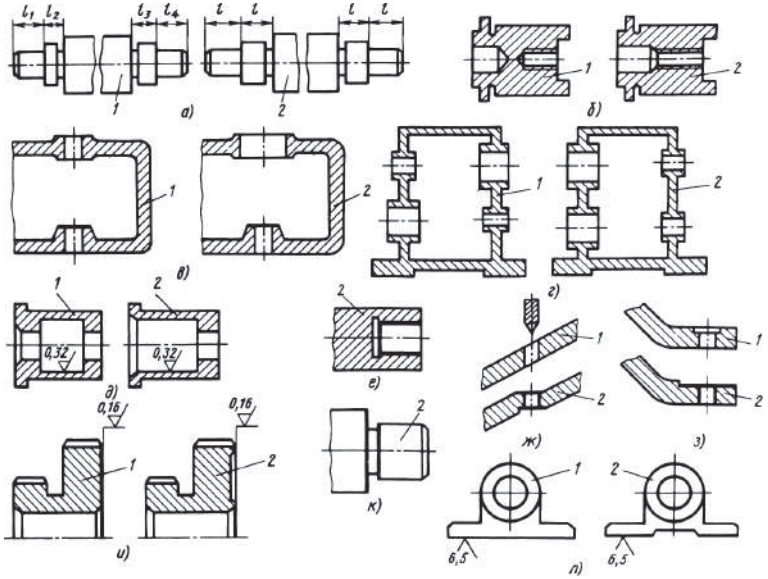



***Рис. 1.1. Нетехнологичные и технологичные конструкции различных деталей:***

1, 2 – соответственно нетехнологичная и технологичная детали



На *рис. 1.1, б* показана нетехнологичная конструкция втулки с глухими отверстиями. Для получения технологичной конструкции втулки необходимо отверстие выполнить сквозным и ступенчатым, что сократит число переустановок.

На *рис. 1.1, в, г* изображены корпусные детали с различным расположением отверстий. Изменяя положение и размеры отверстий можно улучшить технологичность детали.

На *рис. 1.1, д* показана полая втулка, для улучшения технологичности которой необходимо обрабатываемую поверхность выполнить открытой.

Выполняя проточки в детали (*рис. 1.1, е, к*) для выхода инструмента при обработке, можно улучшить ее технологичность.

На *рис. 1.1, ж* показан вариант улучшения технологичности детали благодаря созданию лучших условий (выполнение площадок) для работы инструмента.

При наличии большой протяженности базовой поверхности можно улучшить технологичность деталей (*рис. 1.1, и, л*), если разделить базовую поверхность на два участка, один из которых не требует обработки.

На *рис. 1.1, з* показана деталь с проточкой для крепежного элемента. В этом случае технологичность детали можно улучшить, если устранить эту проточку.

Основные требования к технологичности конструкции детали *тел вращения со сквозными отверстиями*: размеры применяемого инструмента должны соответствовать размерам отверстия, что снижает трудоемкость обработки отверстия; следует преимущественно применять фрезерование поверхности отверстия, что увеличивает производительность.

При обработке резьб обязательно наличие заходной фаски, что облегчает формообразование резьбы, уменьшает образование заусенцев; необходимо предусмотреть наличие канавки для выхода инструмента, что дает возможность получения резьб без перегрузки инструмента; необходимо избегать глухих резьбовых отверстий для улучшения удаления стружки из отверстия; по возможности предусматривать бесстружечное формообразование резьб, что дает возможность полнее использовать материал и создать более прочное резьбовое сопряжение благодаря равномерному распределению нагрузки между нитками резьбы.

## 1.3. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Точность обработки детали – это соответствие ее действительных геометрических параметров (формы, размеров и взаимного расположения поверхностей) заданным геометрическим параметрам. Действительные отклонения размеров детали от заданных номинальных значений не должны превышать допуска на размер, обозначенного на рабочем чертеже.

Необходимая точность обработки достигается методом пробных рабочих ходов и методом автоматического получения заданного размера.

Первый метод заключается в индивидуальной выверке обрабатываемой заготовки, последовательном снятии стружки пробными рабочими ходами и измерением полученного размера. Коррекция толщины снимаемой стружки после очередного измерения дает возможность получения заданной точности. Этот метод трудоемок и применим в единичном и мелкосерийном производстве.

Второй метод заключается в получении размера по перемещениям режущего инструмента. Эти перемещения заранее определяют как настроечные размеры, заготовку устанавливают без выверки, а заданный размер получают за один рабочий ход автоматически. Этот метод более производителен, но требует специальных устройств и приспособлений, а также постоянства основных характеристик заготовок, от которых в значительной мере зависит заданный размер. Применяют метод автоматического получения заданного размера в серийном и массовом производстве.

Различные методы обработки требуют разных затрат для получения одинаковой точности. На *рис. 1.2* показано влияние методов обработки на точность и себестоимость обработки. Из рисунка видно, что средняя экономическая точность чистового шлифования соответствует 7 – 8 квалитетам точности; предварительного шлифования – 8 – 9 квалитетам, а чистового точения – лишь 10 – 11 квалитетам точности.

Известны несколько методов расчета точности механической обработки: вероятностно-статистический, основанный на результатах эксперимента при обработке 50 и более заготовок; расчетно-аналитический, основанный на оценке точности по аналитическим и эмпирическим зависимостям; расчетно–статистический, основанный на использовании преимуществ приведенных выше двух методов (одну часть информации получают экспериментально, а другую определяют по формулам).



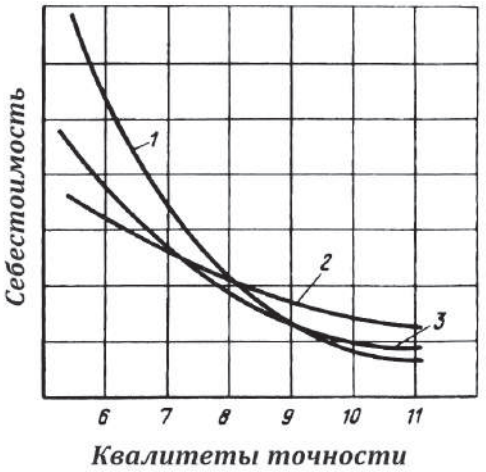



***Рис. 1.2. Влияние вида обработки на точность и себестоимость детали:***
1 – чистовое точение; 2 – чистовое шлифование;
3 – предварительное шлифование

Различают точность *экономическую* и *достижимую*. Экономическая точность обусловлена отклонениями от номинальных размеров обрабатываемой поверхности, полученных в нормальных условиях при использовании исправного оборудования, стандартного инструмента, рабочего средней квалификации при затратах времени и средств, не превышающих эти затраты при других сопоставимых методах обработки. Экономическая точность зависит не только от метода обработки, но и от материала заготовки, припуска на обработку.

Достижимая точность обусловлена отклонениями размеров, полученными при улучшенных условиях обработки на современном оборудовании с использованием специальных приспособлений, режущего инструмента и рабочих высокой квалификации.

Для чистовых и тонких методов обработки лезвийным инструментом также различают экономическую и достижимую точность. Обычно разница отклонений от номинальных размеров при экономической и достижимой точности составляет 1 ... 2 квалитета, а например, при чистовом обтачивании с поперечном подачей разница достигает 3 ... 4 квалитетов. Для черновых и получистовых методов обработки обычно установлена только экономическая точность.

Отклонения размеров и форма элементов детали, а также их взаимное расположение зависят в процессе обработки от многих факторов: погрешности станка, обрабатывающего инструмента и приспособлений; износа инструмента; упругих деформаций системы станок – приспособление – инструмент – деталь; температурных деформаций технологической системы; погрешностей, зависящих от выбранной технологической схемы и режимов обработки; погрешностей измерения, включая собственную погрешность инструмента измерения; неоднородности размеров, жесткости материала и других погрешностей заготовок.

При обработке деталей возникают следующие погрешности: 1) постоянные систематические погрешности, имеющие близкие или одинаковые числовые значения для всей рассматриваемой совокупности обрабатываемых деталей (они вызываются факторами, сохраняющими постоянное значение в процессе обработки партии деталей – например, погрешность настройки станка); 2) переменные систематические погрешности, закономерно изменяющиеся по ходу процесса обработки (например, связанные с изнашиванием инструмента, температурными деформациями и другими факторами, зависящими от времени обработки); 3) случайные погрешности (погрешности рассеяния), имеющие для отдельных деталей одной партии различные значения; причем определить заранее момент их появления невозможно (так как они вызываются факторами случайного характера, например, припуском на обработку, силой резания и др.).

Систематические погрешности могут быть выявлены и устранены в процессе подготовки производства или изготовления; случайные погрешности требуют специального изучения средств и условий обработки на основе статистического анализа. Полностью исключить случайные погрешности невозможно. Закон распределения случайных погрешностей устанавливает зависимость между значениями случайной погрешности и вероятностью ее появления.

Необходимо отметить следующие пути повышения точности механической обработки: применение жестких технологических систем, специальных режущих самоуравновешивающихся головок, систем автоматического управления (САУ), адаптивных систем управления, которые с увеличением силы резания автоматически уменьшают подачу инструмента. Исследования показали, что такие системы позволяют повысить точность обработки на том же оборудовании в 2 раза.



## 1.4. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Качество поверхностей деталей после механической обработки определяется геометрическими характеристиками и физико–механическими свойствами поверхностного слоя материала детали.

**Геометрические характеристики поверхности.** К геометрическим характеристикам относятся шероховатость, форма поверхности, волнистость и направление неровностей обработки резанием.

В результате обработки резанием на поверхности детали остаются следы режущей кромки инструмента в виде выступов и впадин, различных по форме и размерам. Эти неровности создают шероховатость и волнистость поверхностей.

*Шероховатость поверхности.* Основные параметры шероховатости согласно ДСТУ ГОСТ 25142:2009 следующие: $R_a$, $R_z$, $R_{max}$, связанные с высотными свойствами неровностей; *Sm* и *S*, связанные со свойствами неровностей в направлении длины профиля; *tp* – относительная длина профиля.

Шероховатость поверхностей оценивают одним или несколькими из перечисленных параметров.

Предпочтительным является параметр $R_a$ – интегральный показатель шероховатости, определяемый как среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l}\int_0^1 |y(x)|dx \cong \frac{1}{n}\sum |y(x_i)|, \qquad (1.1)$$

где $l$ – базовая длина; $n$ – число выбранных точек профиля на базовой длине; $y$ – расстояние между точкой реального профиля и базовой (средней) линией профиля.

Высота неровностей профиля $R_z$ – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5}\left(\sum_1^5 \left|y_{pi}\right| + \sum_1^5 \left|y_{vi}\right|\right), \qquad (1.2)$$

где $y_{pi}$ – высота наибольших выступов; $y_{vi}$ – глубина наибольших впадин.

Одно и то же качество поверхности характеризуется отношением $R_a \cong R_z/4$. Пределы измерения для $R_a$ – от 100 до 0,008 мкм, а для $R_z$ – от 400 до 0,025 мкм.

Параметр $R_{max}$ – наибольшая высота неровностей профиля, определяемая как расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины. Числовые значения $R_{max}$ соответствуют числовым значением $R_z$.

Средний шаг неровностей профиля *Sm* – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам *S* – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины.

Значения параметров *S* и *Sm* составляют 12,5 ... 0,002 мм.

Относительная опорная длина профиля *tp* – отношение суммарной длины отрезков, отсекаемых в пределах базовой длины в материале детали линией, эквидистантной средней линии и расположенной на заданном расстоянии от линии выступов профиля, к базовой длине (в%). Значения *tp* составляют 10 ... 90%.

Параметры $R_{max}$, *Sm*, *S* и *tp* характеризуют форму микронеровностей и определяют износостойкость поверхности и контактную деформацию сопрягаемых деталей. Эти параметры используют для оценки шероховатости значительно реже, чем $R_a$ и $R_z$.

В соответствии с ГОСТ 2.309 - 73 шероховатость поверхности на чертежах обозначают специальным знаком, над которым указывается параметр и численное значение параметра шероховатости *(рис. 1.3)*. При одинаковой шероховатости нескольких поверхностей знак шероховатости выносят в правый верхний угол чертежа.

***Рис. 1.3. Обозначение шероховатости:***
*а* – в общем случае (вид обработки не установлен);
*б* – с удалением слоя металла; *в* – без снятия слоя металла

Шероховатость поверхности зависит от вида обработки, геометрии режущего инструмента, режимов резания. Для каждого вида обработки установлены средние параметры точности и шероховатости поверхностей *(табл. 1.1)*. Может быть рекомендована определенная зависимость параметров шероховатости от допуска на размер детали *(рис. 1.4)*.



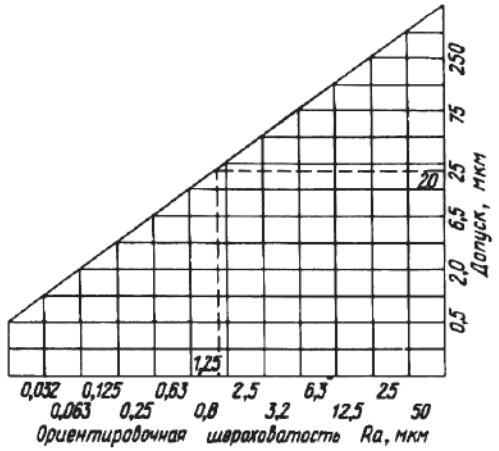



***Рис. 1.4. Зависимость шероховатости поверхности от допуска***

Шероховатость обработанной поверхности значительно влияет на эксплуатационные свойства деталей. Микронеровности в значительной мере изменяют характер сопряжения, особенно в первоначальный период эксплуатации, когда происходит приработка поверхностей, или в период сборки неподвижных сопряжений, когда происходит смятие микронеровностей. Уменьшением шероховатости при обработке можно повысить несущую способность поверхностей на 40–50%, коррозионную стойкость – в 1,5 ... 2 раза.

Методы измерения шероховатости делят на бесконтактные и контактные. Наибольшее распространение из бесконтактных получили методы светового сечения, теневой проекции, растровые, микроинтерференционные, сравнительные. Из контактных наиболее широко применяют щуповые методы и метод слепков.

*Метод светового сечения* заключается в том, что в поле зрения окуляра микроскопа благодаря отражению пучка света от поверхности обработки находится световая щель в виде ступеньки, соответствующая уровню высот неровностей. При данном способе используют микроскопы ПСС–2 и МИС–11.

*Метод теневой проекции* – видоизмененный метод светового сечения. При этом методе используют приборы ПТС–1.

*Растровый метод* заключается в том, что измеряемая поверхность рассматривается в микроскоп с одновременным наложением муаровой картинки. По искривлению муаровых полос определяют микронеровности. При растровом методе используют микроскоп ОРИМ–1.

*Интерференционный метод* измерения шероховатости поверхностей заключается в наложении в поле зрения на изображение шероховатости интерференционных полос, по искривлениям которых определяют микронеровности. К таким приборам относят микроинтерферометры МИИ–4, МИИ–9, МИИ–10 и др.

Перечисленные приборы дают возможность оценить шероховатость в пределах от 400 до 1,6 мкм (приборы ПСС–2, МИС–11 и ПТС) и от 25 до 0,2 мкм (приборы МИИ, ОРИМ).

Сравнительный метод оценки шероховатости основан на визуальном сравнении обработанной поверхности с аттестационным эталоном. Этот метод дает возможность оценить параметры шероховатости $R_z$ = 400 ... 6,3 мкм, $R_a$ = 100 ... 1,6 мкм.

Применение микроскопа сравнения МС-49 расширяет возможности этого метода: деталь со станка не снимают. Микроскоп выполнен так, что раздвоенный пучок света посылается на поверхность детали и эталона. Отразившись от них через призмы, изображение подается в одно поле зрения.

При *щуповых методах* используют профилометры и профилографы (П–10, ОГ–5, ПГ–7, ПГ–10 и др.), позволяющие определять параметры $R_z$ = 50 ... 6,3 и $R_a$ = 3,2 ... 0,025 мкм.

*Метод слепков* состоит в том, что специальную массу с усилием прикладывают к поверхности контролируемой детали. После того, как масса застынет, ее снимают с детали. Неровности поверхности детали отпечатываются на застывшей поверхности массы и их можно измерить известными методами.

*Волнистость поверхности.* Волнистость – это совокупность периодически повторяющихся неровностей, шаг которых превышает базовую длину. Она характеризуется высотой *(*$W_{max}$, шагом $S_w$ и длиной измерения $L \geq 5S_w$.

**Физико-механические свойства поверхностного слоя.** При обработке заготовки в ее поверхностном слое происходят изменения: повышается поверхностная твердость и возникают остаточные напряжения.

Глубина и степень наклепа (упрочнения) поверхностного слоя зависят от свойств и структуры металла деталей, способов, условий и режимов обработки.

Для определения глубины и степени наклепа применяют рентгено-структурные методы, метод косых срезов, послойное химическое травление. Наиболее простым является метод косых срезов, заключающийся в том, что исследуемую поверхность образца срезают под углом 2° притиранием на плите и измеряют микротвердость.



**Таблица 1.1.**

***Параметры точности и шероховатости в зависимости от метода обработки***

| Вид обработки | Квалитет точности обработки | Шероховатость, $R_a$, мкм |
|---|---|---|
| Точение: | | |
| черновое | 15 ... 12 | 25 ... 12,5 |
| получистовое | 12 ... 10 | 12,5 ... 6,3 |
| чистовое | 9 ... 7 | 3,2 ... 1,6 |
| тонкое | 6 | 0,8 ... 0,4 |
| Фрезерование: | | |
| черновое | 13 ... 11 | 25 ... 12,5 |
| чистовое | 10 ... 8 | 6,3 ... 1,25 |
| тонкое | 8 ... 6 | 1,25 ... 0,32 |
| Сверление | 14 ... 11 | 2,5 ... 6,3 |
| Зенкерование: | | |
| черновое | 15 ... 12 | 25 ... 6,3 |
| чистовое | 12 ... 10 | 6,3 ... 3,2 |
| Протягивание отверстий | 9 ... 7 | 6,3 ... 0,4 |
| Прошивание отверстий | 9 ... 6 | 1,6 ... 0,4 |
| Шлифование: | | |
| круглое | | |
| получистовое | 11 ... 8 | 6,3 ... 3,2 |
| чистовое | 8 ... 6 | 3,2 ... 0,8 |
| тонкое | 6 ... 5 | 0,8 ... 0,2 |
| Хонингование отверстий до 80 мм | 7 ... 6 | 0,32 ... 0,05 |
| Развертывание: | | |
| черновое | 10 ... 8 | 12,5 ... 6,3 |
| получистовое | 9 ... 8 | 6,3 ... 3,2 |
| чистовое | 8 ... 7 | 1,8 ... 0,8 |
| тонкое | 7 ... 6 | 0,8 ... 0,32 |
| Растачивание: | | |
| черновое | 17 ... 15 | 50 ... 25 |
| получистовое | 14 ... 12 | 25 ... 6,3 |
| чистовое | 11 ... 8 | 6,3 ... 1,6 |
| тонкое | 8 ... 7 | 1,6 ... 0,4 |

Твердомером по длине среза определяют место, в котором твердость не изменяется (основной материал), и определяют $h_H = l \sin\alpha$ (здесь $l$ – длина среза, на котором наблюдалось изменение твердости). Степень наклепа определяют из соотношения

$$u_H = (T - T_0) / T, \quad (1.3)$$

где $T$ – максимальная твердость, полученная на срезе; $T_0$ – твердость основного материала.

После механической обработки в поверхностном слое возникают остаточные напряжения, которые зависят от способов и режимов обработки, свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего инструмента.

Остаточные напряжения возникают при совместном действии пластического деформирования и нагрева поверхностного слоя.

Методы повышения качества поверхности деталей: термическое упрочнение путем закалки; химико-термическиая обработка (цементация, азотирование, борирование и т.п.); нанесение покрытий гальваническим или химическим методами, наплавкой износостойких материалов, металлизацией напылением, электроискровым нанесением покрытия и т.д.; упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием (упрочнение дробью, обкаткой роликами, механической чеканкой, раскатыванием, взрывом и т.д.). Перечисленные методы повышают износостойкость, точность обработки, а также снижают микронеровности.

## 1.5. БАЗЫ И ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ

Поверхности обрабатываемых деталей изделий можно разделить на: 1) исполнительные, с помощью которых деталь выполняет свое функциональное назначение; 2) основные, с помощью которых определяется положение данной детали в изделии; 3) вспомогательные, с помощью которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной; 4) свободные, т.е. поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей.

При обработке детали или сборке изделия необходимо в определенном положении в пространстве, используя стол станка или приспособление, установить и закрепить деталь. *Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат станка называют базированием (ГОСТ 21495 – 76).*



Поверхности или сочетание поверхностей, осей, точек, принадлежащих одной заготовке или изделию и используемых для базирования, называют базой. Базы можно разделить на конструкторские, технологические, измерительные, скрытые, явные, установочные, направляющие, опорные, проектные и действительные.

**Конструкторскую базу** используют для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы являются реальными поверхностями элементов изделия. Конструкторские базы бывают основные и вспомогательные. Первые используют для определения положения детали в изделии, а вторые – для определения присоединяемого изделия.

**Технологическая база** предназначена для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте. Поверхности заготовки, непосредственно контактирующие с установочными элементами приспособления, образуют технологическую базу. Технологические базы могут быть основными и вспомогательными. Основными технологическими базами могут быть, например, отверстия и торцовые поверхности зубчатых колес, а вспомогательными – поверхности центровых отверстий валов.

**Измерительную базу** используют для отсчета размеров при обработке или сборке, а также для проверки взаимного положения элементов изделия. Измерительной базой может быть реальная поверхность (явная база) и воображаемая плоскость, линия или точка (скрытая база). В последнем случае необходимо применение косвенных методов контроля.

**Установочную базу** используют для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг двух других осей.

**Направляющую базу** используют для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси.

**Опорную базу** используют для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих их одной степени свободы: перемещения вдоль координатной оси или поворота вокруг оси.

По месту расположения в технологическом процессе установочные базы делят на черновые (первичные), промежуточные и чистовые (окончательные). Черновые базы служат для установ-

ки заготовки на первой операции обработки, когда отсутствуют другие обработанные поверхности. При этом должны быть обработаны поверхности, которые являются наиболее возможными базами при последующей обработке детали.,

Таким образом, для обеспечения неподвижности (полного базирования) заготовки или изделия в избранной системе координат на них следует наложить шесть двусторонних геометрических связей, создание которых решается комплектом баз из шести опорных точек (правило шести точек). Реализация перемещений при обработке проводится снятием соответствующего числа связей. Например, при токарной обработке деталь имеет одну степень свободы – вращение вокруг оси (неполное или упрощенное базирование).

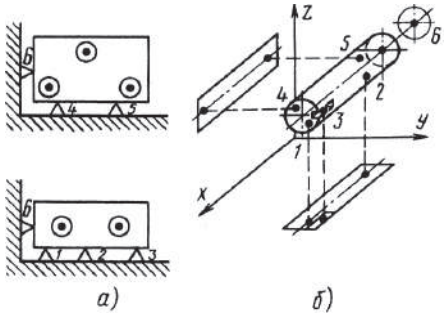



***Рис. 1.5. Схема базирования по шести точкам детали:***
*а* – прямоугольная; *б* – цилиндрическая (точки *1*, *2*, *3* образуют установочную базу, *4*, *5* – направляющую и *6* – опорную)

На *рис. 1.5.* показаны схемы базирования по шести точкам. Выбрав ту или иную схему базирования, можно достигнуть фактического положения детали в пространстве с большим или меньшим отклонением от требуемого. Эти отклонения называют погрешностью установки. Погрешность установки представляет собой сумму погрешностей базирования, закрепления и приспособления:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_б^2 + \Delta_з^2 + \Delta_{пр}^2}, \qquad (1.4)$$

Погрешностью базирования $\Delta_б$ называют разность предельных расстояний между измерительной базой заготовки и установленным на размер обработки инструментом. Для уменьшения погрешности базирования необходимо совмещать технологическую и измерительную базы.



Рассмотрим схему совмещения баз, $\Delta_з$, $\Delta_{пр}$ (соответственно погрешностям закрепления и приспособления).

По схеме базирования на *рис. 1.6, б* погрешность базирования будет определяться допуском на расстояние между установочной базой А и измерительной базой В, так как инструмент настраивается по отношению к установочной базе. На *рис. 1.6 в*, установочная и измерительная базы совмещены и погрешность базирования будет равна нулю. Такой результат можно получить на схеме, показанной на *рис. 1.6, б*, если задаться новым размером выступа F. При этом необходимо пересчитать размеры и допуски.

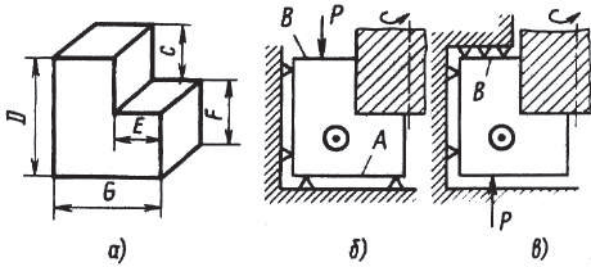



***Рис. 1.6. Схема базирования:***
*а* – обрабатываемая деталь; *б* – базы не совмещены;
*в* – базы совмещены

Погрешность закрепления $\Delta_з$ определяется колебанием деформаций элементов детали и опоры, через которые передается усилие закрепления. Теоретически значение погрешности закрепления определяется сложной степенной функцией, а практически может быть определено проведением несложного эксперимента.

Погрешность приспособления $\Delta_{пр}$ определяется колебаниями размеров элементов приспособления, их износом, неточностью установки приспособления на столе станка. При изготовлении приспособлений регламентируется их неточность, составляющая 10 ... 25 % допуска на обрабатываемый размер. Допуск на износ приспособлений также регламентирован и ориентировочно составляет не более 15 ... 20 мкм при обработке размеров детали не ниже 9-го квалитета точности. Неточность установки ограничивается выверкой и составляет 10... 20 мкм.

Поскольку погрешности базирования, закрепления и приспособления величины случайные, их суммирование следует вести по правилу квадратного корня.

В единичном и мелкосерийном производстве часто установку детали производят с выверкой заготовки, которую проводят по разметочным рискам заготовки либо по поверхностям. Точность установки составляет при выверке по необработанным поверхностям не более 1,5 мм, а по предварительно обработанным поверхностям – не более 0,05 мм.

При выборе баз необходимо соблюдать следующие требования. При черновой обработке необходимо выбирать те поверхности для базирования, которые не обрабатываются и имеют наименьшее смещение относительно обрабатываемых; если обработке подвергают все поверхности, то в качестве черновой базы выбирают поверхности с наименьшим припуском, что приводит к меньшему числу бракованных деталей; в качестве черновых баз следует выбирать поверхности с наименьшими отклонениями размеров, а также не имеющие облоя, заусениц и т.п.; при черновой обработке с переустановкой в качестве баз необходимо использовать обработанные поверхности, что сокращает число бракованных деталей.

При чистовой обработке в качестве баз необходимо стремиться использовать конструкторские базы, так как использование вспомогательных баз может вызвать дополнительные погрешности; при точной обработке в качестве базы выбирают измерительную; базирующие поверхности должны быть достаточной площади и расположены возможно ближе к обрабатываемой, что обеспечивает необходимую жесткость детали и уменьшение деформации при обработке; для уменьшения погрешностей при различных операциях следует применять принципы постоянства баз (при большом числе операций используется одна и та же база) и совмещения (в качестве технологических используют конструкторские и измерительные базы).

Часто при смене технологических баз для уменьшения погрешностей базирования необходимо изменить измерительную базу (для сохранения принципа совмещения баз). В этом случае необходимо произвести перерасчет размеров и допусков от обрабатываемой поверхности до вновь выбранной измерительной. Пересчет ведут с использованием методов расчета размерных цепей, составным звеном которых является и искомый размер – расстояние от поверхности обработки до измерительной базы. Для примера приведем формулы для пересчета размера уступа от поверхности А *(рис. 1.6, б)*.



**Таблица 1.2.**

***Условные обозначения опор, установочных устройств и формы их рабочих поверхностей***

| Наименования элементов | Обозначения элементов на видах | | |
|---|---|---|---|
| | спереди, сзади | сверху | снизу |
| Опора: | | | |
| неподвижная |  |  | |
| подвижная |  |  | |
| плавающая |  |  | |
| регулируемая |  |  | |
| Зажимы: | | | |
| одиночный |  |  | |
| двойной |  |  | |
| Центры: | | | |
| неподвижный |  | Без обозначения | |
| вращающийся |  | | |
| плавающий |  | | |
| рифленый |  | | |
| Формы рабочих поверхностей опор: | | | |
| плоская |  |  |  |
| сферическая |  |  |  |
| цилиндрическая (шариковая) |  | | |
| призматическая |  |  |  |
| коническая |  |  | |
| ромбическая |  |  | |
| трехгранная |  |  | |

**Продолжение табл. 1.2**

| Наименования элементов | Обозначения элементов на видах | | |
|---|---|---|---|
| | спереди, сзади | сверху | снизу |
| Патроны: | | | |
| трехкулачковый | | | |
| цанговый | | | |
| поводковый | | | |
| Устройство зажима: | | | |
| пневматическое | ***P*** | | |
| гидравлическое | ***H*** | | |
| электрическое | ***E*** | | |
| магнитное | ***M*** | | |
| электромагнитное | ***EM*** | | |
| прочее | Без обозначения | | |

Номинальное значение размера

$$F = D - C \tag{1.5}$$

Предельные значения

$$F_{max} = D_{max} - C_{min}; \quad F_{min} = D_{min} - C_{max} \tag{1.6}$$

Допуск

$$T_F = F_{max} - F_{min} = T_D + T_C \tag{1.7}$$

Условные обозначения поверхностей, опор, зажимов, установочных устройств в соответствии с ГОСТ 3.1107 – 81 приведены в *табл. 1.2*.

## 1.6. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Современное горное машиностроение имеет широкие возможности изготовления и использования заготовок, полученных из сортового проката, литьем, ковкой, прессованием и штамповкой, сваркой, из спеченных материалов и неметаллов (пластмасс,



резины, корундов и др.). При правильно выбранной заготовке не только обеспечивается наибольшая производительность и точность обработки, но и снижаются трудовые затраты, себестоимость, расход материалов, режущего инструмента и др.

В горном машиностроении, особенно на рудоремонтных заводах, наиболее часто используют заготовки из проката. Объясняется это прежде всего широкой номенклатурой сортового проката материала круглой, шестигранной, квадратной и прямоугольной форм, а также бесшовных труб толсто– и тонкостенных (круглые или прямоугольные), профильного проката (швеллеры, двутавры, уголки и др.).

Для серийного и массового производства используют приближение формы заготовки к конфигурации детали благодаря применению периодического проката и проката переменного поперечного сечения. Часто в горном машиностроении используют заготовки, полученные свободной ковкой, горячей и холодной штамповкой, раскаткой. В этих случаях не только облегчается обработка заготовки за счет уменьшения припусков на обработку (коэффициент использования металла составляет 0,9), но и получаются детали более прочные, чем из литых заготовок.

В последние годы в качестве заготовок используют заготовки-штамповки из легированных сталей и специальных сплавов, получаемые гидровзрывным и электрогидравлическим способами. Так, методом штамповки гидровзрывом изготовляют кузова шахтных вагонеток и переходную арматуру для пульпопроводов.

Реже применяют получение заготовок литьем, особенно в оболочковые формы, кокили и др. Литьем в кокиль получают заготовки для массового производства: колеса шахтных вагонеток, детали гидрокрепей и т.п. Использование литья для получения заготовок дает высокую производительность, хороший коэффициент использования металла (до 0,8), возможность получения заготовки практически любой формы, при этом обеспечивается достаточно высокая точность форм, не требующая дополнительной обработки.

При изготовлении заготовок для изделий большой массы, сложной формы очень часто используют комбинированные методы, когда отдельные элементы получают литьем, штамповкой, из проката, а соединяют их в сборочные единицы сваркой, прессованием или другими способами.

Такие заготовки применяют при изготовлении корпусов редукторов, рам породопогрузочных машин, добычных агрегатов, многих элементов гидрокрепей и т.д. Практически около 50% заготовок для производства добычного и проходческого оборудования шахт и карьеров получено комбинированным методом. В последние годы, особенно при переработке полезных ископаемых, часто используют для производства деталей заготовки из пластмасс, резины, с абразивными и другими покрытиями. Такие детали не только обладают высокой абразивной износостойкостью (например, детали, покрытие резиной и абразивом, имеют срок службы в 3 ... 5 раз больший, чем детали из сталей, высокопрочных и отбеленных чугунов), но и имеют повышенную коррозионную стойкость, что очень важно при работе оборудования в активных средах. Несмотря на то, что пластмасса и резина имеют невысокую термостойкость (250 ... 300 °С), эти материалы используют в качестве покрытий при футеровке мельниц, течек бункеров, флотационных машин и др.

Спеченные материалы начали находить применение в горном машиностроении. Из порошков металлов путем прессования и последующего спекания получают готовые детали любой сложности и практически без отходов. Из этих материалов целесообразно изготовлять тормозные колодки (коэффициент трения более 0,3), детали электрооборудования и др. Коэффициент использования металла при этом достигает единицы.

Характеристики различных методов получения заготовок приведены в *табл. 1.3*. Для окончательного выбора заготовки следует провести технико–экономические обоснования метода получения заготовок. Эти обоснования выполняют после установления возможных методов получения заготовки с анализом их использования на данном предприятии. Обычно из 2 – 3 методов выбирают наиболее экономически обоснованный по укрупненным показателям. При этом определяют сумму затрат на получение одной заготовки рассматриваемыми вариантами по стоимости материала заготовки и цеховым затратам на обдирочные работы (с целью доведения размеров заготовки до более точных).



**Таблица 1.3.**

***Характеристика методов получения заготовок***

| Метод получения заготовки | Ориентировочная точность (квалитеты) | Средняя шероховатость $Rz$, мкм | Материал | Максимальная масса | Ожидаемый коэффициент использования металла, КИМ | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Литье:*** | | | | | | |
| в песчаные формы ручной формовки | ДСТУ EN 1562:2010 | 200 | Чугун, сталь | 0,5 кг ... 20 т | 0,4 ... 0,7 | Единичное и мелкосерийное производство |
| в песчаные формы машинной формовки | ДСТУ EN 1562:2010 | 200 | То же | Не более 10 т | 0,4 ... 0,65 | Серийное производство |
| в оболочковые формы | 12 ... 14 | 100 | - " - | Не более 200 кг | 0,6 ... 0,8 | Серийное и массовое производство |
| по выплавляемым моделям | 11 ... 13 | 50 | Сталь, специальные сплавы | Не более 250 кг | 0,7 ... 0,9 | Серийное и массовое производство |
| в кокиль | 12 ... 15 | 100 | Чугун, сталь, цветные металлы и сплавы | Не более 7 т | 0,6 ... 0,8 | Серийное и массовое производство деталей сложной формы |
| под давлением | 10... 12 | 50 | - " - | Не более 100 кг | 0,7... 0,9 | Серийное и массовое производство |

**Продолжение табл. 1.3.**

| Метод получения заготовки | Ориентировочная точность (квалитеты) | Средняя шерохова-тость *Rz*, мкм | Материал | Максимальная масса | Ожидаемый коэффициент использования металла, КИМ | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|
| центробежное | 12 … 14 | 50 | Чугун, сталь, цветные металлы и сплавы | 1,5 т | 0,5 … 0,7 | Массовое и серийное производство отливок в виде тел вращения |
| ***Ковка:*** | | | | | | |
| на молотах и прессах | ГОСТ 7829–70 ГОСТ 7062–90 | До 400 | Сталь | 50 т | 0,4 … 0,6 | Единичное и мелкосерийное производство деталей простой формы |
| на молотах в подкладных штампах | ГОСТ 7829–70 | До 400 | Сталь | 10 кг | 0,5 … 0,7 | Единичное и мелкосерийное производство заготовок средней сложности |
| на радиально–ковочных машинах: | | | | Не более 200 кг | 0,6 … 0,8 | Серийное и массовое производство ступенчатых валов |
| горячая (св. 50 мм) | До 0,6 мм | До 400 | Сталь | | | |
| горячая (до50 мм) | 0,04 … 0,4 мм | До 6,3 | | | | |
| ***Штамповка:*** | | | | | | |
| на молотах и прессах в открытых штампах | ГОСТ 7505–89 | 100 | То же | Не более 200 кг | 0,5 …0,7 | Серийное и массовое производство заготовок |



**Окончание табл. 1.3.**

| Метод получения заготовки | Ориентировочная точность (квалитеты) | Средняя шерохова-тость *Rz*, мкм | Материал | Максимальная масса | Ожидаемый коэффициент использования металла, КИМ | Область применения |
|---|---|---|---|---|---|---|
| горячая в закрытых штампах | ГОСТ 7505–89 | 100 | Сталь | 15 … 25 кг | 0,6 … 0,8 | Крупносерийное и массовое производство заготовок простой формы |
| с калибровкой | 0,05 … 0,1 мм | 25 | - “ - | Не более 20 кг | 0,7 … 0,9 | Серийное и массовое производство заготовок |
| на ГКМ | ГОСТ 7505–89 | 100 | - “ - | - | 0,5 … 0,7 | |
| гидровзрывом, эпектрогидравлическая | 11 … 14 | 25 | Сталь, цветные металлы | Не более 10 т | 0,6 …08 | Серийное и массовое производство заготовок сложной формы |
| *Из пластмассы, резины и др.* | 15 … 17 | – | – | Не более 0,5 т | 0,8 … 0,9 | Мелкосерийное, серийное и массовое производство заготовок сложной формы |
| *Из порошковых материалов и сплавов* | 6…9 | 1,6 | – | Не более 5 кг | 0,9 … 1,0 | Серийное и массовое производство заготовок сложной формы |
| *Из комбинированных заготовок* | Не более 14 | – | Сталь | 10 т и более | 0,4 . .. 0,8 | Единичное, и мелкосерийное производство заготовок сложной формы |
| *Холодная высадка* | 9 … 11 | 12,5 | Сталь | – | 0,6 … 0,8 | Массовое производство крепежных деталей, мелких ступенчатых валиков |

Затраты на материалы заготовок

$$S = B\,P_1\,k_т - g\,P_2 \qquad (1.8)$$

где $P_1$ – оптовая цена материала заготовки по существующим прейскурантам цен, грн/кг; $P_2$ – оптовая цена отходов (стружки) из материала заготовки, грн/кг; $k_т$ = 1,05 ... 1,10 – коэффициент транспортно-заготовительных и складских расходов; $B$ – масса заготовки, кг; $g$ – масса реализуемой стружки, кг.

Ориентировочную массу реализуемой стружки можно определить по формуле

$$g = Q\,П/100, \qquad (1.9)$$

где $Q$ – масса детали (по чертежу), кг; $П$ – ориентировочный отход металла в стружку в зависимости от метода получения заготовки, %;

| Метод получения заготовки: | |
|---|---|
| стальной прутковый прокат | 35 ... 50 |
| штамповка | 20 ... 30 |
| поковка на молотах | 30 ... 40 |
| литье: стальное в песчаные формы | 35 ... 45 |
| чугунное в песчаные формы | 35 ... 45 |
| в оболочковые формы | 10 ... 15 |
| в кокиль | 10 ... 12 |
| под давлением | 7 ... 10 |
| порошковая металлургия | 0 ... 5 |

Сумма заработной платы за выполнение обдирочных работ (с учетом работы по наладке станка)

$$З=(З_C+З_H)\left(1+\frac{H}{100}\right)=\left(Q_C+\frac{Q_H}{100}\right)\left(1+\frac{H}{100}\right)T_{шт}=\frac{(100+H)\left(4Q_C+Q_H\right)}{400}T_{шт}, \qquad (1.10)$$

где $Q_C$, $Q_H$ – тарифные минутные ставки станочника (производящего обдирочные работы) и наладчика (обычно обдирочные работы ведут станочники квалификации не выше 3 разряда, а наладку – наладчики 5 ... 6 разрядов), грн/мин; $T_{шт} = T_м/k = L_i/(ns_0k)$ – норма штучного времени, мин; [здесь $T_м = L_i/(ns_0)$ – машинное время, затрачиваемое на обдирочные работы, мин; $L = l + l_{вр} + l_п$ – расчетная длина отработки с учетом значений длины врезания и перебега, мм; $l$ – длина обрабатываемой поверхности, мм; $l_{вр}$, $l_п$ – длина врезания и перебега инструмента, мм (ориентировочно можно принимать 2 ... 5 мм);



$n = 1000\,v/(\pi D)$ – частота вращения заготовки, об/мин; $v$ – допустимая скорость резания, м/мин; $D$ – начальный диаметр поверхности обработки,мм; $s_0$ – подача инструмента, мм/об; $i = (D - d)/(2t)$ – число ходов обработки при обдирке; $d$ – конечный диаметр поверхности обработки, мм; $t$ – максимально допустимая глубина резания на один ход, мм; $k$ – коэффициент непрерывности работы станка (*табл. 1.4*) в зависимости от наименования и типа производства (одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций – отношение числа всех технологических операций, выполняемых в течение месяца, к числу рабочих мест)]; $H$ – средние цеховые расходы (для цеха механической обработки в зависимости от типа производства эти расходы различны: для мелкосерийного производства, для серийного и крупносерийного, для массового при использовании автоматических линий).

**Таблица 1.4.**

***Коэффициенты непрерывности работы станков***

| Станки | Тип производства | |
|---|---|---|
| | Единичное и мелкосерийное | Крупносерийное и массовое |
| Токарные | 0,25 ... 0,3 | 0,5 ... 0,6 |
| Револьверные | 0,35 ... 0,4 | 0,5 ... 0,6 |
| Токарные одношпиндельные полуавтоматы | 0,4 ... 0,45 | – |
| Токарные многошпиндельные автоматы | - | 0,55 – 0,65 |
| Токарные автоматы | - | 0,7 ... 0,75 |
| Вертикально-сверлильные | 0,25 ... 0,3 | 0,4 ... 0,5 |
| Горизонтально-расточные | 0,18 ... 0,25 | – |
| Фрезерные | 0,35 ... 0,45 | 0,65 ... 0,7 |
| Шлифовальные | 0,4 ... 0,45 | 0,6 ... 0,75 |

Для всех сравниваемых вариантов определяют сумму затрат на материал заготовки и обдирочные работы

$$A = S + З. \qquad (1.11)$$

Вариант получения заготовок, для которого эта сумма затрат окажется наименьшей, принимается как окончательный, после чего оформляют рабочий чертеж заготовки с указанием технических условий на ее изготовление.

## 1.7. ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ. ОПЕРАЦИОННЫЕ РАЗМЕРЫ И ДОПУСКИ.

**Общие сведения.** Припуск – слой материала, удаляемый с обрабатываемой поверхности заготовки для достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали.

*Операционным* называют припуск, удаляемый при выполнении одной технологической операции.

*Промежуточным* называют припуск, удаляемый при выполнении одного технологического перехода.

Припуски на обработку могут быть односторонними (например, при фрезеровании или шлифовании плоскости) или двусторонними (при обработке вала или одновременном фрезеровании двух параллельных плоскостей изделия). В первом случае припуски обозначают $z_i$, а во втором случае $2z_i$ (здесь $i$ – порядковый номер выполняемого перехода). Общий припуск

$$z_0 = \Sigma z_i; \quad 2z_0 = \Sigma 2z_i \tag{1.12}$$

Очевидно, что чем большим будет общий припуск на механическую обработку, тем больше потребуется времени на его снятие; в результате уменьшится производительность и возрастет себестоимость изделия. Следовательно, экономически выгоднее обрабатывать заготовки с меньшими припусками. Это не только повышает производительность обработки, снижает себестоимость, но и дает существенную экономию металла. Также снижение припуска приведет к уменьшению непроизводительного расхода металла.

Чрезмерное снижение припуска приводит к тому, что невозможно устранить погрешности от предшествующей обработки, получить необходимые точность обработки и шероховатость.

Однако снижение припуска, связанное с повышением точности получения заготовок, требует применения современных методов литья, штамповки, проката и т.д. Общий припуск зависит от ряда факторов: формы и размеров детали, ее материала, точности размеров и форм детали, способов получения заготовок.

В практике машиностроения применяют два метода назначения припусков на обработку: расчетно-аналитический и опытно-статистический (табличный).

Расчетно-аналитический метод, основанный на учете погрешностей обработки на предшествующих технологических переходах разработан профессором В.М. Кованом. По этому методу получаются предельно жесткие припуски, поэтому не на всяком предприятии можно вести обработку деталей по этому методу.



Опытно-статистический метод основан на обобщении опыта передовых машиностроительных предприятий. По этому методу используют нормативные таблицы по отраслям и видам обработки, что требует значительно меньше времени, но дает большие по сравнению с первым методом значения припусков.

Расчетно-аналитический метод определения припусков учитывает следующие факторы: высоту микронеровностей (шероховатость) поверхности предшествующего перехода $Rz_{i-1}$; глубину дефектного слоя этого перехода $T_{i-1}$; суммарное значение пространственных отклонений поверхности того же перехода $\rho_{i-1}$; погрешность установки для данного перехода $E_i$.

Шероховатость поверхности и глубина дефектного слоя зависят от режима резания, качества материала детали, геометрии, качества доводки резца и др. Дефектным слоем считают поверхностный слой материала, у которого структура, химический состав, механические свойства отличаются от параметров основного металла.

Суммарные пространственные отклонения возникают в результате отклонений от соосности наружных поверхностей относительно поверхностей отверстия, изгиба или кривизны, цилиндричности, параллельности, перпендикулярности поверхностей обработки относительно оси и др.

Погрешность установки возникает вследствие смещения поверхности обработки относительно базы.

Различают номинальный, минимальный и максимальный припуски. Минимальный припуск определяет толщину слоя металла для выполнения данной операции и является исходной величиной при расчете припусков.

Зависимость расчетного минимального припуска при обработке:

плоской поверхности

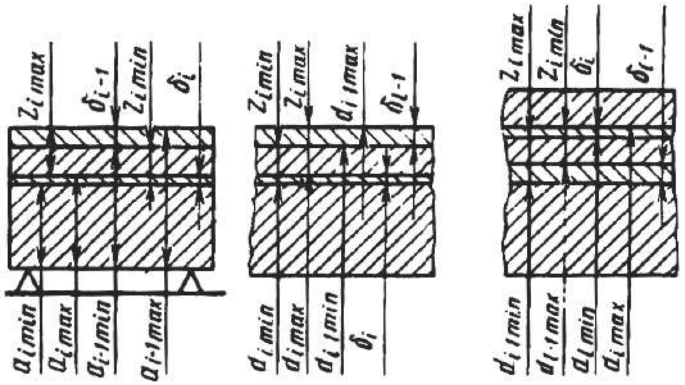
$$Z_{i\,min} = R_{z\,(i-1)} + T_{(i-1)} + \rho_{(i-1)} + E_i; \tag{1.13}$$

плоскостей с двух сторон

$$2Z_{i\,min} = (R_{z\,(i-1)} + T_{(i-1)} + \rho_{(i-1)} + E_i)^2; \tag{1.14}$$

поверхностей вращения в общем виде

$$2Z_{i\,min} = 2\,(R_{z\,(i-1)} + T_{(i-1)} + \sqrt{\rho^2_{(i-1)} + E^2_i}); \tag{1.15}$$




*а)* *б)* *в)*

***Рис. 1.7. Схема расположения припусков, допусков и размеров при обработке:***

*а* – плоской поверхности; *б*, *в* – наружной и внутренней поверхностей

При установке в центрах

$$2Z_{i\,min} = 2\,(R_{z\,(i\text{-}1)} + T_{(i\text{-}1)} + \rho_{(i\text{-}1)}\frac{n!}{r!\,(n-r)}) \qquad (1.16)$$

Первоначальные значения параметров $R_z$, ρ, $T$ и $E$ можно принимать по рекомендациям, приведенным в работах В.М. Кована, А.Г. Косиловой и др. На последующих переходах ориентировочные значения $Rz \approx 4Ra$ принимают по допуску, обеспечиваемому этим переходом *(рис. 1.4)*; толщину дефектного слоя и суммарные отклонения принимают по законам копирования, т.е. 6 ... 10% предшествующего перехода. Погрешность установки, если на выполняемом переходе не производилась переустановка, принимают равной также 6 ... 10 % предшествующего перехода, а если произведена перустановка, то значения определяют вновь.

Следует учитывать, что значение минимального припуска определяется из условий снятия дефектного слоя и обеспечения заданной шероховатости и точности обработки поверхности. Однако для расчета прочности резцов, приспособлений и мощности привода необходимо определять максимальный припуск на обработку

$$Z_{i\,max} = Z_{i\,min} + \delta_{i-1} - \delta_i \qquad (1.17)$$

где $\delta_i$ – и $\delta_{i-1}$ – допуски на размеры обработки выполняемого и предшествующего переходов.



Этот метод расчета припусков характерен для массового, крупносерийного и серийного производства.

Для единичного и мелкосерийного производства припуски устанавливают по нормативным таблицам, для чего используют рекомендации В.М. Кована, А.Г. Косиловой.

На *рис. 1.7.* показаны схемы расположения размеров, допусков и припусков на обработку плоской поверхности, наружной и внутренней поверхностей.

Из приведенных схем можно определить допуски следующих размеров:

при обработке плоской поверхности

$$a_{i\,min} = a_{(i-1)\,min} - Z_{i\,min}, \qquad (1.18)$$

следовательно,

$$a_{i\,max} = a_{i\,min} + \delta_i = a_{(i-1)\,min} - Z_{i\,min} + \delta_i \qquad (1.19)$$

при обработке наружной поверхности

$$d_{i\,min} = d_{(i-1)\,min} - 2Z_{i\,min}, \qquad (1.20)$$

следовательно,

$$d_{i\,max} = d_{i\,min} + \delta_i = d_{(i-1)\,min} - 2Z_{i\,min} + \delta_i \qquad (1.21)$$

при обработке внутренней поверхности

$$d_{i\,max} = d_{(i-1)\,max} + 2Z_{i\,min}, \qquad (1.22)$$

следовательно,

$$d_{i\,min} = d_{i\,max} - \delta_i = d_{(i-1)\,max} + 2Z_{i\,min} - \delta_i \qquad (1.23)$$

Приведенные формулы остаются неизменными и при обработке в несколько переходов. Тогда:

$$Z_{o\,min} = \Sigma Z_{i\,min};\quad z_{o\,max} = \Sigma Z_{i\,max} \qquad (1.24)$$

Следовательно, для наружной поверхности

$$d_{з\,min} = d_{д\,min} + 2\,Z_{o\,min};\quad d_{з\,max} = d_{д\,max} + 2Z_{o\,min} + \delta_з; \qquad (1.25)$$

для внутренней поверхности

$$d_{з\,max} = d_{д\,max} - 2\,Z_{o\,min};\quad d_{з\,min} = d_{д\,max} - 2Z_{o\,min} - \delta_з; \qquad (1.26)$$

Здесь индексы «*з*» и «*д*» обозначают размеры, относящиеся к заготовке и детали. Полученные расчетные размеры заготовки корректируют в соответствии с производственными возможностями или выпускаемым сортаментом. При этом приходится корректировать и значения припусков на первом технологическом переходе (черновом).

Рассмотрим несколько случаев назначения припусков и определения промежуточных размеров обработки детали.

**Расчетно-аналитический метод определения операционных припусков, размеров и допусков на размеры заготовки.** Расчетно-аналитический метод назначения припусков имеет ряд особенностей. Расчет минимальных операционных припусков и размеров проводят в следующей последовательности (в скобках описаны действия при расчете припусков на внутренние размеры):

1) записать в расчетную карту элементарные обрабатываемые поверхности заготовки и технологические переходы в порядке их выполнения при обработке каждой элементарной поверхности от заготовки до окончательной обработки (графа 1 *табл. 1.5*);

2) выбрать по справочным таблицам значения элементов припуска $R_z$, $T$, ρ, $E$, δ и записать в графы 2 ... 5, 8 *табл. 1.5*;

3) определить расчетные минимальные припуски $z_{min}$ на обработку по всем переходам и записать в графу 6;

4) для конечного перехода в графу 7 вместо расчетного размера записать значение минимального (максимального) предельного размера обработки детали по чертежу;

5) для предшествующего перехода определить расчетный размер как сумму минимального размера обработки (как разность максимального размера) по чертежу и расчетного припуска $z_{min}$;

6) выполнить последовательно определение расчетных размеров для каждого предшествующего перехода подобно п. 5, используя припуски на смежных переходах;

7) в графы 9, 10 записать наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличением (уменьшением) расчетных размеров; округление производится до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода;

8) определить наибольшие (наименьшие) предельные размеры прибавлением (вычитанием) допуска к округленному наименьшему (наибольшему) предельному размеру;

9) в графу 11 записать значения $Z_{max}$ как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и в графу 12 – $Z_{min}$ как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого (выполняемого и предшествующего) переходов;



**Таблица 1.5**

***Значения припусков, размеров и допусков на размеры заготовки при использовании расчетно-аналитического метода***

| Переход при обработке | Элементы припуска, мкм | | | | Расчетные припуски $z_{min}$, мкм | Расчетные размеры | Допуск | Размеры при обработке, мм | | Припуски, мм | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $R_z$ | T | ρ | E | | мм | | максимальный | минимальный | максимальный | минимальный |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ***Наружная поверхность вала диаметром 180 мм (h8)*** | | | | | | | | | | | |
| Заготовка | 240 | 250 | 2160 | – | – | 186,001 | $5,0^{+3,5}_{-1,5}$ | 191,0 | 186,0 | – | – |
| Точение: | | | | | | | | | | | |
| черновое | 100 | 100 | 110 | 240 | 5220 | 180,781 | 1,6 | 182,4 | 180,8 | 8,6 | 5,2 |
| получистовое | 50 | 50 | 10 | 25 | 624 | 180,157 | 0,40 | 180,56 | 180,16 | 1,84 | 0,64 |
| чистовое | – | – | – | – | 220 | 179,937 | 0,063 | 180,00 | 179,937 | 0,560 | 0,223 |
| Проверка правильности расчетов | | | | | | | | 11,0 | 6,063 | 11,0 | 6,063 |
| ***Внутренняя поверхность отверстия диаметром 65 мм (H7)*** | | | | | | | | | | | |
| Заготовка | 240 | 250 | 2510 | – | – | 57,896 | $4,5^{+1,5}_{-3,0}$ | 57,9 | 53,4 | – | – |
| Растачивание: | | | | | | | | | | | |
| черновое | 100 | 100 | 130 | 320 | 6200 | 64,096 | 1,9 | 64,1 | 62,2 | 8,8 | 6,2 |
| получистовое | 50 | 50 | 10 | 25 | 664 | 64,760 | 0,46 | 64,76 | 64,30 | 2,10 | 0,66 |
| чистовое | 25 | 25 | – | – | 220 | 64,980 | 0,074 | 64,980 | 64,906 | 0,606 | 0,220 |
| тонкое | – | – | – | – | 50 | 65,030 | 0,030 | 65,030 | 65,000 | 0,094 | 0,150 |
| Проверка правильности расчетов | | | | | | | | 7,13 | 11,6 | 11,6 | 7,13 |

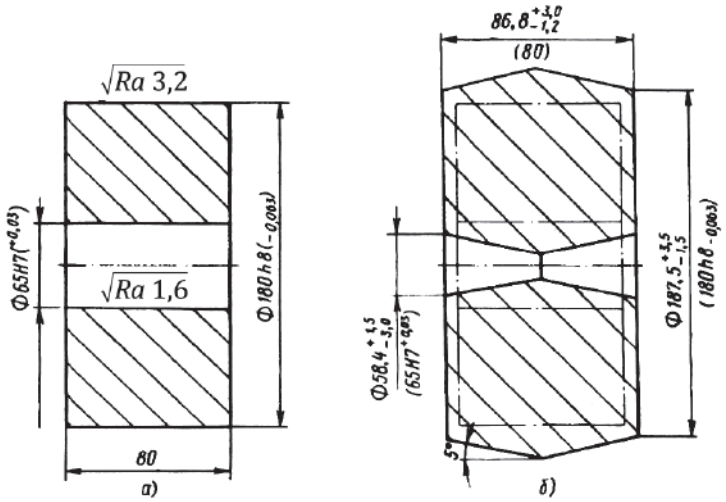



***Рис. 1.8. Схема определения размеров припусков и допусков расчетно-аналитическим способом:***
*а – деталь; б – заготовка*

10) суммируя промежуточные припуски, определить общие припуски $Z_{o\,max}$ и $Z_{o\,min}$;

11) проверить правильноть расчетов по формулам

$$Z_{o\,min} = d_{з\,max} - d_{д\,max}; \quad Z_{o\,min} = d_{з\,min} - d_{д\,min};$$
$$(Z_{o\,max} = d_{д\,min} - d_{з\,min}; \quad Z_{o\,min} = d_{д\,max} - d_{з\,max}).$$

Рассмотрим пример назначения припусков по предложенной методике.

**Пример.** Определить размеры заготовки, промежуточные припуски и допуски на размеры при обработке детали, показанной на *рис. 1.8, а*. Заготовка получена штамповкой из стали 40Х, ее масса около 14 кг.

Расчет произведен для двух поверхностей – наружной (вала диаметром 180 h8) и внутренней (отверстия диаметром 65 Н7).

Технологический маршрут обработки *наружной* поверхности вала (h7) диаметром 180 мм ($_{-0,063}$) будет состоять из следующих переходов: 1) черновое точение (IT15; Ra = 25,0 мкм); 2) получистовос точение (IT12; Ra = 12,5 мкм); 3) чистовое точение (IT8; Ra = 3,2 мкм); для внутренней поверхности отверстия диаметром 65 мм ($^{+0,030}$) выбраны следующие переходы: 1) черновое растачивание (IT16; Ra = 25,0 мкм); 2) получистовое растачивание (IT13; Ra = 12,5 мкм); 3) чистовое растачивание (IT9; Ra = 6,3 мкм); 4) тонкое растачивание (IT7; Ra = 0,8 мкм).



При определении припусков расчетно-аналитическим методом все расчеты должны быть сведены в *табл. 1.5*. В ту же таблицу заносят значения элементов припуска (графы 2, 3, 4, 5).

Для наружной поверхности заготовки значение суммарного отклонения

$$\rho = \sqrt{\rho^2_{кор} + \rho^2_{см}} = \sqrt{0{,}5^2 + 2{,}1^2} = 2{,}16 \text{ мм}$$

Для остальных переходов отклонение определяем по закону копирования $\rho_{ост} = \rho_{заг}\, k_y$ (здесь $k_y$ – коэффициент уточнения.

Погрешность установки наружного диаметра вала определим из условия базирования детали по отверстию, полученному при черновой обработке в трехкулачковом пневматическом патроне: $Eу = 300{,}0 \cdot 0{,}8 = 240$ *мкм*, а для остальных переходов – по законам копирования. Расчеты припусков, размеров и допусков на размеры производим по выражениям (1.15), (1.17), (1.20), (1.26) и сводим в *табл. 1.5*, в которой также приведены расчеты припусков и размеров, допусков на размеры внутренней поверхности отверстия. Для внутренней поверхности заготовки суммарное отклонение

$$\rho = \sqrt{\rho^2_{см} + \rho^2_{экс}} = \sqrt{2{,}1^2 + 1{,}5^2} = 2{,}58 \text{ мм}$$

Допуски на размеры заготовки приняты по ГОСТ 7505 – 89.

Таким образом, согласно данным в *табл. 1.5* получены следующие размеры заготовки: диаметр отверстия $56{,}4^{+1,5}_{-3,0}$ мм; наружный диаметр вала $187{,}5^{+3,5}_{-1,5}$ мм.

**Табличный метод определения припусков, размеров и допусков на размеры заготовки.** Для определения припусков табличным методом составляется таблица промежуточных припусков, задаваемых по виду обработки, способу установки заготовки, размерам обработки. Такая таблица также может содержать суммарные (общие) припуски в зависимости от метода получения заготовки, размеров, применяемых материалов и т.д.

Назначение суммарного припуска упрощает расчет исходных размеров заготовки, но не дает возможности определить промежуточные размеры обработки, что затрудняет контроль обработки. Только при наличии промежуточных припусков можно определить промежуточные размеры.

Пример назначения припусков на механическую обработку детали *(рис. 1.8, а)* табличным методом с использованием промежуточных припусков приведен в *табл. 1.6.*

Графу 1 *табл. 1.6* заполняют так же, как графу 1 *табл. 1.5.* В графы 2, 3 записывают значения квалитетов точности и шероховатость поверхностей, получаемых после каждого перехода, в графу 4 – допуск на промежуточный размер по квалитету точности. Значения промежуточных припусков, выбранные из справочных таблиц, записаны в графе 5.

Определение размеров на промежуточные переходы и заготовку аналогично определению при расчетно-аналитическом методе. Значения $z_{max}$, $z_{min}$, $z_{o\,max}$, $z_{o\,min}$ *(графы 8, 9 табл. 1.6)*, а также проверка правильности расчетов выполнены в соответствии с п.п. 9 ... 11.

Таким образом, согласно данным *табл. 1.6* получены следующие размеры заготовки: наружный диаметр вала $187{,}9^{+3{,}0}_{-1{,}5}$ мм; внутренний диаметр отверстия $55^{+2{,}5}_{-3{,}0}$ мм.

Пример назначения припусков на механическую обработку детали табличным методом без использования промежуточных припусков приведен в *табл. 1.7.*

Предельные размеры заготовки [минимальный (максимальный)] вычислены исходя из предельных размеров готовой детали и общего припуска: для наружной поверхности вала как сумма $d_{\partial\,min}$ и $z_{\partial\,min}$, а для внутренней поверхности отверстия – как разность $d_{o\,max}$ и $z_{o\,max}$. Максимальный наружный диаметр вала и минимальный внутренний диаметр отверстия вычисляют, используя известный размер поверхности [максимальный (минимальный)] и допуск.

В рассмотренных примерах разница между полученными суммарными припусками оказалась незначительной. В других случаях она достигает больших значений и тогда вступают в противоречие экономические показатели, связанные с перерасходом металла в стружку и т.п. Учитывая, что для горного машиностроения в основном характерно мелкосерийное и серийное производство, можно сделать вывод, что табличный метод назначения припусков будет более рациональным.



**Таблица 1.6**

***Значения припусков, размеров и допусков на размеры заготовки при использовании табличного метода***

| Переход при обработке | Квалитет точности, IT | Шероховатость *Ra*, мкм | Допуски, мм | Припуски, мм | Размеры, мм | | Припуски, мм | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | максимальный | минимальный | максимальный | минимальный |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ***Наружная поверхность вала диаметром 180 мм (h8)*** | | | | | | | | |
| Заготовка | – | – | $5{,}0^{+3{,}5}_{-1{,}5}$ | – | 191,4 | 186,4 | – | – |
| Точение: | | | | | | | | |
| черновое | 15 | 25 | 1,60 | 5,6* | 182,44 | 180,84 | 8,96 | 5,66 |
| получистовое | 12 | 12,5 | 0,46 | 0,6 | 180,70 | 180,24** | 1,74 | 0,60 |
| чистовое | 8 | 3,2 | 0,063 | 0,3 | 180,000 | 179,937 | 0,700 | 0,303 |
| Проверка правильности расчетов | | | | 11,400 | 6,463 | 11,400 | 6,463 | |
| ***Внутренняя поверхность отверстия диаметром 65 мм (H7)*** | | | | | | | | |
| Заготовка | – | – | $4{,}5^{+1{,}5}_{-3{,}0}$ | – | 57,2 | 52,7 | – | – |
| Растачивание: | | | | | | | | |
| черновое | 16 | 25 | 1,9 | 4,0* | 61,2** | 59,3 | 0,6 | 4,0 |
| получистовое | 13 | 12,5 | 0,46 | 2,0 | 63,23 | 62,77 | 3,47 | 2,03 |
| чистовое | 9 | 6,3 | 0,074 | 1,6 | 64,830 | 64,756 | 1,986 | 1,600 |
| тонкое | 7 | 0,8 | 0,030 | 0,2 | 65,030 | 65,000 | 0,244 | 0.200 |
| Проверка правильности расчетов | | | | 7,830 | 12,300 | 12,300 | 7,830 | |

* Припуск принят увеличенным, как на диск.
** Размеры округлены в соответствии с допуском.

**Таблица 1.7**

***Значение припусков, размеров и допусков заготовки при использовании табличного метода без учета промежуточных припусков***

| Тип и размер поверхности | Общий припуск на диаметр и допуск, мм | Размеры, мм | | Примечания |
|---|---|---|---|---|
| | | максимальный | минимальный | |
| ***Наружная поверхность диаметром 180h8*** | | | | |
| Заготовка | $2 \times 4{,}0^{+3{,}5}_{-1{,}5}$ | 192,9 | 187,9 | Размер заготовки $189{,}4^{+3{,}5}_{-1{,}5}$ мм; $Z_o$ = 4 мм, допуск и отклонения принимают по справочным таблицам |
| Готовая деталь | | 180,000 | 179,937 | |
| ***Внутренняя поверхность диаметром 65H7*** | | | | |
| Заготовка | $2 \times 3{,}7^{+1{,}5}_{-3{,}0}$ | 57,6 | 53,1 | Размер заготовки $56{,}1^{+1{,}5}_{-3{,}0}$ мм; $Z_o$ = 3,7 мм, допуск и отклонения принимают по справочным таблицам |
| Готовая деталь | | 65,030 | 65,000 | |

## 1.8. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для обеспечения системы организации и управления процессом технологической подготовки разработана и применяется единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП). Она обеспечивает единый системный подход к выбору и применению методов и средств технологической подготовки производства, освоение и выпуск изделий высшей категории качества при минимальных затратах труда, организацию производства высокой степени гибкости, выполнение комплекса инженерно-технических и управленческих работ на основе



механизации и автоматизации. Общие положения и основные требования к технологической подготовке производства более подробно регламентируют ГОСТ 14.001 – 73, ГОСТ 14.002 – 73, а порядок организации научно-технических разработок в области технологической подготовки производства – ГОСТ 14.103–74.

ЕСТПП базируется на единых системах конструкторской и технологической документации (ЕСКД и ЕСТД).

Функционирование ЕСТПП с соответствии с ее назначением обеспечивается комплексным применением стандартов ЕСТПП, отраслевых стандартов предприятий, а также нормативно–технической и методической документацией на методы и средства технологической подготовки производстства (ТПП).

Технологическая подготовка производства – совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску изделия заданного уровня качества при установленных сроках, объемах выпуска и затратах (ГОСТ 14.002– 73). Технологическая подготовка предприятия (ТПП) начинается с получения исходных документов на разработку и производство новых изделий и основывается на применении рациональных рядов объектов производства и средств оснащения, современных методов управления. Основными функциями ТПП являются: обеспечение технологичности конструкции изделия, разработка технологического процесса, проектирование и изготовление средств технологического оснащения, организация и управление процессами технологической подготовки изделия. Разработка, оформление и обращение документации ТПП проводится в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, ЕСТД, системой стандартов о безопасности труда (ССБТ) и контролируются системой управления безопасностью труда (СУБТ), действующей на всех предприятиях производственного объединения.

## 1.9. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Согласно ГОСТ 14.301 – 83 различают единичный, типовой и групповой технологические процессы.

*Единичный процесс* – это процесс изготовления изделия одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

*Типовой процесс* – это процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

*Групповой процесс* – это процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

Технологический процесс разрабатывают на основе имеющегося типового или группового технологического процесса.

При отсутствии типового или группового технологического процесса изготовления изделия технологический процесс разрабатывают но основе использования ранее принятых прогрессивных решений, содержащихся в действующих единичных технологических процессах изготовления аналогичных изделий.

*Типовые технологические процессы* разрабатывают на основе анализа множества действующих и возможных технологических процессов на типовые представители групп изделий. Типизация должна устранять многообразие технологических процессов обоснованным сведением их к ограниченному числу типов и являться базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Типизация технологических процессов базируется на классификации объектов производства. Эта классификация заключается в разделении их по признакам, содержащимся в конструкторской документации, на отдельные группы, для которых возможна разработка общих технологических процессов или операций.

После создания групп объектов производства выбирают типовые представители объектов производства, определяют тип производства для каждого типового представителя групп объектов производства (единичное, серийное, массовое), разрабатывают основные маршруты изготовления объектов производства, определяют вид исходной заготовки, выбирают технологические базы, определяют вид обработки (литье, механическая обработка резанием и др.), составляют технологический маршрут обработки, разрабатывают технологические операции, рассчитывают производительность и экономическую эффективность.

*Групповой технологический процесс* предназначен для совместного изготовления или ремонта группы изделий различной конфигурации в конкретных условиях производства на специализированных рабочих местах.



Перед разработкой группового технологического процесса необходимо провести группирование предметов производства по технологическому подобию. Это группирование следует осуществлять на основе их классификации и результатов комплексного анализа (состава и программ выпуска изделий, существующей структуры производственных подразделений, технико-экономических показателей производства).

Групповой технологический процесс должен состоять из комплекса групповых технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления определенной группы изделий.

После выбора типового, группового технологического процесса или поиска аналога единичного процесса производят выбор исходной заготовки, а затем технологических баз. После этих этапов составляют технологический маршрут обработки – сокращенное описание всех технологических операций без указания переходов и технологических режимов.

Запись содержания операций следует выполнять в форме маршрутного или операционного описания.

*Маршрутное описание операции* следует применять в единичном и опытном производстве на соответствующих формах маршрутных карт (МК).

Маршрутная карта содержит описание операций технологического процесса в их технологической последовательности. В карте указывают данные об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых затратах в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1105 – 74.

Маршрутная карта содержит ряд граф, которые заполняют определенными данными. Наименование и содержание операций в маршрутной карте записывается с учетом требований ГОСТ 3.1702 –79, который определяет перечень операций, их кодирование, правила записи этих операций и составляющих их переходов и т.д.

Наименования и коды операций при обработке резанием приведены в *табл. 1.8.*

**Таблица 1.8**

***Группы операций обработки резанием***

| Наименование группы операций | Применяемые станки (оборудование), краткая характеристика | Код группы операций |
|---|---|---|
| Автоматно-линейная | Автоматические линии по обработке деталей | 01 |
| Агрегатная | Агрегатные группы станков | 02 |
| Долбежная | Долбежные (кроме зубодолбления) | 03 |
| Зубообрабатывающая | Зубофрезерные, зубострогальные, зубошлифовальные, шевинговальные | 04 |
| Комбинированная | Сверлильно-фрезерные, токарно-сверлильные и др. | 05 |
| Отделочная | Хонинговальные, доводочные, полировальные, суперфинишные | 06 |
| Отрезная | Отрезные (заготовительные) | 07 |
| Программная | С программным управлением | 08 |
| Протяжная | Протяжные | 09 |
| Расточная | Расточные (кроме программных) | 10 |
| Резьбонарезная | Гайконарезные, резьбофрезерные с бесстружечным формированием резьбы | 11 |
| Сверлильная | Сверлильные одно- и многошпиндельные | 12 |
| Строгальная | Строгальные | 13 |
| Токарная | Токарные, токарно-винторезные, многорезцовые, многошпиндельные и др. | 14 |
| Фрезерная | Фрезерные (кроме зубо- и резьбофрезерных) | 15 |
| Шлифовальная | Шлифовальные (кроме зубошлифовальных) | 16 |

Применяют две формы записи содержания операции в маршрутной карте: в соответствии с наименованием группы операций и уточненную (например, расточная или горизонтально-расточная; сверлильная или вертикально-сверлильная и т.д.).



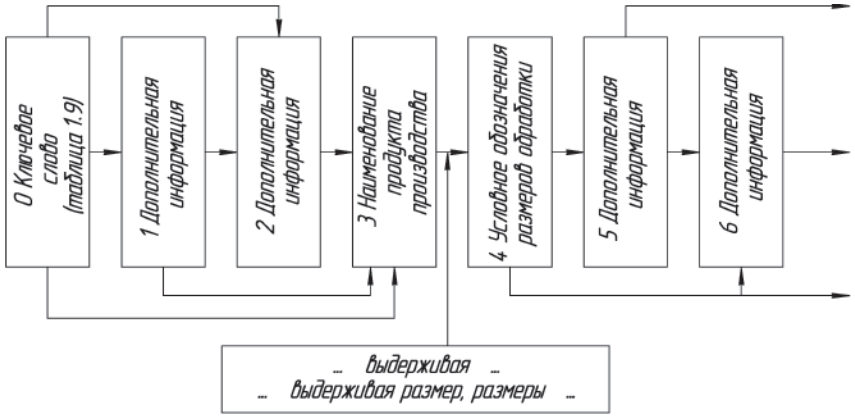



***Рис. 1.9. Блок-схема записи маршрутного описания содержания технологических операций***

Содержание операций также имеет две формы записи: полную и сокращенную. Полная форма имеет все характеристические компоненты, определяющие содержание операции. Полную запись приводят в маршрутной карте при отсутствии или недостаточно полном графическом изображении детали. Сокращенную запись следует выполнять при наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию, дополнительная информация не указывается. Блок-схема записи содержания операций маршрутного описания, представлена на *рис. 1.9*. Пример записи содержания операций маршрутного описания можно представить в следующем виде

1. Расточить (0) внутреннюю (1) поверхность (2) гильзы, (3) выдерживая (7)
d = 90 ± 0,1; l = $125_{-0,1}$; (4) r = 1,5; k = 0,8 мм (5) окончательно. (6)

2. Сверлить (0) 4 (1) глухих (2) отверстия, (3) выдерживая размеры (7)
d = $8^{+0,2}$; h = 12 ± 1 мм (4) согласно эскизу. (7)

В содержание операции должно быть включено ключевое слово, характеризующее метод обработки и выраженное глаголом в неопределенной форме (например, точить, сверлить и т.п.). Ключевые слова технологических операций (переходов) и их условные коды приведены в *табл. 1.9*.

**Таблица 1.9.**

***Ключевые слова и их условные коды***

| Ключевые слова | Код | Ключевые слова | Код |
|---|---|---|---|
| Вальцевать | 01 | Рассверлить | 25 |
| Врезаться | 02 | Расточить | 26 |
| Галтовать | 03 | Сверлить | 27 |
| Гравировать | 04 | Строгать | 28 |
| Довести | 05 | Суперфинишировать | 29 |
| Долбить | 06 | Точить | 30 |
| Закруглить | 07 | Хонинговать | 31 |
| Заточить | 08 | Шевинговать | 32 |
| Затыловать | 09 | Шлифовать | 33 |
| Зенкеровать, зенковать | 10 | Цековать | 34 |
| Навить | 11 | Центровать | 35 |
| Накатать | 12 | Фрезеровать | 36 |
| Нарезать | 13 | | |
| Обкатать | 14 | Выверить | 80 |
| Опилить | 15 | Закрепить | 81 |
| Отрезать | 16 | Настроить | 82 |
| Подрезать | 17 | Переустановить | 83 |
| Полировать | 18 | | |
| Притереть | 19 | Переместить | 86 |
| Приработать | 20 | Поджать | 87 |
| Протянуть | 21 | Проверить | 88 |
| Развернуть | 22 | Смазать | 89 |
| Развальцевать | 23 | Снять | 90 |
| Раскатать | 24 | Установить | 91 |

Графы маршрутной карты, содержащие данные об оборудовании и приспособлении, должны иметь наименования и код или наименование и инвентарный номер по заводскому каталогу.



Необходимость кодовой записи поясняется применением машинного проектирования технологического процесса системами САПР ТП (система автоматического проектирования технологических процессов).

*Операционное описание* содержания операции следует применять после маршрутного описания в серийном и массовом производстве с подробным описанием отдельных операций на операционных картах (ОК) совместно с картами эскизов (КЭ) (форма 5 по ГОСТ 3.1105 – 84). Запись переходов операций механической обработки производится в операционных картах по формам 1 и 1а (ГОСТ 3.1404 – 86). Для других видов обработки имеются соответствующие карты. Например, для слесарных, слесарно-сборочных и монтажных операций операционную карту составляют по формам 2 и 2а (ГОСТ 3.1407 – 86).

Карта эскизов – это графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы.

На эскизе представляют только те размеры, которые определяют поверхности обработки на данной операции, их положение относительно баз. Размеры указывают в виде чисел с предельными отклонениями и условным обозначением полей допусков по ЕСДП. Все размеры обрабатываемых поверхностей условно нумеруются арабскими цифрами, которые ставят по часовой стрелке по выбранной первой поверхности и проставляют в окружности диаметром 6 … 8 мм, располагая ее на продолжении размерной линии *(рис. 1.10)*.

В операционной карте механической обработки содержится описание технологической операции с указанием переходов, режимов резания, оборудования, инструмента, приспособлений и т.д.

Ряд граф операционной карты заполняют как графы маршрутной карты. Остальные графы заполняют с соблюдением соответствующих правил и требований.

Содержание основных и вспомогательных переходов данной операции (графа 15) записывают в соответствии с ГОСТ 3.1702 –79. Первой записью в графе должен быть вспомогательный переход: установить, закрепить и снять деталь. Причем порядок записи может иметь варианты. Например, по одному варианту можно сделать следующую запись: «установить заготовку», «закрепить заготовку». В конце перечня переходов по обработке следует записать: «снять заготовку».

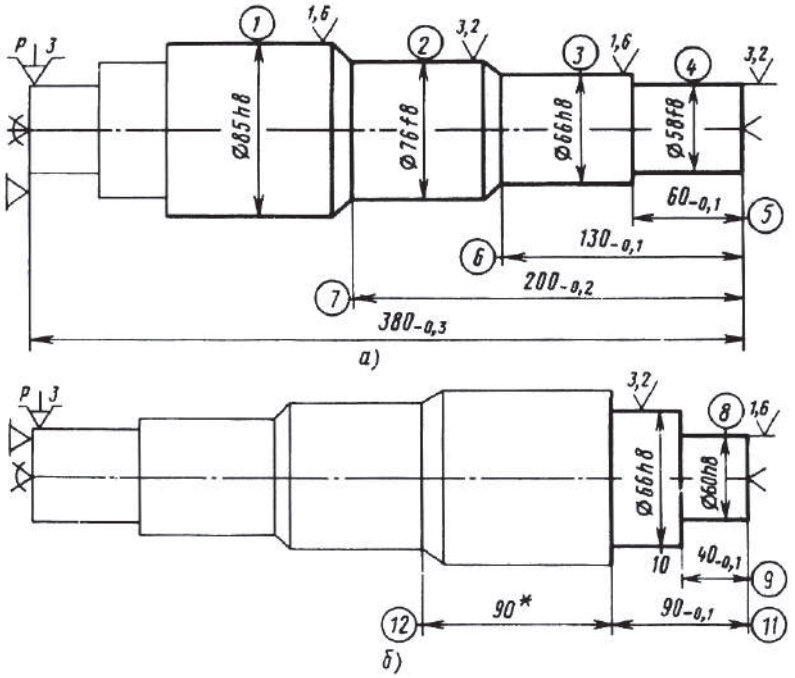



***Рис. 1.10. Эскиз на токарную операцию чистовой обработки вала:***
*а* – позиция 1; *б* – позиция 2

По другому варианту допускается объединение вспомогательных переходов. Например: «снять, установить и закрепить заготовку» или «снять, установить, выверить и закрепить заготовку». Форма записи изменяется при необходимости переустановить, например: «переустановить и закрепить заготовку». Вспомогательные переходы записывают с использование ключевых слов: установить, переустановить, снять, повернуть, переместить, выверить, настроить, проверить, смазать и т.д. Обозначают эти переходы заглавными буквами русского алфавита.

Основные переходы, записываемые в графе 15, обозначают арабскими цифрами. Содержание записи может быть полным или сокращенным.

Полная запись выполняется при необходимости перечисления всех обрабатываемых размеров по схеме на *рис. 1.11.* Начало записи – ключевое слово, характеризующее метод обработ-



ки *(табл. 1.9)*. В наименовании предмета производства (НПП) записывается обрабатываемая поверхность или конструктивный элемент, после чего записывают слова: «выдерживая» или «выдерживая размер» и условное обозначение размера (УОР) с числовым значением. Например,

1. Точить (0) поверхность 1, (1) выдерживая размеры (3)
d = 45 $_{-0,039}$; l = 120 мм; (2)

2. Расточить (0) поверхность 2, (1) выдерживая (3) Т = 94 ± 0,08 мм. (2)

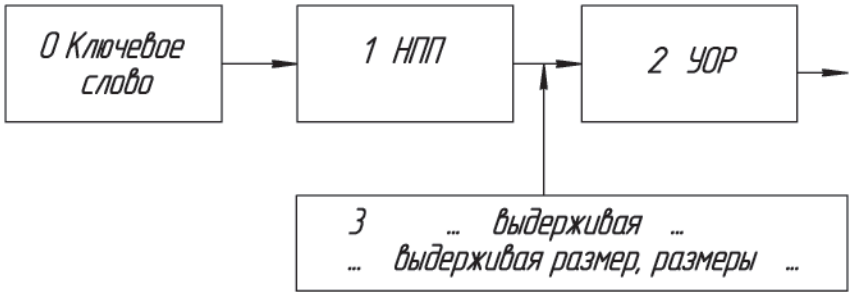



***Рис. 1.11 Блок-схема записи содержания переходов в операционных картах***

Полную запись основного перехода допускается выполнять по схеме, рекомендуемой для маршрутной карты.

Сокращенную запись переходов выполняют со ссылкой на условное обозначение конструктивного элемента изделия. При этом необходимо заранее иметь на операционном эскизе номера конструктивных элементов. Например, полная запись: «фрезеровать паз, выдерживая размеры 1, 2, 3», сокращенная запись: «фрезеровать паз 7».

Сокращенная запись основных переходов целесообразна при относительно простых переходах и операциях, когда графическая иллюстрация четкая.

Заполнение граф 16, 17, 18 операционной карты по вспомогательному, режущему и измерительному инструменту производится в соответствии с рекомендациями стандартов или нормалей на этот инструмент. Если технологическим процессом предусмотрена ведомость применяемой оснастки, то в операционной карте допустима запись лишь индексов инструмента. При использовании универсального измерительного инструмента запись в операционной карте не выполняют.

В графах «Расчетные размеры» приводят размеры обрабатываемых поверхностей: расчетный диаметр (ширину) и расчетную длину обработки, которые определяют с учетом глубины врезания и перебега. При этом учитывают наибольший диаметр обработки, по которому рассчитывают скорость резания. Если используют размерный инструмент обработки (сверла, зенкеры, развертки и др.) в графе «Диаметр, ширина» записывают диаметр инструмента. Глубина резания *(t)* и число рабочих ходов *(i)* указываются по условию обработки на переходе, а значение подачи *(s)* принимают по виду обработки: для токарной обработки – на один оборот заготовки (мм/об), для долбежных и строгальных – на один двойной ход стола или резца (мм/дв.ход); для сверлильных, расточных, резьбонарезных и других видов обработки отверстий с вращением инструмента (или детали) – на один оборот шпинделя станка (мм/об). Для некоторых видов обработки резанием в графу «Подача» записывают два ее значения: в числителе – минутную (мм/мин), а в знаменателе, – подачу на зуб (мм/зуб).

При обработке пазов методом маятниковой подачи указывают также две подачи; в числителе – вертикальную на двойной ход (мм/дв. ход), а в знаменателе – продольную минутную (мм/мин). При обработке наружным круглым шлифованием с продольной подачей и при шлифовании отверстий в графе «Подача» указывают также дробью две подачи: в числителе – продольную подачу в долях ширины шлифовального круга на один оборот заготовки, в знаменателе – вертикальную (поперечную) подачу на двойной ход стола (мм/дв.ход.). При шлифовании методом врезания задается только одна подача – поперечная на один оборот заготовки (мм/об), а при шлифовании плоскости торцом круга – вертикальная на оборот стола (мм/об) (когда он вращается) или на двойной ход стола (мм/дв. ход).



При шлифовании плоскости периферией круга в графе «Подача» отмечают три подачи: продольную минутную (мм/мин), вертикальную (мм/раб.ход) и поперечную, выражаемую в долях ширины круга на двойной ход стола.

Для зубодолбежных переходов в числителе указывают радиальную подачу на двойной ход долбяка – подачу врезания (мм/дв.ход); в знаменателе – круговую подачу (подачу обката) на двойной ход стола.

Для зубодолбежных переходов в числителе записывают радиальную подачу на двойной ход долбяка – подача врезания (мм/дв.ход), в знаменателе – круговую подачу (подачу обката) на двойной ход долбяка (мм/дв.ход). При зубофрезеровании червячными фрезами зубчатых колес указавают подачу на один оборот заготовки (мм/об).

Если нарезается червячное колесо методом радиальной подачи, то в графе «Подача» записывают радиальную подачу стола на один оборот его (мм/об). При нарезании червячного колеса тангенциальной подачей записывается осевая подача фрезы на один оборот стола с заготовкой.

Графу «Частота вращения шпинделя» ($n$) обычно заполняют для всех станков в оборотах за минуту (об/мин). Для круглошлифовальной операции записывают две частоты: в числителе – частоту вращения круга, в знаменателе – частоту вращения заготовки.

Скорость резания ($V$) рассчитывают по наибольшему диаметру обработки на данном переходе (м/мин).

Графу основного (машинного) времени ($T_0$) на выполнение перехода заполняют с учетом определения времени на резание, перебег для всех видов обработки и на обратный ход для станков с возвратно-поступательным движением инструмента.

Вспомогательное время ($T_в$) учитывает управление станком и выполнение вспомогательных переходов и контроля, и записывается в графу 2.

Часть граф и строк операционной карты, обведенных утолщенными линиями, содержит информацию, необходимую для применения вычислительной техники при разработке технологической документации.

В технологическую документацию, кроме маршрутных, операционных карт и карты экскизов, входят: ведомость оснастки – перечень применяемой при изготовлении детали оснастки

(режущего, измерительного инструмента, приспособлений и т.п.); ведомость материалов – документ, содержащий данные о заготовках и расходовании материала; чертежи заготовок, чертежи сменных наладок, чертежи оригинального (нестандартного) инструмента, приспособлений и т.п.; операционные карты контроля, в которых приводятся средства контроля и контролируемые размеры, сводная ведомость операций контроля; ведомость технологической документации – состав и комплектность технологических документов, необходимых для изготовления детали.

Более подробные сведения о технологической документации приводятся в ГОСТ 3.1104 – 81.

## 1.10. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

При разработке технологических процессов следует определить технологическое оборудование и оснастку.

При выборе *технологического оборудования* следует учитывать следующие факторы. Станок следует выбирать с учетом размеров заготовки, обеспечения необходимой точности, шероховатости поверхности и производительности обработки при наименьшей стоимости. В связи с этим жесткость и мощность станка должны соответствовать условиям обработки.

Выбор станка по признаку универсальности зависит в основном от типа производства.

В последнее время наблюдается тенденция к более широкому использованию агрегатных станков и станков с программным управлением.

Выбор *технологической оснастки* должен быть основан на анализе затрат на реализацию технологического процесса в установленное время при заданном качестве изделий.

Принадлежность конструкции технологической оснастки к системе технологической оснастки определяется правилами ее проектирования и эксплуатации применительно к заданным условиям производственного процесса изготовления изделия. Система формируется комплексами технологической оснастки. К системам технологической оснастки (ГОСТ 14.305 – 73) следует отнести системы: неразборной специальной оснастки (НСО); универсально-наладочной оснастки (УНО); универсально-сборочной оснастки (УСО); сборочно-разборной оснастки (СРО); универсально-безналадочной оснастки (УБО); специализированной наладочной оснастки (СНО).



Обоснование правильности выбора оснастки определяется на основании экономических расчетов затрат на проектирование, изготовление и использование их на объем выпуска деталей. Методика и показатели техноко-экономического обоснования выбора технологической оснастки приведены в приложении 2 к ГОСТ 14.305.73. При выборе режущего инструмента необходимо ориентироваться на вид обработки, материал детали, ее размеры и конфигурацию, показатели качества обработки поверхности, объем выпуска, значения припусков.

По принятой классификации оснастка разделена на десять групп, за каждой из которых закреплен цифровой индекс. Например: *2* – инструмент для обработки резанием металлов (резцы, сверла, метчики, развертки и т.п.); *3* – инструмент для обработки резанием неметаллических материалов – дерева, пластмасс и т.д.; *6* – вспомогательный инструмент, предназначенный для закрепления режущего инструмента на станках и при ручных работах (втулки, державки, головки, патроны, воротки и т.д.); *7* – приспособления, обеспечивающие базирование и закрепление изделий при обработке, сборке (патроны, тиски, кондукторы, оправки); *8* – средства измерения и контроля линейных и угловых размеров изделий при обработке и сборке.

В соответствии с изложенным технологическая оснастка, кроме названия, имеет обязательный цифровой индекс, состоящий из двух групп по четыре цифры. Например, фреза торцовая насадная со вставными ножами из стали Р18 диаметром 125 мм, высотой 40 мм, с отверстием под оправку 40 мм и числом ножей 14, праворежущая имеет следующее обозначение: фреза 2214–0135 Р18 ГОСТ 1092–80 [здесь 2 – группа оснастки – режущий инструмент; 22 – подгруппа – фрезы; 221 – вид фрезы – торцовая; 2214 – разновидность торцовых фрез – сборные, насадные; 0135 – конкретный типоразмер фрезы (по ГОСТ 1092 –80 это фреза размерами 125 х 40 х 40 мм с числом ножей 14, причем последняя цифра 5 указывает на праворежущее направление вращения; при обозначении фрезы индексом 2214–0136 – имеем такую же фрезу, но леворежущую].

На остальную оснастку разработана условная индексация, подобная изложенной выше, но соответствующая определенным правилам и стандартам. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к оформлению технологической документации, индексы оснастки обязательны в картах, особенно если применяют системы САПР ТП.

Очень часто для облегчения наладки станка на обработку детали разрабатывают карту наладок (КН). Ее прилагают к операционной карте. Инструменты, державки, суппорты и другие устройства на схеме наладок изображают в упрощенном виде для каждого перехода отдельно. Заготовку на переходе по форме и размерам изображают такой, какой она будет в конце перехода. Размеры и качество поверхностей задаются в соответствии с общими требованиями. Режущие инструменты показываются в конце рабочего хода.

Последовательность выполняемых переходов определяется на карте наладок цифрой. В отдельных случаях последовательность выполнения переходов определяется изображением схем позиционирования, где указываются позиции, на которых выполняются данные переходы.

## 1.11. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

С точки зрения общих методов измерения различают прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения.

Прямое измерение – при котором контролируемый размер определяют непосредственно по опытным данным без дополнительных вычислений.

Косвенными измерениями называют такие, при которых контролируемый размер определяют вычислениями по результатам прямых измерений размеров, связанных с искомым значением известной функциональной зависимостью.

Совокупными измерениями называют такие, при которых искомое значение определяют с помощью решения системы уравнений, полученных при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместными измерениями называют такие, при которых измеряют одновременно несколько неодноименных величин для нахождения зависимости между ними.

По способу выражения результатов измерения можно разделить на абсолютные, которые получают при прямом измерении



одного или нескольких значений размеров, и относительные, которые получают при измерении одной величины по отношению к другой одноименной, принятой за исходную.

Методы измерений – это совокупность приемов, принципов и средств измерений. В соответствии с этим различают метод непосредственной оценки и метод сравнения размеров.

Метод непосредственной оценки размеров заключается в определении значения размеров по отсчетному устройству измерительного прибора. Например, измерения штангенциркулем, микрометром и т.п. Метод сравнения заключается в сравнении измеряемого размера со значением размера, воспроизведенного мерой. В результате измерений получают не размер, а его отклонения от воспроизводимого мерой (отклонение может иметь знак плюс и минус).

Метод сравнения подразделяют на дифференциальный, нулевой (или компенсационный) и замещения.

Дифференциальный метод заключается в таком сравнении с мерой, когда измерительное устройство показывает разность между измеряемым размером и мерой.

Нулевой метод заключается в таком сравнении с мерой, при котором результирующий эффект воздействия размера на прибор сравнения доводится до нуля.

Метод замещения также основан на сравнении с мерой, когда измеряемый размер замещают размером, воспроизводимым мерой.

В зависимости от задач контроля при обработке можно измерять все детали (например, при сборке с групповой взаимозаменяемостью) или часть обработанных деталей, если установлен стабильный технологический процесс изготовления детали и появление брака маловероятно (в этих случаях целесообразно применять выборочный контроль).

При единичном и мелкосерийном производстве необходим пооперационный контроль размеров обработки соответствующими универсальными измерительными средствами.

При серийном производстве номенклатура деталей не изменяется длительное время. Измерение всех обрабатываемых размеров в этом случае нецелесообразно, так как однородность деталей по точности достигается применением специализированного оборудования, оснастки и инструмента. При этом обработку ведут по отработанной технологии с применением специальных наладочных мероприятий.

При массовом производстве в течение длительного времени обрабатываются в больших количествах одни и те же детали. Взаимозаменяемость и качество их обеспечивается отработанной технологией. В этом случае используют механизированные и автоматизированные контрольно-измерительные средства. Применение измерительных машин-автоматов эффективно при контроле деталей простых геометрических форм и многодиапазонном сортировании или при контроле сложных пространственных деталей типа корпусных деталей в массовом производстве.

По воздействию на технологический процесс средства контроля можно разделить на средства пассивного контроля, когда измерение лишь фиксирует результат обработки, разделяя детали на годные и бракованные, и средства активного контроля, когда выполняемый в процессе обработки контроль дает сигнал на изменение режима обработки, на подналадку технологической системы (станок – приспособление – инструмент – деталь). В данной схеме контроля обязательно наличие обратной связи, позволяющей по результатам контроля управлять точностью технологического процесса и тем самым предупреждать появление брака. Средства активного контроля целесообразно применять на финишных операциях, когда требуется обработка высокой точности.

Первичным, преобразующим звеном средств активного контроля могут служить преобразователи – устройства, преобразующие линейные перемещения инструмента обработки в сигнал, удобный для анализа и обработки.

По принципу действия преобразователи делят на оптические, электрические (контактные, емкостные, индуктивные, индукционные, фотоэлектрические, механотронные), пневматические, струнные, радиационные. Наибольшее распространение получили электроконтактные, индуктивные и оптические преобразователи, дающие возможность измерений с погрешностью до ± 0,01 мкм. Растровая измерительная система использует растровый преобразователь, фотоэлектрический счетчик и электронную схему анализа и индикации результата измерений. Измерительный сигнал может быть зафиксирован на бумаге, на цифровом табло и подан на вспомогательный привод для приведения подвижных частей в заданное положение при программном управлении (станки с ЧПУ). Растровая система характеризуется



широкой универсальностью: диапазон линейных измерений – от 0 до 2 м, угловых измерений – от 0 до 360° (погрешность не превышает 5”), возможность выполнения одно– двух– и трехкоординатных измерений.

Средства измерений выбирают с учетом следующих факторов: метрологических, экономических, формы, размеров и конструктивных особенностей деталей, объема производства, необходимой точности и т.д.

***Рис. 1.12. Измерительный инструмент концерна «I.D.F.»***

Прежде всего необходим анализ основных метрологических показателей измерения: цены делений шкалы, диапазона измерений, пределов измерений, погрешности и др. Особое внимание уделяют точности измерений, на основании которой устанавливают не только погрешность измерений, но и положение приемочных границ, т.е. значение размеров изделий, по которым следует проводить их приемку с гарантией исключения приемки бракованных деталей, как годных. Значение допустимой погрешности измерений регламентировано стандартом в зависимости от допуска на изготовление и номинального размера. Для размеров от 1 до 500 мм установлено 15 рядов допустимых погрешностей измерений. Эти погрешности являются наибольшими. Поэтому значения размеров, полученных при измерениях с погрешностью, не превышающей регламентированных стандартом, принимают за действительные. Случайная погрешность измерения не должна выходить за пределы 0,6 допустимой погрешности измерений (выделение и учет систематической погрешности затруднено).

При неправильно оцененной погрешности измерений может быть нарушен принцип взаимозаменяемости, так как влияние погрешности может проявляться в том, что одна часть измеренных деталей будет отнесена к годным, в то время как истинные размеры находятся за пределами поля допуска на изготовление (так называемые неправильно принятые детали), а другая часть, имеющая размеры в пределах допуска, будет отнесена к бракованным (так называемые неправильно забракованные детали).

Число неправильно принятых и неправильно забракованных размеров определяют вероятностным методом расчета. На основании допущений, что контролируемые размеры подчиняются законам нормального или равной вероятности распределения, а также симметрично расположенного допуска относительно центра группирования, построены кривые для определения доли неправильно принятых и неправильно забракованных деталей. Кривые построены для определенных значений относительной погрешности измерений:

$$A_{мет\,(\delta)} = \frac{\delta}{IT}100, \qquad (1.27)$$

где δ – значение среднего квадратического отклонения погрешности измерения; *IT* – допуск на размер.

Следует отметить, что рекомендуется принимать $A_{мет\,(\delta)}$ в зависимости от квалитета точности: для квалитетов 2 ... 7 принимают 16 %, для квалитетов 8, 9 –13%, для квалитета 10 и более грубых – 10 %. Для уменьшения отрицательного влияния погрешностей измерений на появление брака (неправильно принятых и неправильно забракованных деталей) при обработке размеров принимается производственный допуск, уменьшенный по сравнению с регламентируемым полем допуска.

Это уменьшение определяется половиной допускаемой погрешности измерений при неизвестной точности технологического процесса обработки или предельным выходом размера за каждую границу поля допуска у неправильно принятых деталей при известной точности технологического процесса. В этом случае приемочные границы будут смещены внутрь допуска на величину с (для обеих границ), которую определяют по рекомендуемому приложению 2 к ГОСТ 8.051-81. О необходимости введения приемочных границ делается на чертеже детали запись: «При измерении размера ... вводится производственный допуск: размер должен быть не более ... и не менее ...».

Введение производственного допуска должно быть достаточно обоснованным, так как уменьшение допуска повышает затраты на обработку и измерения. Поэтому для реального сопряжения, если конструктор признает влияние погрешности измерения недопустимым, предпочтительнее выбрать другой квалитет или другое поле допуска, при которых влияние погрешности измерения будет признано допустимым.



Рассмотрим пример выбора измерительного средства для отверстия (под подшипник) диаметром 120Н7, шероховатостью Ra = 0,8 мкм.

В ГОСТ 8.051-81 находим предельную погрешность измерения $\Delta_{изм}$ = 15 мкм. Принимаем для *IT*7 $A_{мет\,(\delta)}$ = 16 %.

В методических рекомеднациях РД 50-98-86 находим рекомендуемое средство измерения указанного отверстия при погрешности измерения $\Delta_{изм}$ и шероховатостй поверхности *Ra*: это индикаторный нутромер с ценой деления 0,01 мм при установке на размер по концевым мерам и нормальной температуре.

По ГОСТ 8.051-81 определяем, что около 4% деталей будут неправильно приняты и около 6% – неправильно забракованы. Выход размера за границы допуска: $c = 0{,}2 \cdot IT = 0{,}2 \cdot 35 = 7$ мкм. Таким образом, производственный допуск будет иметь размеры, показанные на *рис. 1.13.*

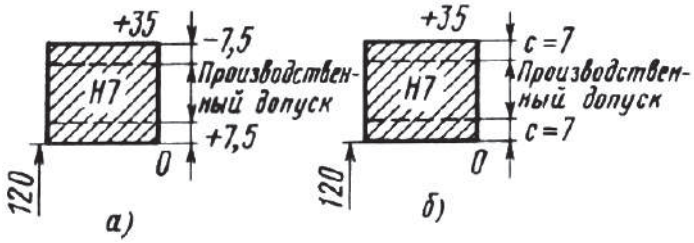



***Рис. 1.13. Границы контроля размера отверстия 120Н7 под подшипник:***

*а, б* – для неизвестной и известной точности технологического процесса соответственно

При крупносерийном и массовом производстве контроль обрабатываемых размеров ведут с применением контрольных карт, основанных на выборочном контроле деталей, через определенные промежутки времени. Такой контроль позволяет вести статистическое регулирование технологического процесса в ходе производства, что обеспечивает необходимое качество и предупреждение брака.

В зависимости от наличия измерительных устройств для статистического регулирования применяют различные методы корректировки параметров процесса производства. Так, при наличии неавтоматических средств используют метод медиан.

Если производство располагает автоматическими измерительными средствами, применяют метод средних арифметических показателей.

Для первого метода используют выборку в 3 ... 10 изделий (обычно берут 5 изделий через 1 ... 2 ч), измерение которой выполняют неавтоматическими шкальными приборами. Результаты измерений наносят на карту контроля *(рис. 1.14)*, которая имеет поле допуска изготовления детали в определенном масштабе. Поле допуска ограничено предельными значениями размеров (сплошные линии) и дополнительно разделено несколькими предупреждающими границами (штриховые линии), используемыми для регулирования медиан и крайних значений данной контрольной выборки (соответственно линии $d_B$, $d_H$, $d_B'$, $d_H'$). Положение предупреждающих границ определяют из выражений

$$d_B = d_{max} - 0{,}8AIT/2; \quad d_H = d_{min} + 0{,}8AIT/2; \tag{1.28}$$

$$d_B' = d_{max} - BIT/2; \quad d_H' = d_{min} + BIT/2; \tag{1.29}$$

где $d_{max}$, $d_{min}$ – предельные значения контролируемого размера; $A$ и $B$ коэффициенты, зависящие от объема выборки и определяемые на основе теории статистического анализа (например, при выборке пяти единиц $A$ = 0,553, $B$ = 0,185); $IT$ – допуск изделия.

***Рис. 1.14. Карта контроля обработки изделия по методу медиан***

Вычисленные значения предупреждающих границ наносят на контрольную карту. На эту же карту наносят в виде точек (поэтому иногда эту карту называют точечной) размеры выборки, причем середину выборки (медиана – серединное значение



упорядоченного по возрастанию или убыванию ряда размеров в выборке) и крайние ее значения выделяют. Процесс проходит нормально, если медиана не выходит за пределы $d_B - d_H$, а крайние значения – за пределы $d_B' - d_H'$. Вся обработанная партия деталей до этого момента принимается как годная. Если это условие будет нарушено, необходимо производить корректировку процесса обработки, а обработанную партию деталей подвергнуть индивидуальному контролю. На *рис. 1.15* выборки *1*, *2*, *3* и *4* относятся к нормально протекающему процессу обработки, а выборки *5* и *6* требуют корректировки (подналадки) станка. Очевидно, сказывается износ резца и размер обработки увеличивается (вся партия деталей, выпущенная после четвертой выборки, подлежит индивидуальному контролю). Выборка шестая показывает неудовлетворительную подналадку – сильно подан инструмент, необходима повторная корректировка. Стрелками показывают направления корректировок.

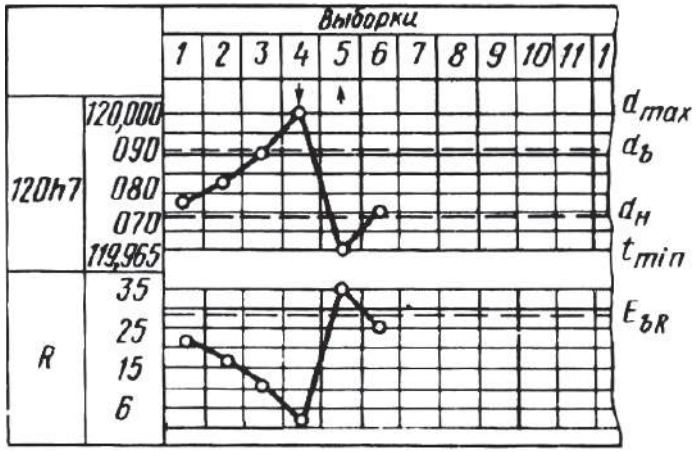



***Рис. 1.15. Карта контроля обработки изделия по методу средних арифметических***

Метод средних арифметических значений и размахов также использует выборку в 3 ... 10 изделий (средняя 5), которая измеряется шкальными приборами. По результатам измерений определяют среднее арифметрическое

$$x = \Sigma\, d_j / n \tag{1.30}$$

и размах варьирования размеров выборки

$$R = d_{max} - d_{min} \quad (1.31)$$

где $d_j$ – результаты измерений выборки из $n$ числа изделий; $d_{max}$, $d_{min}$ – наибольший и наименьший размеры в выборке.

Полученные значения наносят на контрольную карту, состоящую из верхней части, имеющей границы поля допуска и две предупреждающие границы, и нижней части, где откладываются значения размаха $R$ с тремя границами: верхнего предела допуска, нижней границы допуска и верхней границы регулирования $E_{BR}$ *(рис. 1.14)*.

Значения границ

$$d_B = d_{max} - AIT/2; \quad d_H = d_{min} = AIT/2; \quad (1.32)$$

$$E_{BR} = B_1\, IT/2,$$

где $B_1$ = 1,63, остальные обозначения даны выше.

На карте выборки *1*, *2*, *3* характеризуют удовлетворительно протекающий процесс, выборки *4* и *5* требуют регулировки, а выборка *6* – нормально протекающий (после подналадки) процесс обработки.



# 2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

## 2.1. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТИПА ВАЛОВ

В горном машиностроении применяют валы и оси разнообразных конструктивных форм и размеров: гладкие, ступенчатые, коленчатые и др. Существенной характеристикой детали является отношение длины вала к его диаметру. Если это отношение будет менее 12, то валы называют жесткими, а если более 12 – нежесткими.

В зависимости от конструкции вала и его материала определяют процесс его обработки. Учитывая интенсивное нагружение горных машин, агрессивность рабочей среды, а также необходимость обеспечения высокой надежности и прочности, материалом для большинства деталей типа вала у горных машин служат легированные стали 40Х,30ХГСА, 25Х2ГНТА и др. В процессе производства этих деталей применяют термическую обработку рабочих поверхностей до твердости HRC 50 и более, причем твердость сердцевины вала при этом составляет НВ 260 ... 300. В результате этого вал становится более прочным и не подвергается хрупкому разрушению. Часто наружные поверхности покрывают слоем хрома, что увеличивает износостойкость и коррозионную стойкость валов. В качестве заготовок при обработке валов применяют прокат обычной или повышенной точности (для единичного и мелкосерийного производства) или поковки, получаемые свободной ковкой (для серийного и крупносерийного производства). Значительно реже применяют штампованные заготовки с высадкой на горизонтально-ковочных машинах. Выбор способа получения заготовок определяется затратами на их изготовление и коэффициентом использования материала, который определяется отношением масс детали и заготовки:

$$КИМ = Q/B \quad (2.1)$$

Этот коэффициент обычно для горного машиностроения невысокий, он составляет 0,5 – 0,7. Одной из основных задач горного машиностроения является его повышение до 0,7 ... 0,8 и более. Сделать это можно благодаря применению современных

способов получения заготовок для валов горных машин и оборудования. К таким способам следует отнести обжатие на ротационно-ковочных машинах, поперечно-винтовую прокатку, чеканку поковок и др. Особое внимание следует уделить получению заготовок указанными способами для деталей крупносерийного производства: штоков гидроцилиндров, осей вагонеток и др.

Любые заготовки перед обработкой их поверхностей требуют подготовки, к которой можно отнести правку (если длина заготовки значительно больше диаметра ее), обработку торцов и сверление центровых отверстий. Две последние обработки предназначены для выполнения установочных баз, в качестве которых при обработке валов используют центровые отверстия и один торец. Подрезка торцов и их зацентровка в единичном и мелкосерийном производстве выполняются на универсальных токарных станках с использование для длинных валов неподвижных люнетов. Для серийного производства используют фрезерно-центровальные станки с установкой заготовки по наружному диаметру и одному из торцов. К таким станкам относятся фрезерно-центровальные типов МР–71, МР–73, МР–77 и др. Значительно реже используют для тех же целей раздельное подрезание торцов на фрезерных станках и сверление центровых отверстий на центровальных станках.

В отдельных случаях (например, при обработке гидроцилиндров угледобывающих комбайнов) наличие центровых отверстий не допускается по условиям эксплуатации. При обработке таких изделий создают ложные центровые отверстия на длине заготовки, удаляемые после выполнения последней операции обработки.

После решения вопроса базирования и обработки базирующих поверхностей заготовку устанавливают на токарных станках и производят обработку. В зависимости от размера партии обрабатываемых деталей это могут быть различные станки токарной группы: универсальные токарные, с гидрокопировальным суппортом, токарные многорезцовые, управляемые вручную или через программы ЧПУ и имеющие один и несколько шпинделей. С помощью многошпиндельных и многорезцовых токарных станков можно получить высокую производительность обработки за счет совмещения переходов и автоматического получения размеров обработки. Однако при использовании этих станков требуется много времени на наладку и переналадку. Поэтому такие станки применяют для крупносерийного и массового производства.



Проектирование технологии обработки на таких станках начинают с размещения резцов. Обычно для коротких ступенчатых валов, мало отличающихся длиной шеек, применяют схему обработки – один резец на одну ступень (многорезцовая обработка) *(рис. 2.1, а)*. Длину перемещения продольного суппорта определяет наибольшая длина ступени из обтачиваемых данной наладкой (ступень 1). В этом случае некоторое время резцы, ведущие обработку других ступеней, совершают холостой пробег. При такой обработке возникают большие нагрузки на деталь и станок. Эта обработка целесообразна для жестких деталей.

При обработке тех же валов из прутковой заготовки принцип инструментальной наладки будет другим *(рис. 2.1, б)*.

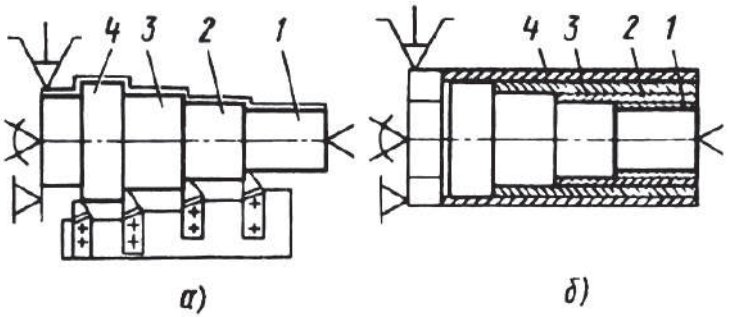



***Рис. 2.1. Схемы обработки ступенчатого вала на многорезцовых токарных станках:***
*а* – многорезцовая; *б* – однорезцовая

Для нежестких деталей, а также для мелкосерийного производства иногда используют одношпиндельные копировальные станки моделей 1712, 1722, 1732 и т.п. Они имеют два суппорта: продольный, перемещаемый по копиру и обрабатывающий ступени вала, и поперечный, которым обрабатывают выточки, подрезают торцы и др. *(рис. 2.2).* Обработка на таких станках имеет ряд преимуществ: время наладки не превышает 40 мин; чистовая обработка позволяет обеспечить автоматическое получение размеров 9-го квалитета точности; нет большого отжатия детали за счет участия в работе только одного резца; улучшается качество обработанной поверхности благодаря применению оптимизации режимов резания. Эффективность применения подобных станков особенно заметна при обработке партий валов от 10 до 20 штук при числе ступеней четыре и более.

Следует заметить, что без переустановки детали на том же станке можно выполнить предварительную и чистовую обработку детали. Для этого используют поворотный барабан, на котором устанавливают два копира – черновой и чистовой обработки. Однако обработка с малым числом копиров требует применения точных заготовок или заготовок с небольшим перепадом диаметров. При невыполнении этого условия необходимо иметь несколько копиров на предварительной (черновой) обработке. При этом напуски и припуски снимаются 2 ... 3 черновыми копирами, а заканчивается окончательная обработка заготовки на одном чистовом копире. Припуски на выполнение токарных операций при обработке валов определяют расчетно-аналитическим методом или табличным.

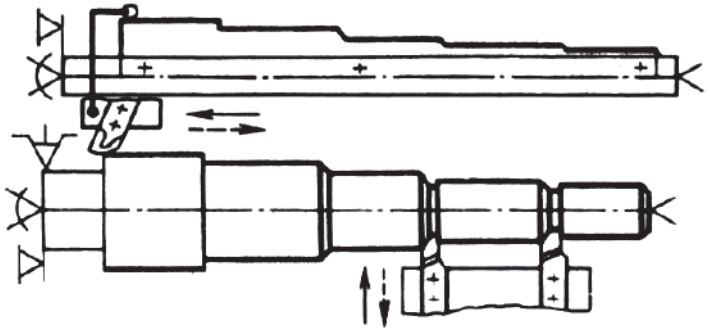


***Рис. 2.2. Схема обработки ступенчатого вала на гидрокопировальном токарном станке***

При обработке ступенчатых валов-шестерен, диаметры ступеней которых соответствуют 6 ... 8 квалитетам точности и шероховатости 0,8 ... 1,6 мкм, наиболее часто используют следующие операции: I – токарная черновая; II – токарная получистовая; III – токарная чистовая; IV – шпоночно-фрезерная; V – шлицефрезерная; VI – зубофрезерная; VII – резьбонарезная; VIII – круглошлифовальная; IX – контрольная. При необходимости выполнения термической обработки ее ведут после токарной чистовой, шпоночно-фрезерной, шлицефрезерной, резьбонарезной операций. Термическую обработку местным нагревом можно выполнять перед шлифовальными операциями шеек, шлицев, резьбы и профиля зубьев.



При токарной обработке цилиндрической поверхности валов машинное время на выполнение отдельных переходов и скорость резания следующие:

$$T_м = Li/(n \cdot s_0); \quad v = \pi Dn/1000, \qquad (2.2)$$

где $L$ – расчетная длина обработки, мм; $i$ – число проходов обработки; $s_0$ – подача, мм на оборот; $n$ – частота вращения шпинделя, об/мин; $D$ – диаметр обработки детали, мм.

Перечисленные параметры резания показаны на *рис. 2.3.*

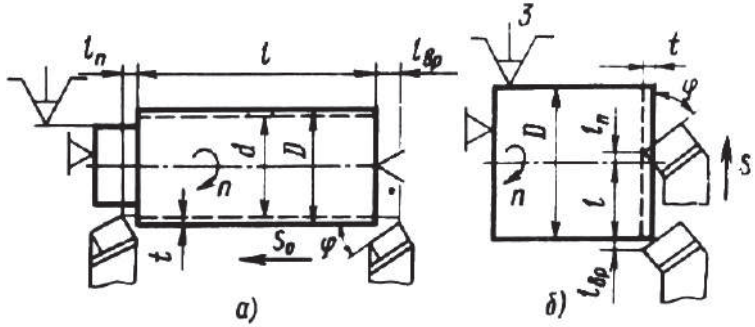



***Рис. 2.3. Схемы к определению параметров режима при токарной обработке валов:***
*а* – при точении на проход; *б* – при резании торца вала

Основное машинное время и скорость резания при обработке торца заготовки вала рассчитывают по приведенным выше формулам, однако имеются изменения в определении некоторых параметров:

$$L = l + l_{вр} + l_п; \; l_{вр} = t/tg\varphi + (0{,}5 \ldots 2); \; l_п = 2 \ldots 5 \text{ мм}, \qquad (2.3)$$

где $t$ — глубина резания [для точения наружной поверхности $t = (D - d)/2$].

Следует отметить, что принципы построения токарных черновых, получистовых, чистовых и тонких точений наружных поверхностей валов одинаковы. Отличие их будет состоять только в значениях припуска и подачи на один оборот, в геометрии и материале резца, скорости резания.

Шлифование валов выполняют на круглошлифовальных станках. Обычно шлифованию подлежат шейки закаленных валов, соответствующие 6 или 7 квалитету точности с шероховатостью поверхностей ($Ra$) в пределах 0,8 ... 1,76 мкм. Шейки валов

6-го квалитета точности подвергают предварительному и чистовому шлифованию (в два прохода). В качестве установочных баз используют центровые отверстия.

Шлифование валов может быть выполнено при продольном движении подачи, применяемой для длинных шеек, когда ширина шлифовального круга меньше длины шлифования *(рис. 2.4, а)*; с поперечным движением подачи (врезное шлифование), применяемым для шлифования коротких шеек валов, когда ширина шлифовального круга больше длины шлифования *(рис. 2.4, б)*; установленным кругом *(рис. 2.5)*.

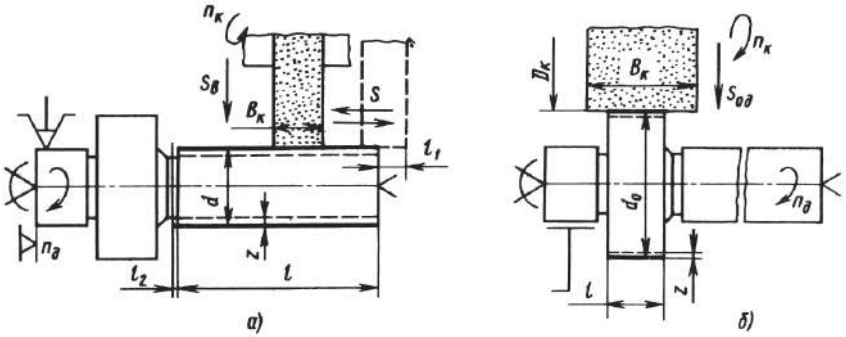



***Рис. 2.4. Схемы к определению параметров режимов резания при шлифовании:***

*а, б* – соответственно при продольном и поперечном движении подачи

Обычно шлифовальные процессы проводят без остановки на контроль. Тогда используют средства активного контроля, которые автоматически прекращают врезание шлифовального круга (поперечную подачу) при достижении заданного размера.

Параметры режимов резания для шлифования валов

$$V_д = \pi\, d\, n_д / 1000; \qquad (2.4)$$

$$T_м = [2\,(l + l_1 + l_2)\,/\,(n_д s)]\,(zk\,/\,s_в); \qquad (2.5)$$

$$T_м = zk/(n_д s_{од}), \qquad (2.6)$$

где $V_д$ – скорость вращения заготовки, м/мин; $d$ – диаметр детали (заготовки); $n_д$ – частота вращения заготовки, об/мин; $T_м$ – машинное (основное) время обработки, мин; $l_c$ – длина продольного хода стола, мм; $l$ – длина шлифуемой поверхности вала, мм; $l_1$ и $l_2$ – врезание и перебег, мм; $s$ – продольная подача, мм/об; $z$ – припуск на сторону, мм; $s_в$ – поперечная подача (мм) на двойной



ход стола (глубина шлифования); $s_{од}$ – поперечная подача на один оборот детали (при врезном шлифовании), мм/об; $k$ – поправочный коэффициент, принимаемый 1,2 ... 1,4 для предварительного шлифования и 1,3...1,7 для окончательного шлифования.

Формулу (2.5) используют для продольного шлифования, формулу (2.6) – для врезного шлифования.

Следует учитывать вспомогательное время на чистовое шлифование для правки поверхности шлифовального круга, которую обычно выполняют периодически в зависимости от изнашивания круга.

Значительно реже в горном машиностроении применяют шлифование ступенчатых валов торцом круга и бесцентровое. При шлифовании торцом круга последний, устанавливаемый под углом к оси шлифуемого ступенчатого вала, одновременно обрабатывает две или несколько поверхностей (обычно цилиндрические шейки и торцы ступенчатого вала). Для этого шлифования используют торцекруглошлифовальные станки с углами между осями круга и детали от 8 до 45° *(рис. 2.5)*. Преимуществами этого шлифования являются одновременная обработка и увеличение производительности, а недостатками – необходимость тщательной выверки шлифовального круга, невысокая точность выдерживания размеров детали, большой расход материала круга.

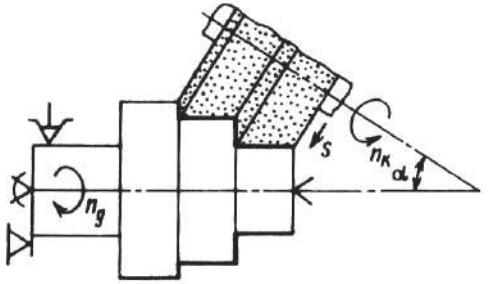



***Рис. 2.5. Схема шлифования торцом круга***

Бесцентровое шлифование *(рис. 2.6)* используют для ступенчатых и гладких валов, осей, пальцев. Его выполняют при продольном и поперечном движения подачи. Если деталь расположена выше осевой линии кругов, то подача заготовки выполняется ведущим кругом, установленным под углом α = 1 ... 5° относительно вертикали. В этом случае за счет сил резания круга и детали происходит ее подача.

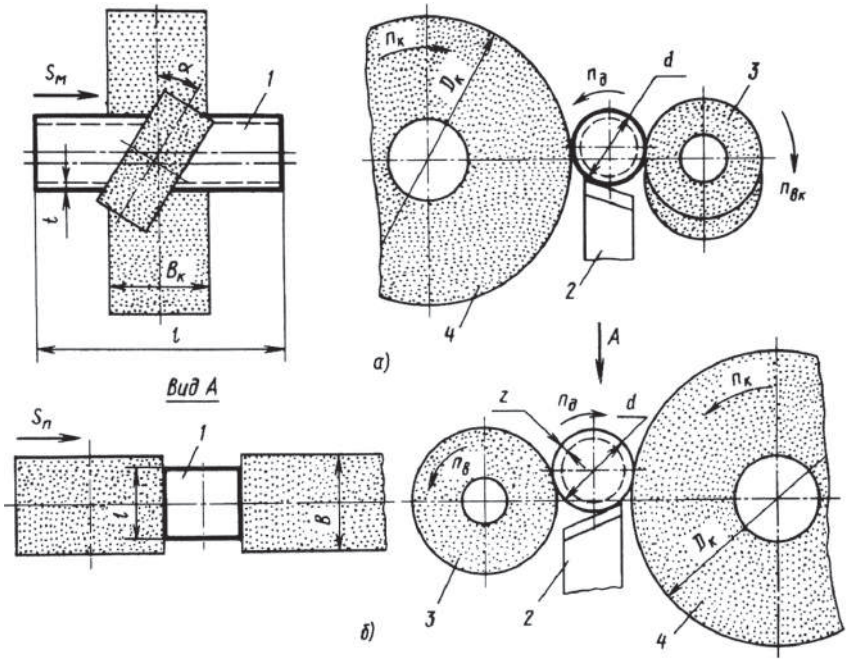



***Рис. 2.6. Схемы бесцентрового шлифования:***
*а, б* – соответственно при продольном и поперечном движении подачи; *1* – обрабатываемая деталь; *2* – упор поддержки детали (нож); *3* – ведущий круг; *4* – шлифовальный круг

Если валы короткие (длина их меньше ширины шлифовального круга $B_к$), то можно вести бесцентровое шлифование при поперечном движения подачи. Заданный размер получают в результате подачи малого круга. Этим методом можно шлифовать короткие шейки ступенчатых валиков. Однако следует помнить, что точность бесцентрового шлифования уступает точности шлифования на круглошлифовальных стенках (7 ... 8 квалитет против 5 ... 6). Параметры режимов резания при бесцентровом шлифовании следующие:

скорость ведущего круга

$$V_{вк} = \pi D_{вк} n_{вк} /1000; \quad (2.7)$$

подача заготовки при продольном движении

$$s_м = 1000\, V_{вк} \sin \alpha; \quad (2.8)$$



время обработки при продольном и поперечном движениях подачи

$$T_м = (l + B_к)\, ik / s_м; \quad (2.9)$$

$$T_м = zk/(t\, n_д) = zk/(s_п\, n_д), \quad (2.10)$$

где α – угол наклона ведущего круга; $n_д$ – частота вращения заготовки; $s_п$ – подача при поперечном движении ведущего круга, мм на оборот заготовки; $k$ – коэффициент запаса, равный 1,05 ... 1,2; $i$ – число проходов.

Когда необходимо получить поверхность шлифования 5–го квалитета точности с шероховатостью $Ra$ < 0,25 мкм, после чистового шлифования применяют тонкое шлифование, хонингование и суперфиниширование, а иногда притирку и полирование.

Такие отделочные виды обработки применяют в технологических процессах изготовления штоков гидроцилиндров, дроссельных устройств гидрокрепи, плунжеров гидронасосов и гидродвигателей, поршней отбойных молотков, бурильных машин и перфораторов.

Тонкое шлифование предназначено для улучшения геометрии поверхности и уменьшения шероховатости; оно отличается небольшими припусками на обработку (0,03 ... 0,08 мм на диаметр), малыми подачами (0,1 ... 0,3 мм/мин или 0,05 ... 0,01 мм на двойной ход) и применением выхаживания (до 10 ... 15 двойных ходов). Кроме того, необходима тонкая правка круга алмазными карандашами и обеспечение хорошей фильтрации охлаждающей жидкости для исключения попадания в зону шлифования частиц абразива и стружки.

Хонингование так же, как и тонкое шлифование, применяют для улучшения геометрии (примерно до 4 ... 5 квалитетов) и уменьшения шероховатости (*Ra*) в пределах 0,16 ... 0,04 мкм. При хонинговании деталь вращается, а абразивные бруски в специальной оправке возвратно-поступательно перемещаются вдоль оси шейки с распределенным усилием прижатия 0,2 ... 1,5 МПа, что способствует высокой точности обработки при низких температурах в зоне резания и сохранению структуры поверхностного слоя без изменений. Правки брусков практически не требуется, так как осуществляется самозатачивание. Вследствие сложной траектории перемещения хонинговальных брусков на обрабаты-

ваемой поверхности образовывается сетка *(рис. 2.7)*. Снимаемый припуск и число операций при хонинговании зависят от того, на сколько необходимо повысить точность обрабатываемой поверхности и уменьшить ее шероховатость, а также от характеристики материала брусков. Так, при использовании алмазно-металлических брусков припуск на диаметр колеблется от 8 до 200 мкм. При использовании брусков из электрокорунда и карборунда припуски составляют 50 ... 60 мкм. Обычно число операций при хонинговании – одна или две. Следует учесть, что единичная операция состоит из трех этапов: первый этап – врезание, когда снижается шероховатость поверхности за 2 ... 3 с при пониженном давлении (0,2 ... 0,4 МПа), второй этап – снятие основного припуска при увеличенном давлении 1,2 – 1,5 МПа; третий этап – кратковременное выхаживание при пониженном давлении 0,2 ... 0,4 МПа. При выполнении указанных этапов хонингования отклонения цилиндрической поверхности уменьшаются в 10 ... 12 раз, а шероховатость – в 6 ... 8 раз.

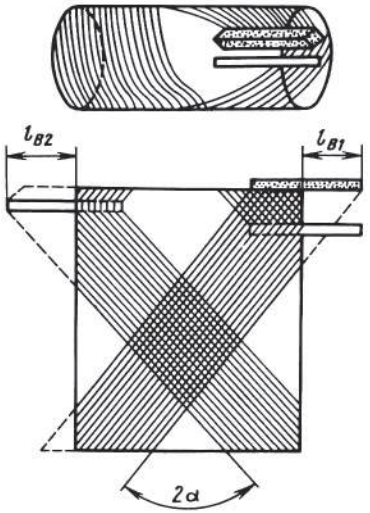



***Рис. 2.7. Образование сетки на поверхности детали, подвергающейся хонингованию***

Хонинговальное устройство *(рис. 2.8)* имеет разжимные рычаги *1* и *2*, на концах которых шарнирно закреплены колодки *9* и *4*. На колодках попарно установлены хонинговальные бруски *7*, *8*, и *5*, *6*. Обрабатываемая деталь охватывается брусками, прижимаемыми к поверхности рычагами, перемещаемыми тягой *3*. Зернистость брусков составляет 10 ... 5 на предварительных режимах хонингования. На окончательной операции применяют мелкозернистые бруски М28, М20, М14, АСМ28/20, АСМ 20/14 и др. Припуски при этом невелики; они не превышают 5 ... 10 мкм на диаметр.



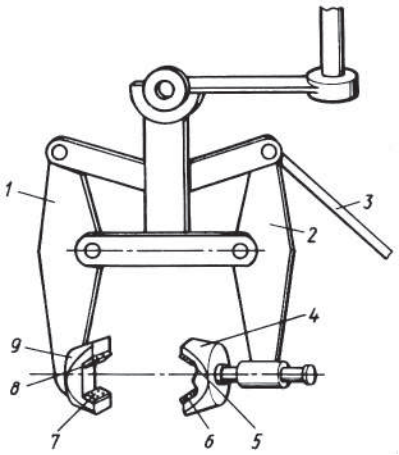



***Рис. 2.8. Устройство для хонингования валов***

Суперфиниширование не улучшает геометрическую форму поверхности, но понижает микронеровности благодаря колебательным перемещениям абразивных брусков (иногда детали). Существенного изменения размеров поверхности при суперфинишировании не происходит, так как процесс идет в пределах высоты микронеровностей с малым усилием прижатия. Шероховатость поверхности (*Ra*) при этом в пределах 0,16 ... 0,0063 мкм, а снимаемый припуск составляет 0,0025 ... 0,04 мкм. Характерным для суперфиниширования является постоянное и низкое (в сравнении с хонингованием) давление: 0,1 ... 0,3 МПа для чугуна и сталей и 0,05 ...0,1 МПа для цветных металлов. Устройство для суперфинишной обработки имеет бруски *4*, закрепленные на самоустанавливающейся державке *3 (рис. 2.9)*. Качание державки регулируется гайкой *2* относительно прижимной скобы-рамки *1*. Зажимные планки *5* удерживают бруски в пазах. Размеры и число брусков определяются размерами и конфигурацией обрабатываемой детали. При наличии открытых участков валов длина брусков выбирается равной или несколько большей длины обрабатывае-

мой поверхности. Если имеются уступы, ограничивающие длину шейки, то длина бруска уменьшается на 2 ... 3 мм на каждый уступ. В этом случае в средней части брусков выполняется выемка для уменьшения повышенного изнашивания бруска по краям.

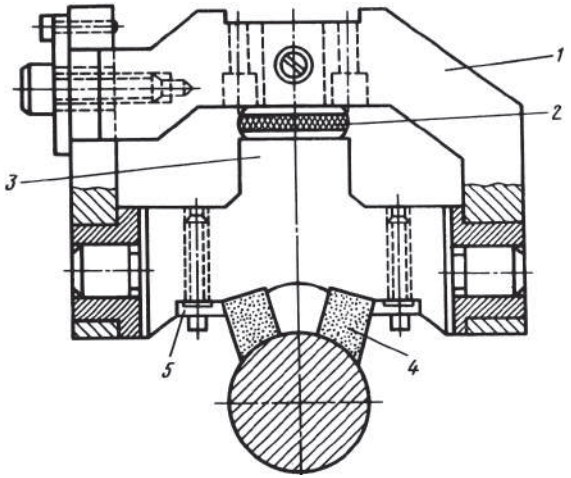



***Рис. 2.9. Схема ротационной обработки заготовки***

На суперфинишированной обработке можно применять алмазно-металлические бруски, что повышает в 2 раза производительность и в 100 раз износостойкость. Следует отметить при этом некоторое увеличение шероховатости поверхности (примерно в 2 раза).

Применение трехстороннего (через 120°) расположения брусков позволило на современных микрофинишных станках выполнить исправление формы цилиндра благодаря синхронному перемещению и прижатию брусков к обрабатываемой детали.

Притирка наружных поверхностей производится притиром-инструментом, на поверхность которого нанесена паста из мелкого абразивного порошка, смешанного с жидкостью. Материал притира должен быть мягким (для захвата частиц абразива), что улучшает работу притиров. Обычно притиры изготовляют из бронзы или чугуна. В качестве абразива используют корунды, окись хрома, алмазную пыль, карбиды кремния и бора и др. В качестве жидкости используют смеси керосина и масла, машинное масло, иногда чистый керосин. При использовании притира допуск обработки составляет ± 0,5 мкм, шероховатость поверхностей (*Ra*) в пределах 0,012 ... 0,006 мкм.



Полирование выполняют мягкими кругами (из войлока, фетра, кожи и т.д.) с нанесением на них мелкозернистых абразивных порошков и паст. Иногда полирование ведут абразивной лентой или листами. При такой обработке точность не повышается, а шероховатость (*Ra*) уменьшается до 0,012 мкм.

В последнее время широко стали применять чистовую обработку деталей типа вал без снятия стружки. Это прогрессивный метод обработки незакаленных деталей, форму, размеры и шероховатость поверхностей которых получают пластическим деформированием при обкатывании их поверхностей роликами. Благодаря пластическому деформированию можно получить не только заданные размеры, форму и требуемую шероховатость (обычно точность обработки достигает 7 ... 8 квалитета при шероховатости поверхностей (*Ra*) до 0,1 мкм), но и упрочнить поверхностный слой, повысить износостойкость, коррозионную стойкость, сопротивление усталости. Такая обработка получила название ротационной; она находит применение для обработки длинных гладких деталей типа штоков гидроцилиндров и т.п. На *рис. 2.10* приведена схема ротационной обработки. Заготовка вращается в патроне токарного станка с частотой 80 ... 120 об/мин. На суппорте станка установлена ротационная головка, на внутренней конусной поверхности которой расположены конусы-ролики, рабочая поверхность которых деформирует металл заготовки и обрабатывает поверхность детали. Подача ротационной головки ведется со скоростью 0,2 ... 0,8 мм/об заготовки, а деформация диаметра (припуск на диаметр) 0,2 ... 0,3 мм. На последнем проходе для получения более точного размера деформация не должна превышать 0,05 ... 0,10 мм на диаметр. Максимальное число проходов не должно превышать 4 ... 5, при превышении этого числа проходов наступает усталость поверхностного слоя вследствие наклепа и возможно отслоение металла.

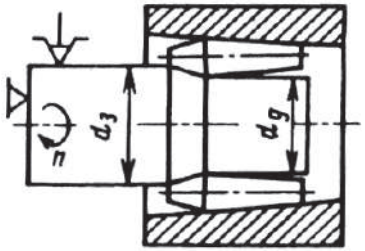



***Рис. 2.10. Устройство для суперфинишной обработки***

## 2.2. ОБРАБОТКА ШПОНОЧНЫХ ПАЗОВ НА ВАЛАХ

В современных машинах широко применяют шпоночные сопряжения. В зависимости от типа применяемой шпонки на валах необходимо предусматривать обработку паза различной формы *(рис. 2.11)*. Фрезерование пазов на валах – ответственная операция. От точности обработки боковых поверхностей паза зависят характер сопряжения шпонки с валом, а также срок службы данного узла (особенно в случае реверсивного движения). Исходя из сказанного, к обработке пазов предъявляются следующие требования:

- необходимо обеспечить симметричное расположение боковых поверхностей паза относительно плоскости, проходящей через ось вала;
- отклонения размера ширины паза должны быть в пределах 9 квалитета точности;
- отклонения размера глубины паза должны быть в пределах 12 квалитета точности.

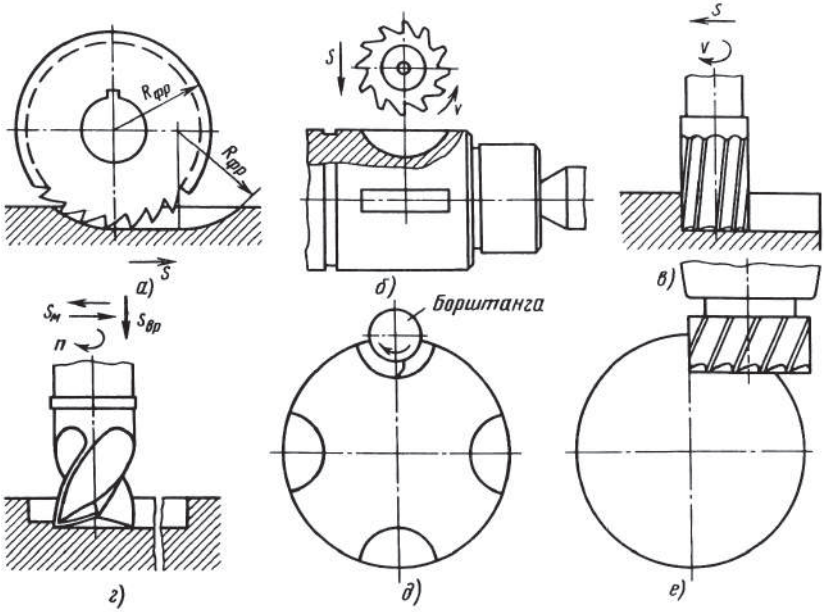
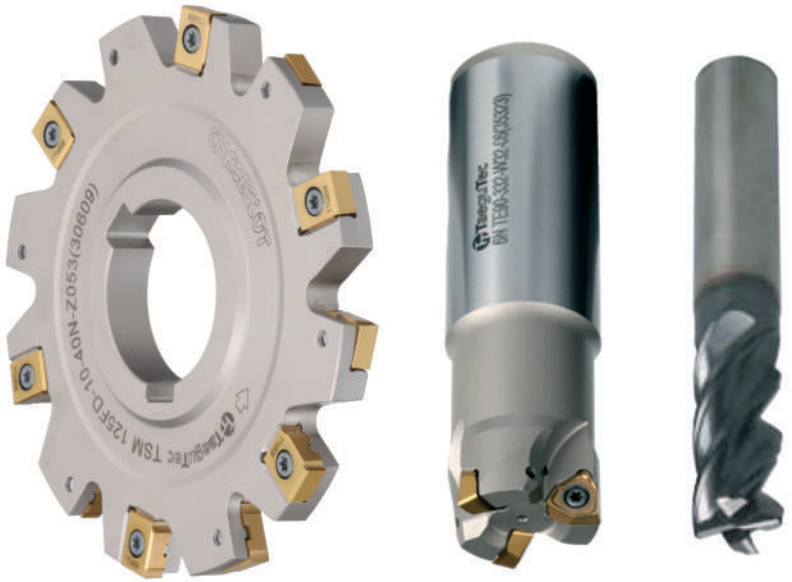



***Рис. 2.11. Способы и виды обработки шпоночных пазов вала:***
*а, б* – дисковой фрезой призматического и сегментного пазов;
*в* – торцовой фрезой призматического паза за один проход;
*г* – шпоночной фрезой при маятниковой подаче;
*д* – борштангой поперечного сегментного паза;
*е* – двустройней торцовой фрезой тангенциального паза



Обработку шпоночных пазов предусматривают в технологическом процессе (после окончания токарной обработки цилиндрических поверхностей) на шпоночно-фрезерных и фрезерных станках. Сквозные и закрытые с одной стороны шпоночные пазы можно фрезеровать дисковыми фрезами. В зависимости от точности размеров и требований к шероховатости обработку можно вести в один или в два этапа: первый этап – черновая обработка паза и второй этап – чистовая обработка. Обработку осуществляют разными фрезами (иногда используют комплект фрез и многоместных приспособлений). Такая обработка шпоночных пазов экономически выгодна в крупносерийном и массовом производстве. В мелкосерийном и единичном производстве сквозные пазы можно обрабатывать на строгальных станках.



*а)* *б)* *в)*

***Рис. 2.12. Инструмент для обработки пазов:***
*а* – дисковая фреза с механическим креплением твердосплавных пластин; *б* – концевая фреза с механическим креплением твердосплавных пластин; *в* – монолитная твердосплавная фреза

Глухие шпоночные пазы фрезеруются шпоночными фрезами. При этом возможны два способа фрезерования: первый предусматривает углубление цилиндрической фрезы (имеющей

также торцовые зубья) на полную глубину паза с последующей продольной подачей фрезы на всю длину паза; второй предусматривает углубление двухзубой шпоночной фрезы на 0,2 ... 0,3 мм с последующей продольной подачей на длину паза, когда в конце процесса вновь происходит указанное углубление и цикл повторяется (так называемый способ «маятниковой» подачи). При первом способе фреза работает периферийной частью, что приводит к уменьшению диаметра фрезы, а следовательно, и шпоночного паза в конце обработки. Это ухудшает точность обработки паза и приводит к необходимости дополнительной доработки его. При способе маятниковой подачи сужение паза незначительно, так как фреза работает торцовой частью и длительное время ее диаметр не изменяется. Износостойкость такой шпоночной фрезы выше, а переточку ее осуществляют по торцовой части. Машинное время при обработке шпоночных пазов по способу маятниковой подачи *(рис. 2.13)*:

- при обработке закрытого паза

$$T_м = (l - d + y) / (s_M t); \;\; y=0{,}5 \qquad (2.11)$$

- при обработке открытого паза

$$T_м = (l - d + y + l_П) / (s_M t); \;\; y=0{,}5\, d + (0{,}5 \ldots 1{,}0), \;\; l_П = 1...2 \text{ мм} \qquad (2.12)$$

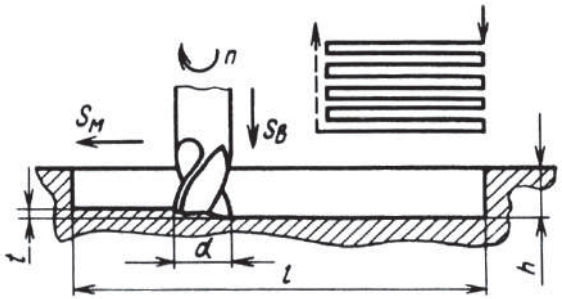



***Рис. 2.13. Схема к определению машинного времени при обработке шпоночного паза способом маятниковой подачи***

Число рабочих ходов стола (детали) при обработке паза

$$N=(h + (0{,}5 \ldots 1{,}0)) / t. \qquad (2.13)$$

При обработке шпоночного паза по первому способу машинное время обработки глухого паза

$$T_м = (l - d) / s_м + [h + (0{,}5 \ldots 1{,}0)] / s_в; \qquad (2.14)$$



открытого с одной стороны паза

$$T_м=(l + y)\, s_м, \qquad (2.15)$$

где $h$ – глубина паза, мм; $d$ – диаметр шпоночной фрезы (ширина паза), мм; $l$ – длина паза, мм; $s_в$ – вертикальная подача, мм/мин; $s_M = s_z\, z_n$ – подача при продольном движении, мм/мин; $z$ – число зубьев фрезы; $s_z$ – подача на зуб фрезы; $n$ – частота вращения фрезы, об/мин; $y$ – длина врезания, мм; $t$ – вертикальная подача шпинделя на двойной ход шпиндельной бабки, мм.

Следует заметить, что шпоночные соединения недостаточно технологичны, получение заданной точности изготовления их элементов затруднительно. Поэтому в серийном и массовом производстве их по возможности стремятся заменить на шлицевые соединения.

## 2.3. СТАНКИ С ЧПУ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ

В последнее время широкое распространение в мелкосерийном и единичном производстве получают токарные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), а также многооперационные станки с ЧПУ и автоматической сменой инструментов.

Технологическая подготовка производства в этом случае имеет свои особенности. Во-первых, необходимо подобрать из общей программы производства номенклатуру деталей, обработка которых на станках с ЧПУ может быть более эффективной, чем на обычных станках. При этом учитывают сложность конфигурации детали, точность размеров, формы и относительного расположения поверхностей, тип материала детали, способы базирования и возможность унификации базовых элементов, трудоемкость обработки, возможность унификации элементов обрабатываемых поверхностей для повышения технологичности и создания условий для разработки групповых процессов и унифицированных элементов программ, возможность создания участка станков с ЧПУ и организации многостаночного обслуживания.

В задачи проработки технологичности конструкции деталей входят: создание удобных баз, возможность замены установов на позиции, замена способа простановки размеров по требованиям разработки программы, возможность обработки максимального количество поверхностей одним инструментом (например, унификация отверстий и размеров сопряжений и т.д.).

Во-вторых, следует подготовить технологическую информацию для программирования. Объем и последовательность подготовки ее различны, но исходные данные в основном те же, что и при применении обычных станков. Следует помнить о более высоких требованиях:

- к качеству режущего и вспомогательного инструмента;
- точности размеров;
- жесткости и качеству посадочных поверхностей;
- износостойкости;
- удобству подналадки и быстросменности инструмента;
- безопасного стружкообразования.

В-третьих, изменяется понятие о технологических переходах, изменяется общепринятый порядок выполнения некоторых из них. Например, возникает необходимость программирования всех вспомогательных переходов.

В-четвертых, более подробно оформляется технологическая документация, появляется группа новых документов: таблицы кодов инструментов, режимов резания и технологических команд, ведомости оснащения, ведомости закрепления деталей за участками и цехами и т.д. В соответствии с этими таблицами и ведомостями технологическая информация о способе и порядке выполнения операции, режимах резания, траекториях движения инструмента, необходимых технологических паузах математически обрабатывается, кодируется, записывается на программоноситель, а затем контролируется правильность работы.

В-пятых, по результатам пробных включений и обработки контрольной детали проводят корректировку технологии и программы обработки, после чего можно проводить обработку партии деталей.

Увеличение объема инженерной подготовки производства для станков с ЧПУ компенсируется повышением производительности, уменьшением производственной площади, повышением качества обработки. Кроме того, значительно сокращается время на повторную переналадку станка и время подготовки рабочего оператора для работы на станке с ЧПУ. Примеры токарных станков с ЧПУ: 1К62Ф3, 1А616Ф3, 16Б16Ф3. 1П717Ф3, 1К620Ф3, 16К30Ф3, РТ725Ф3, РТ705Ф3, 1П752МФ3, АТ320, 1Б732Ф3 (оснащенных горизонтальной или вертикальной поворотной многорезцовой головками), а также АТПр–1М12, АТПр–2М12, АТПр–3М12, АТПр–4М12 (одношпиндельные патронные и центровые полуавтоматы с одним крестовым суппортом и магазином на 12 сменных инструментов).



Широкое применение находят импортные станки с ЧПУ, что объясняется их высокой производительностью, точностью и надежностью *(рис. 2.14 – 2.16)*.

***Рис. 2.14. Станок DOOSAN PUMA 700XLY для обработки длинных валов***

***Рис. 2.15. Токарный станок с ЧПУ ST-10Y Haas***

***Рис. 2.16. Обрабатывающий центр Hurco VMX30UHSi с системой ЧПУ WinMax***

Перечисленные станки, как правило, оснащены контурной системой ЧПУ. Подобные системы (в модели станка обозначены ФЗ) обеспечивают непрерывное управления траекторией движения рабочих органов. На обрабатываемой поверхности программой определяются опорные точки, от которых задается движение инструмента и размеры обработки. Заданный контур обработки может получаться перемещением инструмента вдоль одной координаты (например, вдоль оси станка: в этом случае получается цилиндрическая поверхность) или одновременным перемещением вдоль двух осей – продольным относительно оси и перпендикулярным к ней (в этом случае получают любую по форме деталь – коническую, шаровую или др.). При этом заданный контур между опорными точками аппроксимируется системой управления (устройством интерполяции). Интерполяция может быть линейной и круговой, а выполняется для указанных станков автономным устройством.

Указанные управляющие устройства используют микропроцессоры и большие интегральные схемы, что дает возможность быстро и удобно вводить программы непосредственно с пульта управления, хранить программы в памяти, проводить редактирование программы с того же пульта. Однако при этом рабочий не освобождается от станка, его работа лишь облегчается, становится производительнее, эффективнее.



Дальнейшими усовершенствованиями стали программируемое устройство числового программного управления и групповое числовое программное управление станками от ЭВМ, а также адаптивное числовое программное управление станком. Исследование названных систем позволило расширять функциональные возможности управления и регулирования, обеспечить гибкость и приспосабливаемость к различным условиям производства. Кроме того, стало возможным освободить рабочего от станка и передать системе функции непосредственного ввода, хранения и редактирования программы, обработки в диалоговом режиме оператор – станок без применения трудоемких способов подготовки программ управления, автоматической диагностики, контроля и управления работой узла ЧПУ, приводов и механических узлов станка, учета и компенсации погрешностей. В конечном итоге это дает возможность перехода на полностью автоматизированное производство, управляемое одной ЭВМ.

Разрабатывается перспективная система VNC, которая, получая команду голосом через микрофон, будет выполнять необходимую перестройку управляющей программы, составление оптимальной технологии обработки и т.п.

## 2.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА

Рассмотрим маршрут технологического процесса изготовления многоступенчатого шлицевого вала-шестерни добычного комбайна 1К101У. Материал вала – сталь 20Х2Н4А, твердость после термообработки HRC 56 ... 62 при глубине цементации 1,4 ... 1,5 мм *(рис. 2.17)*. Чертеж заготовки представлен на *рис. 2.18*.

Технологический маршрут состоит из следующих операций[1].

*Первая операция* – фрезерно-центровальная (станок МР73). Заготовку устанавливают и подрезают торцы, выдерживая размер 520h12.

Сверлят два центровых отверстия (сверло типа 2).

*Вторая операция* – токарная черновая (станок 1722 – гидрокопировальный полуавтомат с трехсекторным копиром): 1) устанавливают деталь и производят черновое точение (по копиру №1) поверхностей вала диаметрами 102 мм при $l$ = 228 мм; 120 мм при $l$ = 79 мм; 164,52 мм при $l$ = 118 мм; деталь снимают; 2) устанавливают деталь и производят черновое точение (по копиру №2) поверхностей вала диаметрами 100 мм и 114 мм.

[1] Для упрощения операционные размеры указаны без учета операционных припусков и допусков.

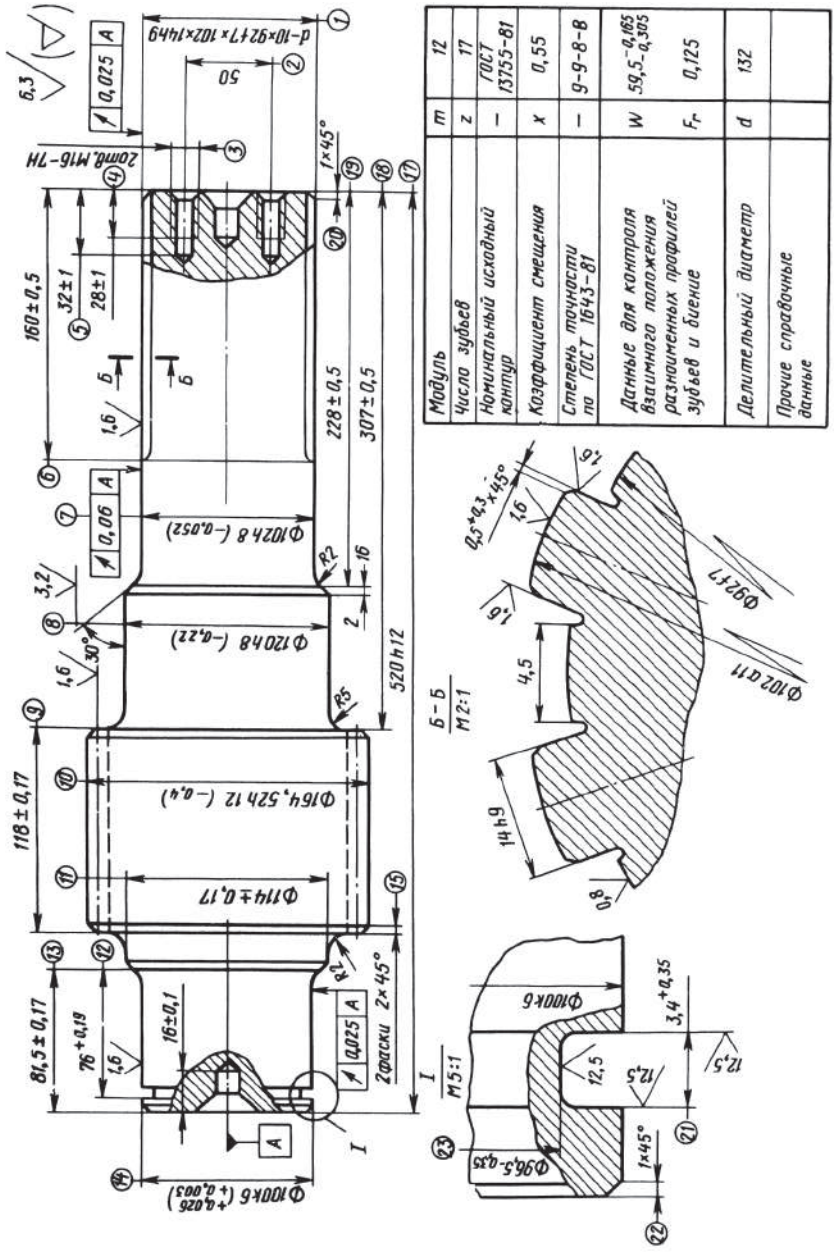



***Рис. 2.17. Вал-шестерня 1К101.01.271***



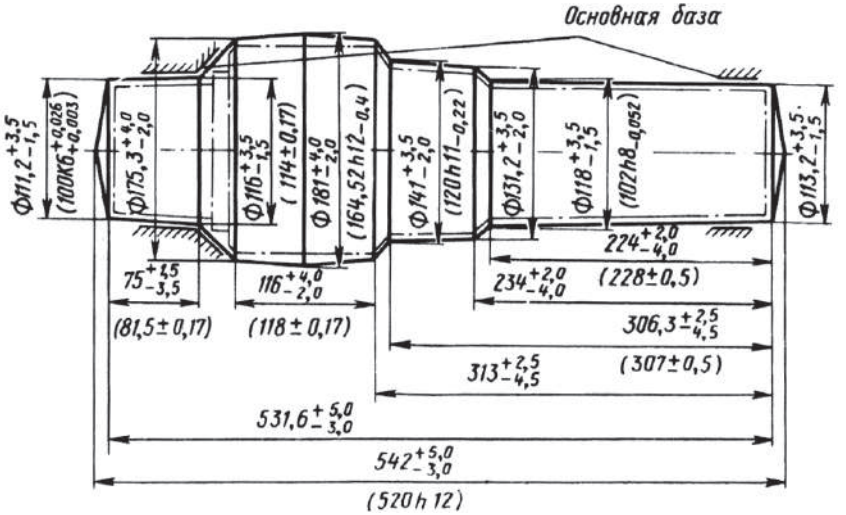



***Рис. 2.18. Заготовка вала-шестерни 1К101.01.271***

*Третья операция* – токарная–получистовая (станок 1722): 1) устанавливают деталь и производят получистовое точение (по копиру №1) поверхностей вала диаметром 102, 120 и 164, 52 мм, затем подрезают фаски (1 Х 45°) с помощью поперечного суппорта деталь снимают; 2) устанавливают деталь и производят получистовое точение (по копиру №2) поверхностей вала диаметром 100 и 114 мм, затем производят точение канавки и подрезку фаски поперечным суппортом.

*Четвертая операция* – зубообрабатывающая (зубофрезерный станок 5К328). Деталь устанавливают и производят сначала черновое фрезерование профиля зубьев, а затем получистовое.

*Пятая операция* – шлицефрезерная (станок 5350). Устанавливают деталь и производят сначала черновое фрезерование шлицев, а затем получистовое фрезерование.

*Шестая операция* – термическая операция. Производят цементацию детали на глубину 1,9 ... 2,2 мм и ее охлаждение в песке.

*Седьмая операция* – нагревание детали до температуры 780 ... 800 °С и прокаливание в масле до HRC 56 ... 62.

*Восьмая операция* – сверлильная (станок 2Н195). Устанавливают деталь и сверлят два отверстия диаметром 14 мм, выдерживая размеры, обозначенные позициями 2, 5. Затем нарезают резьбу на двух отверстиях, выдерживая размеры 3, 4.

*Девятая операция* – слесарная. Устанавливают деталь и правят поверхности центровых отверстий шлифовальным конусом.

*Десятая операция* – шлифовальная (станок 3Б151): 1) устанавливают деталь и предварительно шлифуют поверхность вала диаметром 102 мм (a11), затем диаметром 102 мм (h8), выдерживая размер 19; после этого однократно шлифуют поверхность вала диаметром 102 мм (h11), выдерживая размеры 8, 18; деталь снимают; 2) устанавливают деталь и предварительно шлифуют поверхность вала диаметром 100 мм, выдерживая размеры 13, 14.

*Одиннацатая операция* – шлифовальная (станок 3Б157): 1) устанавливают деталь и окончательно шлифуют поверхность вала диаметром 102 мм, выдерживая размеры 1, 6, 7, 18; деталь снимают; 2) устанавливают деталь и окончательно шлифуют поверхность вала диаметром 100 мм, выдерживая размеры 13, 14.

*Двенадцатая операция* – шлифовальная (станок 3451В). Устанавливают деталь и шлифуют впадину шлицев профильным кругом.

*Тринадцатая операция* – зубообрабатывающая. Устанавливают деталь и притирают профиль зуба в распор.

*Четырнадцатая операция* – контрольная. Контроль обработки валов выполняют измерением диаметральных размеров шеек, размеров резьб, шпоночных пазов и шлицев. Для массового и крупносерийного производства обычно используют калибры-скобы для контроля гладких шеек, резьбовые и шлицевые поверхности контролируют комплексными калибрами-кольцами. Шпоночные пазы контролируют специальными шпоночными комплексными калибрами или поэлементными калибрами (отдельно измеряют каждый элемент паза). Применяют также электроконтактные и бесконтактные датчики для схем активного контроля. Для контроля в мелкосерийном и единичном производстве обычно используют дифференциальные измерения элементов универсальными измерительными приборами: штангенциркулями, микрометрами, скобами, индикаторными головками. Шероховатость поверхностей измеряют профилометрами, профилографами, двойным микроскопом МИС–11, а иногда сравниванием с эталоном. Отклонения формы и расположение поверхностей контролируют специальными калибрами, либо измерениями по специальным схемам. Например, для контроля соосности шеек вал базируют на призмах и индикаторной головкой определяют радиальные биения шеек.



## 2.5. ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Отверстия в деталях с точки зрения технологии их обработки можно разделить по продольной форме на цилиндрические, конические, фасонные, ступенчатые, открытые, глухие; по форме сечения – на цилиндрические, ограненные (например, квадратное, шестигранное, и т.д.), шлицевые, шпоночные, резьбовые; по функциональному признаку – на втулки (отношение длины отверстия к диаметру менее двух) и цилиндры (когда указанное отношение составляет 4 ... 15). Иногда выделяют детали типа колец, для которых отношение длины к диаметру составляет менее 0,5. Чаще всего в технологии обработки встречаются цилиндрические отверстия. Характерными для горного машиностроения деталями являются втулки и цилиндры различных форм.

В зависимости от типа производства, материала и вида заготовки, конструктивных особенностей детали обработку отверстий можно вести как в сплошном металле, так и в заготовке с отверстиями, полученных литьем или штамповкой. Причем в зависимости от диаметра отверстия его можно обрабатывать различными инструментами (сверлами, зенкерами, развертками, протяжками, прошивками и др.) или растачиванием лезвийным инструментом с последующими шлифованием, хонингованием, притиркой и т.п.

Получение заданной точности и шероховатости поверхностей отверстия зависит от правильности выбора метода обработки, числа операций и переходов. Поскольку обрабатывающий инструмент для отверстий имеет меньшую жесткость, чем инструмент при обработке валов, обработка отверстий проходит с меньшей производительностью и точностью, при этом затруднен контроль и, следовательно, чаще допускается брак. Наиболее характерные виды отклонений отверстий следующие: от круглости, цилиндричности, соосности, профиля продольного сечения отверстия и другие.

При изготовлении горных машин и комплексов используют следующие виды обработки отверстий: сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, шлифование, протягивание, прошивание, доводку, электроэррозионную обработку, дорнование, калибровку.

Заготовкой для втулок, имеющих отверстие не более 25 мм, служит пруток из проката или литья. Для втулок диаметром более 25 мм используют трубы холодно- и горячекатаные (тонкостенные или толстостенные), а также полые отливки, поковки и штамповки.

Сверление отверстий выполняется спиральными, перовыми и центровочными сверлами в основном на токарных и сверлильных станках. Формообразование поверхности отверстия получается при вращении сверла или детали и осевом движении подачи сверла или детали. В зависимости от принятого вида формообразования возможны следующие схемы: 1) сверло вращается и перемещается вдоль оси, деталь неподвижна на столе станка; 2) деталь, установленная в патроне, вращается, а сверло, закрепленное в пиноли задней бабки, револьверной головке или суппорте, перемещается только в продольном направлении вдоль своей оси; 3) деталь, установленная в шпинделе станка, вращается, а сверло, установленное в специальном приспособлении суппорта или револьверной головки станка, также вращается и перемещается вдоль своей оси. Наиболее часто используют первые две схемы, характерные для сверлильных и токарных станков. Для уменьшения увода сверла применяют третью схему (иногда деталь и сверло вращаются в противоположных направлениях). Обычно применяют сверла диаметром 30 ... 35 мм. Большие по диаметру сверла вызывают увеличение усилий подачи при работе, что приводит к большим деформациям и погрешностям. Поэтому сверла увеличенных диаметров изготовляют кольцевыми, когда часть металла отверстия остается неразрушенной в виде керна.

При обработке отверстий диаметром более 30 мм в сплошном материале рекомендуется применять два сверла: первое – диаметром 20 мм, второе – по размеру для последующей обработки. Если обрабатывается ступенчатое отверстие в сплошном материале, то рекомендуют сначала обрабатывать большую по диаметру ступень, для чего сверло направляют кондукторной втулкой или выполняют центрирование, а обработку малой ступени ведут по следу сверла большой ступени без направляющих приспособлений.

***Рис. 2.19. Сверло со сменной твердосплавной головкой***



Параметры режимов резания при сверлении можно определить по следующим формулам *(рис. 2.20, а, б)*:

$$T_м = L/(sn); \quad t = D/2; \quad s_z = s/z, \tag{2.16}$$

где $T_м$ – основное время обработки, мин; $L = l + l_{вр} + l_п$, мм; $s$ – подача, мм на оборот; $z$ – число режущих кромок сверла; $l_п$ = (1... 3) мм; $l_{вр} = t \cdot ctg\,\varphi + (0{,}5 \ldots 2)$, мм.

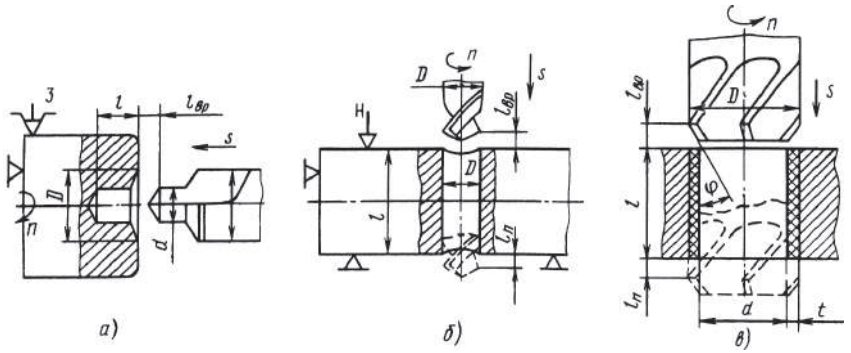



***Рис. 2.20. Схемы к определению параметров режимов резания при сверлении:***

*а* – на токарном станке; *б* – на сверлильном станке;
*в* – при обработке отверстия зенкером

При обработке точных отверстий, имеющих малую шероховатость поверхностей, применяют черновое и чистовое зенкерование, а также двойное развертывание. Операцию зенкерования применяют для уточнения диаметра отверстия, а также для обработки отверстий, полученных в литых и штампованных, заготовках. Зенкерование – более производительный и точный метод обработки, обеспечивает меньшую шероховатость поверхности, чем сверление. Это объясняется наличием у зенкера большего числа режущих кромок, чем у сверла. При необходимости зенкер можно изготовить ступенчатым или наборным (на одной оправке насаживается несколько зенкеров, обрабатывающих одновременно все ступени отверстия). При зенкеровании не происходит исправление направления оси, заданного сверлением, но исправляется форма круглости и цилиндричности. В зависимости от технологии обработки отверстия зенкер применяют перед развертыванием. Если зенкер используют после сверла, то режим его работы – получистовой. При зенкеровании литого или

штампованного отверстия применяют два зенкера для черновой и получистовой обработки. Режимы отличаются величиной снимаемых припусков и их равномерностью. Обычно при получистовой обработке зенкером можно снять припуск 0,8 ... 1,6 мм на диаметр, а при черновой обработке припуск в зависимости от способа получения заготовки составляет до 10 мм на диаметр.

Параметры режимов резания при зенкеровании можно определить по следующим формулам *(рис. 2.20, в)*:

$$l_{вр} = [(D - d)\ ctg\ \varphi]/2 + (0{,}5 \ldots 2); \quad l_{п} = (1 \ldots 3); \qquad (2.17)$$

$$T_{м} = (l + l_{вр} + l_{п}) / (sn), \quad t = (D - d)/2, \qquad (2.18)$$

где $D$ – диаметр зенкера, мм; $d$ – диаметр отверстия заготовки, мм; $n$ – частота вращения зенкера, об/мин; $s$ – подача, мм на оборот; $l_{вр}$, $l_{п}$ – врезание и перебег, мм; $T_{м}$ – основное время обработки, мин.

Операция развертывания аналогична зенкерованию, но благодаря ее использованию обеспечивается точность до 6–го квалитета при шероховатости поверхностей (*Ra*) до 0,4 мкм. Обычно для точных отверстий применяют черновое, чистовое и тонкое развертывание. Параметры режимов резания при развертывании определяют по схеме, рассмотренной выше. Однако при определении перебега инструмента учитывают длину рабочей части развертки $l_{р}$:

$$l_{п} = (0{,}3 \ldots 0{,}5)\ l_{р}. \qquad (2.19)$$

При развертывании, как и при зенкеровании, можно устранить только отклонения от круглости, цилиндричности и профиля продольного сечения.

Отклонение можно устранить при растачивании отверстия, применяя черновую, получистовую, чистовую и тонкую обработку отверстий. В отличие от наружного точения, растачивание ведется нежесткими резцами и борштангами, вследствие податливости которых глубина резания уменьшается. Растачивание можно вести по следующим схемам: 1) обрабатываемая деталь закреплена на столе станка неподвижно, а борштанга с расточным резцом вращается (движение подачи в этом случае можно осуществить перемещением стола с деталью или шпинделя с борштангой); 2) закрепленная в приспособлении деталь вращается, а резец или борштанга, установленные в суппорте или револьверной головке, имеют только поступательное (вдоль оси



отверстия) перемещение. По первой схеме работают горизонтально-расточные и вертикально-расточные станки, а по второй схеме – токарные, токарно-револьверные и карусельные станки, автоматы и полуавтоматы. Кроме перечисленных расточных станков, в машиностроении используют агрегатно-расточные, алмазно-расточные, координатно-расточные и специальные расточные станки. Эти станки находят применение в крупносерийном и массовом производстве, и с их помощью обеспечивается обработка отверстий до 7 квалитета точности при шероховатости (*Ra*) до 0,2 мкм. Следует отметить, что производительность растачивания невысокая, а параметры режимов резания определяются аналогично параметрам при наружном точении.

При шлифовании точность отверстий соответствует 5 ... 6 квалитету при шероховатости поверхностей (*Ra*) до 0,1 мкм. Шлифование отверстий выполняют на универсальных круглошлифовальных станках со специальными приспособлениями или на внутришлифовальных станках. Производительность процесса невелика, поэтому обработка трудоемкая и относится к дорогостоящим. Схемы шлифования могут быть различными: 1) деталь закреплена в патроне и вращается, шлифовальный круг тоже вращается и перемещается в продольном и поперечном направлениях движения подачи *(рис. 2.21, а)*; 2) деталь закреплена неподвижно, а шлифовальный круг вращается вокруг оси и совершает планетарное движение *(рис. 2.21, в)* (в этом случае движение подачи может выполняться перемещением стола с деталью или шпинделя со шлифовальным кругом); 3) незакрепленная деталь вращается с опорой на ведущий и поддерживающий ролики; это схема бесцентрового внутреннего шлифования, *(рис. 2.21, б)*.

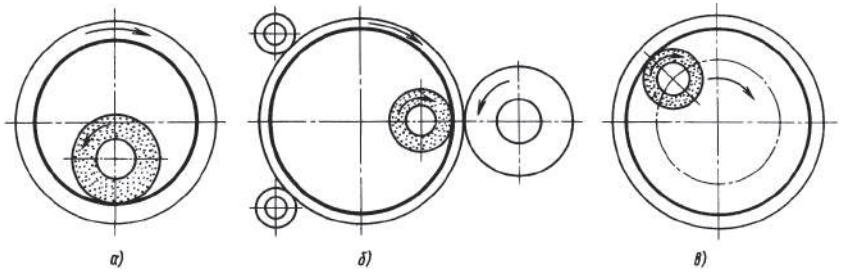



***Рис. 2.21. Схемы шлифования отверстий:***
*а* – при продольном и поперечном движении подачи;
*б* – бесцентровое; *в* – эквидистантное

Наибольшее распространение получила первая схема шлифования. Две другие схемы более сложные и требуют специальных станков. Шлифование поверхностей внутренних отверстий, как и наружных поверхностей, может быть выполнено при продольном направлении движения подачи и поперечном (врезное шлифование). Параметры режимов резания определяют аналогично параметрам при шлифовании наружных поверхностей. Обычно диаметр шлифовального круга составляет 0,7 ... 0,9 диаметра обрабатываемого отверстия, подача при поперечном движении – 3 ... 15 мкм на оборот, а при продольном движении – 0,2 ... 0,4 ширины круга на один оборот заготовки.

Операции протягивания и прошивания выполняют одинаковыми инструментами, однако при протягивании возникают напряжения растяжения, а при прошивании – напряжения сжатия. Это операции высокой производительности обработки отверстий; с их помощью можно получить высокоточное отверстие любой по сечению формы. Для этого необходимо изготовить соответствующей формы протяжку. Обычно протяжка состоит из одной или нескольких (2 ... 3) частей, образующих комплект. Это объясняется тем, что шаг протяжки зависит от длины обрабатываемого отверстия, а глубина резания на один зуб не превышает 0,4 мм. Поэтому для снятия полного припуска потребовалась бы слишком длинная (до 3 м) протяжка. В этом случае ее разделяют на части. Время обработки отверстия при протягивании в один ход

$$T_M = (L/v_p + L/v_x)\ 10^{-3}, \qquad (2.20)$$

где $v_p$ – скорость рабочего хода, м/мин; $v_x$ – скорость холостого хода, м/мин; $L = l_p + l_K + l + l_l$ – длина хода протяжки, мм; $l_p$, $l_к$ – соответственно длина рабочей и калибрующей частей протяжки, мм; $l$ – длина обрабатываемого отверстия, мм; $l_l$ =5 ... 10 мм, – перебег протяжки.

Длина прошивки не должна превышать 15 диаметров обрабатываемого отверстия, что ограничивается продольным прогибом. Время обработки определяют аналогично определению времени при протягивании. При протягивании точность поверхностей протягивания соответствует 7 – 6-му квалитету при шероховатости (*Ra*) 0,4 мкм и менее. При прошивании точность поверхности такая же, а шероховатость (*Ra*) несколько больше 0,8 мкм. Однако прошивание имеет преимущество – операцию



можно выполнять, используя универсальные прессы с ручным, ножным или механическим приводом, а протягивание можно выполнять только на специальных протяжных станках. Протягивание и прошивание применяют для серийного, крупносерийного или массового производства.

При обработке отверстий большой длины применяют винтовые двух- и трехзаходные протяжки. Обычно в комплекте винтовых протяжек содержится 2 ... 5 протяжек, позволяющих обработать отверстие по 6 квалитету точности при шероховатости (*Ra*) 0,4 мкм. Глубина резания составляет 15 ... 50 мкм на зуб.

Протяжки могут иметь такие схемы резания: прогрессивная, профильная (переменная), генераторная и с винтовым зубом.

При прогрессивном резании (иногда его называют групповым) режущая часть протяжки разбивается на несколько секций, каждая из которых имеет режущие и зачистные зубья одинаковой высоты, но разной длины в каждой из секций. Таким образом, каждый последующий зуб расширяет канавку, обработанную предыдущим зубом. Секция имеет 2 ... 6 зубьев, разность высот секций составляет 0,15 ... 0,2 мм. Такая протяжка обладает небольшой износостойкостью, так как резание происходит уголками зуба, которые быстро изнашиваются и повреждаются.

При профильном (переменном) резании зубья протяжки выполнены в форме фасонного резца с плавными переходами. Работа таких протяжек лучше первых и они обеспечивают более высокую точность обработки, однако изготовление их затруднено, и, кроме того, они дороги.

Генераторное протягивание выполняют протяжкой, зубья которой изготовляют в виде фасонного резца, но его формы упрощаются прямыми линиями и линиями постоянной кривизны.

При работе протяжки с винтовым зубом с углом подъема винтовой линии 48 ... 50° можно протягивать небольшие по диаметру длинные отверстия или отверстия с винтовыми канавками и шлицами. Для этого необходимо дополнительно осуществлять вращение детали либо протяжки. Иногда используют вращение детали и протяжки.

Электроэррозионную обработку применяют для обработки сложных по поперечному и продольному сечениям отверстий в электропроводных материалах, имеющих высокую твердость. Обработка происходит при воздействии энергии электрического разряда, в канале проводимости разряда возникает ток

плотностью до $10^5$ А/мм$^2$, что вызывает температурный импульс до $4 \cdot 10^4$ °С. Такой импульс разрушает металл, испаряя его. Единичный разряд образует лунку размером до 10 мкм в диаметре, 5 ... 10 мкм глубиной. Частота разрядов регулируется в пределах $10^3$ ... $10^6$ 1/с и, таким образом, производительность обработки (скорость съема металла) достигает до 20 см$^3$/мин разрушенного твердого сплава. Схема такой установки показана на *рис. 2.76*. Электрод-инструмент *1* имеет профиль обрабатываемого отверстия. Электрод-заготовка погружена в рабочую жидкость ванны *2* и изолирована прокладкой. Оптимальное положение электрода-инструмента регулируется двигателем-регулятором. Питание межэлектродного промежутка осуществляется от контура, образованного переменной емкостью С и генератором-преобразователем. Режимы электроэрозионной обработки могут быть жесткие ($U$ = 160 ... 200 В, $I$ = 10 ... 50 А, $C$ = 100 ... 400 мкФ), средние ($U$ = 160... 200 В, $I$= 1 ... 10 А, $C$= 10... 100 мкФ) и мягкие ($U$ = 160... 200 В, $I$ < 1 А, $C$ < 10 мкФ). Соответственно изменяется скорость съема, точность и шероховатость обработки. При грубых режимах (производительность будет максимальной, однако точность соответствует только 12 ... 13 квалитетам при шероховатости (*Ra*) до 50 мкм. Средние и мягкие режимы по сравнению с грубыми режимами имеют производительность меньше соответственно в 20 ... 30 и 80 ... 100 раз, но точность обработки возрастает соответственно до 9 ... 10 и 7 ... 8 квалитетов при шероховатости (*Ra*) в пределах 6,3 ... 3,2 и 0,8 ... 0,4 мкм. Материалом для электрода-инструмента служит медь, латунь, алюминий, чугун. Из них легко получить практически любой профиль, что обеспечивает обработку необходимой формы отверстия. Следует отметить, что этот метод разработан Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко. Для подавления ионизации межэлектродного промежутка процесс электроискровой обработки проходит в рабочей жидкости (обычно это масло, керосин, их смесь и др.).

Процессы обработки отверстий – дорнование и калибровка – относятся к процессам доводки отверстий без снятия стружки с одновременным упрочнением металла наклепом (нагартовкой). При дорновании используют дорн – специальный ролик переменной конусности: на заборной части 2 ... 5° и на переходной части 1 ... 1,5° Материал дорна – сталь 9ХС, шлифованная и хромированная, с твердостью HRC 62 ... 64. Применение дорна позволяет улучшить точность отверстия до 5-го квалитета, а шероховатость (*Ra*) в пределах 0,05 ... 0,1 мкм. Дорнование проводят в продолжении не более 3 ... 5 циклов, иначе могут получиться усталостные образования в виде чешуек.



Калибровку мелких отверстий проводят шариками. Характеристики и свойства обрабатываемых поверхностей примерно такие же, как при дорновании. Калибровку можно производить проглаживающей прошивкой (инструмент в виде прошивки, не имеющей режущих кромок) или бочкообразными роликами – раскатниками. Дорнование и калибровка сопровождаются упругой деформацией. Поэтому размер дорна или калибровочного инструмента выбирают несколько большим окончательного размера отверстия.

В качестве отделочных операций отверстий большого диаметра используют также притирание, полирование, хонингование и суперфиниширование. Эти операции выполняют в основном подобно обработке наружных поверхностей вращения, примерно с такими же характеристиками поверхностей. В последнее время, особенно при необходимости покрытия внутренней поверхности слоем другого материала, применяют обработку взрывом. В трубообразную заготовку из материала покрытия вводят взрывчатое вещество, трубку вставляют в отверстие и производят детонацию взрыва с одного из концов трубки. В результате взрыва материал трубки деформируется и плотно (за счет соударения) сваривается с поверхностью отверстия. Такой технологией можно получить многослойные покрытия отверстий.

В качестве базовых поверхностей при обработке отверстий используют наружный диаметр и торец детали. Поэтому перед обработкой по технологическому процессу необходимо подготовить эти поверхности.

При использовании станков с ЧПУ для обработки отверстий возможны две схемы обработки: 1) обработка отверстий комплектом сменных инструментов с использованием позицирования *(рис. 2.22, а)* (в этом случае программируются координаты центров отверстий, исходная точка, траектория перемещения шпинделя на каждую точку центров и команды смены инструментов); 2) обработка отверстий обходом по контуру *(рис. 2.22, б)* (в этом случае программируется координата центра отверстия, исходная точка, исходный размер торцовой фрезы, круговая интерполяция).

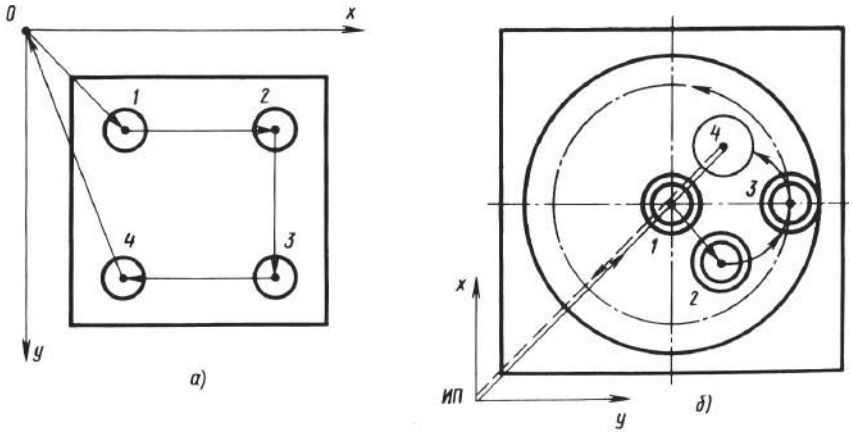



***Рис. 2.22. Схемы перемещения инструментов на расточных станках с ЧПУ:***
*а, б* – соответственно при линейной и круговой интерполяциях

Первая схема применима для обработки отверстий диаметром 80 ... 100 мм размерным режущим инструментом, вторая – для обработки отверстий диаметром более 100 мм методом оконтуривания (этот способ носит название контурного фрезерования).

Перемещение инструмента для обработки отверстия (например, фрезы при оконтуривании отверстия) программируется из исходной точки ИП (исходного положения) и в центр обрабатываемого отверстия *(на рис. 2.22, б, точка 1)*, а затем в точку *2* вследствие линейной интерполяции. Из этой точки круговой интерполяцией фреза выводится на рабочую эквидистанту (в точку *3*) и затем проводится обработка поверхности отверстия (также программируется перемещение круговой интерполяцией). По окончании обработки фреза выводится из точки *3* в точку *4* круговой интерполяцией, а из точки *4* – в точку *1* и далее в ИП – линейной интерполяцией. В данном примере проводится двухкоординатное перемещение рабочего инструмента. В действительности происходит подача инструмента на длину обработки отверстия вдоль оси *z*. Это перемещение также должно программироваться (обычно после вывода инструмента в точку *1*). Получаемая при этом точность обработки соответствует 7 ... 8 квалитету, а шероховатость $Ra$ = 1,6 ... 0,8 мкм. Выход инструмента в исходное положение, а также перемещение его оси на позиции происходит на маневровом (холостом) ходу, скорость которого 2 ... 8 м/мин. Обработка происходит на рабочих по-



дачах, назначаемых в пределах 50 ... 200 мм/мин (в зависимости от припуска, свойств материала обработки, инструмента и т.д.).

При обработке отверстия подвергаются контролю. В качестве инструмента могут быть использованы универсальные средства измерения (штангенинструмент, микрометры, нутромеры, индикаторные нутромеры и др.) и специальные контрольные устройства (например, предельные калибры). В массовом производстве могут быть использованы специальные устройства (световые, лазерные, индукционные и т.п.) активного контроля.

Рассмотрим пример технологического маршрута обработки втулки, получаемой из проката обычной точности (прутка) за один установ. Позиции маршрута показаны на *рис. 2.23*: 1) подача прутка до упора; 2) подрезание торца; 3) зацентровка; 4) сверление ступенчатого отверстия и обтачивание наружной поверхности; 5) зенкерование малой ступени отверстия, снятие фаски; 6) развертывание предварительное; 7) развертывание окончательное; 8) растачивание большой ступени отверстия; 9) отрезка детали.

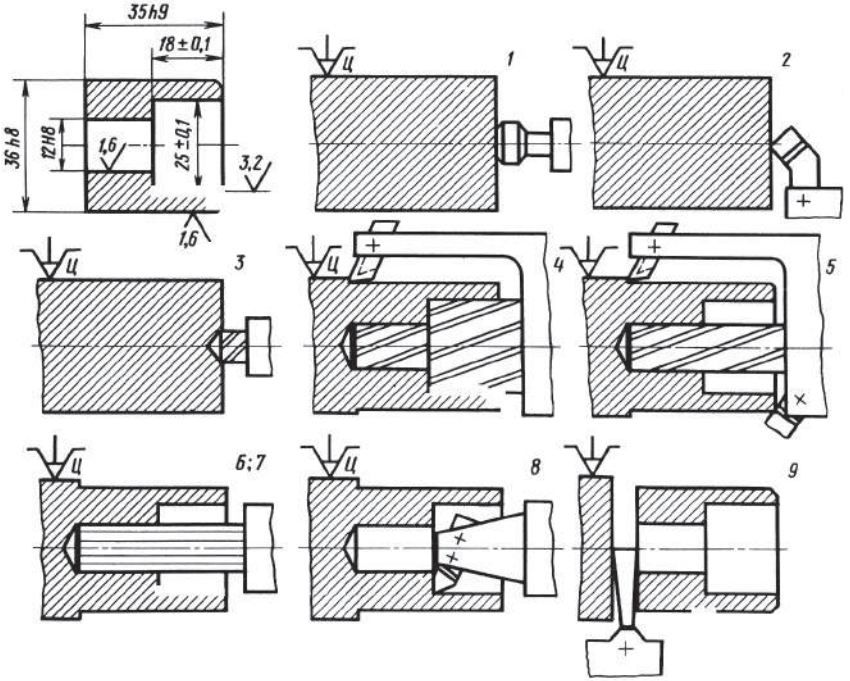



***Рис. 2.23. Схема настройки револьверного станка на обработку втулки из прутка***

Изготовление цилиндров гидрокрепей и гидродомкратов угледобывающих комплексов выполняют по следующему примерному технологическому маршруту: 1) отрезка заготовки необходимой длины; 2) черновая обработка наружной поверхности и торцов (подготовка установочных баз); 3) черновое растачивание отверстия; 4) чистовое растачивание отверстия; 5) раскатка или дорнование отверстия.

Припуск на черновую обработку отверстия 1,5 ... 2,8 мм, на чистовую – 0,5 ... 0,8 мм, а под раскатывание или дорнование – 0,02 ... 0,09 мм.

Для уменьшение отжима инструмента при расточке используют двухрезцовые пластинки, способные уравновешивать усилия резания *(рис. 2.24)*. Раскатку производят многороликовой раскаткой, размер которой регулируется конусным регулятором. При дорновании инструмент (дорн) проталкивается 2 ... 4 раза через отверстие. Контроль обработки такой же, как для втулки.

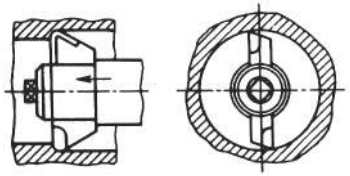


***Рис. 2.24. Схема обработки отверстия борштангой с уравновешенной силой резания***

## 2.6. ОБРАБОТКА РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Резьбовой называют поверхность, получаемую на детали при винтовом движении плоского профиля по цилиндрической или конической поверхности. В зависимости от формы образующего профиля различают треугольные (метрические и дюймовые), трапецеидальные, упорные, прямоугольные, круглые резьбы и другие *(рис. 2.25)*.

Резьбовые поверхности бывают наружные и внутренние. Наружная резьба образована на наружной цилиндрической или конической поверхности, а внутренняя – соответственно на внутренней.

В резьбовом соединении наружная резьба является охватываемой поверхностью и называется болтом или винтом, а внутреняя резьба – охватывающей поверхностью и называется гайкой.



По направлению винтового движения плоского профиля резьбы разделяют на правые и левые. Правая резьба образуется при перемещении образующего контура вдоль оси детали в направлении от наблюдателя и вращении его по часовой стрелке, а левая – против часовой стрелки.

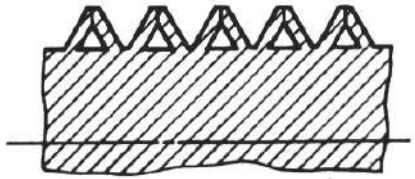


***Рис. 2.25. Резьба полученная резьбодеформированием***

По числу заходов, т.е. по числу плоских контуров, участвующих в образовании резьбы, различают однозаходные резьбы и многозаходные (двухзаходные, трехзаходные и т.д.) .

По эксплуатационному назначению резьбы разделяют на крепежные универсальные, к которым относится метрическая и дюймовая, и специальные, к которым относятся трапецеидальные, упорные, трубные, конические и др.

Универсальные резьбы используют для крепления деталей и как регулировочные элементы. Специальные резьбы применяют при передаче движения в винтовых механизмах, например в винтовых домкратах, для создания плотного (герметичного) соединения деталей, для передачи особо высоких нагрузок. В ходовых винтах токарно-винторезных станков находит применение специальная прямоугольная резьба, воспринимающая значительные осевые нагрузки.

Резьбу можно получить нарезанием и накатыванием или выдавливанием.

Нарезание резьбы – это технологический процесс получения резьбовой поверхности на детали путем съема металла из впадин резьбы при помощи резьбонарезных или резьбошлифовальных инструментов. Этот процесс сопровождается образованием металлической стружки, которая идет в отходы.

Накатывание или выдавливание резьбы – это безотходный техноло гический процесс изготовления резьбовой поверхности, основанный на пластической деформации поверхностных слоев металла. Резьбовой профиль инструмента внедряется в заготовку, заставляя металл перемещаться в радиальном направлении и заполнять впадины инструмента.

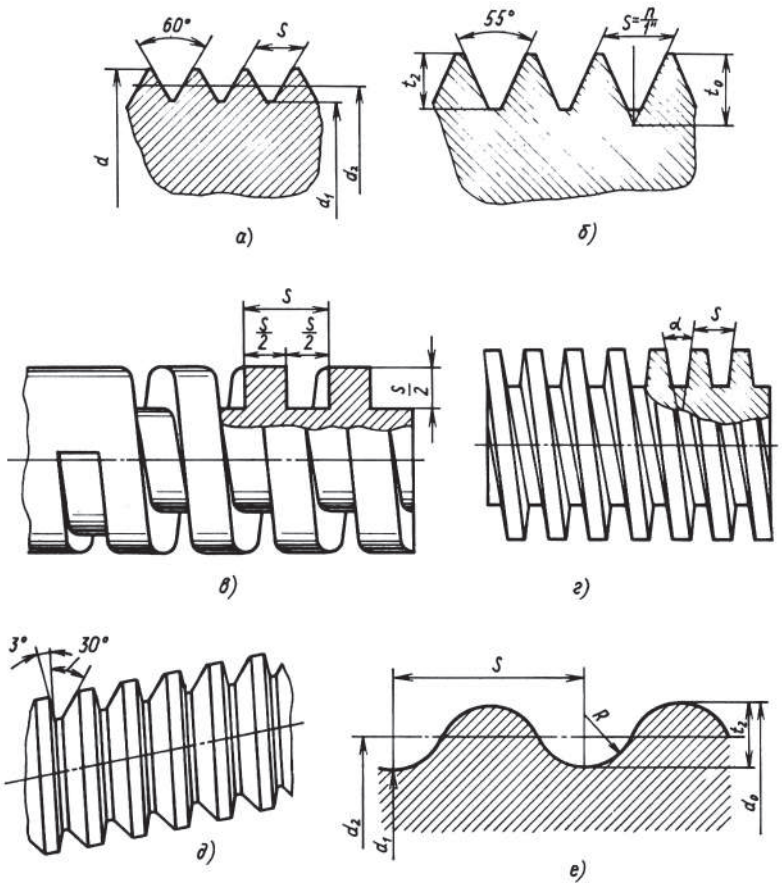



***Рис. 2.26. Форма профилей резьб:***
*а* – треугольная метрическая; *б* – дюймовая; *в* – прямоугольная; *г* – трапецеидальная; *д* – упорная; *е* – круглая

Выбор экономически целесообразного метода резьбообразования зависит от многих факторов, главным из которых являются технические требования и условия, предъявляемые к резьбе, объем выпуска изделий, материал резьбовой детали, а также наличие соответствующего оборудования и инструмента.

Наиболее универсальным методом выполнения резьбы является нарезание ее при помощи резьбовых резцов. Нарезание резьбы одновершинным резцом обеспечивает высокую точность резьбы по шагу и углу профиля, уступая лишь резьбошлифованию.



Резьбовые резцы бывают одновершинными и многовершинными *(рис. 2.27)*. Последние называют гребенками. Существуют следующие типы резьбовых резцов и гребенок: стержневые, круглые, призматические.

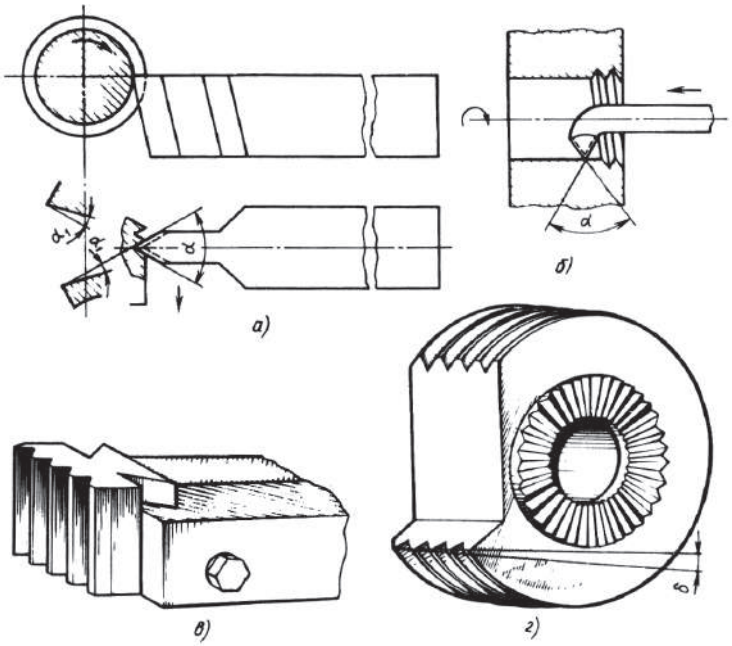



***Рис. 2.27. Резьбовые резцы:***
*а, б* – одновершинные; *в* – резьбовая гребенка; *г* – круглый резьбовый резец

Нарезание резьбы резьбовыми резцами производится за несколько ходов. Резец устанавливают относительно оси заготовки по центру, а в плане – под углом 90 ± ω° (здесь ω – угол подъема резьбы). Иногда для нарезания резьб больших диаметров с мелким шагом (у которых угол подъема резьбы не превышает 2 ... 30°) резец устанавливают под углом 90°, у стержневого резьбового резца имеется две режущие кромки и соответственно два задних и два передних угла. В процессе резания эти углы изменяются, поэтому задние углы на обеих сторонах профиля будут различными. При движении резца справа налево *(рис. 2.27, а)* угол $\alpha_2$ должен быть больше угла $\alpha_1$, на 4 ... 5°, а при работе слева направо – меньше угла $\alpha_1$ на 4 ... 5°.

Для повышения производительности процесса нарезания резьбы применяют фрезерование. При этом используют дисковые *(рис. 2.28, б)* и гребенчатые фрезы *(рис. 2.28, а)*, а также фрезерные резьбовые головки *(рис. 2.29)*.

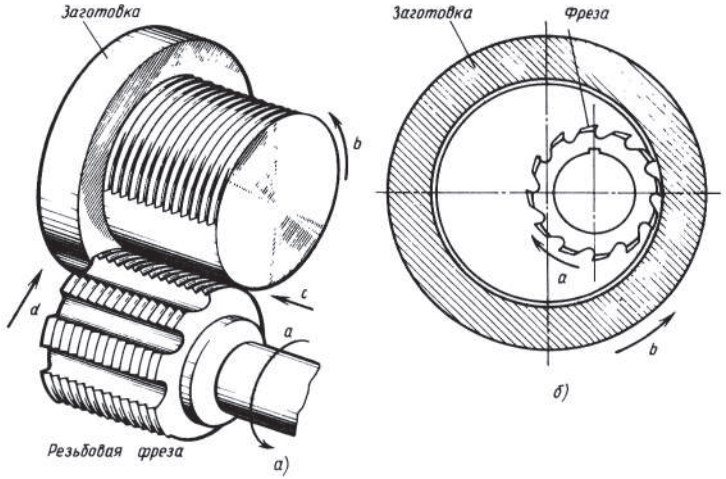



***Рис. 2.28. Схемы установки резьбовых фрез:***
*а* – гребенчатой; *б* – дисковой

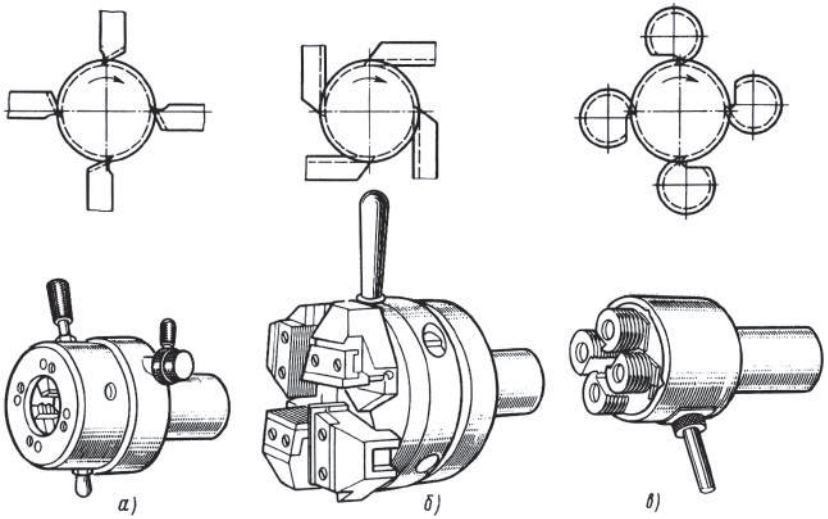



***Рис. 2.29. Схемы компоновок фрезерных резьбовых головок с различными резьбовыми резцами:***
*а–в* – соответственно призматическими, тангенциальными и цилиндрическими



Обработку дисковыми фрезами осуществляют на универсально-фрезерном станке. Фреза в процессе работы совершает вращательное движение, а обрабатываемая деталь – вращательное и поступательное. Фрезу относительно заготовки устанавливают так, чтобы их оси перекрещивались под углом подъема резьбы. Дисковые резьбовые фрезы применяют преимущественно для изготовления резьб с большим шагом.

Гребенчатые резьбовые фрезы применяют преимущественно для нарезания коротких треугольных наружных и внутренних резьб. Длина режущей части фрезы назначается больше длины нарезаемой резьбы на 2 – 3 витка. Деталь в процессе нарезания резьбы и фреза вращаются в одном направлении, кроме того, фреза перемещается на высоту резьбы в радиальном направлении и на один шаг резьбы за один оборот детали в осевом направлении. Резьба по всей длине детали образуется за полтора оборота заготовки.

Широко применяют круглые резьбовые резцы, что объясняется технологичностью их изготовления. Эти инструменты допускают большое число переточек. Их изготовляют из инструментальной быстрорежущей стали.

Призматические резьбовые резцы также допускают большое число переточек, но их применяют обычно только для нарезания треугольного профиля с малым углом подъема резьбы.

Резьбовые гребенки отличаются от резцов тем, что первые две или три вершины профилей срезают под углом 20 ... 45°, тем самым образуя заборную и калибрующую части гребенки. Наличие заборной части у гребенки распределяет усилие резания между всеми витками, что позволяет увеличить глубину резания и сократить число проходов. Таким образом, резьбовые гребенки являются более производительным инструментом, чем резьбовые резцы.

Фрезерные головки для скоростного (вихревого) нарезания резьбы находят широкое применение *(рис. 2.30)*. Головку *2* с резцами устанавливают на суппорте *4* токарного станка. На суппорте также расположен электродвигатель *3* для вращения головки с частотой примерно 3000 об/мин. Суппорт вместе с головкой совершает движение подачи, перемещаясь вдоль оси детали за один ее оборот на один шаг резьбы. Заготовку *1* закрепляют в патроне станка. Частота вращения заготовки 10 ... 50 об/мин.

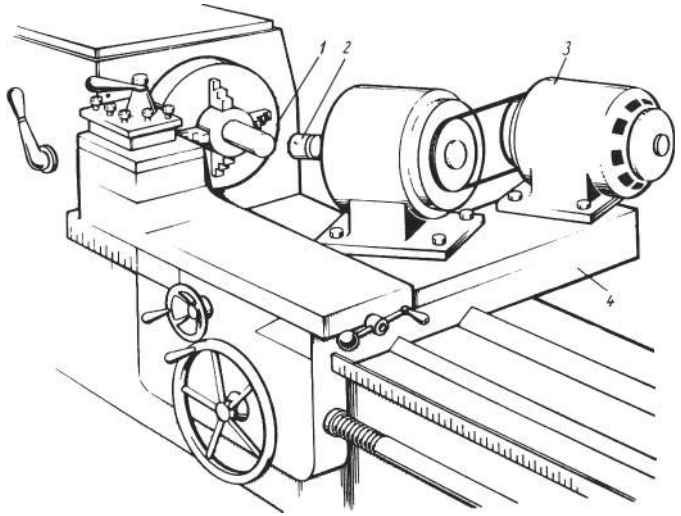



***Рис. 2.30. Схема установки фрезерной головки на станке***

Метод вихревого нарезания – один из наиболее производительных, его применяют в основном при массовом и крупносерийном производстве. Этот метод позволяет увеличить производительность нарезания резьбы в 2 ... 3 раза по сравнению с обычным фрезерованием и более чем в 10 раз по сравнению с нарезанием одновершинным резцом на токарном станке. Расход режущего инструмента сокращается в 3 ... 4 раза. Смазочно-охлаждающую жидкость, как правило, не применяют. В зависимости от материала обрабатываемой заготовки скорость резания устанавливают от 100 до 450 м/мин. Острая горячая разлетающаяся стружка представляет большую опасность для окружающих. Поэтому по правилам техники безопасности на станках необходимо устанавливать ограждения. Машинное время (мин) для вихревого нарезания резьбы

$$T_M = \frac{(l + l_{вр} + l_n)\,\pi\, d}{P \cdot s_o \cdot z_p \cdot n_p}, \qquad (2.21)$$

где $l$ – длина резьбы,мм; $l_{вр}$ – длина врезания резца; $P$ – шаг нарезаемой резьбы, мм; $l_n$ – длина перебега резца, мм; $d$ – наружный диаметр резьбы, мм; $s_o$ – подача при круговом движении заготовки на один резец за один оборот резцовой головки, мм на оборот; $z_p$ – число резцов, устанавливаемых в резцовой головке; $n_p$ – частота вращения резцовой головки, об/мин.



Шлифование применяют для нарезания резьбы в ответственных режущих и измерительных инструментах, (метчиках, резьбонакатных роликах, резьбовых калибрах), а, иногда для образования резьбы на ответственных деталях горных машин после их термической обработки. Для шлифования резьбы применяют однониточные и многониточные абразивные шлифовальные круги *(рис. 2.31)*. Однониточные круги преимущественно предназначены для шлифования точных резьб с мелких шагом (менее 1,5 мм), при этом круг шлифует только боковые стороны винтового профиля и впадину. Наружный диаметр резьбы шлифуют обычным кругом на отдельной операции.

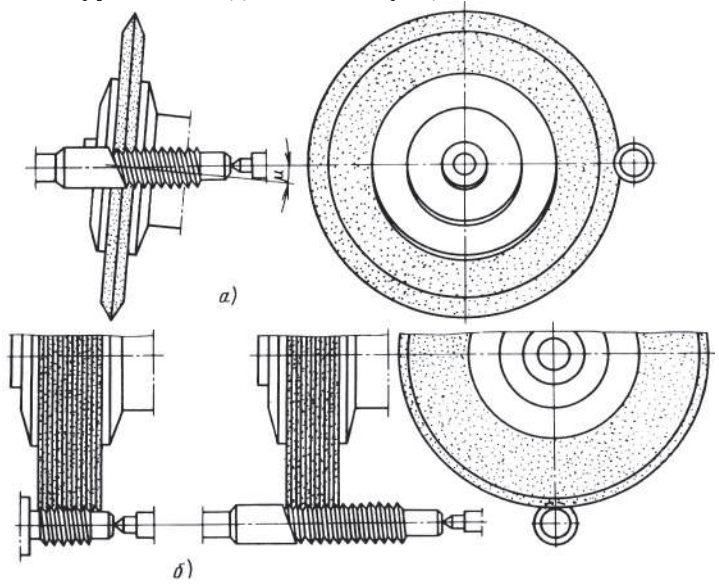



***Рис. 2.31. Шлифование профиля наружной резьбы кругами:***
*а* – однониточным; *б* – многониточным

Многониточные круги обеспечивают более высокую производительность, но меньшую точность. Экономически целесообразно многониточным кругом осуществлять предварительную (черновую) обработку резьбы, а окончательную обработку (чистовую) выполнять однониточным кругом.

Шлифование резьбы осуществляют на специальных резьбошлифовальных станках. В инструментальном производстве чаще применяют универсальные резьбошлифовальные станки

мод. 5К822В. Эти станки обеспечивают точность резьбы по среднему диаметру до 0,001 мм, отклонение шага резьбы на 100 мм длины до 0,01 мм.

Резьбошлифование является трудоемким процессом. При шлифовании однониточным кругом машинное время (мин)

$$T_M = \frac{(l + l_{вр} + l_П)\, ak}{P \cdot n \cdot s_П}, \qquad (2.22)$$

где $a$ – припуск на шлифование, мм; $k$ – коэффициент, учитывающий точность шлифования; $P$ – шаг резьбы, мм; $n$ – частота вращения детали, об/мин; $s_П$ – подача при поперечном движении на один проход (глубина шлифования).

Машинное время при шлифовании резьбы многониточным кругом

$$T_м = \pi\, d\, n_м / (1000\, v), \qquad (2.23)$$

где $d$ – наружный диаметр резьбы; мм; $n_м$ – число оборотов заготовки за время шлифования резьбы (первый оборот – предварительное шлифование; второй оборот – окончательное; 0,2 оборота – принимают на подвод заготовки к кругу); $v$ – скорость заготовки, м/мин.

В отличие от описанных выше методов резьбообразования и инструментов плашками и метчиками можно изготовить резьбу на металлорежущих станках и вручную.

Плашка – это металлорежущий инструмент, предназначенный для нарезания наружной резьбы на поверхности детали путем навинчивания на заготовку. На *рис. 2.32* показаны некоторые конструктивные элементы круглой плашки. Режущая часть плашки выполнена в виде внутреннего конуса. Угол 2φ выбирают в пределах 40 ... 60°, а для нарезания резьбы до упора 2φ = 90°. Увеличение диаметра режущей части $d_0$ на величину $2n$ необходимо для захвата заготовки зубьями. Для стандартных плашек диаметром 2 ... 3 мм величина $2n$ = 0,3 ... 1 мм. Длина режущей части $l_1$ равна 2 ... 2,5 витка.

По конструкции и назначению плашки делят на круглые (для нарезания резьбы за один проход), плоские, тенгенциальные, призматические и накатные плоские.

Плашки используют для нарезания цилиндрических и конических, метрических и трубных, правых и левых резьб диаметром 0,25 ... 135 мм. Их изготовляют из углеродистой, легированной



инструментальной или быстрорежущей стали, не дающей больших деформаций после термической обработки. При нарезании резьбы плашками необходимо использовать пластические смазки.

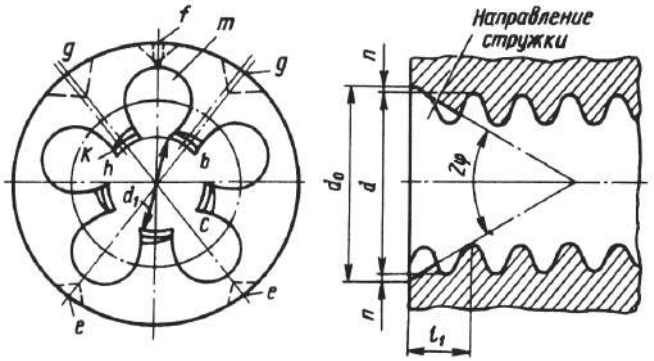



***Рис. 2.32. Конструктивные элементы круглой плашки:***
$d$, $d_1$ – соответственно наружный и внутренний диаметры;
$d_0$, $l_1$, 2φ – соответственно диаметр, длина и угол режущей части;
$k$, $h$ – соответственно передняя и задняя поверхности; $f$ – паз;
$e$, $g$ – соответственно отверстия для крепежного и поджимного винтов; $c$ – просвет; $m$ – отверстие для выхода стружки

Для формирования внутренней резьбы наиболее часто используют метчики. Метчик – стержневой резьбообразующий инструмент, который ввинчивают в гладкие цилиндрические или конические отверстия для формирования в них резьбовой поверхности. Метчики разделяют на режущие, которые в процессе изготовления резьбы образуют стружку, и бесстружечные, которые формируют резьбу методом пластической деформации поверхностных слоев металла заготовки.

Режущие метчики *(рис. 2.33 – 2.34)* представляют собой винт, снабженный прямыми или винтовыми стружечными канавками, образующими режущие кромки.

Угол наклона стружечных канавок на метчиках обычно равен нулю. У специальных метчиков для лучшего отвода стружки стружечные канавки выполняют винтовыми под углом 8 ... 15°. В этом случае стружка будет перемещаться вперед по направлению движения метчика. Заборная часть метчика обеспечивает плавный вход инструмента в отверстие. Чем больше будет длина заборной части, тем выше износостойкость метчика. Для глухих резьбовых отверстий длина заборной части ограничена сбегом формируемой резьбы, равным 2 – 3 шагам резьбы.

***Рис. 2.33. Метчик для обработки глухих отверстий***

Калибрующая часть метчика предназначена для направления метчика и калибровки получаемой резьбы. На калибрующей части метчика по среднему диаметру резьбы выполнена обратная конусность в пределах 0,1 мм на 100 мм длины.

По конструкции и назначению метчики разделяют на машинно-ручные для нарезания резьбы на станках и вручную; гаечные – для нарезания резьбы на гайконарезных автоматах; плашечные – для предварительного нарезания резьбы в плашках до сверления стружечных отверстий. Отличительной особенностью плашечных метчиков является большая длина заборной части.

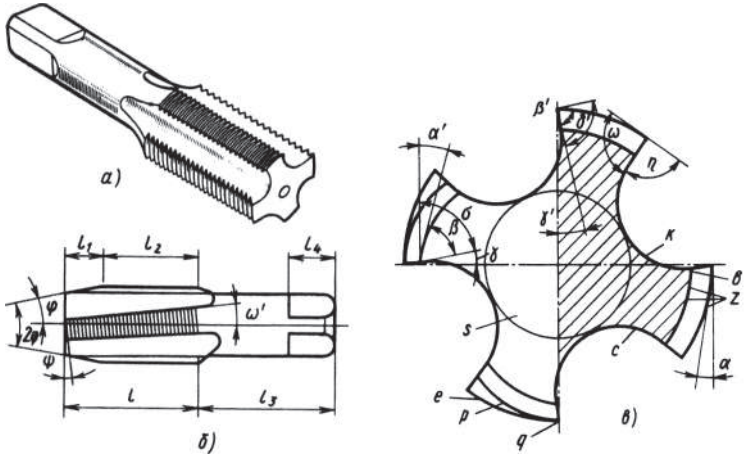



***Рис. 2.34. Конструктивные элементы метчика:***
*а* – общий вид; *б, в* – геометрические параметры элементов;
$l$, $l_1$, $l_2$ – соответственно длина рабочей, заборной и калибрующей частей; $l_3$ – длина –хвостовика; $l_4$ – длина квадрата;
$s$ – серцевина; $k$ – канавка; $b$ – передняя поверхность;
$q$, $e$ – соответственно режущая и задняя кромки;
$z$ – затылочная часть; γ, α, δ, – соответственно передний и задний угол и угол резания заборной части;
φ – угол заборного конуса; ω – угол наклона винтовой канавки;
γ′, δ′– передний угол и угол резания калибрующей части;
β′ – угол заострения калибрующей части; ψ – угол подъема нити



Метчики маточные предназначены для калибровки резьбы круглых плашек после сверления стружечных отверстий. Эти метчики имеют наклон стружечных канавок 25 ... 40°, благодаря чему обеспечивается центрирование метчика по отверстию плашки.

Процесс резания метчиком осуществляется методом самозатягивания инструмента, т.е. без принудительной осевой подачи.

Для получения резьб в деталях из вязких, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей рекомендуется применять метчики с шахматным расположением зубьев *(рис. 2.35)*.

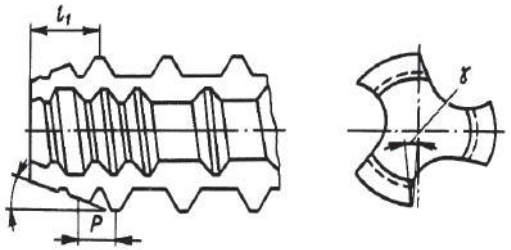



***Рис. 2.35. Режущий метчик с шахматным расположением зубьев***

Машинное время обработки резьб:
резцами *(рис. 2.36, а)*

$$T_м = (l + l_{вр} + l_п)\, i/(sn); \qquad (2.24)$$

метчиками *(рис. 2.36, б)*

$$T_м = (l + l_{вр} + l_п)/(sn) + (l + l_{вр} + l_п)/(sn_1); \qquad (2.25)$$

гребенчатыми фрезами *(рис. 2.36, в)*

$$T_м = 1{,}2\pi D/s_{кр}, \qquad (2.26)$$

где $i$ – число проходов, зависящее от подачи на рабочий ход; $l_{вр} \approx l_п = (1 \ldots 3)\, P$ – глубина врезания и перебега инструмента, мм; $s = P$ – подача инструмента или детали, мм/оборот; $n$ – рабочая частота вращения инструмента или детали, 1/мин; $n_1$ – частота вращения инструмента при свинчивании, 1/мин; $s_{кр} = s_z zn$ – подача при круговом движении заготовки, мм/мин (здесь $s_z$ – подача на зуб фрезы, мм на зуб; $z$ – число зубьев фрезы).

Бесстружечные метчики по конструктивному использованию имеют много общего с режущими метчиками. Основным отличием их является форма поперечного сечения и заборной части,

а также отсутствие стружечных канавок. В поперечном сечении рабочая часть бесстружечного метчика имеет форму многогранника со скругленными вершинами. Работу по формированию резьбы выполняет заборная часть, которая представляет собой полнопрофильную коническую резьбу

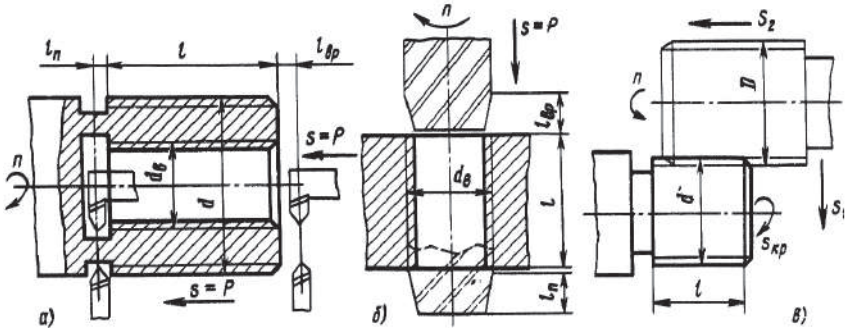



***Рис. 2.36. Схемы к определению машинного времени при обработке резьбы:***
*а* – резцом; *б* – метчиком; *в* – гребенчатой фрезой

Бесстружечные метчики могут быть применены во всех отраслях машиностроения, как прогрессивный резьбообразующий инструмент, обеспечивающий высокое качество формируемой резьбы в сочетании с повышением производительности и износостойкости метчиков. Особенно эффективны эти инструменты для изготовления резьб в пластичных конструкционных и коррозионно-стойких сталях, сплавах титана и цветных сплавах.

При обработке резьбы резьбодеформирующими метчиками отмечена высокая производительность (более чем в 10 раз превышающая производительность при резьбонарезании), высокая точность обработки (4 ... 7 степени точности), высокая прочность резьбового сопряжения вследствие более равномерного распространения нагрузки между нитками. Кроме того, этот процесс – бесстружечный, износостойкость резьбодеформирующих инструментов по сравнению с резьборезным повышается более чем в 20 раз.

Эффективность применения бесстружечных метчиков в значительной степени зависит от правильного выбора геометрических параметров рабочей части метчиков и диаметра исходного отверстия. В первом приближении диаметр исходного отверстия под резьбу:



$$d_u=\sqrt{d^2\left(\frac{1}{2}-\frac{2d}{3P\cdot tg\,\alpha}+\frac{d_2}{P\cdot tg\,\alpha}\right)+D_1^2\left(\frac{1}{2}-\frac{2D_1}{3P\cdot tg\,\alpha}+\frac{d_2}{P\cdot tg\,\alpha}\right)}, \quad (2.27)$$

где $d$ и $d_2$ – наружный и средний диаметры резьбы метчика, мм; $P$ – шаг резьбы, мм; α – угол профиля резьбы; $D_1$ – внутренний диаметр резьбы, гайки, мм.

Рассчитанные значения диаметра исходного отверстия необходимо уточнить экспериментальным путем.

К недостаткам бесстружечных метчиков следует отнести невозможность образования резьб в хрупких и высокопрочных материалах, у которых $\sigma_в > 600$ МПа; $\delta < 8$ % и твердость $HRC > 37$.

Накатывание является самым производительным способом резьбо образования и поэтому широко применяется в массовом и крупносерийном производстве, при изготовлении винтов, шпилек и других крепежных деталей. При накатывании происходит пластическая деформация поверностных слоев металла заготовки путем внедрения в него вершин резьбы резьбонакатных инструментов. На заготовке образуется впадина резьбы, а вытесняемый металл, перемещаясь в радиальном направлении, заполняет зону между витками инструмента. Резьба, полученная методом накатывания, отличается повышенной прочностью вследствие наклепа и упрочнения поверхностных слоев, включая профиль резьбы.

Известны два способа накатывания резьбы *(рис. 2.37)* плоскими плашками и роликами. Накатывание плоскими плашками осуществляют на реэьбонакатных станках, а при их отсутствии – на приспособлениях, установленных на поперечно-строгальных станках. При накатывании используют плашки, одна из которых неподвижная, а другая совершает возвратно-поступательное движение. Направление угла подъема резьбы на плашках противоположно направлению накатываемой ими резьбы.

Режимы накатывания резьбы плашками следующие: для материалов с $\sigma_в < 600$ МПа скорость накатывания $v = 15$ ... 20 м/мин, а для материалов с $\sigma_в > 600$ МПа $v = 5$ ... 7 м/мин.

Среднюю скорость накатывания и частоту вращения заготовки определяют по формулам

$$v = 2ln/1000; \quad n_1 = Ln/(\pi d_2), \quad (2.28)$$

где $L$ – длина неподвижной плашки, мм; $d_2$ – средний диаметр накатываемой резьбы, мм; $n$ – число двойных ходов в минуту; $l$ – путь ползуна с плашкой, мм.

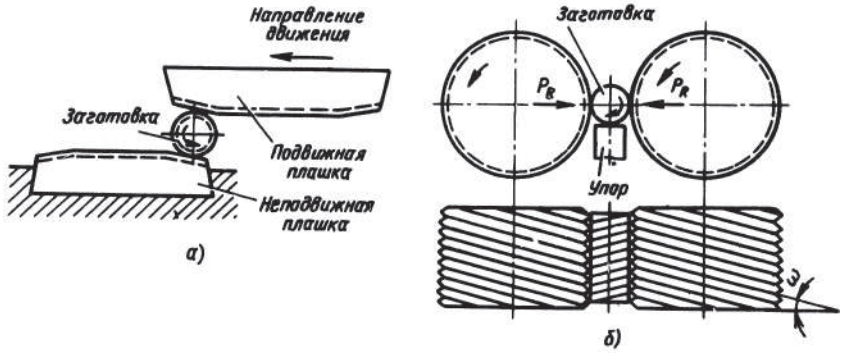



***Рис. 2.37. Накатывание наружной резьбы:***
*а* – плоскими плашками; *б* – роликами

Накатывание резьб роликами с радиальной подачей применяется для изготовления метрических резьб диаметром 2 ... 100 мм на специальных станках, обеспечивающих одновременное вращение двух роликов в одну сторону; заготовку при этом помещают между роликами до соприкосновения с ограничительным упором. Для обеспечения одинакового угла подъема резьбы на роликах и детали резьбу на роликах выполняют многозаходной. Число заходов резьбы

$$n_3 = d_2' / d_2, \qquad (2.29)$$

где $d_2'$ и $d_2$ – средние диаметры резьб соответственно ролика и детали.

Накатные ролики изготовляют из стали Х12Ф1.

Скорость накатывания резьбы роликами зависит от материала накатываемой детали: для латуни она составляет 100 ... 120 м/мин, для мягкой стали – 80 ... 100 м/мин; для стали средней твердости – 60 ... 40 м/мин.

Контроль наружной резьбы осуществляют комплексным методом резьбовыми кольцами или скобами. При комплексном методе измеряют приведенный средний диаметр резьбы, который состоит из собственно среднего диаметра и диаметральных компенсаций погрешностей шага и угла профиля.

Кольца могут быть регулируемыми и нерегулируемыми, а скобы – только регулируемыми. Проходное резьбовое кольцо должно свободно навинчиваться на проверяемый болт, а проходная сторона резьбовой скобы – свободно проходить через резьбу под действием собственного веса. Непроходное резьбовое кольцо может навинчиваться на проверяемый болт не более чем на два оборота. Непроходная сторона резьбовой скобы может только «закусывать»контролируемый профиль резьбы. При необходимости измерения среднего диаметра, шага и угла профиля метрической резьбы применяют универсальный или инструментальный микроскоп. Кроме того, средний диаметр можно измерять методами двух и трех проволочек или резьбовым микрометром. Метод трех проволочек является наиболее точным, он заключается в следующем: во впадины резьбы закладывают три проволочки одинакового диаметра и при помощи оптиметра, вертикального длиномера, миниметра или микрометра измеряют размер М *(рис. 2.38)*, а затем вычисляют контролируемый средний диаметр по формуле

$$d_2 = M - d_n\,(1 + 1\,/sin\,(\alpha/2) + P\,ctg\,(\alpha/2)/2) \qquad (2.30)$$

Для каждого шага резьбы рекомендуется определенный диаметр проволочек

$$d_n = P/[2\,cos\,(\alpha/2)]. \qquad (2.31)$$

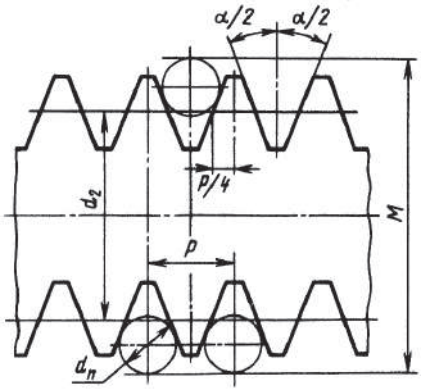



***Рис. 2.38. Схема измерения среднего диаметра резьбы по методу трех проволочек***

В гайках или гнездах под шпильки резьбу проверяют резьбовыми и гладкими калибрами. Проходная резьбовая пробка имеет обозначение ПР, а не проходная – НЕ. Проходная резьбовая пробка имеет укороченный профиль и 2,5 ... 3 витка резьбы. Пробка НЕ может ввинчиваться в гайку более чем на два оборота. Внутренний диаметр резьбы обычно проверяют предельными гладкими пробками. Конструкции и основные размеры резьбовых пробок стандартизированы.

## 2.7. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ И КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

Токарно-револьверные станки предназначены для изготовления деталей сложной формы, требующих при обработке последовательного применения разнообразного инструмента (резцов, сверл, зенкеров, разверток, метчиков и т.п.).

Токарно-револьверные станки более производительные по сравнению с токарно-винторезными благодаря одновременной обработке детали различными инструментами, установленными в револьверной головке. Наличие в станке совершенных механизмов для поворота револьверной головки, упоров и других механизмов автоматического останова и переключения частоты вращения шпинделя позволяет сократить вспомогательное время.

Наладка токарно-револьверного станка сравнительно сложна, поэтому рационально применять эти станки в серийном производстве. В условиях крупносерийного и массового производства револьверные станки вытесняются более производительными автоматами или полуавтоматами.

Основным признаком классификации револьверных станков является расположение оси поворота револьверной головки. Имеются револьверные станки с вертикальной и горизонтальной осями вращения револьверной головки.

На токарно-револьверных станках используют нормализованный режущий инструмент и специальный. Последний предназначен для фасонных и конических поверхностей и для одновременной обработки многоступенчатых отверстий. Резцы стандартных размеров и формы используют только с поперечного суппорта. В револьверной головке в основном они закреплены в специальных державках. Вспомогательный инструмент к револьверным станкам (державки, переходные втулки, упоры и т.д.) регламентирован стандартами.

При разработке технологического процесса обработки на револьверных станках необходимо учитывать следующие рекомендации: 1) отверстия обрабатывать инструментами, установленными в револьверной головке; 2) необходимо стремиться к максимальному совмещению переходов, учитывая мощность электродвигателя станка и жесткость детали и станка; 3) при сверлении отверстий в нежестких деталях во избежании увода сверла необходима предварительная центровка; 4) при обработке



ступенчатых отверстий небольшого диаметра сначала сверлится отверстие большего диаметра, затем отверстие меньшего диаметра, а при обработке отверстий большого диаметра сначала сверлят отверстия меньшего диаметра, а затем большего; 5) процессу сверления отверстий малого диаметра предшествует подрезка торца и зацентровка, при обработке деталей с отверстиями большого диаметра подрезку торцов лучше производить после сверления; 6) точные отверстия предварительно растачивают, а затем обрабатывают зенкерами и развертками; 7) у тонкостенных деталей сначала обрабатывают отверстие, а затем наружную поверхность; 8) глухие отверстия без канавок под выход режущего инструмента подвергают чистовой обработке зенкером или расточным резцом; 9) если в револьверной головке используют только часть гнезд, то следует установить два или более комплектов инструментов; 10) заготовки из холоднотянутого материала или предварительно обработанные следует закреплять в цанговых патронах, а грубые заготовки в кулачковых патронах.

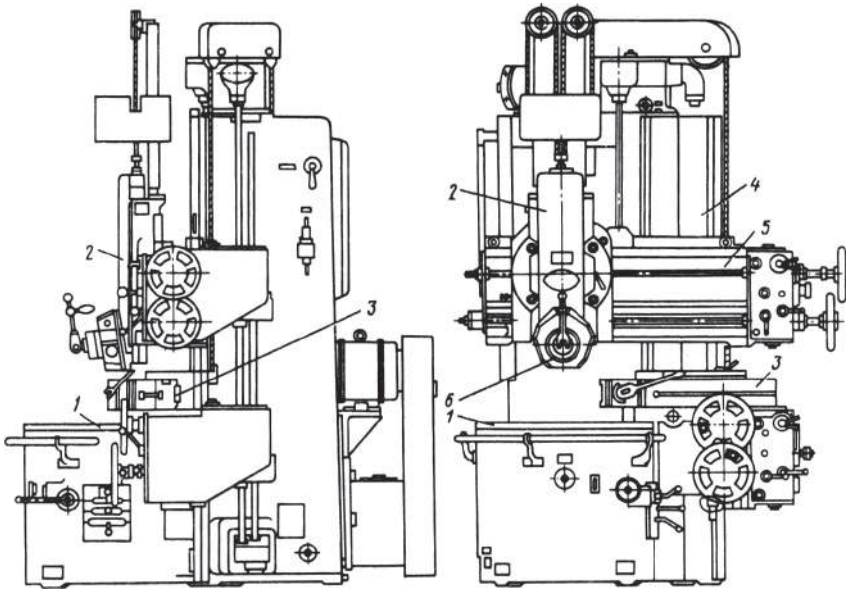



***Рис. 2.39. Общий вид одностоечного карусельного станка***

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки деталей большого диаметра и малой длины. В карусельных станках ось шпинделя расположена вертикально, следователь-

но, плоскость планшайбы расположена горизонтально. Это в значительной степени облегчает установку, выверку и закрепление заготовок. На *рис. 2.39* представлен общий вид одностоечного карусельного станка. Обрабатываемая деталь закреплена на планшайбе *1*, которая осуществляет вращательное движение. На траверсе *5* расположен револьверный суппорт *2*, имеющий пятипозиционную головку *6*. На стойке *4* установлен боковой суппорт *3*.

## 2.8. ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ И АВТОМАТАХ

Автоматами называют станки, в которых движения рабочих органов автоматизированы, т.е. после того, как станок налажен, заготовка обрабатывается без участия станочника. В обязанности рабочего, обслуживающего автомат, входят периодическая загрузка материалом, периодический контроль размеров и шероховатости обработанной поверхности, подналадка станка, а также общее наблюдение за его работой. Полуавтоматами называют станки, в которых движения также автоматизированы, за исключением установки и закрепления заготовок, а также снятия готовых деталей. Токарные полуавтоматы, как правило, применяют для обработки штучных заготовок.

Токарные автоматы разделяют на одношпиндельные и многошпиндельные. Одношпиндельные автоматы бывают револьверными, фасонно-отрезными и продольно-фасонными.

Револьверные автоматы представляют собой полностью автоматизированные револьверные станки. Они предназначены для изготовления сложных по форме деталей, требующих выполнения значительного числа разнообразных операций.

Фасонно-отрезные автоматы предназначены для изготовления коротких деталей малого диаметра и простой формы. Обработка деталей на этих станках ведется одновременно несколькими резцами, получающими лишь поперечное движение подачи.

Продольно-фасонные автоматы предназначены для обработки точных деталей сложной формы, у которых отношение длины к диаметру сравнительно большое. Суппорты в зависимости от конфигурации обрабатываемого участка остаются неподвижными или получают поперечное движение подачи, а деталь вместе с передней бабкой перемещается в продольном направлении.



Одношпиндельные автоматы применяют обычно для изготовления деталей из пруткового материала диаметром не более 40 мм, Выбор типа автомата определяется прежде всего экономическими соображениями и требованиями к точности обработки. При высоких требованиях к точности обработки и сравнительно малой серийности производства предпочтительнее применять одношпиндельные автоматы, в противоположных случаях – многошпиндельные.

При разработке технологических процессов на обработку деталей на одношпиндельных автоматах необходимо соблюдать следующие основные правила: 1) по возможности применять многоинструментальные державки и совмещать работу инструментов револьверной головки и поперечных суппортов; 2) чистовую обработку выполнять после черновой (совмещение предварительной и окончательной обработки допускается лишь в том случае, когда это не приводит к понижению точности обрабатываемой поверхности; 3) при одновременной обработке несколькими инструментами последние следует располагать таким образом, чтобы силы резания были уравновешены; 4) при недостаточной жесткости детали не следует совмещать обработку фасонных поверхностей со сверлением отверстий малого диаметра во избежание увода сверла; 5) длину обрабатываемой поверхности и глубину сверления следует увеличивать на ширину отрезного резца, так как это уменьшаёт путь, совершаемый этим резцом.

Токарные многошпиндельные автоматы делят на прутковые автоматы и патронные полуавтоматы.

Прутковые автоматы предназначены для изготовления деталей из прутков и труб, а полуавтоматы – для деталей из штучных заготовок.

Номенклатура деталей, которые могут быть полностью или частично обработаны на многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, очень велика. Это различной формы штуцеры, золотниковые распределители, ступенчатые втулки и валы, фланцы и корпуса небольших электродвигателей, поршни, шаровые пальцы, корпуса водяных насосов, различные детали редукторов и коробок передач, колеса шахтных вагонеток и т.д.

Прутковые автоматы после загрузки их обрабатываемым материалом работают по автоматическому циклу до тех пор, пока материал не закончится.

Патронные полуавтоматы не имеют поддерживающих труб, механизмов подачи и упора материала и отрезных суппортов. Зажим заготовки в патроне и разжим обработанной детали осуществляется с помощью рукоятки или кнопок управления. Привод зажима заготовки обычно электромеханический, пневматический или гидравлический.

Существуют четыре принципа обработки деталей на многошпиндельных токарных автоматах: последовательный, параллельный, параллельно-последовательный и непрерывный. Каждый из них определяет конструктивные особенности станков.

Принцип последовательной обработки рассмотрим на примере обработки конкретной детали *(рис. 2.40, а)*. В поворотном шпиндельном блоке вращаются зажатые в шести рабочих шпинделях шесть обрабатываемых прутков. Напротив каждого из шпинделей расположен поперечный суппорт и одна из шести граней общего продольного суппорта с установленными на них режущими инструментами. Шпиндельный блок периодические поворачивается на 1/6 часть окружности в направлении, указанном стрелкой. Положения, которые занимает шпиндель при каждом очередном повороте, называют позициями обработки. Обработка заканчивается в позиции VI. На этой позиции готовая деталь отрезается, обрабатываемый пруток подается на необходимую длину, и шпиндельный блок поворачивается на 1/6 часть оборота. Поданный для обработки пруток оказывается в позиции I. В этой позиции он обрабатывается с продольного суппорта центровым сверлом, а с поперечного – фасонным резцом. После окончания обработки инструменты отводятся в исходное положение, а шпиндельный блок поворачивается еще на 1/6 часть оборота. Обработанный в позиции I пруток переходит в позицию II, где обрабатывается сверлом и подрезным резцом. В это время (т.е. одновременно) в позиции 1 центровым сверлом и фасонным резцом обрабатывается другой пруток, который переместился из позиции VI. Затем шпиндельный блок, поворачиваясь еще на 1/6 часть оборота, переходит в следующую позицию. Таким образом, пруток, поданный в позицию VI, последовательно проходит позиции I, II, III, IV и V, в которых обрабатывается новым набором инструментов. В позиции VI обработка заканчивается и готовая деталь отрезается.



Таким образом, в шпиндельном блоке автомата одновременно в шести позициях обрабатывается шесть прутков. Время обработки на всех позициях должно быть одинаковым. При каждом повороте шпиндельного блока на одну позицию со станка сходит одна готовая деталь (кроме первых пяти поворотов).

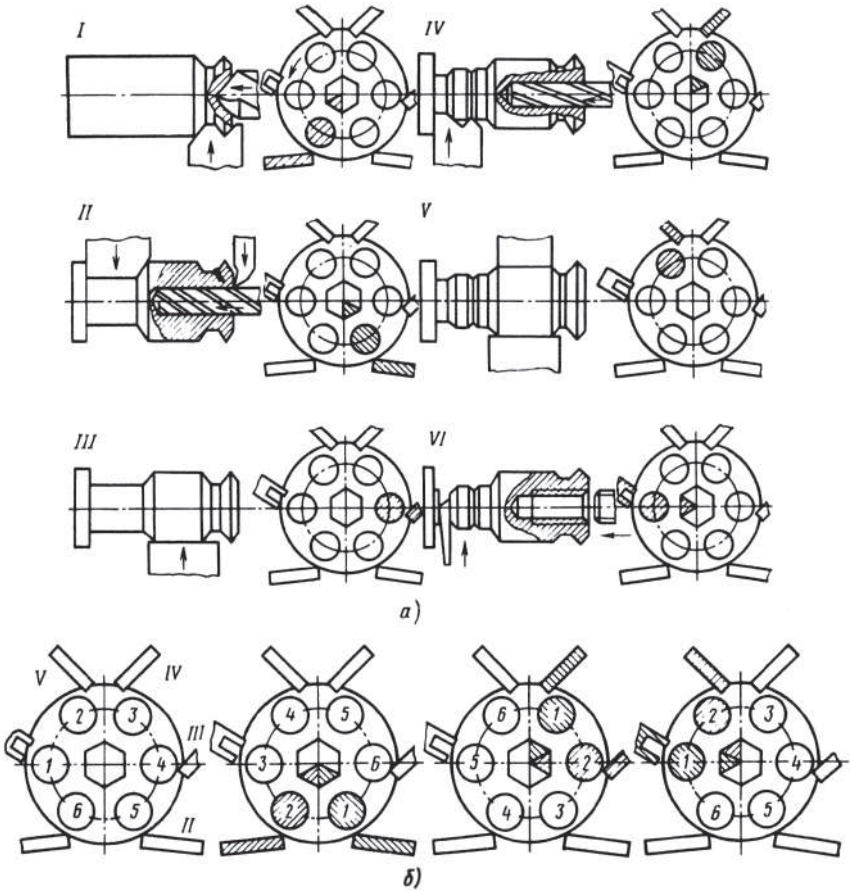



***Рис. 2.40. Схемы обработки деталей на многошпиндельных станках:***
*а* – последовательная; *б* – параллельно-последовательная

В приведенном примере деталь обрабатывается десятью инструментами, однако число инструментов зависит от формы обрабатываемой детали и может доходить до 20 и более.

В производстве имеются детали несложной формы, для обработки которых не требуется большое число инструментов и переходов. Для обработки таких деталей созданы автоматы, работающие по параллельно-последовательному принципу обработки: автоматы с двойной индексацией шпиндельного блока и прутковые автоматы с двойной подачей обрабатываемого материала. Автоматы с двойной индексацией имеют две расположенные рядом загрузочные позиции (для шестишпиндельных станков – обычно пятая и шестая). Шпиндельный блок *(рис. 2.40, б)* поворачивается через позицию, т.е. на шестишпиндельном станке шпиндель из позиции IV переходит последовательно в позиции II, IV и VI, а из позиции V – соответственно в позиции I, III и V. В позициях VI и V готовые детали отрезаются, а обрабатываемый материал подается на необходимую длину.

Автоматы с двойной подачей материала также имеют две загрузочные позиции, разположённые диаметрально противоположно друг относительно другу. Для шестишпиндельных станков это позиции VI и III. Шпиндельный блок поворачивается последовательно на одну позицию, т.е. пруток, поданный на обработку в позицию VI, обрабатывается последовательно в позициях I, II и III. В позиции III готовая деталь отрезается, пруток опять подается на длину обработки и далее последовательно проходит обработку в позициях IV, V и VI, в которых отрезается следующая деталь.

Таким образом, на станках обоих исполнений обработка ведется в два потока на трех шпинделях. Производительность при изготовлении простых деталей почти в 2 раза выше, чем при последовательной обработке. Автоматы с двойной подачей материала могут работать по принципу последовательной обработки. В этом случае на них можно обрабатывать детали длиной, большей в 2 раза, чем на обычных многошпиндельных автоматах.

Автоматы, работающие по принципу параллельной обработки, не имеют поворотного шпиндельного блока. Шпиндели этих станков расположены в один ряд вертикально.

Автоматы, работающие по принципу непрерывной обработки, предназначены только для автоматических линий, они не являются универсальными.



## 2.9. ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПАЗОВ

Большинство деталей горного машиностроения, подлежащих обработке, имеют плоские поверхности и различные по профилю сечения пазы.

Основные требования к обработанным плоскостям можно сформулировать так: они должны соответствовать тем ограничениям, которые оговорены в технических условиях на обработку или заданы на чертежах. Это могут быть ограничения по шероховатости, твердости, по отклонениям от плоскостности, параллельности, перпендикулярности и др. В зависимости от этих параметров строят технологический процесс механической обработки плоскостей. К основным видам обработки плоских поверхностей можно отнести следующие: точение, фрезерование, строгание и долбление, протягивание, шлифование (механическим и электрошлифованием), шабрение и притирание. Каждый вид обработки имеет свою область применения и технико–экономические характеристики, анализ которых дает возможность принять или отвергнуть тот или иной вид обработки для конкретной плоской поверхности.

Токарная обработка плоских поверхностей сводится в основном к подрезанию торцовых поверхностей черновыми или чистовыми проходами. Чаще всего это торцы валов или втулок, многоступенчатых деталей, квалитет точности которых IT9, а шероховатость *Ra* до 1,6 мкм. Экономически обоснованными показателями следует считать при подрезке торцов – IT11 и *Ra* до 3,2 мкм. При более жестких требованиях к обработке торцов токарной обработки будет недостаточно и необходимо продолжить обработку шлифованием или другими методами обработки.

При обработке больших по протяженности плоскостей со снятием значительных и неравномерных припусков (8 мм и более) рекомендуется применять строгание или долбление. При этом возможно увеличение производительности обработки благодаря установке нескольких деталей в ряд и одновременной их обработке. Жесткость столов, а также приспособлений строгальных и долбежных станков позволяет допускать для точности обработки большие усилия резания, чем другие методы обработки. Однако при строгании и долблении требуется

много времени на возврат инструмента (обратный или холостой ход). Поэтому строгание и долбление рекомендуется применять в мелкосерийном или серийном производстве. Установку инструментов–резцов в этих случаях выполняют по разметке или шаблонам. Строгание может выполняться на черновых, чистовых и тонких режимах обработки. При этом предельные показатели для черновых режимов – ниже IT11 и *Ra* = 12,5 мкм; для чистовых – ниже IT10 и *Ra* = 3,2 мкм; для тонких – ниже IT7 и *Ra* = 0,8 мкм. При долблении показатели для чернового режима – IT14 и *Ra* = 25 мкм; для чистового – IT12 и *Ra* = 6,3 мкм. Обычно долбление применяют для обработки плоскостей внутренних контуров, когда другие методы применять невозможно.

Наиболее широкое распространение для обработки плоскостей получили строгальные станки, которые можно разделить на поперечно-строгальные и продольно-строгальные. К первым относят станки с небольшими размерами столов (до 560 Х 1000 мм) типов 7А311.7Б35, 7М36 и др. Ко второму типу относят станки одно- или двухстоечные с максимальными размерами стола 2500 Х 8000 мм. К этим станкам относятся такие типы станков, как 7108, 7208, 7110, 7210, 7А256 и др. На них обрабатывают детали с допускаемой массой до 3 тыс. кг на 1 м стола. Учитывая необходимость обработки крупногабаритных литых деталей для производства уникальных машин для карьеров, такие станки используют на заводах горного оборудования. Скорости резания не превышают 35 ... 45 м/мин. Обычно их задают не более 35 м/мин из-за действия больших инерционных сил, действующих при возвратно-поступательном перемещении массивных столов с обрабатываемой деталью. Это в свою очередь ограничивает производительность обработки. Для повышения производительности обработки строганием используют (кроме одновременной обработки нескольких деталей) обработку одновременно несколькими резцами, закрепленными в одной державке суппорта, что сокращает число проходов и увеличивает толщину снимаемого слоя металла (уменьшается основное время), а также специальные приспособления для установки и закрепления деталей (сокращается вспомогательное время).

Фрезерование – более производительный метод обработки плоских поверхностей, особенно если толщина снимаемого слоя составляет 5 ... 8 мм. Объясняется это прежде всего тем, что режущий инструмент – фреза – многолезвийный инструмент, снимающий увеличенный слой металла в единицу времени благодаря большому числу режущих кромок. По принципу работы фрезы можно классифицировать на: цилиндрические, дисковые, торцовые, фасонные, односторонние, двусторонние и трехсторонние. В горном машиностроении получили распространение фрезерные станки: вертикально-фрезерные (например, типа 6М13П); горизонтально-фрезерные (типа 6М82); универсально-фрезерные (типа 6М82Ш); копировально-фрезерные (типа 6М13К); продольно-фрезерные (одно- и двухстоечные соответственно типов 6306 и 6606).



Фрезерование может выполняться на черновых, чистовых и тонких режимах, что позволяет получить хорошие технико-экономические показатели. Так, при черновом фрезеровании можно получить поверхности 11 ... 12 квалитетов точности и шероховатость (*Ra*) в пределах 6,3 ... 25 мкм; при чистовом фрезеровании – IT9 и *Ra* до 1,6 мкм; при тонком фрезеровании – IT8 и *Ra* 0,8 мкм. Эти показатели в значительной степени зависят от состояния инструмента, его конструкции, материала режущих кромок и т.п. Например, торцовые фрезы *(рис. 2.41)* имеют стойкость примерно в 3 раза более высокую, чем цилиндрические.

***Рис. 2.41. Торцовые фрезы с различной геометрией пластин***

По направлению вращения фрезы и перемещения заготовки различают два метода фрезерования: встречное и попутное.

Встречное – это такое фрезерование, когда направления вращения фрезы и движения подачи противоположны. При этом

нагрузки на зуб плавно возрастают пропорционально толщине снимаемой стружки *(рис. 2.42, а)*, причем вначале возможно даже не резание, а проскальзывание, что вызывает быстрое изнашивание фрезы. Кроме того, усилие резания не прижимает деталь к столу, а стремится поднять ее со стола. Это вызывает неустойчивое положение детали на столе и требует применения соответствующих приспособлений.

При попутном фрезеровании *(рис. 2.42, б)* усилие резания прижимает деталь к столу, что увеличивает устойчивость ее при обработке. Кроме того, стружка с начала внедрения имеет максимальную толщину, а к концу работы зуба она уменьшается, что улучшает износостойкость фрезы, однако ударные нагрузки при врезании зуба приводят к выходу из строя приспособлений и креплений резцов фрезы, поломкам фрезы и оправки и, естественно, к ухудшению условий эксплуатации станка, так как требуется компенсатор зазора в механизме подачи.

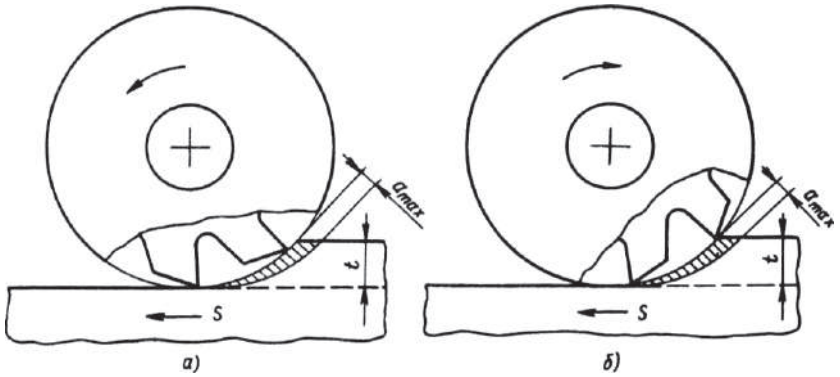



***Рис. 2.42. Схемы фрезерования:***
*а* – встречного; *б* – попутного

В крупносерийном производстве применяют фрезерные станки, работающие по принципу непрерывного фрезерования. Непрерывность обеспечивается применением приспособлений, позволяющих в процессе фрезерования одновременно производить установку или снятие заготовок. К таким приспособлениям относят поворотные столы, барабаны и приспособления конвейерного типа. Их применение позволяет сократить или полностью исключить потери времени на холостые ходы и закрепление заготовок.



Протягивание плоских поверхностей выполняют в массовом и крупносерийном производстве на специальных протяжных станках наружными протяжками. Преимущества протягивания: высокая производительность, высокие технико-экономические показатели обработанной поверхности (шероховатость *Ra* = 0,2 мкм, точность IT7). Качественные показатели поверхностей после получистового протягивания – IT8; *Ra* = 6,3 мкм, чистового – IT7; *Ra* = 0,8 мкм и отделочного – IT6; *Ra* = 0,2 мкм. К недостаткам протягивания следует отнести большие размеры и стоимость протяжек, а следовательно, и станков, а также неблагоприятное воздействие сил инерции. В машиностроении используют комбинированные виды протягивания: наружно-карусельное; наружно-круговое, наружно-конвейерное; эти виды протягивания не имеют возвратно-поступательного перемещения; с помощью их обеспечивается непрерывность процесса обработки, что повышает производительность в 8 – 10 раз по сравнению с обычным протягиванием; кроме того, с их помощью можно полностью автоматизировать рабочие процессы. Эти виды протягивания характерны только для массового производства. Они отличаются высокой стоимостью оборудования.

При доводочных обработках плоских поверхностей применяют шлифование, шабрение и притирку.

Процесс шлифования можно выполнить механической обработкой (применением абразивных кругов и брусков), анодно-механической, электроискровой и электромеханическим сглаживанием.

Наибольшее распространение получили методы шлифования плоских поверхностей периферией круга и торцом круга. Следует отметить, что шлифование проводится на нежестких деталях с небольшими припусками на обработку, составляющими 3 ... 4 мм при обдирочном шлифовании. Предельные качественные показатели плоского шлифования: черновые режимы – IT8; *Ra* = 3,2 мкм; чистовые – IT6; *Ra* = 0,8 мкм; тонкие – IT6; *Ra* = 0,1 мкм.

Шлифование торцом круга более производительное, но при этом обеспечиваются менее качественные показатели. При этом используют круги чашечной и тарельчатой форм, не требующие правки. Однако одновременно в работе находится большая поверхность круга, что ведет к интенсивному нагреванию круга и увеличению сил резания. Для уменьшения этих вредных факторов рекомендуется устанавливать ось шлифования круга под

углом 1 ... 2° относительно перпендикуляра к плоскости обработки. Это не только уменьшит силы резания и нагревание круга, но повысит точность обработки, улучшит шероховатость и уменьшит износ круга.

Шлифование периферией круга хотя менее производительное по сравнению со шлифованием торцом круга, но дает более высокие качественные показатели и его проще выполнить технологически.

Шабрение выполняют шаберами вручную или механическими способами. Ручной метод требует высокой квалификации персонала, больших затрат труда, он находит применение в единичном производстве при небольших обрабатываемых плоских поверхностях. Механическое шабрение позволяет выполнить обработку при высокой точности с достаточно высокой производительностью. Это шабрение применимо для простых по форме поверхностей. Качественные показатели шабрения: при грубых режимах – IT8; *Ra* = 1,6 мкм; при тонких режимах – IT6; *Ra* = 0,1 мкм. Обычно шаберы изготовляют из высокоуглеродистых и легированных инструментальных сталей, имеют одну или несколько режущих кромок сложной формы. Поэтому шаберы не выпускают серийно, а изготовляют в собственных инструментальных цехах; они имеют высокую стоимость, что ограничивает область применения шабрения.

Доводку плоских поверхностей анодно–механическим, электроискровым и электромеханическим шлифованием так же, как и полированием и притиркой, применяют редко, ее выполняют по такой же технологии, как описанные виды обработок при изготовлении валов.

Очень часто на поверхностях деталей необходимо обработать различные по форме пазы: сквозные, закрытые, прямоугольные (их часто называют канавками), Т–образные, по форме «ласточкиного хвоста», сложной формы. Последние используют довольно редко. Пазы по форме «ласточкиного хвоста» и Т–образные получили широкое распространение, они предназначены для создания подвижных сопряжений в конструкциях, непосредственного крепления и монтажа отдельных элементов и т.п.

Обработка пазов и канавок прямоугольной формы описана ранее *(см. п. 2.2.)*. Пазы по форме «ласточкина хвоста» и Т–образной формы обрабатывают аналогичными способами, но выполняют их за один проход инструментом по форме паза. Обычно концевые фрезы изготовляют по форме паза и с их помощью ведут обработку одной стороны паза с дополнительной чистовой обработкой на выравнивание паза. Если обработать паз в один проход, то это приведет к тому, что размер его будет меньше, так как фреза будет быстро изнашиваться. Поэтому чистовыми проходами получают форму паза соответствующей точности. Этого можно избежать, если фрезерование пазов осуществлять в два этапа: заготовительный и формирующий. При заготовительном этапе прямой прямобочный паз изготовляют дисковой или торцовой фрезой *(рис. 2.43, а)*. При формирующем этапе в прорезанном прямобочном пазу размещают хвостовик профилирующей торцовой фрезы, благодаря чему ведут обработку профиля Т-образного паза или по форме «ласточкиного хвоста» *(рис. 2.43, б, в)*. Последний паз можно обработать за два прохода угловой фрезой, но такой вид обработки применим для единичного производства и сопряжен с большими неточностями.



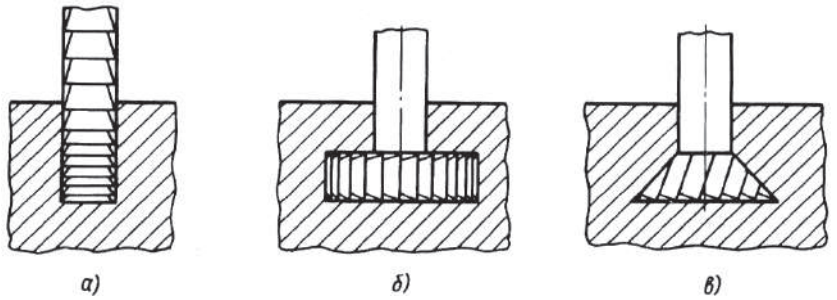



***Рис. 2.43. Схема этапов фрезерования пазов:***
*а* – заготовительный; *б, в* – заготовительный при обработке Т–образного паза и паза по форме «ласточкиного хвоста»

Контроль поверхностей при обработке ведут универсальными измерительными инструментами, шаблонами и калибрами.

Машинное время строгания плоскости *(рис. 2.44)*

$$T_M = (B + l_{1n} + l_{2n})\, i / (n\, s_n), \qquad (2.32)$$

где $B$ – ширина строгаемой поверхности, мм; $l_{1n}$ – врезание резца, мм; $l_{2n}$ – боковой перебег резца, мм; $i$ – число проходов; $s_n$ – поперечная подача, мм/дв. ход стола (резца); $n$ – число двойных ходов стола (резца) в минуту:

$$n = [1000\, v_p / (2L)](1+m), \qquad (2.33)$$

где $v_p$ – скорость рабочего хода стола (резца), м/мин; $L = l + l_1 + l_2$ – длина хода стола (резца), равная сумме длин строгаемой поверхности $l$, прохода $l_1$ и пробега $l_2$ резца; $m$ – отношение скорости холостого хода $v_x$ к скорости рабочего хода стола $v_p$.

Решая совместно уравнения (2.32) и (2.33) получим

$$T_M = (B + l_{1n} + l_{2n})\, 2\, (l+l_1+l_2)\, i / (1000\, v_p\, (1+m)s)), \qquad (2.34)$$

где $l_1 + l_2$ = 35 ... 70 мм; для поперечно-строгальных и долбежных станков, $l_1 + l_2$ = 200 ... 500 мм; для продольно-строгальных станков.

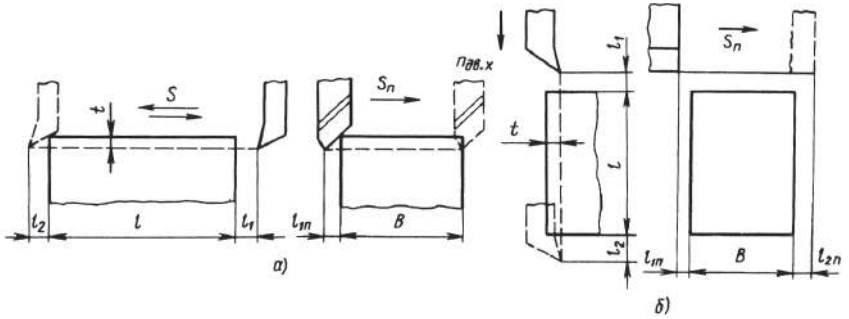



***Рис. 2.44. Схемы к определению режимов резания:***
*а* – при строгании; *б* – при долблении

При фрезеровании параметры режимов резания можно определить в зависимости от метода обработки. Так, для фрезерования плоскости торцовой фрезой *(рис. 2.45 – 2.46)* скорость резания, подача и машинное время

$$v = \pi\, Dn/1000; \quad s_M = s_z\, z\, n; \quad T_м = L\, i/s_M \qquad (2.35)$$

где $D$ – диаметр фрезы, мм; $s_M$ – минутная подача, мм/мин; $s_z$ – подача на зуб, мм на зуб; $z$ – число зубьев; $n$ – частота вращения, об/мин; $L = l + l_1 + l_2$ – длина рабочего хода фрезы, мм; $l_1 \approx l_2$ = 2 ... 6 мм – врезание и перебег торцовой фрезы (для цилиндрической фрезы $l_2$ = 2 ... 6 мм, $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0{,}5 \ldots 3)$ мм; $i$ – число проходов для полного снятия припуска.

Для определения машинного времени при плоском шлифовании периферией круга с прямоугольным столом *(рис. 2.47)* можно использовать формулу

$$T_M = zk(l + l_1 + l_2)\, (B + B_к + l_{1n})/(1000 s \cdot s_n t), \qquad (2.36)$$



где $l$, $l_1$, $l_2$ – длина шлифования, врезание и перебег шлифовального круга (ориентировочно $l_1$ *и* $l_2$ = 15 ... 20 мм); $B_к$ – ширина шлифовального круга, мм; $B$ – ширина обработки, мм; $z$ – припуск на обработку, мм; $k$ = 1,2 ... 2 – поправочный коэффициент на выхаживание; $s$ – подача при продольном движении, м/мин; $s_n$ – подача при поперечном движении в долях ширины шлифовального круга $B$ на двойной ход стола с заготовкой или в мм на двойной ход, $s_n$ = (0,2 ... 0,7 $B_K$; $t$ – глубина резания, мм; $l_{1n}$ = 5 ... 10 мм – врезание при поперечном движении подачи.

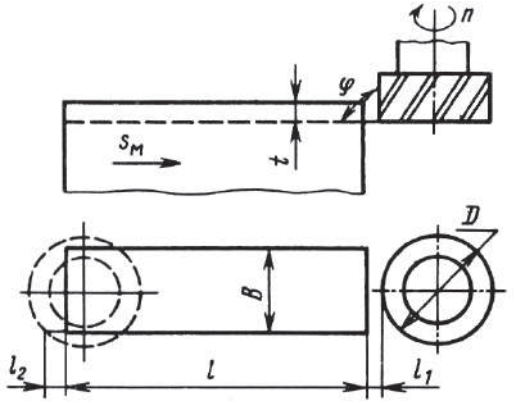



***Рис. 2.45. Схема к определению режимов резания при обработке плоскости торцовой фрезой***

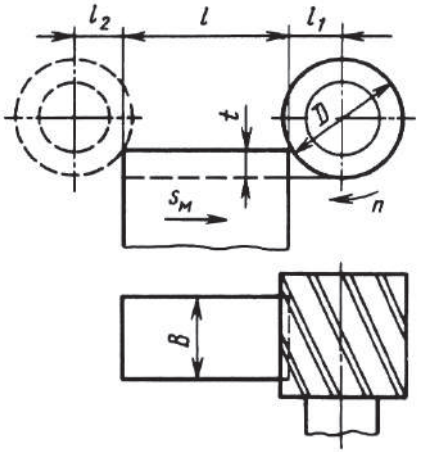



***Рис. 2.46. Схема к определению режимов резания при обработке плоскости цилиндрической фрезой***

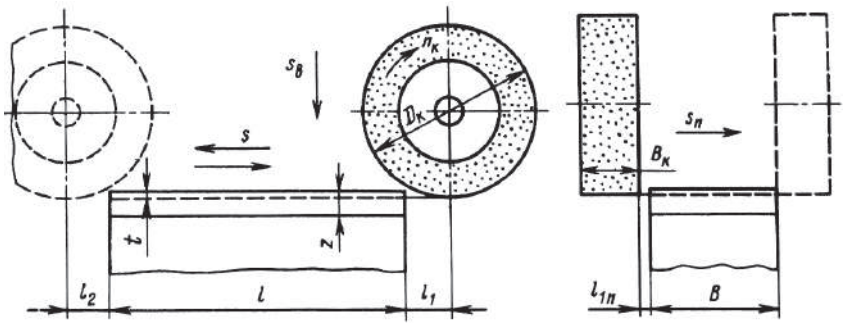



***Рис. 2.47. Схема к определению параметров режимов резания при плоском шлифовании периферией круга***

При шлифовании торцом круга *(рис. 2.48)* скорость и глубину резания определяют по выражению, приведенному ранее. Основное технологическое время на обработку одной заготовки

$$T_м = zk\,(l + l_1 + l_2)/(1000st), \qquad (2.37)$$

где $l_1 = l_2 = 5 \ldots 10$ мм – врезание и перебег шлифовального круга; $m$ – число деталей, одновременно установленных на столе.

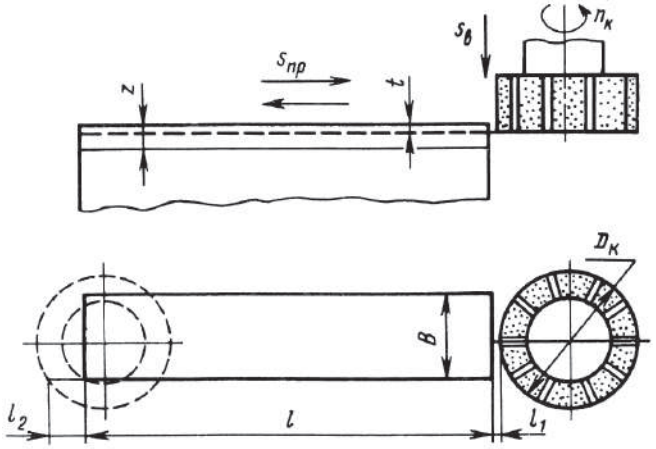



***Рис. 2.48. Схема к определению параметров режимов резания при плоском шлифовании торцом круга***

Обработка протягиванием поверхностей может характеризоваться теми же параметрами резания, которые описаны при обработке протягиванием отверстия.



Технологическое время обработки Т–образного паза в виде «ласточкиного хвоста» можно получить, используя для первого этапа формулу, в которую необходимо добавить значение перебега $l_2 \approx l_1$.

Время второго этапа, выполненного за один проход,

$$T_м = (l + 2l_1)/s_M \qquad (2.38)$$

## 2.10. ОБРАБОТКА ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В горном машиностроении часто необходимо обрабатывать фасонные поверхности: 1) фасонные поверхности тел вращения наружные или внутренние, обрабатываемые на токарных станках (их часто называют замкнутыми фасонными поверхностями); 2) фасонные поверхности – отверстия (тоже замкнутые), обработку которых ведут протягиванием или прошиванием; 3) фасонные поверхности разомкнутые (односторонние или многосторонние, так называемые многогранники), обработку которых ведут фрезерованием или протягиванием.

Указанные виды фасонных поверхностей можно обрабатывать фасонным инструментом (например, фасонными резцами, фасонными протяжками и прошивками), поворотными приспособлениями, рычажными приспособлениями, по копиру, специальными сочетаниями движений инструмента и детали. Наиболее широкое распространение получила обработка по копиру, обработка фасонным инструментом с сочетанием движений инструмента и детали.

При обработке фасонных поверхностей тел вращения небольшой длины (например, бочкообразных или сферических наружных и внутренних поверхностей) используют токарную обработку и фасонные резцы, имеющие соответствующий профиль поверхности. Недостатки такого метода – сложное профилирование инструмента, низкая износостойкость, малая производительность обработки, большие усилия резания. При использовании копиров, поворотных или рычажных приспособлений те же поверхности можно обработать на обычном токарном станке обычным резцом. Изготовление копиров или приспособлений увеличивает стоимость обработки, поэтому эта обработка находит применение только в крупносерийном производстве. Точность обработки невысокая и зависит от многих показателей, в том числе от точности копира, копировального устройства, точности его установки

на станке и т. п. Однако обработку длинных фасонных поверхностей ведут по копиру. При этом необходимо учитывать, что угол наклона между осью изделия и касательной к профилю копира не должен превышать 45°, иначе будут развиваться недопустимо большие усилия сопротивления перемещению ролика по копиру и, следовательно, механизму подачи станка.

При обработке разомкнутых односторонних фасонных поверхностей удобнее применять фрезерование профилированной фрезой или набором фрез (блоком). В этом случае фрезерование аналогично обработке при использовании цилиндрической фрезы. Производительность будет невысокой, износ фрезы значителен, а подготовка фрезы потребует затрат времени и труда. Подобную обработку можно применять в мелкосерийном и индивидуальном производстве. Для массового и крупносерийного производства экономичнее применять протягивание фасонными протяжками. Причем в комплекте протяжек имеются несколько протяжек, производящих сначала черновую обработку профиля, после чего начинают производить отделочную или чистовую обработку другие протяжки.

При обработке пространственных фасонных поверхностей используют метод сочетания движений инструмента и детали. Обычно подобную обработку можно наблюдать на специальных копировальных станках, работающих по программе, управляющей движениями инструмента и детали. Однако копировальные станки с механическими программами-копирами сложны, обладают недостаточной надежностью, поэтому их применяют редко.

Большое распространение в последнее время получили для обработки любых фасонных поверхностей станки с ЧПУ. Задавая электронному управляющему устройству координаты перемещения инструмента в пространстве, можно получить с высокой точностью любую пространственную фасонную поверхность.

Обработку многогранников удобнее проводить на фрезерных станках с использованием делительных устройств. В этом случае каждая из плоскостей многогранника обрабатывается после придания детали соответствующего положения поворотной головкой или делительным столом. Для увеличения производительности при изготовлении многогранников с четным числом граней удобно использовать блок фрез, установленных на заданный размер, что позволяет одновременно обрабатывать две противоположные поверхности многогранника. Производительность увеличивается почти в 2 раза (двукратного увеличение производительности не будет вследствие увеличения времени на сборку блока, его контроль и переналадку для компенсации изнашивания).



## 2.11. ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Корпусные детали в большинстве случаев имеют разнообразные по форме и размерам поверхности, подлежащие обработке. Среди них можно выделить две основные группы корпусов, отличающиеся по конструктивному исполнению, предъявляемым к ним требованиям и технологии изготовления: 1) корпуса угольных комбайнов и проходческих машин; 2) корпуса редукторов угле– и породопогрузочных машин, подъемных машин и лебедок, конвейеров и других горных машин.

Технические условия на изготовление корпусных деталей машин определяются их назначением – обеспечивать заданное положение деталей и узлов механизма и их взаимодействие.

При обработке корпусов должны быть обеспечены следующие основные показатели: 1) заданная точность отверстий для валов по размерам и геометрической форме; 2) соосность отверстий, расположенных на одной оси в двух или нескольких стенках корпуса; 3) параллельность осей отверстий и базирующих поверхностей; 4) точность расстояния между осями отверстий и от базирующих поверхностей; 5) перпендикулярность торцовых поверхностей осям отверстий; 6) прямолинейность базирующих поверхностей.

На диаметральные размеры основных отверстий задаются допуски в пределах 7–8 квалитетов точности. Отклонения геометрической формы отверстий должны составлять не более 0,5 ... 0,7 поля допуска. Допуски на отклонение от соосности и перпендикулярности осей отверстий задаются в соответствии с назначением корпусных деталей; для корпусов, в которых монтируют зубчатые и червячные передачи – в пределах от 0,04 до десятых долей миллиметра.

Отклонения от соосности отверстий назначают в пределах половины допуска на диаметральный размер меньшего отверстия. Шероховатость поверхностей основных отверстий должна быть (*Ra*) в пределах 1,6 ... 0,4 мкм. Отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей к осям отверстий должно составлять 0,1 – 1,0 мкм на 1 мм радиуса; шероховатость этих

поверхностей (*Ra*) в пределах 3,2 ... 1,6 мкм. Отклонение от прямолинейности плоских поверхностей должно быть в пределах 50 ... 200 мкм на 100 мм длины. Шероховатость плоских поверхностей разъема (*Ra*) в пределах 3,2 мкм и более.

При обработке корпусов редукторов должны быть обеспечены следующие показатели: 1) отклонение расположения контуров плоскостей разъема основания корпуса и крышки не должно превышать 2 ... 3 мм; 2) отклонение от параллельности поверхности основания корпуса (технологической базы) к плоскости разъема не должно превышать 0,5 мкм на 1 мм; 3) зазор между плоскостями разъема в собранном корпусе не должен превышать 0,003 мм; 4) отверстия под подшипники должны быть выполнены преимущественно по 7-му квалитету точности; овальность и конусообразность их не должны превышать допуска на диаметр; 5) несовмещение осей расточенных отверстий под подшипники с плоскостью разъема не должно превышать 0,2 мм; на обработанной поверхности разъема не допускаются надрезы, забоины, вмятины и другие дефекты.

Плоскости корпусов редукторов обрабатываются на продольно-строгальных, продольно-фрезерных, вертикально-фрезерных, а в отдельных случаях – на карусельных станках; обработка основных отверстий производится на горизонтально-расточных и карусельных станках; сверление отверстий под болты, винты, шпильки – на вертикально-сверлильных и радиально-сверлильных станках.

Обработка многих корпусов горных машин является весьма трудоемкой операцией. В связи с этим технологические процессы их обработки в условиях заводов горного машиностроения разрабатывают на основе высокопроизводительных методов, а именно: 1) применения скоростных режимов резания; 2) совмещения обработки двух или нескольких поверхностей корпуса благодаря полному использованию имеющихся на станке суппортов и шпинделей; 3) одновременной установки и обработки нескольких деталей; 4) применения многоинструментальной обработки, т.е. одновременной обработки несколькими инструментами; 5) применения средств механизации подъема и установки корпусов на станках, а также быстродействующих пневматических и гидравлических зажимных устройств; 6) применения автоматических переналаживаемых линий для обработки корпусных деталей.



При механической обработке корпусов основными являются операции обработки плоских поверхностей и отверстий. Прежде всего обрабатывают базирующие поверхности корпуса и крепежные отверстия, которые могут быть использованы при последующей установке; затем обрабатывают плоские поверхности и после них – основные отверстия.

Обычно при обработке отверстий корпусов в качестве установочной базы используют ранее обработанную плоскость основания и два диагонально расположенных отверстия. Эти два отверстия выполняются для технологических целей точными. Базирование по двум отверстиям на цилиндрические пальцы и плоскости обеспечивает большую точность, чем базирование по трем плоскостям. Для корпусов нежесткой конструкции применяют повторную (поверочную) обработку базовых поверхностей после черновой обработки всех плоских и основных отверстий корпуса.

На основе расчета припусков устанавливают необходимость и целесообразность дополнения технологического процесса получистовой обработкой. Однако, учитывая закономерность уменьшения погрешностей формы и пространственных отклонений, обычно производят черновую и чистовую обработку и ограничиваются однократной обработкой лишь для весьма жестких конструкций корпусов при точных способах выполнения заготовок.

Разъемные корпуса редукторов проходят обработку по следующей технологии: 1) раздельная обработка основания корпуса и крышки до операции растачивания отверстий; 2) сборка корпуса и крышки; 3) совместная обработка – растачивание отверстий.

Механическую обработку корпусов целесообразно начинать с обработки наибольших по размерам поверхностей, обдирка которых позволяет выявить дефекты материала в начале технологического процесса, а также ослабить действие внутренних напряжений, возникающих при литье детали.

В зависимости от методов выполнения литых заготовок их обрабатывают по полной или частичной разметке, либо без разметки в приспособлениях.

Сварные конструкции корпусов выполняют из деталей предварительно обработанных либо из деталей, не подвергающихся обработке. В первом случае поверхности частей корпусов подвергаются только чистовой обработке без разметки, так как сварка

таких корпусов осуществляется в приспособлениях, обеспечивающих достаточную точность положения этих частей. Во втором случае корпуса проходят черновую, получистовую и чистовую обработку по разметке либо в приспособлениях в зависимости от объема производства и точности выполнения сварочных работ.

Плоские поверхности корпусов в серийном производстве обрабатывают на многосуппортных профильно-строгальных станках или на многошпиндельных продольно-фрезерных станках. В массовом производстве их обрабатывают на протяжных станках, многошпиндельных фрезерных станках непрерывного действия с карусельными столами (типа 623В) или с барабанами (типа 6022). На двух последних типах станков применяют обычно параллельно-последовательный метод черновой и чистовой обработки.

Плоские поверхности корпусов больших размеров обрабатывают на портально-фрезерных станках с порталом, несущим фрезерные головки и перемещающимся относительно установленной на неподвижной плите заготовки; базовые поверхности корпусных деталей небольших размеров обрабатывают на обдирочно-шлифовальных станках с вертикальной осью вращения стола. Окончательная обработка плоских поверхностей корпусов производится шлифованием на плоскошлифовальных станках,-тонким строганием широким резцом, тонким фрезерованием и шабрением.

Расточка основных отверстий корпусов осуществляется в зависимости от заданного выпуска на универсально-расточных, координатно-расточных или агрегатных многошпиндельных станках, в ряде случаев объединяемых в автоматические линии.

Диаметральные размеры отверстий получают обработкой соответствующими измерительным инструментом – развертками, расточными блоками или расточными головками, установленными в необходимом комплекте на расточных оправках или борштангах, а также односторонне расположенными резцами с точной микрометрической регулировкой на размер.

Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей, а также другие требования к расположению отверстий обеспечиваются двумя методами: 1) обработкой отверстия с направлением инструмента в кондукторе; 2) обработкой отверстия без направления инструмента, но с использованием универсальных способов координации положения инструмента.



В массовом и крупносерийном производстве основные отверстия корпусных деталей обрабатывают на многошпиндельных станках при параллельных и параллельно-последовательных схемах построения операций, одновременно с двух или трех сторон заготовки. Требуемое положение отверстий обеспечивается соответственно расположенными в агрегатных головках шпинделями, каждый из которых соединяется с борштангой, направляемой кондукторными втулками установочного приспособления.

При обработке на агрегатных станках рекомендуется разделять черновую и чистовую обработку на две операции, выполняемые на двух агрегатных станках автоматической линии или на два перехода, выполняемые на двух рабочих позициях станка поточной линии. Основные отверстия корпусов небольших габаритных размеров могут быть обработаны на вертикально-сверлильных станках с применением кондукторов и многошпиндельных головок и на радиально-сверлильных станках с применением поворотных кондукторов.

В серийном производстве основные отверстия в корпусных деталях обрабатываются на универсальных горизонтально-расточных станках с направлением инструмента по кондуктору *2 (рис. 2.49)*; шпиндель *1* последовательно соединяется с расточными борштангами *3*, каждая из которых оснащена инструментом для обработки отверстий в детали *4* на своей оси. Межосевые расстояния и параллельность осей обеспечивается направлением борштанги по кондуктору. Перпендикулярность осей отверстий можно получить путем поворота стола на угол 90°.

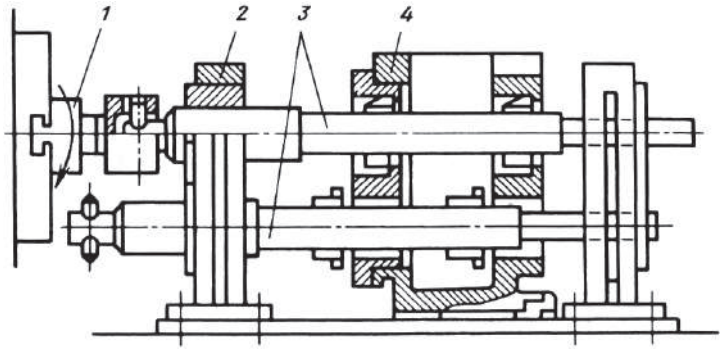



***Рис. 2.49. Обработка отверстий корпусных деталей на универсальных горизонтально-расточных станках с направлением инструмента по кондуктору***

Повышение производительности труда при работе на расточных станках достигают применением многошпиндельных расточных головок, обрабатывающих одновременно несколько отверстий с параллельными осями. Головка получает вращение от шпинделя станка, а ее шпиндели, расположенные соответственно растачиваемым отверстиям, передают крутящие моменты борштангам.

Во всех случаях обработки с направлением инструмента по кондукторным втулкам на агрегатных станках и на универсально-расточных станках обрабатываемый корпус устанавливают в кондукторе на установочные пальцы по двум специально обработанным для этого базовым отверстиям, расположенным на плоской поверхности основания корпуса.

Без направления инструмента растачивают отверстия в мелкосерийном и индивидуальном производстве, когда применять расточной кондуктор нецелесообразно. В этом случае корпуса обрабатывают на горизонтально-расточных станках по разметке. Задача станочника сводится к тому, чтобы совместить ось шпинделя станка с осями размеченных отверстий. Для повышения жесткости шпинделя применяют люнет *(рис. 2.50 а, б)*.

После подачи корпуса на стол горизонтально-расточного станка для обработки отверстий необходимо выполнить следующее: 1) установить и выверить его на столе станка, при выверке оси размеченных отверстий получаются параллельными оси шпинделя; 2) совместить ось шпинделя с осью первого растачиваемого отверстия; 3) обработать первое отверстие; 4) переместить стол с обрабатываемым корпусом на заданное расстояние до оси второго растачиваемого отверстия; 5) обработать отверстие на второй оси; далее повторяются аналогичные операции.

Установка шпинделя для обработки отверстий, расположенных на другой высоте, производится перемещением шпиндельной коробки по колонне станка. Точность отсчета перемещений стола станка или его шпиндельной коробки зависит от заданного допуска на межосевые расстояния.

Соосность растачиваемых отверстий в противоположных стенках обеспечивается поворотом стола станка с закрепленной на нем заготовкой корпуса на угол 180° *(рис. 2.50, в)*. Допуск 0,1 ... 0,2 мм обеспечивается при отсчете перемещений по шкалам станка; для достижения более жестких допусков используют приборы, обычно индикаторного типа, позволяющие более точно вести отсчет перемещений шпинделя в направлении осей координат.



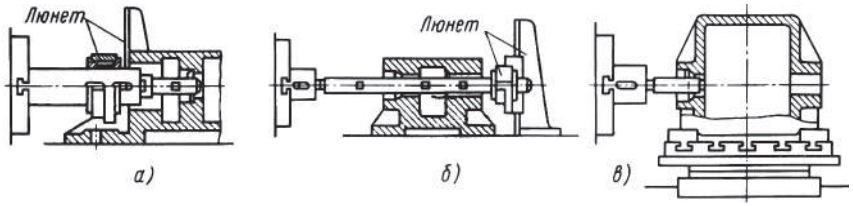



***Рис. 2.50. Обработка отверстий корпусных деталей на универсальных горизонтально-расточных станках без кондуктора***

Метод расточки по разметке – малопроизводительный, он может быть рекомендован, когда допуски на размеры межосевых расстояний увеличены до 0,2 ... 0,3 мм.

В горном машиностроении, кроме расточных станков с подвижным столом, применяют расточные станки с неподвижным столом, у которых необходимые рабочие движения совершает шпиндельная колонка. Выполняемая на таких станках обработка тяжелых корпусов сопряжена с большими затратами времени, особенно вспомогательного, которое в неблагоприятных случаях составляет 60 ... 80 % штучного времени.

Основные отверстия крупногабаритных корпусов можно обрабатывать посредством переносных расточных головок, устанавливаемых рядом с обрабатываемым корпусом, на том же плитном настиле. В этом случае получается как бы агрегатный станок, значительно сокращающий трудоемкость процесса обработки. Обработку крепежных и других отверстий в корпусных деталях производят в зависимости от заданного выпуска на агрегатных многошпиндельных станках автоматических или поточных линий, на многошпиндельных сверлильных станках или на вертикально-сверлильных станках с применением многошпиндельных головок, либо на радиально-сверлильных станках в поворотных кондукторах или с применением накладных кондукторов.

Прямолинейность плоских поверхностей проверяют эталонными линейками. Проверку взаимного расположения плоских поверхностей, образующих сборочную базу корпуса, производят щупом или специальными плитками на краску (8 ... 10 пятен на квадрате 25 х 25 мм).

Контроль правильности геометрической формы основного отверстия производят штихмассом с индикатором, пассиметром или пневматическим ротаметром со специальной калибровой пробкой. Соосность отверстий проверяют контрольными оправками, вставленными непосредственно в проверяемое отверстие *(рис. 2.51, а)*, или, если деталь и оправка достаточно жесткие, индикаторными приспособлениями *(рис. 2.51, б)*.

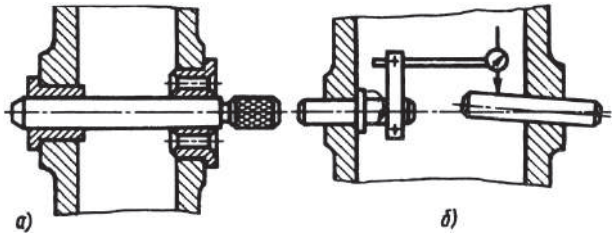



***Рис. 2.51. Контроль качества обработки корпусных деталей***

## 2.12. ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Общие сведения.** В передачах современных горных машин значительная доля нагрузки приходится на зубчатые колеса. При этом характер нагрузки может быть разнообразным, от монотонно возрастающей до ударной, интенсивность которой чрезвычайно быстро изменяется во времени. В этих условиях технико-экономические показатели горных машин обусловливаются повышенными требованиями к изготовлению зубчатых колес, гарантирующих высокую износостойкость, циклическую прочность и длительный срок эксплуатации. В горном машиностроении применяют следующие разновидности зубчатых колес: цилиндрические зубчатые передачи наружного и внутреннего зацепления эвольвентного профиля, т.е. такие, у которых боковая поверхность зуба очерчена эвольвентной кривой (эвольвента траектория точки на прямой, катящейся по окружности без скольжения), с прямыми, косыми и спиральными зубьями – одинарные, блочные, шевронные, многорядные косозубые и многорядные шевронные; конические зубчатые колеса эвольветного профиля, прямозубые, с криволинейными зубьями, гипоидные; косозубые передачи с перекрещивающимися осями вращения колес; передачи с зацеплением Новикова. По конструктивной форме применяют зубчатые колеса следующих видов: плоские



одновенцовые без ступицы, плоские одновенцовые со ступицей, многовенцовые блок-шестерни цилиндрические и цилиндро-конические; вал-шестерни цилиндрические и конические; червячные колеса, зубчатые венцы-муфты. Правильная работа и долговечность зубчатых колес зависит от точности выполнения их элементов, материала изготовления.

В малоответственных передачах, как правило, используют грубые колеса с обработанными и необработанными рабочими поверхностями, выполненными из среднеуглеродистых сталей. Технические требования на изготовления цилиндрических зубчатых колес регламентированы ГОСТ 16530–83, ГОСТ 16531–83, ГОСТ 16532–83. Различают два вида передач: силовые и кинематические. Силовые передачи должны удовлетворять условиям износостойкости, плавности и бесшумности работы передачи. Чем выше окружные скорости колес, тем точнее они должны быть изготовлены, так как невыполнение этого условия способствует возникновению шума и изнашивания. Кинематические передачи характеризуются точностью размеров, обеспечивающих плавность работы колеса, контакт зубьев, боковые зазоры. В соответствии с ГОСТ установлено двенадцать степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами от 1 до 12. Для каждой степени точности установлены нормы кинематической точности колеса, плавности работы колеса, контакта зубьев, бокового зазора в передаче. Отклонения и допуски по указанным нормам для различных степеней точности зубчатых колес определяют по ГОСТ.

*Материал для зубчатых колес.* Зубчатые колеса – один из сложнейших и ответственных элементов конструкции машин. Поэтому к материалу колес предъявляются повышенные требования. В зависимости от назначения зубчатые колеса изготовляют из углеродистых, легированных сталей, чугуна и пластмасс. Применение легированных сталей обеспечивает более глубокую их прокаливаемость, меньшую деформацию по сравнению с зубчатыми колесами из углеродистых сталей. В горном машиностроении зубчатые колеса, как правило, изготовляют из углеродистых и легированных сталей. Материал для зубчатых колес должен обладать однородной структурой, обеспечивающей стабильные размеры после термической обработки, особенно по параметрам отверстия и шагу колес. Это условие особенно важно для выбора режима термической обработки. При выборе

конструкционного материала необходимо исходить не только из механических характеристик, но и учитывать металлоемкость заготовки, показатель обрабатываемости резанием и склонность материала к термическим деформациям. В *табл. 2.1* приведены материалы, рекомендуемые для изготовления зубчатых колес, удовлетворяющие различным условиям эксплуатации. Из таблицы видно, что рекомендуемые марки конструкционных сталей для производства зубчатых колес должны обладать высокими механическими свойствами, в частности, поверхностной твердостью наряду с относительно высокой вязкостью материала сердцевины. Это достигается применением соответствующих режимов термической обработки.

**Заготовки для зубчатых колес.** В качестве заготовок при изготовлении зубчатых колес с учетом конструктивных особенностей, назначения, серийности выпуска используют заготовки из проката; поковки, выполненные свободной ковкой, штампованные заготовки, полученные в подкладных штампах на молотах, горизонтально–ковочных машинах, прессах, а также в открытых и закрытых штампах. Часть цилиндрических и конических колес изготовляют из серого чугуна, иногда из стальных отливок. Каждый из перечисленных способов получения заготовок имеет свои преимущества и недостатки. Так, при свободной ковке существенно улучшается структура заготовки, но ее конфигурация не соответствует форме готовой детали. Штамповка заготовок в подкладных штампах целесообразна при мелкосерийном производстве. Производительность штамповки на прессах в 1,5 – 2 раза выше, чем на молотах, а припуск на 30 % меньше. Различные методы получения заготовки обеспечивают различную точность.

При крупносерийном производстве колес принятый тип заготовки должен обеспечить минимальные припуски на последующую механическую обработку поверхностей, а также возможность исключения механической обработки нерабочих поверхностей.

Точность изготовления заготовки должна обеспечивать минимальное колебание припусков на механическую обработку, при которых возможно использование высокопроизводительных налаженных черновых токарных операций с применением автоматических и полуавтоматических станков, в том числе многошпиндельного исполнения и с многоинструментальными наладками. Это сокращает расход металла, а также трудоемкость механической обработки.



**Таблица 2.1**

***Стали, применяемые для изготовления зубчатых колес, и режимы их термической обработки***

| Сталь | Термическая обработка | | | Механические свойства | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Твердость | | |
| | Цементация | Закалка ТВЧ | Закалка, °С | Отпуск, °С | Временное сопротивление, МПа | Предел текучести, МПа | Относительное удлинение, % | Относительное сужение, % | Ударная вязкость Дж/см² | поверхности, HRC | сердцевины, НВ |
| 45 | - | + | - | 180 | | | | | | 50–80 | |
| 50Г2 | - | - | 820, масло | 500 | 960 | 700 | 9 | 40 | 120 | НВ250–300 | |
| 20Х | + | - | 720–820, масло | 180–200 | 850 | 630 | 10 | 59 | 50 | 56–62 | 212 |
| 40Х | - | + | – | 180 | | | | | | 50–54 | |
| 45Х | - | - | 840–860, вода | 550–600 | 850 | 600 | 10 | 40 | 50 | НВ 285–321 | |
| 40ХН | - | - | 830, масло | 180–200 | 1600 | 1400 | 7 | 40 | 40 | 48–54 | |
| 18ХГТ | + | - | 830–850, масло | 200–220 | 1000 | 800 | 9 | 50 | 80 | 56–62 | 240–300 |
| 12ХН3А | + | - | 760–800, масло | 150–180 | 850 | 700 | 10 | 50 | 80 | 58–62 | 260 |
| 35ХМА | - | - | 840–850, масло | 200 | 1600 | 1400 | 12 | 38 | 40 | 48–55 | 283–440 |

При мелкосерийном производстве колес, особенно крупных размеров, используют менее совершенные методы образования заготовок и получают их с повышенными припусками на последующую механическую обработку поверхности, в отношении которой оговорены требования по точности размеров и шероховатости поверхности. Значения припусков на последующую механическую обработку колес должны учитывать возможность полного удаления с обрабатываемых поверхностей слоя металла, имеющего дефектную структуру или дефекты, образовавшиеся в процессе формирования заготовки. Способы изготовления заготовок определяются габаритами колеса, его формой, а также имеющимися кузнечно-штамповочными средствами. На *рис. 2.52, в* приведена штампованная заготовка стального колеса.

Припуски и допуски на производство кузнечных штамповок массой до 200 кг принимают в соответствии с ГОСТ 7505–89. Значительное число заготовок для производства зубчатых колес выполняют литьем. Заготовки-отливки колес из чугуна или стали воспроизводят форму детали с припусками на поверхностях подлежащих последующей механической обработке в соответствии с чертежом. При крупной серийности выпуска однотипных зубчатых колес используют более точные методы формирования отливки заготовок; литье под давлением, литье в металлические (кокиль) и корковые формы, прецизионное литье по выплавляемым моделям, центробежное литье.

Такими методами точного литья обеспечиваются минимальные припуски на механическую обработку. При малой серийности выпуска литых колес крупных размеров применяют менее точные методы литья. При изготовлении особенно крупных колес отливка заготовки производится с предварительно формованными зубьями. Если точность таких колес выше 9-й степени (ГОСТ 1643–81), окончательная обработка зубьев производится зубонарезанием при механической обработке, для чего на профилях зубьев оставляют соответствующие припуски.

При изготовлении особо крупных венцов составного типа (из секторов) на отливках каждой части детали оставляют припуски на механическую обработку. Литые заготовки зубчатых и червячных колес должны поставляться в механический цех в отожженном состоянии для обеспечения лучшей обрабатываемости на металлорежущих станках. Широкое применение в машиностроении находят заготовки колес с накатанными зубьями. Накатка зубьев в заготовке производится в холодном и горячем состояниях. После накатки зубья колес окончательно обрабатываются на зуборезных станках. Накаткой получают также зубчатые колеса с высокой точностью зубьев без механической обработки. Достоинством способа является высокая прочность зубьев колес, достигаемая интенсивным пластическим деформированием в процессе формообразования зубьев.



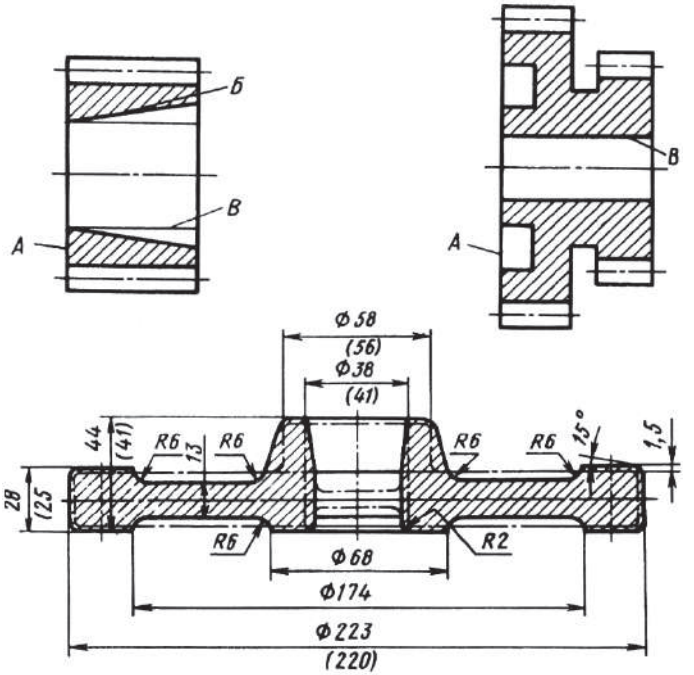



***Рис. 2.52. Базовые поверхности и стальная штампованная заготовка цилиндрических зубчатых колес:***
*А* – опорные базы торца; *Б* – конусное отверстие;
*В* – цилиндрическое отверстие

**Выбор баз и технологического маршрута обработки зубчатых колес.** Основным условием назначения технологических баз при обработке зубчатых колес должно быть минимальное изменение ориентирования зубчатого венца, обработанного до термической обработки, относительно оси посадочных поверхностей после термической обработки.

Выбор базирования поверхностей и разработка технологического процесса зависят от конструктивных форм зубчатого колеса. Например, если необходимо изготовить закаленные колеса 5 степени точности, то базы и технологический маршрут будут отличаться от обработки таких же колес 7 степени точности. Так, допуск на накопленную погрешность окружного шага колеса диаметром 80–120 мм для 5-й степени точности составляет 25 мкм, для 7-й степени точности – 60 мкм, радиальное биение зубчатого венца для 5–й степени точности – 20 мкм, а 7-й степени точности – 50 мкм.

При обработке цилиндрических, конических и блочных колес диаметром менее 500 мм для обеспечения концентричности наружной поверхности и отверстия в качестве базы обычно принимается поверхность центрального отверстия и опорный торец, которые являются базовыми при нарезании зубьев. Примером выбора технологических баз обработки при нарезании зубьев вал-шестерни является установка детали в оправки, базирующие деталь по посадочным шейкам, с упором в торец вала или торец одной из шеек большего диаметра. Отделка посадочных шеек после термической обработки производится, как правило, в центрах, которые должны быть перед этим исправлены (восстановлены форма и расположение относительно оси вала). На *рис. 2.52* показано расположение базовых поверхностей цилиндрических зубчатых колес.

Выбор технологического маршрута обработки заготовок зубчатых колес под нарезание зубьев определяется назначением зубчатых колес, материалом заготовки, габаритами и объемом производства. Последнее обстоятельство предопределяет выбор оборудования. С учетом этих факторов существуют типовые варианты обработки заготовок зубчатых колес. В частности, обработку заготовки для нарезания зубьев цилиндрических, конических и блочных колес диаметром менее 500 мм целесообразно осуществлять по следующему маршруту: 1) сверление (зенкерование) и растачивание центрального отверстия, подрезание торцов ступицы и обода с предварительным обтачиванием наружных поверхностей обода на токарном или револьверном станке с закреплением заготовки в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне за наружную поверхность обода или ступицы; 2) предварительное обтачивание на токарном или револьверном станке (в условиях массового крупносерийного производства обработка



ведется на гидрокопировальном или многорезцовом полуавтомате) наружных поверхностей и подрезание торцов; заготовка крепится в самоцентрирующемся патроне за обработанную на предыдущей операции поверхности ступицы или же на оправке с базированием по обработанному отверстию; 3) протягивание центрального отверстия и шлицевых канавок или шпоночного паза на горизонтально-протяжном станке; 4) окончательная обработка наружных поверхностей и подрезка торцов на токарном станке в центрах с базированием заготовки на поверхности отверстия при помощи гладкой или шлицевой оправки, запрессовываемой перед обработкой в отверстие. Обработка заготовок с отверстиями без шлицевых и шпоночных пазов на гладкой оправке допустима лишь для заготовок небольшого диаметра и при незначительной глубине резания вследствие опасности проворачивания заготовки от действия крутящего момента.

Технологический маршрут обработки заготовки для зубчатых колес диаметром более 500 мм: 1) предварительная обточка наружных поверхностей и торцов и растачивание центрального отверстия на карусельном станке с креплением заготовки кулачками в распор за внутреннюю поверхность обода; 2) предварительное обтачивание наружных поверхностей с другой стороны заготовки на карусельном станке с креплением заготовки за обработанную в предыдущей операции внутреннюю поверхность ступицы; 3) термическая обработка – улучшение (закалка с высоким отпуском); 4) окончательное обтачивание наружных поверхностей и торцов и растачивание (у отдельных колес, кроме того, развертывание); обработка ведется на карусельных станках с аналогичным креплением заготовки; 5) окончательная обточка наружных поверхностей и торцов с другой стороны, как в предыдущей операции.

Технологический процесс обработки заготовок вал-шестерни должен обеспечивать концентричность центровых отверстий, на которые базируется заготовка при нарезании зубьев, наружным поверхностям. В серийном производстве обработка вал-шестерен осуществляется на многопозиционных полуавтоматах роторного типа *(рис. 2.53)*. Технологический процесс обработки заготовки червячной шестерни состоит из предварительной обточки венца и ступицы, обработки после насадки венца базовых поверхностей центрального отверстия и опорного торца, окончательной обработки наружных поверхностей и протягивания шпоночной канавки.

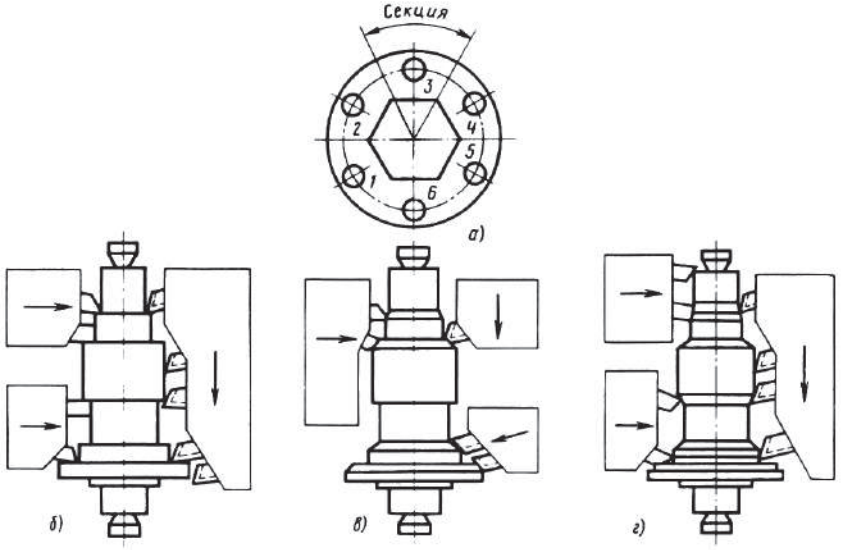



***Рис. 2.53. Обработка вал-шестерни на токарном шестисекционном полуавтомате роторного типа:***
*а* – схема расположений секции станка; *б, в, г* – схемы наладки резцов соответственно по секциям *1* и *4*, *2* и *5*, *3* и *6*

**Технологические методы изготовления зубчатых колес.** Технологические методы зубонарезания зависят от конструктивных особенностей зубчатых колес, размеров, назначения и объема выпуска. С учетом этих факторов определяются основные технологические параметры процесса, характеризующие конкретно тот или иной метод нарезания зубьев. Механическая обработка заготовок зубчатых колес состоит из трех этапов: 1) обработка до зубонарезания; 2) нарезание зубьев; 3) отделочные операции.

Существуют два метода нарезания зубьев: копирование и обкатка (огибание).

Рассмотрим последовательно каждый способ зубонарезания.

**Метод копирования.** Профиль зубьев колеса по методу копирования получается путем копирования профиля режущих кромок инструмента, в качестве которого обычно используют дисковые и пальцевые модульные фрезы *(рис. 2.54)*, многорезцовые зубодолбежные головки, эвольвентные протяжки, резцы, шлифовальные фасонные круги. Метод копирования применяют в основном для предварительных операций, так как не обеспечивается высокая точность обработки. Форма и точность размеров зубьев зависят от точности инструмента, направляющих, по которым движется инструмент или заготовка, точности обработки, точности делительных устройств, настройки станка и жесткости технологической системы. Дисковые фрезы используют для нарезания прямозубых колес при черновой обработке в условиях крупносерийного производства и нарезания при чистовой обработке небольших колес невысокой точности единичного производства. Фреза для нарезания имеет профиль впадины зуба соответствующего модуля. Теоретически для каждого нарезаемого числа зубьев того же модуля необходима фреза соответствующего профиля. На практике, пренебрегая незначительными погрешностями, одной модульной фрезой нарезают в определенном интервале зубья. Комплекты дисковых фрез для каждого зуба отдельного модуля состоят из 8, 15 или 26 штук. Комплект из восьми фрез позволяет получить зубчатые колеса 9–й степени точности. Для производства более точных колес применяют комплекты из 15 или 26 фрез.



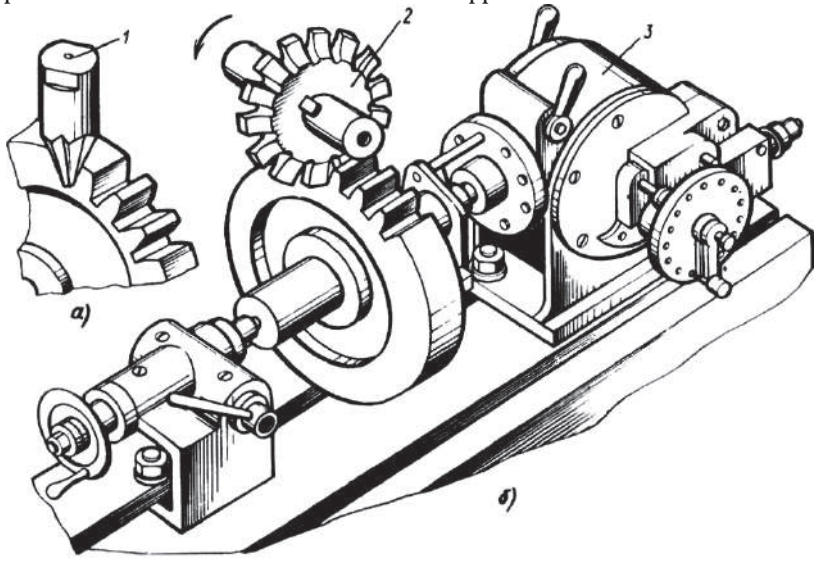



***Рис. 2.54. Нарезание зубьев по способу копирования:***
*а* – пальцевой фрезой; *б* – дисковой фрезой;
*1* – пальцевая фреза; *2* – дисковая фреза; *3* – делительная головка

При работе фреза вращается, а заготовка вместе со столом получает поступательное движение. После прорезания впадины одного зуба заготовку при помощи делительной головки поворачивают на угол $\beta = 360°/z$, далее производят нарезание следующей впадины и т.д. Пальцевые фрезы применяют для нарезания крупных колес (диаметр 3–5 м, модуль 50 мм) невысокой точности с прямыми, спиральными и шевронными зубьями. Обработку колес дисковыми фрезами ведут на горизонтально– или универсально-фрезерном станках. Пальцевые фрезы обычно используют на вертикально-фрезерных станках, обрабатывая последовательно по одной впадине с использованием делительной головки. При фрезеровании впадины между зубьями колеса сообщают фрезе главное вращательное движение, а заготовке – продольную подачу. По окончании фрезерования одной впадины стол отводят в исходное положение и заготовку поворачивают, например, на *1/z* часть оборота (здесь *z* – число зубьев нарезаемого зубчатого колеса). Пальцевыми фрезами нарезают зубчатые колеса больших модулей и шевронные колеса. Машинное время для нарезания прямых зубьев зубчатых колес:

цилиндрических

$$T_M = \frac{(bk + y)z}{ks_M}; \qquad (2.39)$$

косозубых

$$T_M = \frac{(bk + y)z}{ks_M \cos\beta}, \qquad (2.40)$$

где $b$ – длина зуба, мм; $k$ – число одновременно обрабатываемых колес; $y = \sqrt{h(D_ф - h)} + (2 \ldots 4)$ – врезание и перебег, мм (здесь $h$ – высота зуба или глубина врезания; $D_ф$ – наружный диаметр фрезы); $z$ – число зубьев нарезаемого колеса; $s_M$ – подача, мм/мин; $\beta$ – угол наклона зуба к оси колеса.

При работе на горизонтальном или универсальном фрезерном станке время на отвод в исходное положение и время на поворот заготовки с помощью делительной головки относится к вспомогательному времени. Фрезерование зубьев дисковыми и пальцевыми модульными фрезами имеет ограниченное применение, так как не обеспечивается достаточная точность и производительность. Основным недостатком метода копирования является невозможность нарезания инструментом любого числа зубьев определенного модуля. Область применения этого метода – индивидуальное и мелкосерийное производства, ремонтные предприятия. В серийном производстве этот метод используют



для предварительного подрезания зубьев, оставляя на сторонах зубьев заготовки припуски 1 ... 2 мм на окончательную обработку другими, более точными методами. Для повышения производительности нарезания зубьев применяют многоместную наладку станков, заключающуюся в одновременном нарезании зубьев стопки колес одной фрезой и одновременном нарезании нескольких колес набором фрез, установленных на одной оправке.

Высокая производительность и точность в условиях массового производства цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями достигается путем строгания фасонными резцами, резцовыми головками, а также протягиванием зубьев колес протяжками. Если выполнять операцию строгания прямых зубьев фасонным резцом на строгальном или долбежном станках, то основные виды движений классифицируют следующим образом: А – возвратно-поступательное движение резца (главное движение); Б – периодическая радиальная подача заготовки; В – возврат заготовки в исходное положение; Г – деление (поворот на один шаг).

Протягивание впадин между зубьями можно производить последовательно, поворачивая заготовку на один зуб после каждого хода протяжки. Таким способом протягивают зубья больших венцовых колес на вертикальных протяжных станках, снабженных индексирующими столами. Применяя наборную фасонную протяжку, можно за один ее рабочий ход обрабатывать несколько зубьев. При такой обработке получают зубья с высокой точностью профиля. Протягивание фасонных поверхностей – точный и высокопроизводительный метод обработки, поэтому его применяют для обработки профилей зубьев колес. При обработке зубчатых секторов в массовом производстве протягивание вытеснило все другие методы нарезания зубьев благодаря высокой производительности и точности.

**Метод обкатки (огибания).** Метод основан на зацеплении зубчатой пары, элементами которой являются режущий инструмент и заготовка. Режущие лезвия инструмента имеют профиль зуба сопряженной рейки. Боковая поверхность зуба на заготовке образуется как огибающая последовательных положений режущих лезвий инструмента в их относительном движении. Различные положения режущих лезвий относительно формируемого профиля зубьев на заготовке получают в результате кинематически согласованных вращательных движений инструмента и заготовки на зуборезном станке. Обработка зубьев по методу

обкатки осуществляется инструментом, имеющим форму зубчатого колеса, зубчатой рейки, червяка, т.е. такой детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом *(рис. 2.55)*. Инструмент и заготовка воспроизводят движение, соответствующее их зацеплению, т.е. взаимно обкатываются, при этом инструменту сообщается движение резания. В процессе взаимной обкатки инструмента и заготовки режущие кромки инструмента, постоянно удаляя материал из впадин, придают им точные очертания эвольвентного профиля. Метод характеризуется высокой производительностью, универсальностью, т.е. возможностью обрабатывать одним инструментом колеса с любым числом зубьев одного и того же модуля и нарезать коррегированные зубья.

К недостаткам этого метода следует отнести сложность изготовления и высокую точность инструмента (червячные фрезы, долбяки, шевера и др.).

Рассмотрим более подробно некоторые широко распространенные способы зубофрезерования колес по методу обкатки: нарезание с использованием гребенок,червячных фрез,круглых долбяков *(рис. 2.55, а, б, в)*.

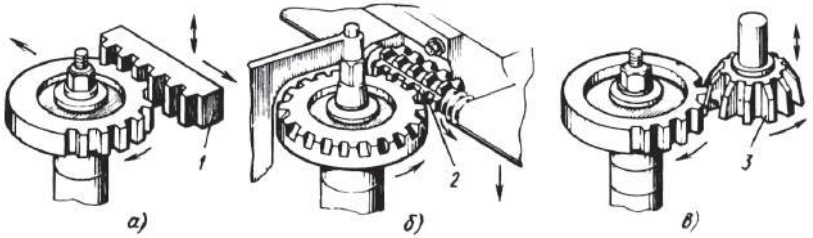



***Рис. 2.55. Обработка зубьев по методу обкатки:***
*1* – рейка; *2* – червячная фреза; *3* – долбяк

При зубофрезеровании червячная фреза вращается и перемещается вдоль оси заготовки. Так как червячная фреза представляет собой ряд реек, режущие лезвия которых расположены на винтовых поверхностях, червячная фреза и заготовка должны находиться в относительном движении, соответствующем зацеплению колеса с рейкой. Вращение фрезы и заготовки связано отношением

$$n_з/n_ф = Ak/z, \qquad (2.41)$$

где $n_з$ – частота вращения заготовки, об/мин; $n_ф$ – частота вращения фрезы, об/мин; $A$ – отношение передач цепи обката; $k$ – число заходов червячной фрезы; $z$ – число нарезаемых на заготовке зубьев.



Отсюда следует, что при каждом обороте червячной фрезы заготовка должна повернуться на $k/z$ часть оборота. Согласованное и непрерывное вращение заготовки и фрезы являются обкаточным движением. На *рис. 2.56* схематично показан метод обкатки (нарезания) зубьев с помощью червячной фрезы. Заготовка *1* нарезаемого колеса жестко связана с делительным червячным колесом *5*, получающим вращение от делительного червяка *4*. Последний кинематически связан с червячной фрезой *2* через сменные колеса *3*. Для сохранения симметричного профиля зубьев ось червячной фрезы устанавливается относительно плоскости перпендикулярной оси заготовки под углом λ, значение которого равно углу подъема витков червячной фрезы.

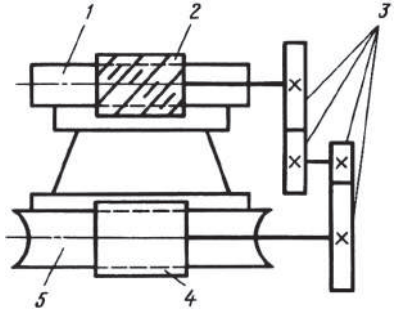



***Рис. 2.56. Нарезание зубьев цилиндрических колес червячной фрезой***

При фрезеровании зубчатых колес с косыми зубьями фрезу устанавливают с учетом угла наклона винтовой линии витков фрезы и угла спирали зуба зубчатого колеса. Если направления наклона винтовой линии фрезы и зубчатого колеса одинаковы, т.е. фреза и зубчатые колеса правозаходные или левозаходные, то угол установки фрезы равен разности углов зубчатого колеса и фрезы, а при разном направлении – их сумме.

В зависимости от модуля устанавливают число проходов фрезы. Так, зубчатое колесо с модулем 2,5 мм нарезается за один проход. Если $m > 2{,}5$ мм, то число проходов увеличивается до трех. Для черновых проходов применяют двухзаходые червячные фрезы, которые увеличивают производительность, но существенно снижают точность обработки. Основное время нарезания прямых и косых зубьев червячной фрезой

$$T_M = \frac{(bk + y)z}{n_ф ski}, \qquad (2.42)$$

$$T_M = \frac{(bk + y)z}{n_ф s k i \cos\beta}, \qquad (2.43)$$

где $b$ – ширина обода колеса, мм; $k$ – число одновременно нарезаемых зубчатых колес; $y$ – длина врезания и перебега, $y$ = 2 ... 3 мм; $z$ – число зубьев; $s$ – подача за один оборот зубчатого колеса, мм/об; $n_ф$ – число оборотов фрезы в минуту; $i$ – число заходов фрезы; β – угол наклона зуба к оси колеса, °.

Врезание фрезы особенно большого диаметра является величиной, значительно влияющей на основное время фрезерования. Однако, если заменить обычное осевое врезание на радиальное, то время врезания можно сократить на 20 ... 30 %.

**Изготовление цилиндрических и глобоидных червяков.** В горном машиностроении применяют червячные передачи с цилиндрическим и глобоидным червяками *(рис. 2.57)*. В глобоидной червячной паре червяк имеет криволинейную поверхность, описанную вращением начальной поверхности колес вокруг оси червяка, вследствие чего в зацеплении находятся одновременно несколько зубьев, что позволяет при одинаковых размерах подачи значительно увеличить передаваемую нагрузку. Глобоидные передачи используют в горнодобывающих машинах и отдельных типах редукторов лебедок и конвейеров. Предварительная обработка заготовок для цилиндрических и глобоидных червяков производится на токарных станках и состоит из центрования, чернового и чистового обтачивания. Основными и наиболее трудоемкими операциями технологического процесса изготовления червяков являются образование профиля витков, термическая обработка и отделка профиля. Нарезание витков цилиндрических червяков можно осуществить: 1) на токарном станке резцом, профиль которого имеет форму и размеры впадины между зубьями червяка; 2) фрезерованием дисковой фрезой на специальном червячно-фрезерном станке; 3) червячной фрезой на зубофрезерном станке; 4) методом обкатки долбяком.

Метод нарезания червяка резцом точный, но малопроизводительный *(рис. 2.58, а)*. При фрезеровании червяка дисковой фрезой *(рис. 2.58, б)* ось вращения фрезы наклонена к оси червяка под углом, равным углу подъема витков червяка. Фрезерование производится сразу на полную глубину витка. Вращающаяся фреза медленно перемещается вдоль оси вращающейся заготовки. За один оборот заготовки фреза перемещается на один шаг. Данный метод значительно производительней предыдущего, но дает меньшую точность вследствии искажения профиля витков червяка в результате наклона оси фрезы в процессе зубонарезания. Поэтому нарезание червяков дисковой фрезой обычно применяют в качестве предварительной операции. Последующие операции обработки осуществляются на токарном и шлифовальных станках.



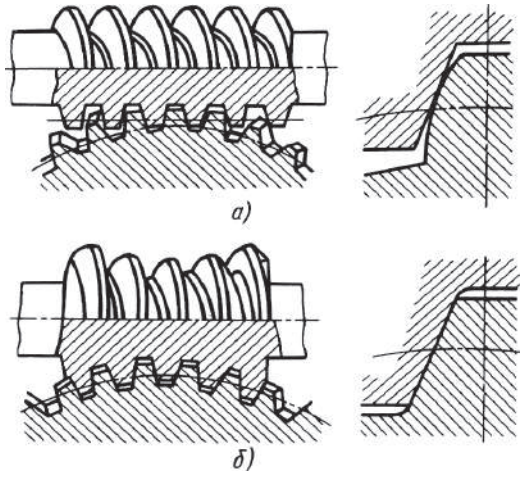



***Рис. 2.57. Червячные передачи:***
*а* – с цилиндрическим червяком; *б* – с глобоидным червяком

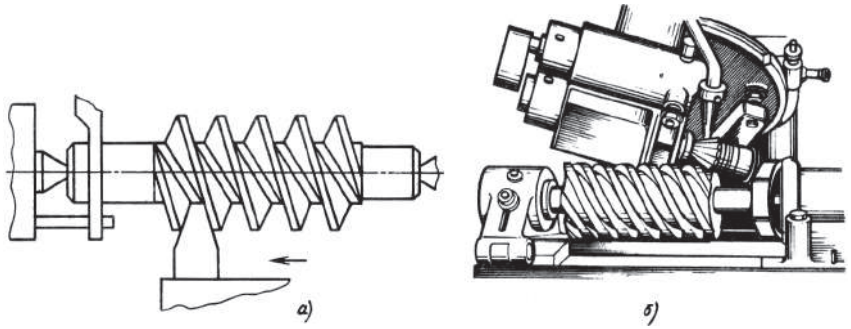



***Рис. 2.58. Нарезание цилиндрического червяка:***
*а* – резцом на токарном станке; *б* – дисковой фрезой

Весьма эффективным является нарезание витков червячной фрезой на зубофрезерном станке при фрезеровании многозаходных червяков. Обработка ведется аналогично процессу нарезания цилиндрического зубчатого колеса. Нарезаемый червяк является как бы зубчатым колесом с числом зубьев, равным числу заходов червяка. Станок настраивается как на нарезание цилиндрического

зубчатого колеса с винтовыми зубьями. При нарезании червячной фрезой также получается искажение профиля витков червяка, в результате чего требуется последующая чистовая обработка. Так, нарезание червяков с модулем до 6 мм и углом наклона винтовой линии до 10° с высокой производительностью можно осуществить многозубыми обкаточными резцами, имеющими форму зуборезного долбяка. Нарезание глобоидных червяков производится на зубофрезерных станках методом обкатывания при помощи трехили многорезцовой головки, а также многозубого обкаточного резца в виде зуборезного долбяка *(рис. 2.59)*. Многорезцовую головку устанавливают на столе станка вместо зубчатого колеса, а нарезаемый червяк – вместо червячной фрезы. После нарезания витков червяк подвергают термической обработке, цементации, закаливанию и отпуску до заданной твердости.

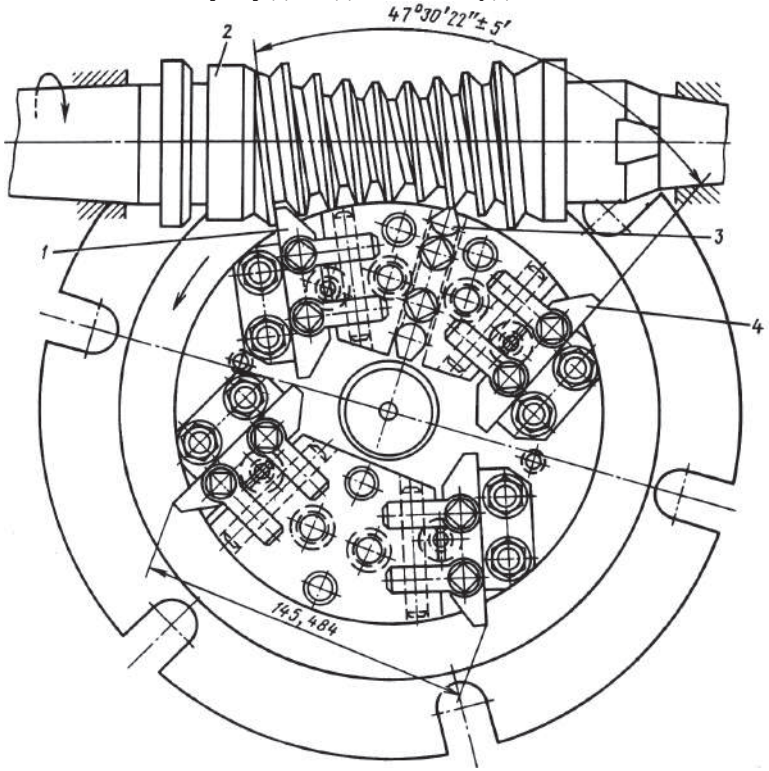



***Рис. 2.59. Нарезание глобоидного червяка:***
*1* – левый резец; *2* – обрабатываемый червяк;
*3* – средний резец; *4* – правый резец



**Изготовление червячных зубчатых колес.** В горном машиностроении обычно применяют червячные колеса, состоящие из двух частей – стальной или чугунной ступицы и насаженного на нее бронзового венца. Ступица и венец проходят раздельно черновую токарную обработку на токарном или карусельном станке. После насадки венца осуществляется чистовая обработка заготовки колеса на токарном или карусельном станке. Сначала обрабатывают отверстие, затем, используя отверстие в качестве базы, ведут обработку наружной поверхности и торцовых плоскостей. При нарезании червячных зубчатых колес ось фрезы устанавливают перпендикулярно оси обрабатываемого колеса и точно по центру ее ширины. При таком расположении заготовки и инструмента достигается полная симметрия нарезаемых зубьев. Процесс нарезания червячных зубчатых колес можно осуществить при радиальном движении подачи, тангенциальном и комбинированном. Наиболее распространено радиальное движение подачи. В этом случае окружная скорость фрезы и червячного колеса определяется таким образом, чтобы за один оборот фрезы зубчатое колесо повернулось на число зубьев, равное числу заходов червяка. Суппорт с фрезой стоит на месте, стол с закрепленным на нем нарезаемым колесом подается в радиальном направлении. Нарезание зубьев червячной фрезой при радиальном и тангенциальном движении подачи *(рис. 2.60, а, б)* применяют в серийном и массовом производстве. В индивидуальном производстве червячное колесо получают довольно простым способом – летучим резцом *(рис. 2.61)*. Резец *1*, закрепленный на оправке *2*, представляет собой однозубую фрезу. При работе с небольшой подачей и некоторым увеличением машинного времени применение такого упрощенного инструмента позволяет получить червячное колесо с зубьями сравнительно высокой точности. Для отделочной обработки зубьев колеса в массовом производстве применяют червячный шевер.

Основное время (мин) нарезания червячного колеса при радиальном движении подачи

$$T_м = 3mz / (s_p n_ф i), \qquad (2.44)$$

где *3* – длина пути инструмента относительно обрабатываемой детали, мм; $m$ – модуль колеса; мм; $z$ – число зубьев нарезаемого колеса; $s_p$ – радиальная подача за один оборот заготовки, мм/об; $n_ф$ – частота вращения фрезы, об/мин; $i$ – число заходов фрезы.

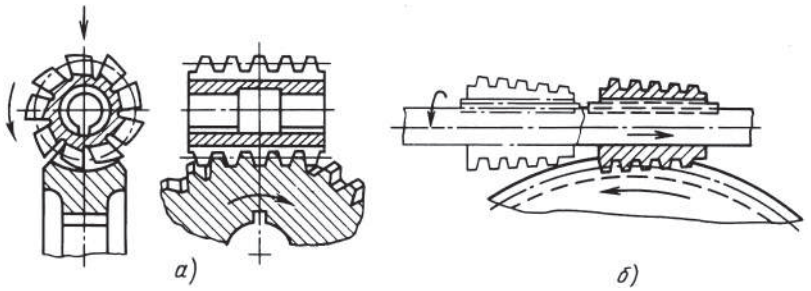



***Рис. 2.60. Нарезание зубьев на червячных колесах:***
*а, б* – соответственно при радиальном и касательном (или тангенциальном) движениях подачи

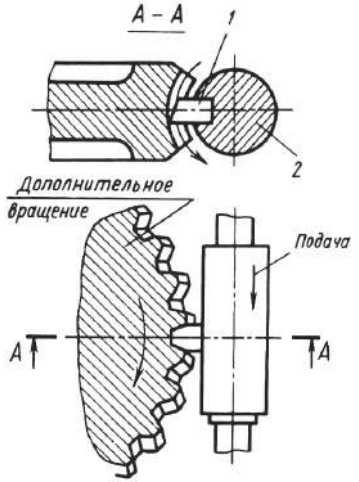



***Рис. 2.61. Нарезание зубьев червячного колеса летучим резцом***

Тангенциальное движение подачи применяют для нарезания червячных колес к многозаходным червякам. Специальный суппорт осуществляет танценциальную подачу фрезы в область нарезания зубьев. Распределение усилий при этом способе позволяет получить более точный профиль зуба и значительно увеличить срок службы инструмента. Машинное время нарезания червячного колеса при тангенциальном движении подачи

$$T_м = \frac{l_0 + l_{вр} + l_n}{s_m n} = \frac{2 \cdot 94 m\sqrt{z}}{s_ф n_ф i} \qquad (2.45)$$

где $l_0 + l_{вр} + l_n = 2 \cdot 94 m\sqrt{z}$ – перемещение фрезы, мм; $s_m$ – тангенциальная подача фрезы на оборот заготовки, мм/об; $s_ф$ – тангенциальная подача фрезы на оборот фрезы, мм/об; $n_ф$ – частота вращения фрезы, об/мм; $n$ – частота вращения заготовки, об/мин; $i$ – число заходов фрезы.



Комбинированное движение подачи применяют при нарезании единичных ненормализованных червячных зубчатых колес. Процесс нарезания производится двумя резцами, включая операции черновой и чистовой обработки. Резцы закрепляют в оправке, представляя каждый как однозубую фрезу. Если нарезание производится двумя резцами, то резец для черновой обработки (врезание) работает при радиальном движении подачи, а резец для чистовой обработки (дорезка зуба) – при тангенциальном движении подачи.

**Нарезание зубчатых колес долблением.** Процесс нарезания зубьев цилиндрических, прямозубых и косозубых колес долблением производится долбяками в виде колес и реек на зубодолбежных станках, работающих по методу обкатки. Зубодолбление основано на принципе зацепления двух сопрягаемых прямозубых *(рис. 2.62, а)* и косозубых *(рис. 2.62, б)* зубчатых колес. Долбяк, являющийся режущим инструментом, имеет форму шестерни того же модуля, что и нарезаемое зубчатое колесо. Частота вращения заготовки колеса $n_з$ и долбяка $n_д$ связаны соотношением

$$n_з / n_д = z_д / z_з. \qquad (2.46)$$

где $n_д$ – число зубьев долбяка; $z_з$ – число зубьев нарезаемого колеса.

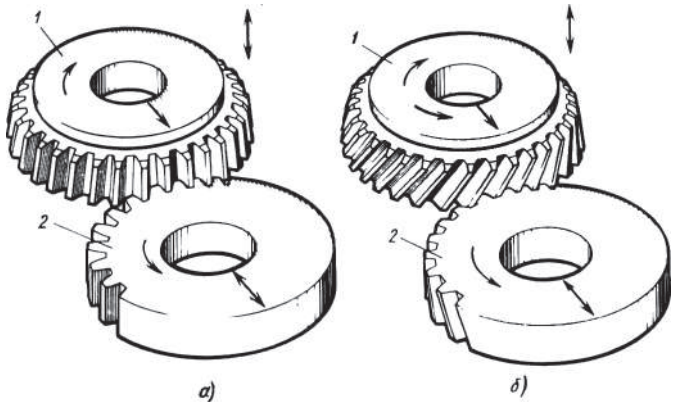



***Рис. 2.62. Схема долбления зубьев:***
*а, б* – соответственно прямозубых и косозубых колес; *1* – долбяк; *2* – заготовка колеса

Долбяки диаметрами 100 и 75 мм применяют для наружного и внутреннего нарезания колес. Для нарезания косозубых колес необходим долбяк со спиральным зубом и с тем же углом подъема спирали, что и нарезаемое колесо. Долбяк получает добавочное вращение по винтовой линии от спирального копира. Долбяки диаметрами 25 и 50 мм используют для внутреннего планирования, т.е. для колес с внутренним зацеплением. Обработка производится за 1–3 прохода. По мере возрастания модуля колеса увеличивается число проходов. При нарезании зубьев долблением имеем следующие виды движений *(рис. 2.62)*: 1) долбяк и нарезаемая шестерня вращаются вокруг своих осей, осуществляя круговую подачу долбяка; 2) долбяк движется по вертикали, образуя рабочий и холостой ходы; 3) для врезания на глубину зуба долбяк имеет движение к центру нарезаемой шестерни, называемое горизонтальной подачей или подачей врезания; 4) отход стола с нарезаемой шестерней от долбяка при его холостом ходе во избежание притупления режущих кромок долбяка о поверхность нарезаемой шестерни; 5) подход стола к долбяку.

Частоту движения долбяка определяют по номограмме, приведенной на *рис. 2.63*.

Основное время (мин) нарезание зубчатых колес на зубодолбежных станках

$$T_м = \frac{h}{s_p n} + \frac{\pi m z}{s_k n} k, \qquad (2.47)$$

где $h$ – высота зуба, мм; $s_p$ – радиальная подача на двойной ход долбяка, мм; $n$ – число двойных ходов долбяка в минуту; $s_K$ – круговая подача зубчатого колеса на двойной ход долбяка, мм; $k$ – число проходов; $z$ – число зубьев; $m$ – модуль колеса, мм.

Зубодолбление долбяком в виде режущей рейки (гребенки) применяют редко. Зуб колеса обрабатывается только при рабочем поступательном движении гребенки в одном направлении, а при возврате в исходное положение гребенка отводится от заготовки. Применение рейки в качестве режущего инструмента позволяет произвести нарезание косозубого колеса, повернув суппорт с гребенкой на угол наклона зуба. Зубья большого модуля экономичнее нарезать гребенкой, чем режущим колесом. Для увеличения производительности зубодолбежных станков при нарезании зубчатых колес малых и средних модулей применяют комбинированные долбяки, которые производят последовательно черновое и чистовое нарезание зубьев за один оборот долбяка. У таких долбяков одна часть зубьев, имеющих уменьшенную толщину, служит для чернового долбления, другая – для чистового. На долбяке имеются участки без зубьев, позволяющие снимать и одевать зубчатые колеса на оправку. Комбинированные долбяки непригодны для нарезания зубчатых колес с большим числом зубьев, так как число зубьев долбяка должно быть равно удвоенному числу зубьев нарезаемой шестерни, благодаря чему получают долбяк больших размеров.



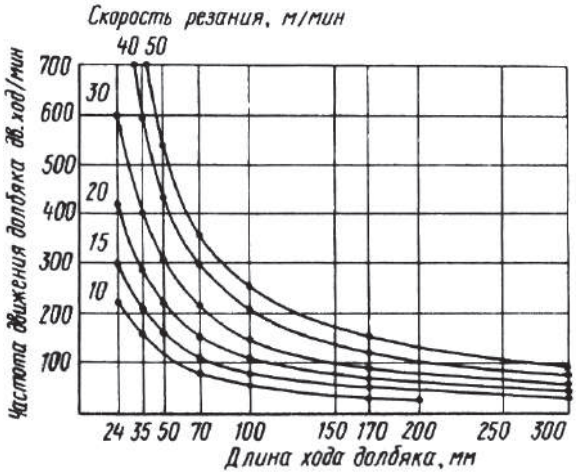



***Рис. 2.63. Номограмма для определения частоты движения долбяка в зависимости от скорости резания***

Процесс нарезания зубьев долбяками осуществляется на зубодолбежных станках, которые по расположению оси разделяют на вертикальные и горизонтальные. Горизонтальные станки используют для нарезания шевронных колес, их оснащают двумя долбяками. Вертикальные станки предназначены для обработки колес размером 80 ... 2000 мм.

Станки для долбления зубчатых реек являются специальными. Например, станок КН–28 для реек длиной до 500 мм изготовляют на базе зубодолбежного станка 5122. Способ зубодолбления обладает высокой производительностью и позволяет получить высокую точность изготовления зубчатых колес (7 ... 8 ступени). Несмотря на это процесс зубодолбления обладает следующими недостатками: снижается точность обработки вследствие возвратно-поступательного движения больших масс; деформируется

зубчатый венец при обработке, в результате снижается точность профиля зубьев; при обработке косозубых колес требуется применение специального долбяка и специальных витков-направляющих для каждого угла наклона винтовой линии зубьев; погрешности долбяка оказывают влияние на обрабатываемую заготовку.

Долбление зубьев можно осуществить по методу копирования с помощью многорезцовой головки. Способ заключается в одновременном изготовлении всех зубьев колеса благодаря использованию набора профильных резцов, число которых .равно числу зубьев обрабатываемых колес. Резцы расположены в радиальных пазах неподвижной резцовой головки. Заготовку устанавливают на оправку шпинделя станка, расположенную вертикально и имеющую возвратно-поступательное движение (вверх-вниз). Когда оправка идет вверх, заготовка проходит внутрь неподвижной резцовой головки и все резцы одновременно нарезают зубья. Перед началом рабочего хода все резцы одновременно перемещаются в радиальном направлении. При холостом ходе, когда заготовка выходит из резцовой головки, резцы отодвигаются в радиальном направлении для уменьшения трения задних поверхностей резцов об обрабатываемую поверхность зубьев. Метод является наиболее высокопроизводительным по сравнению с другими методами зубонарезания, но дает невысокую точность (8 ... 9 степень), экономически целесообразен в условиях массового серийного производства зубчатых колес.

Анализ рассмотренных способов производства зубчатых колес позволяет сделать вывод о целесообразности применения того или иного способа для процесса зубонарезания. Если модуль зубчатых колес $m \le 2{,}5$ мм, то по точности изготовления и производительности предпочтение следует отдать зубодолблению. При модуле $m = 2{,}5$ мм с точки зрения производительности процессы зубодолбления и зубофрезерования равноценны, если $m > 5$, то более производительным способом является зубофрезерование.

**Метод зуботочения для нарезания цилиндрических зубчатых колес.** Новый метод нарезания зубьев, называемый зуботочением, предназначен для нарезания прямых и косых зубьев цилиндрических зубчатых колес на зубофрезерных станках. В качестве инструмента используют долбяк в виде режущего колеса. Метод позволяет производить нарезку зубьев колес с большим числом зубьев, более 80. Зацепление инструмента с нарезаемым зубчатым колесом рассматривается как зацепление двух винтовых зубчатых колес, при котором происходит продольное скольжение поверхностей зубьев, являющееся в данном случае движением резания. На зубофрезерном станке вместо червячной фрезы устанавливают долбяк под углом к оси заготовки. Долбяк вращается, производя движение подачи вдоль оси заготовки. Углы подъема долбяка и заготовки, а также угол наклона суппорта станка подбирают таким образом, чтобы суммарный угол был равен 90°. Производительность этого метода в 2 – 4 раза выше зубофрезерования однозаходной фрезой. Основное время (мин) операции зуботочения



$$T_M = \frac{l_0 + l_{вр} + l_n}{snz_Д} z \qquad (2.48)$$

где $l_0$ – длина зуба, мм; $l_{вр}$, $l_n$ – длина врезания и перебега, мм; $s$ – подача на один оборот заготовки, мм; $n$ — число оборотов долбяка, об/мин; $z_Д$ – число зубьев долбяка; $z$ – число зубьев обрабатываемого колеса.

**Нарезание зубьев конических зубчатых колес.** В горном машиностроении применяют конические зубчатые колеса с прямыми и спиральными зубьями *7* ... *11* степени точности. Прямые и косые зубья конических зубчатых колес *7* и *8* степени точности нарезают на специальных станках, а при отсутствии их – на универсально-фрезерном станке дисковыми модульными фрезами с использованием делительной головки. Заготовку *1 (рис. 2.64, а)* конического зубчатого колеса устанавливают на оправке в шпиндель *2* делительной головки, установленной в вертикальной плоскости под таким углом, при котором образующаяся впадина между двумя зубьями занимает горизонтальное положение. Зубья нарезают за три прохода, при малых модулях ($m = 3$ мм) – за два. При первом проходе получают впадину между зубьями шириной $a_2$ *(рис. 2.64, б)*. При этом форма фрезы соответствует форме впадины на ее узком конце. За последующие проходы, поворачивая стол делительной головки в соответствующую сторону на угол $\alpha_1$, фрезеруют площадки *3* и *4* модульной фрезой, профиль которой соответствует наружному профилю зуба. Профиль зуба

$$tg\,\alpha = (a_1 - a_2)/(2b), \qquad (2.49)$$

где $a_1$ и $a_2$ – ширина впадины между зубьями соответственно на ее широком и узком концах, мм; $b$ – длина зуба, мм.

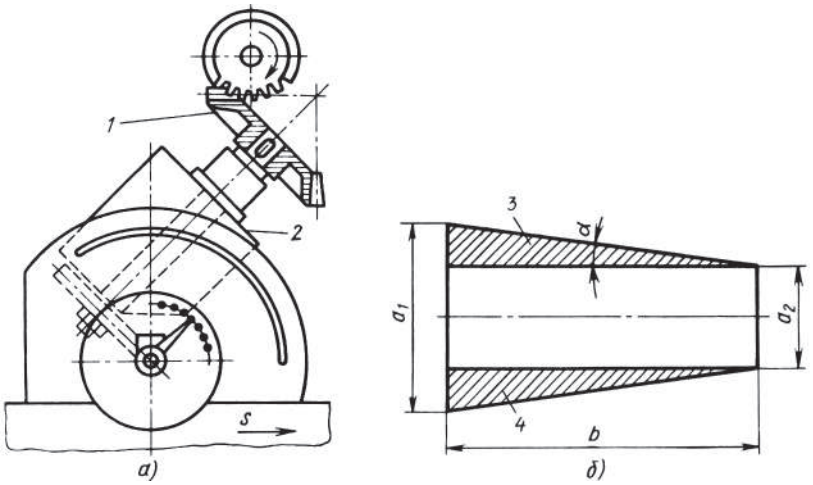



***Рис. 2.64. Нарезание конического зубчатого колеса дисковой модульной фрезой:***
*а* – положение заготовки при фрезеровании;
*б* – фрезерование впадины между зубьями

При обработке точных конических колес с модулем более 4 мм в условиях крупносерийного производства выгодно применять специальные многопозиционные станки-автоматы для предварительного прорезания впадин.

Высокой производительностью обладают многошпиндельные станки, имеющие устройство для автоматического деления и одновременного поворота всех обрабатываемых заготовок и рассчитанные на работу твердосплавным инструментом. Окончательную обработку прямых зубьев конических колес производят на зубострогальных станках методом обкатывания. Принцип работы зубострогального станка основан на воспроизведении движения обкатывания колеса *5 (рис. 2.65)* по воображаемому плоскому колесу *3*, одним из зубьев которого как бы являются два строгальный резца *7* и *2*, закрепленных в ползушках *4* и совершающих возвратно–поступательное движение. Нарезание осуществляется при возвратно–поступательном движении двух резцов вдоль образующей конуса колеса *5* (движение резания), вращательном движении планшайбы с ползушками и закрепленными на них резцами (движение обкатывания) и вращательном движении заготовки (круговая подача и движение обкатывания).



Возвратно-поступательное движение совершается попеременно каждым резцом, обрабатывающим одну сторону профиля зуба. При движении одного резца по направлению к центру другой резец в это время движется в обратном направлении. После обработки каждого зуба заготовка поворачивается на следующий зуб при помощи делительного механизма, и таким образом производится нарезание всех зубьев колеса.

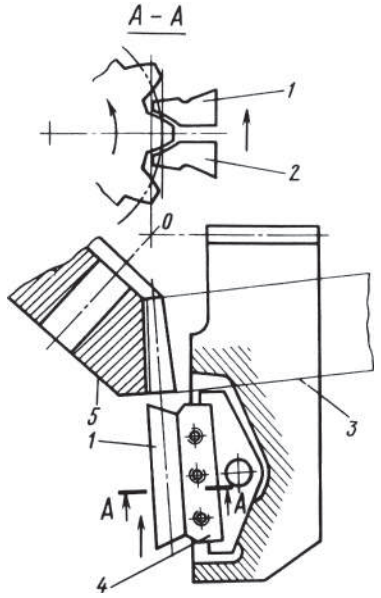



***Рис. 2.65. Нарезание зубьев конического колеса на зубострогальном станке***

Нарезание прямозубых конических колес осуществляется на зубострогальных станках по методу обкатки. При обработке крупномодульных зубчатых колес ($m$ = 5) целесообразно предварительно прорезать зубья профильными дисковыми фрезами по методу копирования. Это разгружает точные зубострогальные станки от черновой обработки. Предварительно фрезеровать можно одну или одновременно несколько заготовок. Чистовое нарезание зубьев конических колес производят на зубострогальном станке по схеме, приведенной на *рис. 2.65*. Два закрепленных резца совершают прямолинейное возвратно-поступательное движение вдоль зубьев обрабатываемого колеса. При обратном

ходе резцы отводятся от поверхности обработки, что уменьшает изнашивание режущей кромки инструмента. Взаимное обкатывание колеса и резцов обеспечивает получение эвольвентного профиля.

Для обработки прямых и косых зубьев небольших зубчатых колес в последнее время применяют круговое протягивание. В качестве режущего инструмента используют круговую протяжку, состоящую из нескольких секций фасонных резцов (15 секций по пять резцов в каждой секции) *(рис. 2.66)*. Резцы с изменяющимся профилем расположены в протяжке в следующей последовательности: для черновой, получистовой и чистовой обработки при нарезании зубьев. Протяжка вращается с постоянной угловой скоростью и в то же время совершает поступательное движение с различной скоростью на пути нарезания. За один проход протяжка полностью обрабатывает одну впадину зуба. В процессе нарезания заготовка неподвижна. Для обработки следующей впадины она поворачивается на один зуб. Способ кругового протягивания обладает высокой производительностью, но точность его несколько ниже, чем при обкатке. Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями выполняют на специальных станках. Различают головки цельные и со вставными резцами.

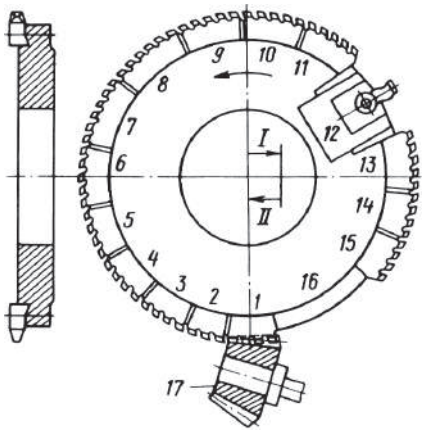



***Рис. 2.66. Круговое протягивание зубьев конического колеса:***
*1–11* – блоки с резцами предварительного протягивания;
*12* – фасочный резец; *13–15* – блоки с резцами чистового протягивания; *16* – участок без резцов; *17* – заготовка



Черновое нарезание зубьев конических колес с большим числом зубьев производят методом копирования, при котором обрабатываемая заготовка закреплена неподвижно, вращается резцовая головка, которая перемещается вдоль оси и поочередно прорезает впадины зубьев. Этот метод производительнее обкатки, используемой для нарезания колес с малым числом зубьев. Чистовое нарезание зубьев конических колес производится методом обкатки. Колеса нарезают двусторонними головками с большим числом зубьев и односторонними – с малым числом зубьев. Основное время (мин) нарезания конических зубчатых колес с криволинейными зубьями

$$T_{м} = (t + \tau)\, z / 60, \qquad (2.50)$$

где $t$ – время нарезания одной впадины зуба, с; $\tau$ – время поворота заготовки на один зуб, подвод и отвод ее в исходное положение, с; $z$ – число зубьев нарезаемого колеса.

**Накатывание зубьев зубчатых колес.** К числу прогрессивных способов зубообразования следует отнести процесс изготовления накаткой, что исключает образование стружки, т.е. технология производства зубчатых колес практически становится безотходной. Сущность накатывания зубьев состоит в том, что стальное закаленное колесо, называемое накатником, вращается, находясь в зацеплении с накатываемым колесом, и постепенно внедряется в него, выдавливая металл и образуя зубья. Технология накатывания зубьев в 15 ... 20 раз производительней зубонарезания. Процесс накатки осуществляют в холодном и горячем состоянии в зависимости от модуля ($m$ = 1 мм – холодное деформирование, $m$ > 1 мм – горячее деформирование).

Колеса с зубьями малого модуля могут накатываться на токарных станках по следующей схеме. На оправке, установленной в центрах, закрепляют заготовки и делительное колесо, находящееся в начале процесса в зацеплении с двумя или тремя накатниками, закрепленными на суппорте станка. При выходе из зацепления с колесом накатник приводится во вращение зубьями накатанной части заготовки. Для образования симметричного профиля зубьев чередуются прямое и обратное вращение шпинделя. Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного формообразования зуба. Точность колеса при накатывании имеет 7 ... 8-ю. степень точности. При горячем накатывании заготовку нагревают до температуры 1000 ... 1200 °С, после чего про-

изводят накатку зубьев. Обычно применяют высокочастотный нагрев с длительностью 20 ... 30 с. Горячее накатывание производится при радиальной и продольной подаче. Заготовка вращается под действием накатников. Реборды накатников препятствуют разбрызгиванию металла в стороны, что способствует более полному формообразованию зубьев. Перед накатыванием заготовки с оправкой опускаются в высокочастотный индуктор для предварительного нагревания. Горячее накатывание при продольной подаче производится при перемещении заготовки от индуктора снизу вверх. Получаемые таким образом зубчатые колеса имеют степень точности 8 ... 9. Для повышения точности применяют комбинированное накатывание, заключающееся в горячем накатывании с последующей холодной калибровкой. Колеса с модулем зубьев 4,5 ... 5 мм получают диаметром 200 ... 450 мм. Способ производителен, время накатывания зубьев для таких колес составляет 1 ... 2 минуты. Процесс накатывания способствует увеличению износостойкости зубчатых колес благодаря поверхностному упрочнению металла, что повышает срок их службы.

**Отделочная обработка зубьев колес.** Бесшумность работы зубчатой передачи, плавность движения, износостойкость, прочность зависят от тщательной обработки боковых поверхностей зубьев.

Отделочная обработка зубчатых колес включает операции обкатки, шевингования, шлифования, притирки и приработки. Кроме того, к заключительному этапу обработки зубчатых колес можно отнести такие технологические операции, как закругление зубьев колес, снятие фасок на торцах зубьев, зубохонингование и электрополирование.

При *обкатке зубьев* гладкую поверхность незакаленных зубьев получают благодаря давлению, создаваемому между зубьями обрабатываемой шестерни и закаленными полированными зубьями эталонной шестерни. Обкатывание производится вращением ведущей шестерни-калибра *3 (рис. 2.67)* в обе стороны с одинаковой частотой вращения (3 ... 25 об/мин). Давление шестерен–калибров *3* и *5* на обкатываемое колесо *2* создается поршневым пневмоустройством *4* и опорным колесом *1*. Обкатка не устраняет погрешности профиля зуба. Процесс обкатки, сопровождаемый пластическим деформированием поверхности, способствует упрочнению зубьев и повышению их износостойкости.



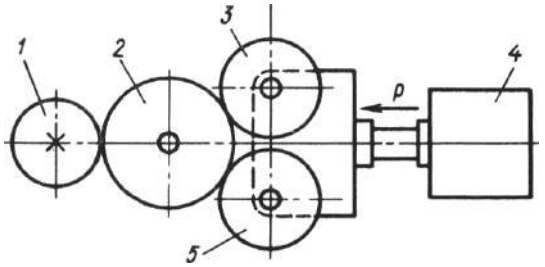



***Рис. 2.67. Обкатка цилиндрического зубчатого колеса***

*Шевингованием* называют процесс чистовой отделки зубьев колеса. Этот процесс заключается в удалении очень мелких стружек (0,001... 0,005 мм) специальным инструментом – шевером. Шевингование производится шевер-рейкой *(рис. 2.68, а)* или дисковым шевером *(рис. 2.68, б)*. Шевер имеет обычную форму зубчатого колеса. На поверхности каждого зуба шевера имеются мелкие канавки. Кромки этих канавок являются режущими элементами. Процесс снятия стружки шевером происходит при движении обрабатываемого зубчатого колеса и шевера, находящихся в зацеплении. При этом имеет место относительное скольжение поверхности зацепляющихся зубьев шестерни и шевера. В станках с шевером-рейкой рейка возвратно-поступательно перемещается. Она имеет 50 ... 80 закаленных зубьев, выполненных с большой точностью. В шеверах, обрабатывающих прямозубые шестерни, зубья расположены под углом к оси рейки. При обработке прямозубых цилиндрических колес используют рейки с косым зубом. Обрабатываемое зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с шевером, приводится им во вращение. При свободном перемещении шестерня из положения I по рейке-шеверу переместится в положение II. При этом создается относительное скольжение зубьев обрабатываемой поверхности шестерни и колеса. В результате скольжения сопряженных поверхностей зубьев режущие кромки шевера удаляют тонкий слой металла с поверхности зубьев шестерни. Плоское шевингование не нашло широкого применения вследствие невозможности обработки зубьев внутреннего зацепления, бочкообразных зубьев, высокой стоимости инструмента и сложности применяемого оборудования.

Для отделки зубьев, кроме плоского шевингования, широко используют метод круглого шевингования. В качестве отделочного инструмента применяют шевер-шестерню с прорезанными

на зубьях канавками глубиной 0,6 ... 1,0 мм. Косозубые зубчатые колеса обрабатываются прямозубыми или косозубыми шеверами с обязательно выдерживаемыми углами скрещивания осей шевера и зубчатого колеса в пределах 10 ... 15°. Пересечение осей необходимо для создания продольного скольжения зубьев шевера вдоль зубьев шестерни, при котором происходит снятие стружки шевером с поверхности зуба. Шевер в процессе работы находится в зацеплении с обрабатываемой шестерней, закрепленной на оправке. Во вращение шестерня приводится шевером. При обработке зубьев круглым шевером, в отличие от шевингования плоским шевером, контактирование происходит не по прямой линии, а в одной точке. Возвратно-поступательное движение в направлении оси колеса осуществляется столом при подаче 0,15 ... 0,3 мм за один оборот обрабатываемой шестерни. Вертикальная подача составляет 0,025 ... 0,04 мм за один ход стола. После каждого хода стола изменяется направление вращения шевера и обрабатываемой шестерни. К преимуществам круглого шевингования можно отнести возможность отделки зубчатых колес внутреннего зацепления, зубьев любого профиля, более низкую стоимость инструмента по сравнению с шевером-рейкой, надежный отвод стружки.

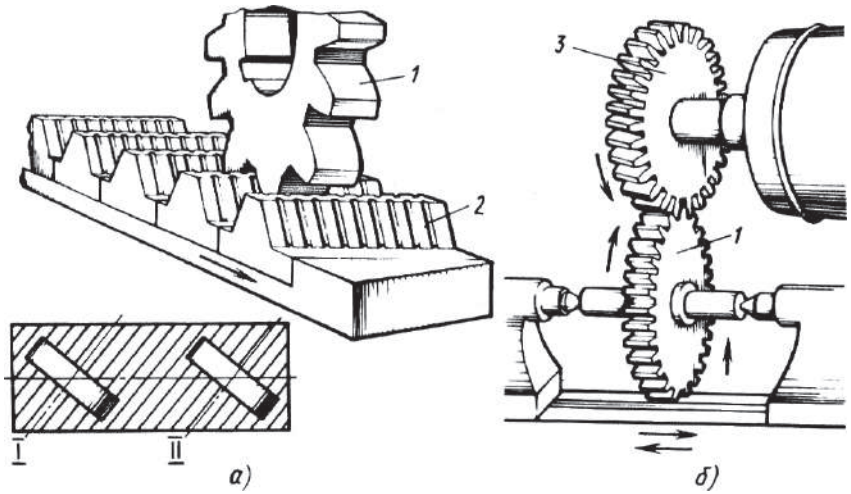



***Рис. 2.68. Шевингование зубьев конических колес:***
*а* – шевер–рейкой; *б* – дисковый шевером;
*1* – обрабатываемое колесо; *2* – плоский шевер; *3* – дисковый шевер



*Зубохонингование*, как чистовой метод обкатки зубьев, аналогичен шевингованию, но вместо шевера режущим инструментом служит абразивное колесо (хон) того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Хонингованию подвергают закаленные зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями. Зубохонингование производится на специальных станках. Обрабатываемое зубчатое колесо, установленное в центрах станка, приводится во вращение абразивным зубчатым колесом (хоном) с большой окружной скоростью, оно совершает со столом возвратно-поступательное движение, между осями хона и колеса угол скрещивания составляет 15 ... 18°. При хонинговании, так же как и при шевинговании, с обрабатываемого колеса снимается небольшой слой металла (припуск 0,01 мм на толщину зуба).

*Электрополированию* подвергают поверхности закаленных зубчатых колес после их шлифования для уменьшения шероховатости рабочих поверхностей. Электрополирование осуществляется в специальных ваннах и заключается в анодном растворении слоя металла зубчатого колеса (анода) в агрессивной кислотной среде под действием электрического тока. Катодом служит металлический каркас, выполненный по форме обрабатываемого колеса.

*Шлифование* применяют для получения высокой точности (5 ... 6 степени) закаленных зубчатых колес. Шлифование зубьев с эвольвентным профилем производится методами копирования и обкатки. Метод копирования заключается в шлифовании зубьев абразивным кругом, профиль которого соответствует впадине зубьев. Эта операция аналогична процессу зубофрезерования модульной дисковой фрезой. На *рис. 2.69* приведена схема зубошлифования по методу копирования. Круг, выполненный по эвольвентному профилю, перемещается в процессе шлифования вдоль оси шестерни. Обрабатываемая шестерня устанавливается на оправку и после каждого двойного хода абразивного круга автоматически поворачивается на один или несколько зубьев. После этого цикл повторяется. Шлифование производится за 3 ... 4 прохода круга по каждой впадине зуба. Удаляемый припуск на сторону зуба при этом составляет 0,1 ... 0,12 мм. Машинное время (мин) зубошлифования методом копирования

$$T_м = \frac{2Likz}{1000v} \qquad (2.51)$$

где $L$ – длина хода стола, мм; $i$ – число проходов; $k$ = 1,3 ... 1,5 – коэффициент, учитывающий время деления, т.е. поворота зубчатого колеса на один зуб; $z$ – число зубьев; $v$ – скорость возвратно-поступательного движения стола.

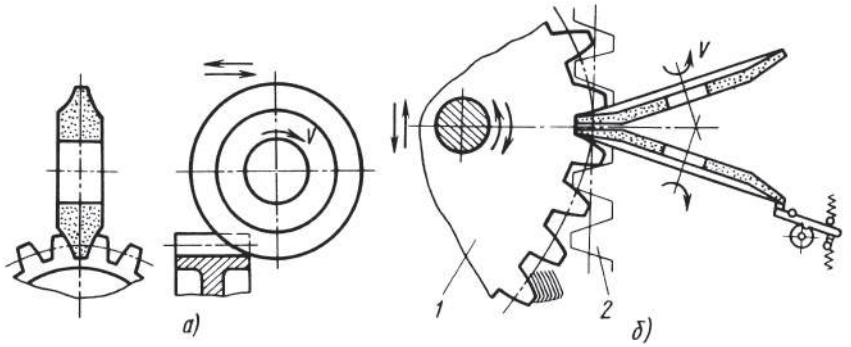



***Рис. 2.69. Зубошлифование:***
*а* – одним профильным шлифовальным кругом методом копирования; *б* – двумя тарельчатыми шлифовальными кругами методом обкатки

Длина хода стола (мм)

$$L = b + \sqrt{h\,(D - h)} + 10, \qquad (2.52)$$

где $b$ и $h$ – соответственно длина и высота зуба; $D$ – диаметр круга, мм; 10 – перебег стола, мм.

Шлифование зубьев методом обкатывания можно производить одним абразивным кругом и двумя кругами *(рис. 2.69, б)*. При обработке зубьев двумя кругами оси кругов наклоняют друг относительно друга так, что их рабочие плоскости условно образуют зуб рейки *2*, по которой обкатывается обрабатываемая шестерня *1*. При отделке зубчатых колес с малым модулем одновременной обработке подвергают стороны двух соседних впадин. Шестерни с модулем, равным 9 мм и более, одновременно шлифуют обе стороны зуба. Для отделки шестерню закрепляют на оправке или в центрах на каретке станка, перемещающейся возвратно-поступательно вдоль оси шестерни. Кроме того, каретка с закрепленной шестерней имеет два согласованных движения; возвратно-вращательное вокруг оси шестерни и возвратно-поступательное в направлении, перпендикулярном оси шестерни. При комбинации этих движений создаются условия перекатывания шестерни без скольжения по зубу рейки, образованному



рабочими плоскостями шлифовальных кругов. Шестерня поворачивается на угловой шаг после обработки каждого зуба. Таким образом можно шлифовать прямозубые и косозубые шестерни с высокой степенью точности. Недостаток рассматриваемого способа – низкая производительность и высокая стоимость обработки. Машинное время (мин) зубошлифования методом обкатки двумя тарельчатыми кругами

$$T_м = \left(\frac{Li}{ns} + it\right) z, \qquad (2.53)$$

где $L$ – длина хода стола, мм; $i$ – число проходов; $n$ – частота вращения, 1/мин; $s$ – продольная подача за один обкат, мм; $t$ – время на переключение и деление, мин; $z$ – число зубьев колеса.

Длина хода стола (мм)

$$L = b + 2\sqrt{h\,(D - h)} + 10. \qquad (2.54)$$

Для повышения производительности метода обкатки непрерывное зубошлифование производится абразивными червячными колесами.

*Притирку зубьев зубчатых колес* широко применяют для окончательной отделки зубьев после их термообработки, иногда вместо операции шлифования, которая является малопроизводительной. Притирка предназначена для получения зубчатых, колес высокой точности. Процесс притирки *(рис. 2.70)* заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо *3* вращается в зацеплении с чугунными шестернями-притирами *1*, *2* и *4*, смазываемыми пастой из смеси мелкого абразивного порошка с маслом. Для ускорения процесса притирки обрабатываемое зубчатое колесо и притиры имеют в осевом направлении возвратно-поступательное движение друг относительно друга. Притирочные станки изготовляют с параллельными и скрещивающимися осями притиров. При использовании притиров со скрещивающимися осями образуется винтовая пара и обеспечивается более ровная притирка вследствие относительного скольжения. Иногда для притирки зубьев зубчатых колес используют чугунный червячный притир диаметром 300 ... 400 мм. Эту операцию осуществляют на зубофрезерных станках. Притирка дает высокое качество поверхности: 7 ... 5 квалитеты точности при шероховатости (*Ra*) в пределах 0,1 ... 0,25 мкм.

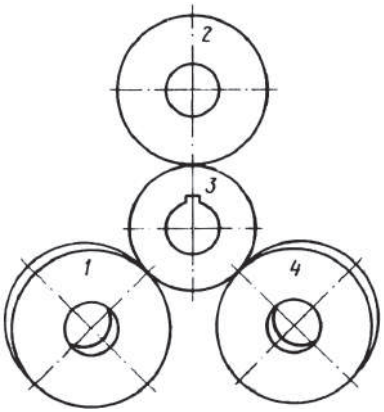



***Рис. 2.70. Притирка цилиндрического зубчатого колеса***

**Методы контроля зубчатых колес.** Зубчатые колеса подвергают обязательному контролю.

Для каждого вида передачи разработан стандарт, который содержит допускаемые отклонения кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Стандартные методы контроля предусматривают комплекс показателей, которые устанавливают в зависимости от применяемой технологии и принятой системы контроля. Учитывается точность передачи, размер измеряемых колес, объем и условие производства, а также наличие измерительных средств. Нормы точности приведены в стандартах контроля цилиндрических, конических и червячных передач.

На *рис. 2.71, а – з* приведены погрешности цилиндрических зубчатых колес (ГОСТ 1643–81).

*Контроль кинематической точности* зубчатого колеса осуществляется для выявления полной погрешности его угла поворота за один оборот колеса. Это отклонение возникает в результате непостоянства радиального положения осей заготовки и инструмента в процессе нарезания колеса, а также в результате погрешности цепи обката зубообрабатывающего станка. В нормы кинематической точности входят следующие показатели: кинематическая погрешность зубчатого колеса $F_{ir}$, накопленная погрешность по зубчатому колесу $F_{pr}$ или на $k$ шагах $F_{pkr}$, радиальное биение зубчатого венца $F_{rr}$, погрешность обката $F_{cr}$, колебание длины общей нормали $F_{0wc}$ и колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса $F_{ir}''$. Кинематическая точность колеса может быть определена при использовании одного из этих показателей или их комплекса, что регламентировано стандартом. Накопленная погрешность шага $F_{pr}$ может быть определена абсолютным или относительным методом. Абсолютный метод контроля положения зубьев определяется угломером типа БВ–5013. Относительный метод контроля заключается в измерении отклонений окружного шага на каждом зубе, по которым определяется суммарное значение этих отклонений. Принцип работы прибора с ручным измерением накопленной погрешности окружного шага заключается в использовании мерительных наконечников, вводимых во впадину зуба. Кинематическая точность колеса может быть оценена при комплексном двухпрофильном контроле. В этом случае производится запись межосевого расстояния при обкате контролируемого колеса, находящегося в плотном зацеплении с измерительным эталонным колесом. В результате имеющейся погрешности зубьев контролируемого колеса происходит смещение одного из колес, которое фиксируется по индикатору.



*Контроль плавности работы* зубчатых колес производят для определения составляющих полной погрешности угла поворота колеса на один оборот. В нормы плавности входят следующие показатели: циклическая погрешность зубчатого колеса $f_{zkr}$, местная кинематическая погрешность $f_{ir}$, отклонение шага $f_{pbr}$, отклонение шага зацепления $f_{pbr}$, погрешность профиля зуба $f_{fr}$ и колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе $f_{ir}''$.

Наиболее распространенным методом контроля плавности является контроль профиля зуба. С отклонением профиля от теоретической кривой связаны погрешности режущего инструмента, поэтому эта проверка производится как при приемке зубчатых колес, так и при отладке технологического процесса. Измерение профиля зубьев производят на приборах, называемых эвольвентомерами. В процессе контроля прибор воспроизводит эвольвентную кривую. Существуют эвольвентомеры со сменными дисками обката и универсальные, не требующие специальной оснастки. В универсальном эвольвентомере КЭУ–СМА теоретическая эвольвента воспроизводится эвольвентным кулаком. Погрешность профиля записывается устройством в виде волнистой линии, а идеальная эвольвента – в виде прямой линии.

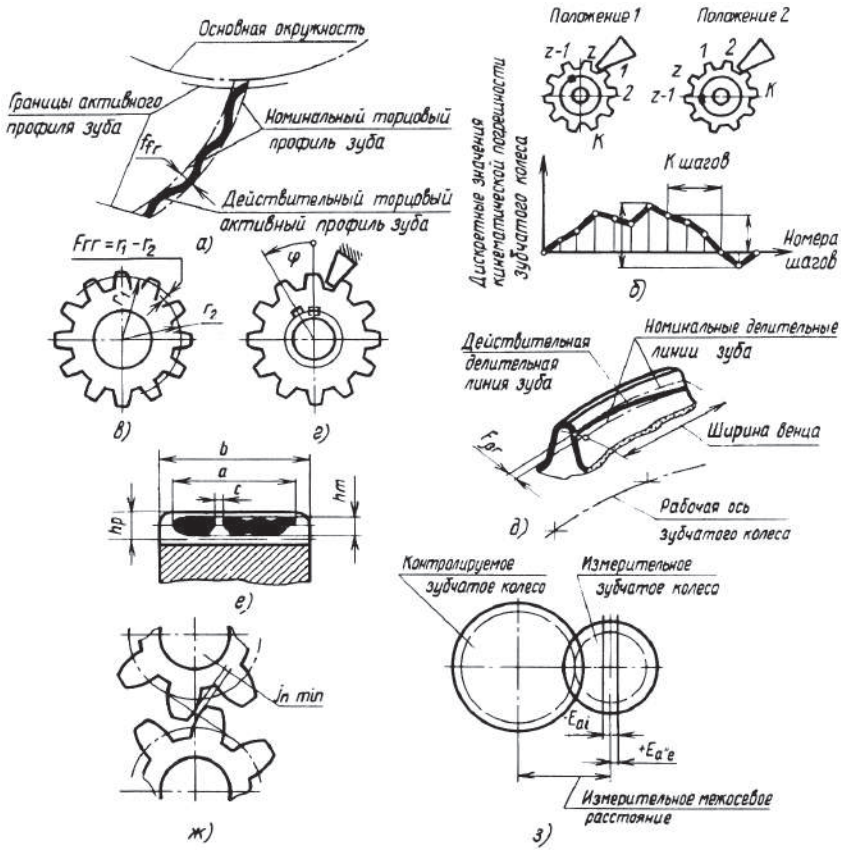



***Рис. 2.71. Виды погрешностей зубчатых колес (ГОСТ 1643–81):***
*а* – профиль зуба; *б* – накопленная кинематическая погрешность; *в* – радиальное биение зубчатого венца; *г* – отклонение шага; *д* – направление зуба; *е* – пятно контакта; *ж* – гарантированный боковой зазор; *з* – измерительное межосевое расстояние

*Контроль контакта* зубчатых колес производится для выявления суммарного пятна контакта измеряемого колеса с парным колесом в передаче или с измерительным колесом. Нормы контакта включают показатели отклонения осевых шагов по нормали $F_{pxnr}$, погрешность формы и расположения контактной линии $F_{kr}$, отклонение шага зацепления $f_{pbr}$ и погрешность направления зуба $F_{\beta}$. Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего из колес или измерительное колесо покрывают



тонким слоем краски. Обкат зубчатой пары производят на контрольно-обкатном станке при легком подтормаживании. После этого визуально оценивают степень прилегания сопряженных профилей. Пятно контакта должно располагаться по середине зуба одинаково на всех зубьях. Правильность контактирования зубчатых колес можно определить по направлению зуба. Точное значение погрешности оценивается хордометром или эвольвентомером. Местная кинематическая связь между вращением измерительного колеса и перемещением измерительного наконечника вдоль зуба позволяет воспроизводить действительную винтовую линию зуба, сравниваемую с теоретической. Контроль пятна контакта конических колес осуществляется на специальных контрольно-обкатных станках. Контролируемые колеса устанавливают на шпинделях этих станков по монтажным дистанциям и вращают попеременно в обе стороны.

*Контроль зубчатых колес на уровень шума* производят в тех случаях, когда зубчатые колеса имеют окружную скорость более 3 м/с. Контроль уровня шума может быть полным и сокращенным. При полном контроле определяют уровень звуковой мощности в децибелах (дБ). Для проверки на уровень шума зубчатую передачу устанавливают на специальный контрольно-шумовой станок или стенд и вращают с определенной частотой. Запись уровня шума производится прибором – шумомером. Уровень шума зубчатой передачи зависит от частоты зацепления зубьев $f = nz/60$ (здесь $n$ – частота вращения колеса, 1/мин; $z$ – число зубьев).

Допустимый уровень шума в зависимости от частоты зацепления зубчатых передач находится в пределах 70 ... 83 дБ.

*Контроль размеров зубьев и бокового зазора зубчатых колес* в соответствии со стандартом предусматривает следующие виды сопряжений по боковому зазору зубьев: A – с увеличенным зазором; B – с нормальным зазором; C – с уменьшенным зазором; D – с малым зазором; E – с особо малым зазором; H – с нулевым зазором.

Для обеспечения работы зубчатой передачи с нормальными условиями для смазывания и без возможного заклинивания при разогреве для каждого из видов сопряжений принят определенный гарантированный зазор $j_{nmin}$ между зубьями *(рис. 2.71, ж)*, который в передаче можно проконтролировать при помощи щупа или индикатора. Контроль размеров зубьев у отдельно взя-

того колеса производится по длине общей нормали или толщине зубьев. Контроль длины общей нормали производится зубомерным микрометром и др. Расчетное значение длины общей нормали для цилиндрических колес определяют по специальным таблицам, а допуск по ГОСТ 1643–81.

*Шероховатость поверхности зубьев* колес и витков червяков зависит от способа их изготовления и назначения, а также степени точности передачи. Контроль шероховатости поверхности зубьев может быть произведен при помощи микроскопа, профилометра, волномера, а также по эталонным образцам сравнения. Рекомендуемые значения шероховатости поверхности зубчатых колес и червяков в зависимости от степени их точности приведены в *табл. 2.2.*

**Таблица 2.2**

***Допускаемые значения шероховатости поверхности зубьев***

| Вид зубчатых колес | Степень точности колеса | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | Шероховатость поверхности зубьев *Ra*, мкм | | | | | | |
| Цилиндрические | - | 0,40 | 0,80 | 1,6 | 1,6 | 3,2 | 6,3 |
| Червячные | 0,20 | 0,40 | 0,80 | 0,80 | 1,6 | 3,2 | 6,3 |
| Витки червяков | 0,80 | 0,80 | 1,6 | 1,6 | 3,2 | 3,2 | - |

Приработка зубьев отличается от притирки тем, что прирабатываются два парных зубчатых колеса, изготовленных для совместной работы в машине. Приработка ведется с помощью абразивного порошка.

## 2.13. ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Основное назначение шлицевого (многошпоночного) соединения – передача вращательного движения и крутящего момента от одной детали машины к другой.

Из различных типов шлицевых соединений в горных машинах наибольшее распространение получили прямобочное соединение *(рис. 2.72, а, б)* и соединение с выступами, очерченными по эвольвенте *(рис. 2.72, в)*.



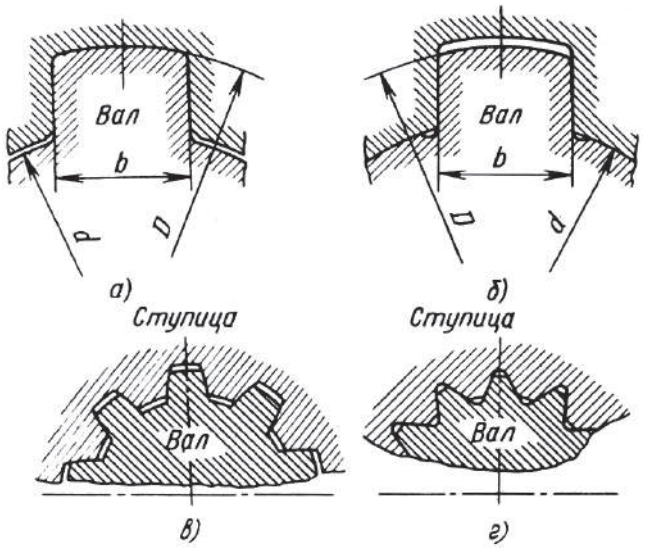



***Рис. 2.72. Типы шлицевых соединений и схемы их центрирования***

При обработке шлицев особое внимание уделяется тем элементам, которые являются центрирующими при сборке шлицевого соединения. Вследствие этого технологический процесс изготовления шлицевых соединений проектируется с учетом принятого типа центрирования. Шлицевые соединения делят по способу центрирования сопряженных деталей на три типа: по наружному диаметру *(рис. 2.72, а)*; по внутреннему диаметру *(рис. 2.72, б)*; по боковым сторонам шлицев *(рис. 2.72, в, г)*.

В зубчатых передачах и муфтах горных машин используют два типа шлицевых соединений: с центрированием по наружному диаметру шлицевой поверхности вала и по внутреннему диаметру шлицевой поверхности. В соединениях первого типа зазор предусматривается между внутренней шлицевой поверхностью вала и наружной шлицевой поверхностью ступицы, а в соединении второго типа – между наружной поверхностью вала и внутренней шлицевой поверхностью отверстия. Некоторый зазор имеется в каждом из этих соединений и между боковыми сторонами шлицев. Метод центрирования по наружному диаметру технологически более прост, однако в горных машинах обычно

применяют шлицевые соединения с внутренним центрированием, как более точным. Процесс обработки шлицевого вала состоит из следующих основных операций: 1) токарная обработка вала; 2) обработка шлицев; 3) термическая обработка; 4) шлифование внешних поверхностей; 5) шлифование элементов шлицев.

Обработку шлицевых поверхностей ведут по методу копирования, используя в качестве инструмента дисковые и фасонные фрезы, с помощью делительной головки *(рис. 2.73, а – в)* и методом обкатки *(рис. 2.73, г)*, осуществляемым при помощи червячных фрез. Операции фрезерования шлицев производят на шлицефрезерных и зубофрезерных станках аналогично фрезерованию зубьев колес. В зависимости от требуемой точности и размера шлицев применяют один или два прохода инструмента. Шлифование боковых сторон шлицев можно выполнить за одну операцию с помощью фасонного круга, заправленного по форме впадины, т.е. по методу копирования, или в две операции с использованием двух кругов для одновременной обработки боковых поверхностей шлицев *(рис. 2.74)*. Шлифовальные станки имеют обычно горизонтальную ось вращения круга и возвратно-поступательно движущийся стол.

Валы для обработки устанавливают в центрах и с помощью точных делительных устройств автоматически поворачивают их вокруг оси после обработки каждой впадины. Метод копирования при шлифовании является более производительным, однако станок должен быть оборудован сложным устройством, предназначенным для правки круга. Обработка шлицев на валах при центрировании по наружному диаметру осуществляется на кругошлифовальных станках. Обработка шлицевых поверхностей в отверстиях втулок, колес и других деталей производится протягиванием. Операции протягивания предшествует предварительная обработка отверстий круглой протяжкой, затем шлицевой. Контроль точности изготовления шлицевых валов осуществляется обычным мерительным инструментом. Проверка вала на биение и конусность по внутреннему диаметру производится индикатором. Проверке подлежит также параллельность боковых сторон шлицев. Шлицевым кольцом проверяют правильность расположения шлицев на поверхности. Контроль



шлицевого отверстия производится специальным шлицевым калибром. Универсальный измерительный прибор дает возможность проверить все элементы шлицевых валов, расположение шлицев по окружности.

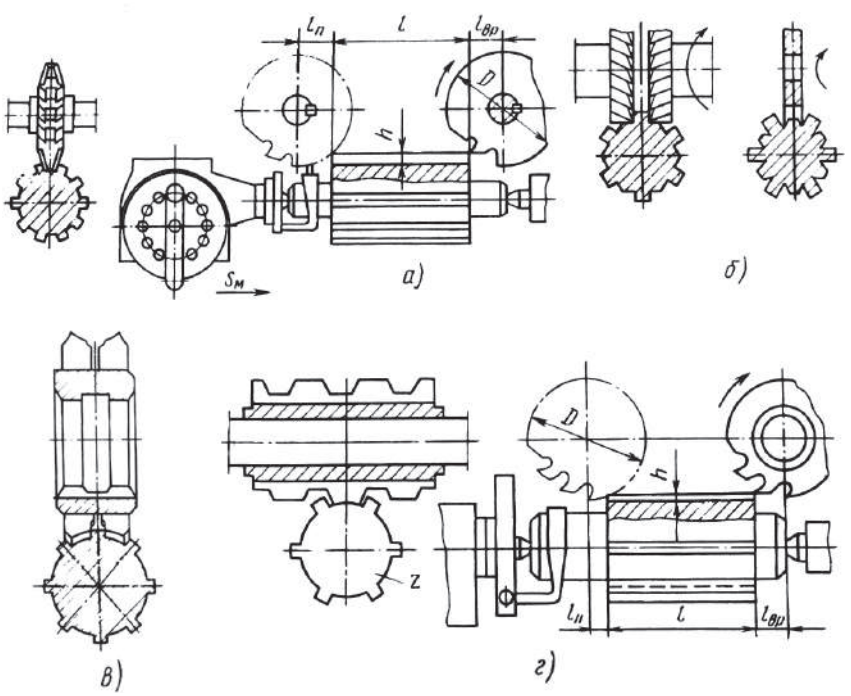



***Рис. 2.73. Фрезерование шлицевых валов фрезами:***
*а* – шлицевой дисковой; *б* – двумя фрезами; *в* – двумя дисковыми специальными; *г* – шлицевой червячной

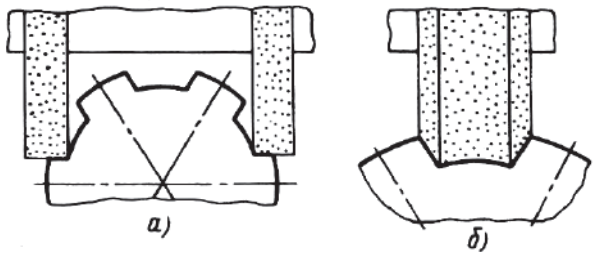



***Рис. 2.74. Схемы шлифования шлицевых поверхностей кругом:***
*а* – плоским сдвоенным; *в* – профилированным

## 2.14. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

На все металлорежущие станки (токарные, фрезерные, долбежные, зуборезные, зубошлифовальные и сверлильные), используемые при обработке шлицевых соединений и зубчатых колес, распространяются требования техники безопасности по ГОСТ 12.2.009–80 «Система стандартов безопасности труда. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности». Основными требованиями к станкам, электрооборудованию и местному освещению являются следующие.

1. Нельзя работать на неисправном и не имеющем необходимых ограждений станке.

2. Передачи, расположенные вне корпусов, должны иметь ограждения.

3. Защитные устройства, ограждающие зону обработки, должны защищать рабочего от отходящей стружки и смазочно–охлаждающей жидкости.

4. Приспособления и заготовки массой 16 кг и более устанавливают и снимают подъемными средствами (кранами, талями и др.).

5. Механизированные устройства, предназначенные для закрепления заготовок и инструмента, должны надежно удерживать заготовку даже при неожиданном прекращении подачи электроэнергии.

6. Местное освещение станка должно быть отрегулировано так, чтобы рабочая зона была достаточно освещена.

7. Запрещается пользоваться местным освещением напряжением более 36 В.

8. При всяком перерыве в подаче электроэнергии следует немедленно выключить электрооборудование станка.

Требования техники безопасности при работе на различных станках следующие.

1. При работе на токарных станках во избежание повреждения рабочего отлетающей стружкой необходимо снабдить его защитными очками; устанавить защитные экраны, изменить направление схода стружки; осуществлять сдувание и смывание стружки; применять устройство для дробления или завивания стружки.



2. При сверлении вязких металлов образуется сливная стружка, которая вращается вместе со сверлом (при его вращении) или вместе с обрабатываемой деталью. Для устранения опасности повреждения рабочих этой стружкой необходимо ее дробить в процессе обработки. Это достигается, в частности, устройством канавок на режущих лезвиях сверл.

3. При установке продольно-строгальных станков должна быть исключена возможность прижатия рабочих столом станка к неподвижным предметам или к стене. Это обеспечивается выдерживанием соответствующих расстояний между столом станка и этими предметами.

4. При черновом фрезеровании вследствие возникновения значительных сил резания и прерывистого контакта зубьев инструмента с обрабатываемой деталью важное значение имеют надежность и жесткость закрепления обрабатываемой детали.

Необходимо также рационально располагать зажимные элементы приспособления и трубку, обеспечивающие подвод охлаждающей жидкости.

5. Для предохранения от травм рук рабочих и от захвата одежды фрезами при работе на горизонтально-фрезерных станках рекомендуется применять защитные щитки в виде решетчатых откидных полуцилиндров, прикрывающих фрезу сверху.

6. На фрезерных станках с программным управлением, универсальных станках с шириной стола 320 мм и более, станках с крестовым столом и продольно-фрезерных инструмент должен крепиться механизированно.

7. В зуборезных станках должно быть предусмотрено автоматическое выключение инструмента и элементов кинематической цепи по окончании цикла обработки заготовки.

8. В станках для нарезания конических зубчатых колес с круговым зубом должна предусматриваться блокировка, исключающая возможность вращения инструмента от электропривода при пользовании ручным приводом для выверки резцов зуборезной головки.

9. Наибольшая опасность для работающих на шлифовальных станках возникает при разрыве шлифовальных кругов, вращающихся с большими окружными скоростями, достигающими 50 м/с и более. Во избежание этого явления должны быть осуществлены следующие мероприятия: шлифовальные круги

должны быть хорошо отбалансированы и проверены испытанием на прочность; подшипники шпинделей шлифовальных кругов должны быть хорошо отрегулированы; станки должны быть снабжены прочными кожухами для шлифовальных кругов.

10. Многооперационные станки с числовым программным управлением, оснащенные магазином с автоматической сменой инструмента, должны иметь защитные устройства, предохраняющие от возможного травмирования работающих инструментом, находящимся в магазине (или револьверной головке) при его повороте. Механизм переноса инструмента из магазина в шпиндель и обратно должен обеспечивать надежный захват инструмента.

11. Во избежание несчастных случаев при попадании одежды во вращающиеся части станка или механизма подачи рекомендуется применять раздвижные ограждения и не допускать наличия выступающих частей.

Специальные требования по технике безопасности для каждого типа металлорежущих станков отражены в типовых инструкциях по охране труда.

## 2.15. ОСОБЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Общие сведения. Все большее применение находят конструкционные материалы, обладающие высокой прочностью, жаростойкостью, износостойкостью и др. Кроме этого, целый ряд материалов, в том числе неметаллических, требуют особых условий их обработки вследствие повышенной хрупкости, а иногда излишней вязкости. Обработка особо тонкостенных изделий, деталей со сложными конструкционными элементами, получение требуемой шероховатости поверхности деталей из таких материалов с минимальной толщиной дефектного слоя связана с большими трудностями при применении традиционных методов обработки. Эта проблема может быть разрешена использованием электрофизической и электрохимической обработки.

Процесс обработки основан на применении электрической, химической, звуковой, лучевой и других видов энергии. Отсутствие или слабое механическое воздействие практически не влияет на суммарную погрешность и точность обработки. Достоинство электрофизической и электрохимической обработки состоит в том, что наряду с изменением формы заготовок возникают позитивные изменения в поверхностном слое обрабатываемого металла благодаря удалению дефектов, возникших при других способах обработки. При этом существенно повышается износостойкость, коррозионная стойкость, жаропрочность и другие эксплуатационные характеристики деталей машин. Универсальность, относительная простота, высокая производительность, широкий диапазон обрабатываемых материалов, возможность тонкого регулирования процессов обработки являются важными характеристиками электрофизической и электрохимической обработки, определяющими эффективность их применения в промышленности. Эти виды обработки применяют в процессах обработки материалов путем различных комбинаций, что значительно эффективнее, чем применение каждого из методов отдельно.



**Анодно-механическая обработка.** Эта обработка была разработана В.Н. Гусевым. Суть обработки заключается в следующем. Заготовку, подлежащую обработке, подключают к аноду, а инструмент к катоду. В зависимости от характера обработки в качестве инструмента используют металлические диски, ленты, проволоку, цилиндры.

Обработку ведут в среде электролита (водный раствор жидкого натриевого стекла). Принципиальная схема анодно-механической обработки представлена на *рис. 2.75.* Инструмент и заготовка получают движения, аналогичные механическим методам обработки резанием. В зону обработки через сопло подается электролит. При пропускании через электролит постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, что характеризует электрохимический метод обработки. Вследствие касания инструментом (анод) микронеровностей поверхности заготовки (катод) происходит удаление металла с обрабатываемой поверхности, что характеризует процесс электроэрозии. Значительно снижает сопротивление деформированию металла разогрев заготовки в точке контакта ее с инструментом при пропускании электрического тока. Продукты анодного растворения и электроэрозии удаляются из зоны обработки при относительном движении заготовки и инструмента.

Обычно процесс анодно-механической обработки состоит из двух этапов. Предварительная обработка основана на процессе электроэрозии. Заключительная обработка включает процесс анодного растворения.

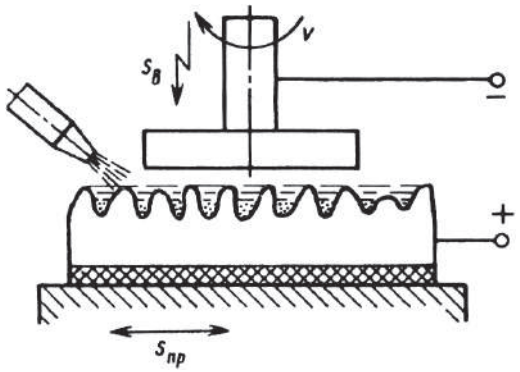



***Рис. 2.75. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности***

Такая поэтапная разбивка технологического процесса обеспечивает высокую производительность, точность и качество обработки. Анодно-механической обработке подвергают токопроводящие материалы, в том числе высокопрочные, труднообрабатываемые металлы и сплавы, порошковые и вязкие материалы. Обработка тел вращения, шлифование плоских поверхностей, заточка режущего твердосплавного инструмента, полирование – основные операции анодно-механической обработки.

Преимуществом анодно-механической обработки является возможность обработки материалов независимо от их механических свойств, использование в качестве режущих дисков листовой стали вместо дорогостоящих абразивных кругов. Примерный режим анодно-механической обработки при резке заготовок диаметром до 200 мм: напряжение 20 – 28 В, сила тока 400 – 450 А, окружная скорость для малых разрезных кругов 7 – 9 м/с, расход электролита при диаметре заготовки 30 мм – 8 л/мин, 200 мм – 20 л/мин. Давление круга на заготовку зависит от прочности образуемой на металле пленки.

**Электроискровая обработка.** Электроискровая обработка основана на использовании импульсного электроискрового разряда между электродами, один из которых является обрабатываемой заготовкой (анод), другой – инструментом (катод).

При проскакивании искры между катодом и анодом с последнего вырываются мелкие частички металла и устремляются к катоду. Такой перенос металла с поверхности заготовки под действием электрического тока называется электроэрозией.



Принципиальная схема электроискровой обработки с генератором импульсов РС приведена на *рис. 2.76.*

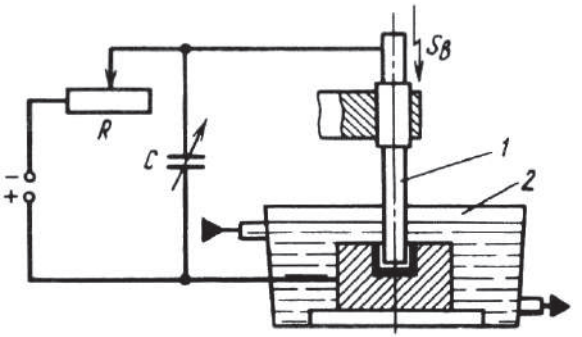



***Рис. 2.76. Схема электроискровой обработки***

Конденсатор *С*, включенный в зарядный контур, заряжается через сопротивление *R* от источника постоянного тока напряжением 100 – 200 В. Канал сквозной проводимости между электродами *1* и *2* образуется тогда, когда напряжение достигает значения, накопленного конденсатором.

Накапливаемая энергия в конденсаторе пропорциональна его емкости. Следовательно, с увеличением емкости конденсатора растет производительность. С увеличением сопротивления возрастает время зарядки конденсатора и продолжительность эрозионного цикла. Уменьшение сопротивления повышает производительность обработки. Электроискровую обработку ведут в среде диэлектрической жидкости, в качестве которой используют керосин или минеральные масла. Жидкость исключает нагрев электродов, охлаждает продукты разрушения.

На *рис. 2.77* показаны операции электроискровой обработки. Электроискровым методом получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения, глухие отверстия и полости, фасонные отверстия и полости с использованием пустотелого инструмента, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа, осуществляют плоское, круглое и внутреннее шлифование, наносят упрочняющий слой на рабочую поверхность детали, создают рифление и шероховатость поверхности. Электроискровым методом обрабатывают токопроводящие материалы. Электроискровой метод наиболее эффективен при обработке порошкообразных твердых сплавов, вольфрама, молибдена и др.

В настоящее время электроискровую обработку широко используют для изготовления штампов, фильтров, режущего инструмента, пресс-форм и др. Эта обработка не требует сложного дорогого оборудования. К недостаткам следует отнести сравнительно низкую производительность и значительный расход электродов.

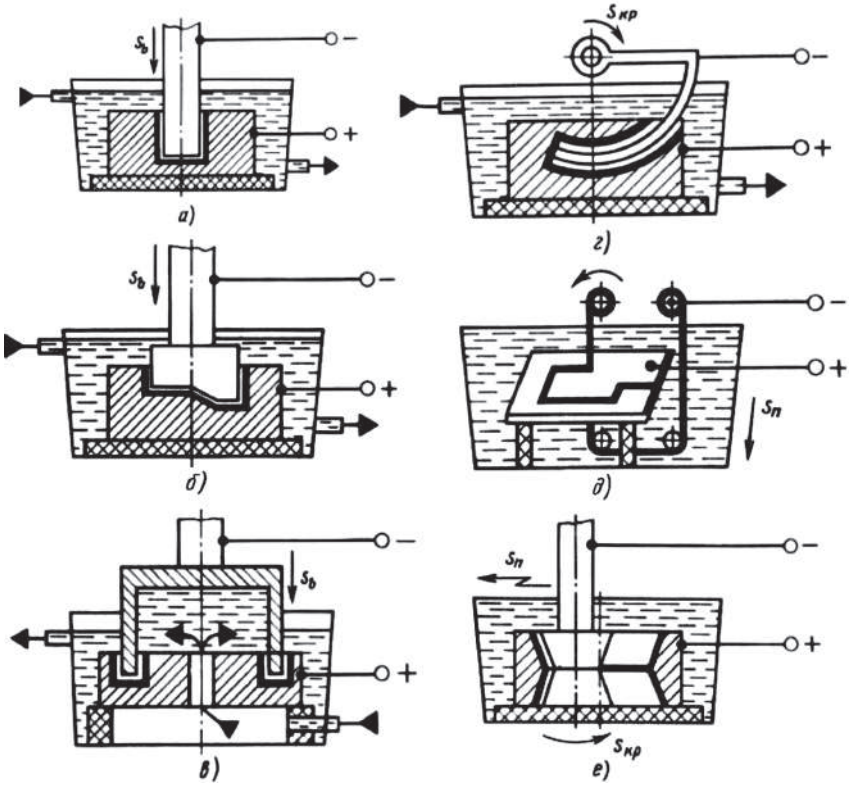



***Рис. 2.77. Технологические операции электроискровой обработки:***

*а* – получение сквозного отверстия; *б* – обработка фасонной полости штампа; *в* – получение несквозных отверстий с помощью пустотелого инструмента; *г* – получение отверстия с криволинейной осью; *д* – вырезание заготовок из листа; *е* – шлифование внутренней поверхности

**Электроимпульсная обработка.** Эта обработка основана на том *(рис. 2.78)*, что полярный эффект при импульсах малой и средней продолжительности приводит к повышению эрозии анода,



который используется при электроискровой обработке. Электроимпульсная обработка является аналогом электроискровой обработки. Отличие этих видов обработки материалов состоит в том, что электроимпульсная обработка предусматривает обратную полярность при включении электродов. Кроме того, отличаются эти виды обработки мощностью излучаемых импульсов и их продолжительностью. Большие мощности импульсов обеспечивают высокую производительность процесса обработки. Съем металла в единицу времени при электроимпульсной обработке в 8 – 10 раз больше, чем при электроискровой.

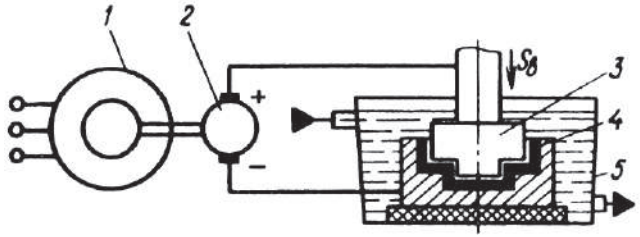



***Рис. 2.78. Схема электроимпульсной обработки:***

*1* – электродвигатель; *2* – импульсный генератор постоянного тока; *3* – инструмент-электрод; *4* – заготовка-электрод; *5* – ванна

Наиболее целесообразно применять метод электроимпульсной обработки как предварительную операцию обработки фасонных отверстий в деталях из порошковых твердых и высокопрочных сплавов.

**Электроконтактная обработка.** Эта обработка основана на предварительном нагреве заготовки *1 (рис. 2.79)*, способствующем расплавлению поверхностного слоя, что резко снижает сопротивление металла пластическому деформированию.

Источником нагрева является трансформатор *3*. Заготовка обрабатывается инструментом-электродом *2* при относительном движении заготовки и инструмента. В качестве инструмента используют чугунные или медные диски, которые в процессе работы охлаждаются. Обработку ведут при постоянном или переменном напряжении, равном 10 – 40 В. Электроконтактную обработку используют в заготовительных операциях, при обработке сложных фасонных и плоских поверхностей, очистке деталей от окалины. Метод не обеспечивает высокой точности, но является высокопроизводительным.

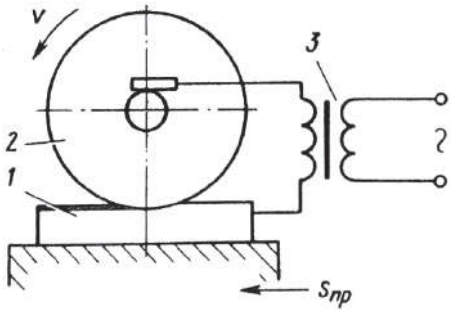



***Рис. 2.79. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:***
*1* – обрабатываемая заготовка; *2* – электрод-инструмент; *3* – трансформатор

**Ультразвуковая обработка.** Эта обработка *(рис. 2.80)* осуществляется за счет звуковых колебаний, распространяющихся в среде с частотой более 20000 Гц. Ультразвуковая обработка основана на использовании физического явления магнитострикции, т.е. способности ряда металлов и сплавов изменять размеры под действием переменного магнитного поля. Этим эффектом обладает никель, кобальт, железо, железомагниевые сплавы. Под действием электромагнитного поля размеры ферритно-магнитного сердечника уменьшаются. При исчезновении поля размеры сердечника восстанавливаются. Амплитуда колебаний сердечника 5 ... 10 мкм. Для увеличения амплитуды колебания до 50 мкм к сердечнику прикрепляют стержень-концентратор. Рабочий инструмент-пуансон соединен с концентратором. В ванну *1* с абразивной суспензией *2* помещают заготовку 3, к которой подводится инструмент *4*, закрепленный на концентраторе *5*. Инструмент соединен с магнитострикционным сердечником *7*, размещенным в корпусе *6*. Через корпус пропускают воду для охлаждения сердечника.

Колебания сердечника возбуждает генератор *8* ультразвуковой частоты и источник постоянного тока *9*. Во избежание оседания абразивной суспензии ее перемещают по системе *10*, *12* насосом *11*. Ультразвуковые колебания передаются абразивной жидкости, в которой зерна абразива под действием колебаний приходят в движение. Эти зерна образива, соударяясь с рабочей поверхностью заготовки, снимают поверхностный слой, а затем удаляются из зоны обработки циркулирующей суспензией.



С помощью ультразвуковой обработки получают сквозные и глухие отверстия, производят раскрой заготовок, профилируют наружные поверхности, гравируют, шлифуют, нарезают резьбы. Метод весьма эффективен при обработке токо- и нетокопроводящих материалов (керамика, стекло, кварц), а также при обработке порошковых твердых материалов, закаленных сталей, титановых сплавов, вольфрама и др. Точность размеров и шероховатость поверхностей, обрабатываемых ультразвуком, зависят от зернистости абразивных материалов.

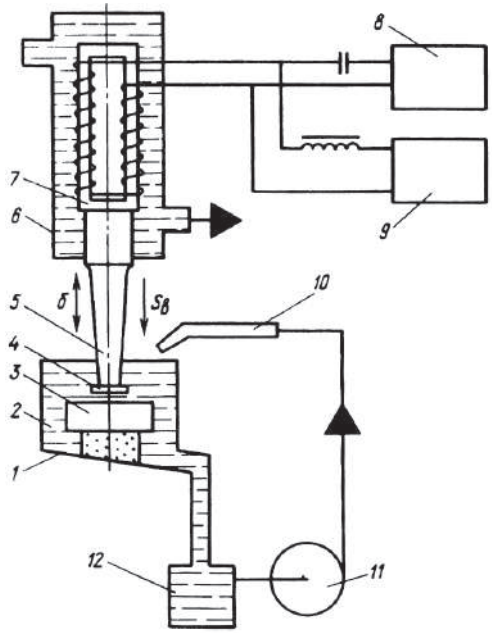



***Рис. 2.80. Схема ультразвуковой обработки***

**Лазерная обработка.** Формообразование и обработка заготовок осуществляются путем воздействия световых лучей высокой концентрации энергии. Источником мощных световых излучений являются оптические квантовые генераторы.

В настоящее время для механической обработки материалов используют газовые, твердотелые и полупроводниковые квантовые генераторы, в которых осуществляется принцип стимулирования светового излучения. Энергия светового импульса лазера невелика и составляет 20 ... 100 Дж, но время ее выделения мало (миллионные доли секунды). Световой поток, концентрируясь в

луче диаметром 0,01 мм, обладает исключительно высокой плотностью энергии. В результете действия луча поверхностный слой заготовки мгновенно нагревается и расплавляется.

В технологических операциях механической обработки лазерную обработку используют для получения сквозных отверстий в труднодеформируемых сплавах, при раскрое заготовок и поверхностном упрочнении деталей машин. К недостаткам лазерной обработки следует отнести отсутствие надежных способов управления движением луча, низкий КПД генератора и высокую стоимость.

**Плазменная обработка.** Эта обработка основана на использовании температуры ионизированного газа – плазмы для формообразования и обработки заготовок. Температура плазмы 10000 ... 30000 °С. Плазму получают путем дугового разряда, возникающего между вольфрамовым и медным электродами, размещенными в плазменной головке *(рис. 2.81)*. В головку подают газ (аргон, азот), который при взаимодействии с дугой ионизируется и вырывается из сопла в виде светящейся струи. Плазменным способом практически могут быть обработаны любые материалы. При этом выполняют операции обработки отверстий, раскроя металла, точения. Плазменную головку применяют для сварки, пайки, нанесения защитных покрытий.

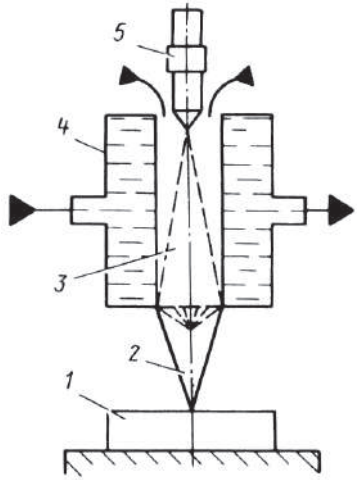



***Рис. 2.81. Схема плазменной обработки:***
*1* – обрабатываемая заготовка; *2* – струя плазмы; *3* – дуговой разряд; *4* – медный электрод; *5* – вольфрамовый электрод



## 2.16. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В горном машиностроении широко используют различные виды пластмасс и резин, обладающих высокими эксплуатационными свойствами. Пластмассы характеризуются малой плотностью, относительно высокой прочностью, хорошей химической и коррозионной стойкостью. Изделия из пластмасс не только успешно конкурируют с металлами, являясь значительным резервом экономии дефицитных металлов, но иногда являются единственно возможным конструкционным материалом при изготовлении тех или иных деталей машин.

Изготовление деталей из пластмасс характеризуется значительным коэффициентом использования материала (0,8 ... 0,95), малой трудоемкостью, высоким уровнем механизации и автоматизации.

Пластмассы – неметаллические материалы, состоящие из сложных высокомолекулярных полимерных соединений.

По типу полимерных соединений пластмассы разделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты). Термопласты (полиэтилен, капрон, винипласт, полистирол, фторопласт и др.) содержат высокомолекулярные полимеры или сополимеры линейной структуры. Они способны при нагревании переходить из стеклообразного (твердого) состояния в вязкотекучее состояние, не изменяя при этом химической структуры. При охлаждении термопласты становятся твердыми. Эти особенности термопластов имеют решающее значение при выборе способов их обработки.

Реактопласты (текстолит, стеклопластик и др.) содержат низкомолекулярные полимеры, отверждающиеся с образованием полимеров трехмерной структуры под действием катализаторов или отвердителей. Реактопласты не плавятся и не растворяются, поэтому, в отличие от термопластов, они не могут подвергаться повторной переработке.

Технологический процесс переработки пластмасс характеризуется специфическими особенностями, которые определяются физическим состоянием полимерных материалов, их химическим составом, действием внешних факторов (температуры, давления). Исходя из этого, способы обработки пластмасс можно

условно классифицировать следующим образом: получение деталей из жидких полимеров литьем, прессованием; переработка полимеров в твердом состоянии штамповкой и резанием; изготовление неразъемных соединений сваркой, склеиванием; переработка в вязкотекучем состоянии, прессованием, литьем под давлением, выдавливанием; переработка пластмасс вакуумным и пневматическим формованием, штамповкой и др.; специальные способы обработки, связанные со спеканием, напылением и т.д.

Рассмотрим наиболее часто применяемые способы обработки пластмассовых деталей.

**Обработка пластмасс резанием.** Характерной особенностью получения деталей из пластмасс методами литья и прессования является их недостаточная точность вследствие значительной усадки при затвердевании. Для получения деталей заданной точности применяют дополнительно механическую обработку. При обработке резанием удаляют литниковую систему, заусенцы. Особенностью механической обработки пластмасс резанием является удаление с поверхности смоляной пленки, что снижает их химическую стойкость и повышает гигроскопичность детали из пластмасс. Вследствие этого обработку резанием следует применять только в необходимых случаях.

Особенности строения и физико-механические свойства пластмасс влияют на технологию их обработки, конструкцию режущего инструмента и приспособлений.

Обработку пластмасс резанием можно проводить при высоких скоростях, учитывая более низкие их физико-механические характеристики по сравнению с металлом. Низкая теплопроводность пластмасс приводит к концентрации температуры в зоне обработки, что вызывает нагревание режущего инструмента, оплавление поверхностей обработки, обугливание, прижоги. Поэтому температура при обработке пластмасс должна составлять 60 … 120 °С для деталей из термопластов и 120 … 180 °С для деталей из реактопластов.

В качестве материала для режущего инструмента используют углеродистую и быстрорежущую сталь. При обработке термопластов со стеклянными наполнителями в качестве инструмента используют резцы, выполненные из порошковых твердых сплавов. Не рекомендуется применение охлаждающих жидкостей при обработке термореактивных материалов со слоистыми



и волокнистыми наполнителями во избежание набухания их поверхности. В этом случае охлаждение осуществляется сжатым воздухом. Для отвода образующейся при обработке пластмасс пылевидной и элементной стружки требуется выполнение более глубоких полированных канавок в режущем инструменте.

Геометрия режущего инструмента для обработки пластмасс характеризуется большими значениями переднего и заднего углов. Так, при точении термопластов резцы из быстрорежущей стали имеют передний угол $\gamma \approx 15 \ldots 20°$, задний угол $\alpha = 20°$, угол $\varphi \approx 45°$. Точение пластмассовых деталей осуществляют на токарных и токарно-револьверных станках. Примерные режимы обработки при операции точения для некоторых видов пластмасс приведены в *табл. 2.3.*

**Таблица 2.3**

***Режимы обработки термопластов при точении***

| Материал | Скорость резания, м/мин | Подача, мм/об | Глубина резания, мм |
|---|---|---|---|
| Поливинилхлорид, оргстекло | 300 … 1000 | 0,1 … 0,2 | 0,1 … 0,5 |
| Стеклотекстолиты | 100 … 300 | 0,1 … 0,5 | 0,5 … 4,0 |

Износ задней поверхности резца должен быть 0,1 … 0,3 мм при резании термопластов и 0,2 … 0,6 мм при резании реактопластов. Для улучшения схода стружки переднюю поверхность лезвия полируют. Допустимое значение износа 0,1 … 0,2 мм уменьшается при использовании алмазного инструмента. Плоские, фасонные поверхности, пазы, уступы получают фрезерованием. Литники и заусенцы деталей из пластмассы устраняют также фрезерованием. Основные требования при фрезеровании деталей из пластмасс следующие: 1) заготовка должна быть плотно прижата к опорной поверхности и жестко закреплена на столе станка в приспособлении; 2) для предотвращения расслоений при обработке слоистых пластиков следует применять попутное фрезерование; 3) режимы резания, геометрия режущего инструмента должны отвечать условиям высокопроизводительной обработки.

Фрезы, применяемые для обработки пластмасс, отличаются от инструмента, используемого при обработке металла большим углом наклона винтовой канавки ($\omega = 25 \ldots 30°$), благодаря чему

обеспечивается плавность работы и улучшается отвод стружки, а также меньшим числом зубьев ($z$ = 2 ... 4) для реализации больших подач на зуб.

Термопласты обрабатывают цельными фрезами из быстрорежущей стали, а реактопласты – фрезами со вставными ножами из порошкового твердого сплава.

Сверление отверстий в пластмассах производится на сверлильных станках с использованием в качестве инструмента спиральных и перьевых сверл из быстрорежущей стали, твердого сплава. Применяются также трубчатые сверла, а также алмазные трубчатые сверла-короноки. При сверлении должно быть обеспечено непрерывное удаление стружки. При сверлении (особенно глухих отверстий) для предотвращения перегрева сверло несколько раз выводится из зоны обработки. Отверстие размером более 10 мм рекомендуется сверлить в два-три приема, причем сначала сверлом меньшего диаметра, а затем сверлом необходимого диаметра. Конструкцию сверла и геометрию режущей части выбирают с учетом свойств и структуры обрабатываемого материала, диаметра отверстия, глубины сверления и технологических требований к точности и качеству отверстий.

Рассмотрим некоторые практические рекомендации при сверлении пластмасс. Отверстия малого диаметра сверлят сверлами с малым углом при вершине ($2\varphi \approx 20 \ldots 60°$), что обеспечивает плавный выход сверла, отсутствие сколов и выкрашиваний по кромкам отверстия. Однако при этом увеличивается время врезания и выхода сверла, ухудшается теплоотвод. Наибольшее применение получили сверла с углом при вершине $2\varphi = 60 \ldots 90°$. Для получения отверстий более 30 мм в гетинаксе, органическом стекле, текстолите толщиной 15 мм применяются циркулярные вырезные резцы.

Наиболее трудоемкой операцией при обработке пластмасс является операция нарезания резьб. Недостаточная прочность пластмасс является причиной скалывания и срыва гребешков резьбы. Это обстоятельство привело к необходимости получать резьбы при формообразовании детали прессованием или литьем под давлением. Однако в необходимых случаях резьбу нарезают плашками, фрезами, резцами, метчиками. При нарезании резьбы применяют смазывающие материалы (парафиновое и машинное масло, эмульсии). Процесс нарезания производят при небольших скоростях резания во избежание скола и срыва гребешков резьбы. Резьбы нарезают на токарно-винторезных станках. Глубина резания не должна быть более 0,1 мм. Допустимый износ лезвия 0,2 мм.



Если износ лезвия будет более 0,2 мм, то возможно выкрашивание и срыв ниток профиля резьбы. Высокопроизводительным способом нарезания резьбы является применение в качестве режущего инструмента абразивных кругов, изготовленных под углом профиля резьбы. Для придания поверхностям заданной шероховатости применяют окончательные операции – шлифование и полирование. Детали из термопластов шлифуют абразивными кругами, а из реактопластов – эластичными. Полирование выполняется хлопчатобумажными и шерстяными кругами с добавками различных паст.

## 2.17. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Основные факторы повышения производительности труда следующие: улучшение технологичности конструкции машины и деталей, из которых она состоит; выбор рациональных форм заготовок; ускорение подготовки производства обработки деталей благодаря типизации технологических процессов и групповой обработке деталей; сокращение времени на обработку детали в результате уменьшения основного и вспомогательного времени (применение механизации и автоматизации технологических процессов механической обработки на станках, многостаночного обслуживания, механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ при обработке деталей; увеличение режимов резания; использование станков с ЧПУ и адаптивной системой управления, манипуляторов и роботов). Кроме того, увеличения производительности труда можно добиться улучшением условий труда; качественным улучшением схем, средств и методов измерения; механизацией, автоматизацией, роботизацией сборки горных машин, их контроля и испытаний, профессиональной подготовкой персонала.

Длительное время традиционными мероприятиями уменьшения основного времени обработки были следующие: разработка современных методов обработки, поиск и использование новых, стойких материалов для оснащения режущего инструмента; разработка новых типов режущего инструмента и приспособлений; подбор, применение и подача в зону резания соответствующих СОЖ, режимов резания и др. Следует отметить, что эти мероприятия позволили увеличить скорость резания до 500 м/мин и более и глубину резания – до 5 ... 11 мм за один проход, значительно интенсифицировать обработку прочных материалов обычными резцами благодаря плазменному подогреву поверхности обработки непосредственно в зоне резания. На многих технологических операциях основное время составляет 50 ... 10 % общего времени цикла обработки. Значительно увеличить производительность труда путем интенсификации технологической обработки очень сложно, следует заметить, что время на вспомогательные операции, переходы и проходы составляет 50 ... 90 %. Таким образом, интенсификация использования вспомогательного времени – это тот резерв времени, благодаря которому можно добиться коренного увеличения производительности труда при одновременном улучшении условий труда, повышения безопасности производства работ и др.

Интенсификацию вспомогательного времени можно осуществить применением механизации и автоматизации, когда человек участвует как оператор (не лучший вариант) либо полностью не принимает участия в процессе обработки, выполняя роль контролера готовой продукции.

Такая схема построения технологического процесса дает возможность значительно ускорить следующие процессы: замены и возврата инструмента; производства измерений и подналадок технологической системы; транспортирования и замены на станках обрабатываемых и готовых деталей; уборки и транспортирования стружки; разделения СОЖ и отходов обработки. Однако такая схема возможна для реализации в крупносерийном или массовом производстве.

Если эту схему применить для небольших партий обрабатываемых деталей, то значительно увеличивается время переналадок и эффективность применения механизмов и автоматики



резко снижается. Очевидно, необходимо создавать и применять такие механизированные и автоматизированные системы и процессы обработки и сборки, которые за малые промежутки времени могут быть переналажены, либо переналадка их может быть выполнена переключением на новую технологическую схему обработки вслед за окончанием последнего перехода предыдущей обработки детали (так называемые гибкие автоматизированные процессы – ГАП).

Такими системами явились участки из станков ЧПУ, связанных в единое целое автоматическими манипуляторами–роботами.

Станки и роботы такого участка управляются единым управляющим центром ЭВМ, задающей через соответствующие автоматические сменные программы управления последовательность и режимы обработки необходимого количества деталей для выполнения программы. Подобные системы оснащены автоматизированными устройствами для контроля и подналадки обработки, что дает возможность в процессе обработки учесть износ инструмента, а в необходимых случаях и заменить его на новый. Кроме того, в случае несоответствия припусков на обработку автоматически вносятся коррективы в режимы обработки (адаптивные системы обработки), что позволяет использовать расчетную стойкость инструментальных наладок. Следует учесть, что эти схемы позволяют создать и применить самостоятельную (запрограммированную) систему диагностики оборудования участка, что значительно сокращает время на обслуживание и поиск неисправности при ремонтах.

При наличии таких участков можно исключить присутствие станочников на каждом станке, создать наиболее выгодные условия для многостаночности. Причем оператор в таких случаях вместо функций управления выполняет функции контроля и корректировки.

Организация и применение ГАП требует фундаметальной психологической и технической подготовки. Психологическая подготовка заключается в готовности технологов цехов довериться «машинному» управлению при выполнении операций обработки, в готовности мыслить масштабно, обобщенно, однако не упуская главного – обеспечения качества продукции с мини-

мальными затратами времени и средств. Это требует коренной перестройки системы проектирования технологического процесса, для чего применяют системы автоматического проектирования технологических процессов (САПР ТП), системы автоматизированного проектирования приспособлений (САПР ПР) и др. Упомянутые системы дают возможность рационально планировать загрузку станков всех участков с наиболее выгодной технологической последовательностью обработки деталей, смены инструментов, сборки и т.п.

Производительность труда на таких участках будет наибольшей. В перспективе объединение таких участков дает основание для создания автоматизированных и роботизированных комплексов, заводов и производственных объединений.

## 2.18. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЯТОГО ВАРИАНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

При выборе варианта технологической операции и технологического процесса из всех возможных решений должны отбираться наивыгоднейшие, т.е. наилучшим образом отвечающие поставленной цели.

Одним из важнейших экономических показателей, характеризующих эффективность использования материальных и трудовых ресурсов предприятия, является себестоимость продукции. Себестоимость продукции – это выраженные в денежной форме непосредственные издержки предприятия, связанные с ее производством и реализацией. Структура себестоимости продукции определяется соотношением элементов затрат на ее производство. Себестоимость продукции включает стоимость потребляемых в производстве сырья и материалов; стоимость зданий, сооружений, машин и оборудования, перенесенную в процессе производства на вновь созданный продукт; оплату труда работников производства и другие затраты предприятий по организации производства и управлению.

Технологическая себестоимость включает условно-переменные затраты, которые изменяются прямо пропорционально изменению годового объема выпускаемой продукции *N* и условно-постоянные затраты, практически не зависящие от объема *N* выпускаемой продукции. Технологическую себестоимость можно определить по формуле



$$S_T = aN + b. \quad (2.55)$$

Условно–переменные затраты

$$a = [(S_м + З_{пл} + S_{об})\, N + З_{пл.н} + S_{осн}]. \quad (2.56)$$

где $S_M = P_1 m - P_2 q$ – стоимость расходуемого материала, грн; (здесь $P_1$ – стоимость материала, грн/кг; $m$ – масса материала, расходуемого на одну деталь, кг; $P_2$ – цена реализуемых отходов, грн/кг; $q$ – масса отходов, кг); $З_{пл} = 1{,}15 t_{ст} T_{шт}$ – основная и дополнительная заработная плата (с начислениями) основного рабочего за выполнение операции (здесь 1,15 – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату и отчисления на социальное страхование; $t_{ст}$ – часовая тарифная ставка, грн/ч; $T_{шт}$ – норма штучного времени, ч); $S_{об} = S_{мч} T_м$ – затраты на эксплуатацию оборудования; [здесь $T_м$ – норма машинного времени, ч; $S_{мч} = S_а + S_р + S_{в.м} + S_Э + S_И$ – затраты часа работы машины (стоимость содержания и обслуживания машины в течение одного часа; здесь $S_а = S_{перв} \cdot a_м / (100 \cdot F_{э.ф})$ – амортизационные отчисления, приходящиеся на один час работы машины, грн; $S_{перв}$ – первоначальная стоимость машины, грн; $a_м$ – процент годовых амортизационных отчислений; $F_{э.ф}$ – эффективный годовой фонд времени работы машины, ч; $S_р = k_П C_м R_м + C_э R_э$ – затраты на текущий ремонт, грн; $k_П$ – коэффициент, учитывающий тип производства; $k_П = 1{,}25$ для массового производства, $k_П = 1$ для серийного, $k_П = 0{,}85$ для единичного производства; $C_э$, $C_м$ – затраты времени на ремонт соотвественно механической и электрической частей машины, приходящиеся на единицу сложности ремонта *(табл. 2.4)*; $R_м$, $R_э$ – категории сложности ремонта соответственно механической и электрической частей машины *(табл. 2.4)*; $S_{в.м} = k_П S_{в.п} R_м$ – расходы на вспомогательные материалы (смазочные и обтирочные); $S_{в.п}$ – часовые затраты на вспомогательные материалы для станков первой категории сложности ремонта механической части, грн/ч; $S_И$ – расходы на инструмент, приходящийся на 1 ч работы станка; $S_э = P\eta / C_э'$ – часовая стоимость электроэнергии, расходуемой двигателем; $P$ – мощность двигателя, кВт; $C_э'$ – заводская стоимость одного кВт·ч электроэнергии, грн; $\eta$ – коэффициент использования двигателя по мощности и во времени].

**Таблица 2.4.**

***Значения часовых затрат на текущие ремонты механической и электрической частей оборудования***

| Станки | Категория сложности ремонта | | Затраты времени на ремонт, ч | |
|---|---|---|---|---|
| | механической части | электрической части | механической части | электрической части |
| Металлорежущие универсальные специализированные | 1 – 12 | – | 0,19 – 0,2 | |
| Агрегатные и специальные, работающие неабразивным инструментом | 13 – 20 | – | 0,37 – 0,4 | – |
| Металлорежущие особо тяжелые и универсальные, работающие неабразивным инструментом | Все категории | | 0,66 | – |
| Металлорежущие универсальные и специализированные | 1 – 12 | – | 0,2 – 0,22 | – |
| Агрегатные и специализированные, работающие абразивным инструментом | 13 – 30 | – | 0,4 | – |
| Обрабатывающие стальные детали при всех типах производства (кроме шлифовальных) | – | Все категории | – | 0,27 |
| Шлифовальные | – | Все категории | – | 0,41 |

Станки: $S_{в.п}$

металлорежущие универсальные и специализированные, работающие неабразивным инструментом.....0,22

металлорежущие универсальные и специализированные, работающие абразивным инструментом.....0,26

одно- и многошпиндельные автоматы, резьбофрезерные, зубофрезерные и протяжные.....0,28



Условно-постоянные затраты

$$b = З_{пл.н} + S_{осн}, \quad (2.57)$$

где $З_{пл.н} = 1{,}15 t_{ст} T_{пз} n$ – затраты подготовительно-заключительного времени на наладку (здесь $t_{ст}$ – тарифная ставка наладчика, грн/ч; $T_{пз}$ – норма подготовительно-заключительного времени, ч; $n$ – число переналадок); $S_{осн} = kC_{ос}$ – основные затраты на эксплуатацию оснастки за год; (здесь $k = k_а + k_э$ – сумма коэффициентов амортизации $k_а$ и эксплуатации $k_э$ оснастки; $k_а = 0{,}5 \ldots 1$, $k_э = 0{,}2$; $C_{ос}$ – стоимость оснастки).

Если в технологический процесс вносят изменения, основным из которых является применение специального приспособления на операции, ранее выполняемой без приспособлений, то определяют экономическую целесообразность его использования при решении неравенства

$$kC_{ос} \le \Delta З_п k_н x, \quad (2.58)$$

где $\Delta З_п$ – заработная плата за изготовление одной детали при использовании специальных приспособлений; $k_н$ – коэффициент начисления на заработную плату с учетом отчислений на соцстрахование, $k_н = 1{,}15$; $x$ – годовой выпуск деталей.

Минимальный выпуск, при котором целесообразно использовать специальное приспособление,

$$x_{min} = kS_{ос} / \Delta З_п k_Н. \quad (2.59)$$

Максимальная допустимая стоимость специального приспособления

$$C_{max} = \Delta З_п k_н x / k. \quad (2.60)$$

Себестоимость обработки и эффективность выбранного способа выполнения операций имеют большое значение. Во многих случаях для выбора наиболее целесообразного варианта выполнения операции из нескольких, удовлетворяющих техническим требованиям к обработке детали, необходимо проводить сопоставление затрат обработки при разных способах выполнения операции. Для расчетов, связанных с выбором наивыгоднейшего варианта, необходимо располагать исходным материалом в натуральных показателях (техническая характеристика оборудования и инструмента, нормированное время и т.д.) и соответствующим справочным материалом (ценниками), позволяющим перейти от натуральных показателей к показателям стоимости.

Наиболее выгодной будет операция, которая удовлетворяет всем технологическим требованиям, имеет наименьшую трудоемкость, считая не только затраты труда на выполнение данной операции, но и затраты труда для изготовления специального оборудования, приспособлений, инструмента и др., необходимых для выполнения этой операции.

Оценка и экономическое обоснование приятного варианта технологической операции или технологического процесса производится путем сравнения приведенных затрат $З$, определяемых по каждому из сравниваемых вариантов:

$$З = C + E_н K, \quad (2.61)$$

где $C$ – себестоимость единицы продукции (работы), грн.; $K$ – удельные капитальные вложения в производственные фонды, грн; $E_н$ – отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности использования капитальных вложений, $E_н$ = 0,15.

При сравнении выбирается тот вариант, по которому приведенные затраты будут минимальными.

Экономическую эффективность технологического процесса или операции рассчитывают следующим образом:

$$Э_{год} = (З_б - З_н) A_н, \quad (2.62)$$

где $Э_{год}$ – годовой экономический эффект, грн; $З_б$, $З_н$ – приведенные затраты единицы продукции при базовой и новой технике (технологии) грн; $A_н$ – годовой объем производства продукции с помощью новой техники (технологии) в расчетном году в натуральных единицах.

## 2.19. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Остаются актуальными задачи по совершенствованию и развитию новых технологических процессов, характеризующихся отсутствием или малым количеством вредных веществ, выбрасываемых в окружающую среду, улучшением системы очистки отходящих газов от вредных примесей, увеличением выпуска водоочистного оборудования, приборов и автоматических станций слежения за контролем состояния окружающей природной среды.

На современном этапе развития любое техническое решение должно приниматься не только с учетом технологических и экономических требований, но и с учетом экологических аспектов.



Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих заготовительные и кузнечно-прессовые цехи, цехи термической и механической обработки металлов, цехи покрытий, а в ряде случаев крупное литейное производство. В состав предприятий также входят испытательные станции, ТЭЦ и ряд вспомогательных подразделений. В процессе производства машин и оборудования широко используются сварочные работы, механическая обработка металлов, переработка неметаллических материалов, лакокрасочные операции и пр.

Крупными источниками пыле- и газовыделения на машиностроительных предприятиях являются литейные цеха, в которых выплавка металла осуществляется в электродуговых и индукционных печах, вагранках. Много вредных веществ (бензол, метанол, формальдегиды, фенол и др.) поступает в атмосферу при переработке шихтовых материалов, формовочных смесей.

Вентиляционный воздух из термических цехов загрязнен парами масел, аммиаком, цианистым водородом и др. Источниками загрязнений окружающей среды являются нагревательные печи на жидком и газообразном топливе. При обработке металлов в кузнечно-прессовых цехах выделяется много пыли, туманов, кислот и масел. Пыль образуется главным образом при измельчении окалины инструментом.

Значительная доля токсичных газов и пыли попадает в атмосферу при ведении сварочных работ. Практически все виды сварки сопровождаются выделением мелкодисперсной пыли. При механической обработке металлов на станках образуется также много пыли, стружки, туманов, масел, эмульсии. В процессах шлифования и полирования выделяется большое количество тонкодисперсной пыли.

В современном машиностроении широкое применение находят стеклопластики, которые содержат стекловолнистый наполнитель и связующие смолы (полиэфирные, фенолформальдегидные, эпоксидные). При производстве эбонитовых изделий в вентиляционную систему попадают окиси углерода и кремния, пары бензина, толуола, глицерина, пыль. Много вредных выбросов в атмосферу связано с производством и обработкой пластмасс, синтетических волокон. Изделия перед нанесением защитных и декоративных покрытий подвергают травлению различными кислотами.

Особой токсичностью отличаются растворы цианистых солей, хромовой и азотной кислот. Анализ состава примесей загрязнения, выбрасываемых в атмосферу машиностроительными предприятиями, показывает, что в них содержатся токсичные соединения, которые оказывают более вредное воздействие на окружающую среду, чем выбросы установок на минеральном топливе.

Водный бассейн загрязняется сточными водами машиностроительных предприятий, содержащими примеси органического и минерального происхождений: стойкие и летучие нефтепродукты, эмульсии, стабилизированные различными добавками, токсичные соединения (цианиды, сульфаты, сульфиды). Расчет допустимого состава сточных вод производят с учетом «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Указанные правила предназначены для предупреждения избыточного загрязнения сточными водами рек, ручьев, водохранилищ, прудов.

Почва также загрязняется отходами машиностроительных предприятий (стружкой, опилками, шламами, осадками и пылью).

Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов заводов является безотходная технология производства. Безотходная технология – комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего уменьшается до минимума количество отходов производства, вредных выбросов и воздействие их на окружающую среду. В этот комплекс мероприятий входят: 1) создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов; 2) разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод; 3) разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы; 4) создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую систему потоков сырья и отходов внутри комплекса.

На современном этапе развития промышленности методы защиты окружающей среды играют исключительно важную роль. К этим методам можно отнести следующие: очистку сточных вод от примесей; исключение рассеяния вредных выбросов



в атмосфере; уменьшение шума на пути его распространения; экранирование источников энергетического загрязнения окружающей среды и др.

Защита окружающей среды – это комплексная проблема. Помимо экономической задачи (повышения производительности труда), защита окружающей среды включает также социально-экономическую задачу – улучшение условий жизни человека.

Существует ряд межгосударственных стандартов в области охраны природы: ГОСТ 17.0.0.01–76 «Основные положения»; ГОСТ 17.1.1.07–77 «Гидросфера, использование и охрана вод. Основные термины и определения»; ГОСТ 17.2.1.02–76 «Атмосфера» и др.

В соответствии с ГОСТ 17.0.0.01–76 охрана природы определяется как система мер, направленная на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей природной средой, обеспечивающая сохранение и восстановление природных балансов, рациональное использование природных ресурсов, предупреждающая прямое и косвенное вредное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

# 3. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

## 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Дополнительные устройства металлорежущих станков, которые используют для выполнения технологических операций механической обработки, сборки или контроля называют *приспособлениями*.

По назначению приспособления разделяют на: станочные, инструментальные, сборочные, контрольные и вспомогательные.

*Станочные приспособления* применяют для установки и закрепления деталей на станках. Они составляют 75 ... 90 % всех приспособлений машиностроения. Благодаря использованию этих приспособлений повышается точность обработки и устраняется выверка при установке, улучшаются условия труда станочников. К этим приспособлениям относятся различные патроны, центры, люнеты и др.

*Приспособления для закрепления режущего инструмента* выполняют роль связующего звена между инструментом и станком. К этим приспособлениям относятся резцедержатели, инструментальные патроны, борштанги и др.

*Сборочные приспособления* применяют для соединения сопрягаемых деталей в сборочные единицы и изделия. На них крепят базовую деталь, а затем присоединяют узлы изделия, что повышает производительность, точность, безопасность сборочных работ.

*Контрольные приспособления* используют для выполнения промежуточного и окончательного контроля при обработке деталей, при сборке узлов и общей сборке.

К *вспомогательным приспособлениям* относят приспособления для захвата, транспортирования, перевертывания и фиксации обрабатываемых заготовок и сборочных единиц при обработке или сборке.

По эксплуатационной характеристике станочные приспособления разделяют на **универсальные**, предназначенные для обработки разнообразных заготовок (тиски, патроны и т.п.); **специализированные**, предназначенные для обработки загото-

вок определенного вида (специальные губки для тисков, фасонные кулачки к патронам и т.п.); **специальные**, предназначенные для выполнения определенных операций механической обработки данной детали.

Область применения универсальных приспособлений – единичное и мелкосерийное производство, специальных и специализированных – крупносерийное и массовое производство.

По степени специализации станочные приспособления делят на *универсальные безналадочные* (УБП), *универсальные наладочные* (УНП), *специализированные безналадочные* (СБП), *специализированные наладочные* (СНП), *универсально-сборные* (УСП), *сборно-разборные* (СРП) и *неразборные специальные* (НСП).

По технологическому признаку приспособления классифицируют в соответствии с типом металлорежущего станка, например приспособления для установки деталей на токарных, фрезерных и других станках.

Элементы приспособлений по выполняемым функциям можно разделить на: *установочные* – для установки и определения пространственного положения обрабатываемой детали относительно траектории режущего инструмента; *зажимные* и *усилительные* – для надежного и прочного закрепления заготовки и удержания ее при обработке в определенном положении; *направляющие* – для обеспечения необходимого направления режущего инструмента относительно обрабатываемых поверхностей; *ориентирующие* – для правильной ориентации приспособления относительно станка и инструмента; *поворотные* или *делительные* – для точного фиксируемого изменения пространственного положения обрабатываемой детали относительно режущего инструмента; *корпусные* – для размещения и сборки всех составных частей приспособлений; *крепежные* – для соединения и удержания в единой конструкции всех составных частей приспособления; *силовые приводы* – для реализации усилий зажима деталей и приложения их в необходимых точках базируемой детали.

Иногда приспособления классифицируют по виду энергии, используемой в силовом приводе: ручные механические (рычажные, кулачковые, пружинные, винтовые и др.), магнитные, электромагнитные, пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электрические, комбинированные. Наибольшее распространение из перечисленных получили приспособления с механическим ручным приводом, пневматические, пневмогидравлические, электромагнитные и магнитные.



## 3.2. УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Установочные элементы (штыри, пластины или другие элементы) выполняют функции опор, на которые деталь опирается базирующими поверхностями. Различают опоры постоянные, регулируемые, самоустанавливающиеся и подводимые.

Постоянные опоры могут быть выполнены со сферической или плоской (рифленой или гладкой) головкой *(рис. 3.1, а–в)*. Штыри с плоской гладкой головкой или пластины применяют для базирования деталей с чисто обработанными поверхностями. Заготовки с необработанными поверхностями устанавливают на штыри со сферической или плоской рифленой головками. При износе постоянных опор их заменяют на новые, что является их недостатком.

Регулируемые опоры по сравнению с постоянными по мере изнашивания можно регулировать, что компенсирует их износ, а следовательно, повышает срок эксплуатации. Эти опоры регулируются винтовыми *(рис. 3.1, г)* или клиновыми устройствами.

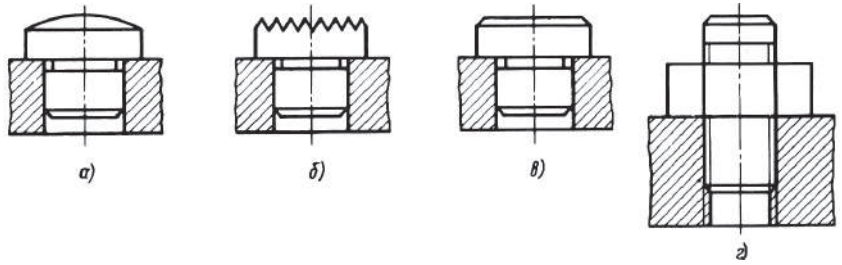



***Рис. 3.1. Опора:***
*а, б, в* – постоянная соответственно со сферическими, плоскими рифлеными и гладкими головками; *г* – регулируемая

Установочные элементы, используемые как добавочные опоры для устранения деформаций заготовки от действия сил резания, сил зажима или собственного веса, являются самоустанавливающимися и подводимыми опорами. Самоустанавливающиеся опоры применяют для легких деталей. Самоустанавливание этих опор происходит благодаря наличию пружины под опорой, а фиксирование производится клиновым устройством. Подводимые опоры применяют для тяжелых деталей. Эти опоры регулируют винтовым приводом. Установочные штыри и пласти-

ны изготовляют из сталей 45, У8А; 20Х с последующей термообработкой до твердости *HRC* 56 ... 60 и шлифованием сопрягаемых поверхностей до *Ra* = 0,8 ... 0,4 мкм.

В качестве поверхностей установки наружного цилиндра заготовки используют призмы, патроны и втулки. Углы установочных призм 60 ... 120° (в основном угол 90°), а их базовые поверхности имеют шероховатость *Ra* = 0,8 мкм и твердость не менее *HRC* 56.

Различают патроны кулачковые (двух-, трех-, четырехкулачковые), цанговые, мембранные, с гидропластом и др. Патроны выполняют одновременно две функции: центрирование заготовки и ее зажим.

Для базовых поверхностей, обработанных по 6 ... 8 квалитетам точности, можно использовать установку во втулках, которые являются дополнительными элементами. В этом случае погрешность базирования будет состоять из погрешности базирования детали во втулке и погрешности базирования самой втулки.

Для установки заготовок на внутренние цилиндрические поверхности и перпендикулярные их осям плоскости применяют установочные пальцы и оправки. На *рис. 3.2* показаны установочные пальцы. Иногда установку детали выполняют на два отверстия – два пальца. Для обеспечения компенсации погрешности межосевого расстояния между этими отверстиями один из пальцев срезают *(рис. 3.3)*. Срезанные пальцы применяют при базировании заготовки по одному обработанному отверстию и параллельной его оси плоскости. В этом случае срезы пальца компенсируют колебания размера между плоскостью и осью отверстия.

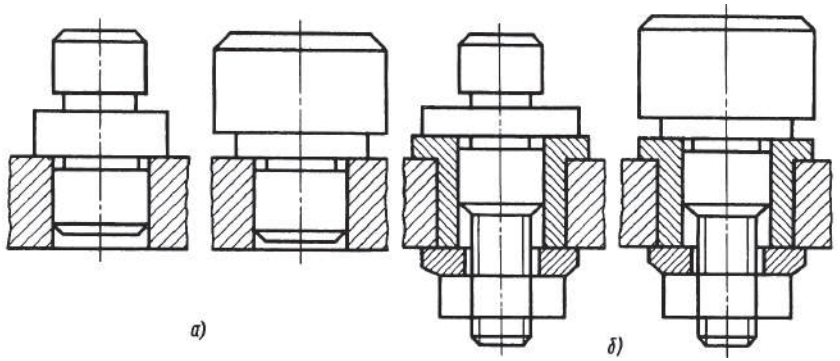



***Рис. 3.2. Установочные пальцы:***
*а* – постоянные; *б* – сменные



В практике машиностроения для установки деталей с внутренней цилиндрической поверхностью (если отношение длины отверстия к его диаметру больше единицы) в качестве установочных элементов применяют оправки.

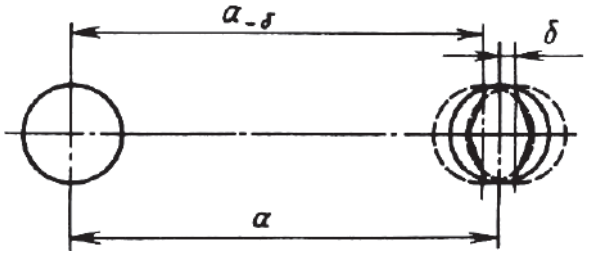



***Рис. 3.3. Схема установки на цилиндрический и срезанный пальцы***

Различают оправки консольные (с установкой в конусе шпинделя станка) и центровые (с установкой на центры). По конструктивному исполнению оправки можно также разделить на жесткие (установочный размер которых не изменяется) и разжимные (установочный размер которых изменяется вследствие податливости опорного элемента оправки). При использовании жесткой цилиндрической или конической оправки *(рис. 3.4, а, б)* необходимо деталь насаживать под прессом для создания натяга. Поэтому такие оправки могут быть применены при небольших усилиях обработки (например, шлифование, хонингование и т.п.).

При обработке на токарных операциях, когда реализуются большие усилия резания, необходимо использовать оправки жесткие цилиндрические с затяжной гайкой *(рис. 3.4, д)* или разжимные – цанговые и с гидропластом *(рис. 3.4, в, г)*. Упругие элементы этих оправок способны изменять посадочный диаметр, однако необходимо учитывать небольшие (в пределах 200 ... 300 мкм) диапазоны изменения, что требует соответствующей подготовки базового отверстия, которое должно быть обработано по 8-му квалитету точности. Если это условие не будет обеспечено, то изменение диаметра оправки может оказаться недостаточным для обеспечения необходимого натяга.

Принцип действия разжимной оправки следующий. Деталь *(рис. 3.4, в)* устанавливают с зазором на посадочную цанговую втулку *2*. Затем гайкой *4* через шайбу *3* эта втулка насаживается

на конус *1*, благодаря чему происходит центрирование заготовки и зажатие ее с достаточным усилием. После обработки необходимо гайку отпустить. В результате действия сил упругости (или легкого постукивания по детали) между деталью и цанговой оправкой создается зазор.

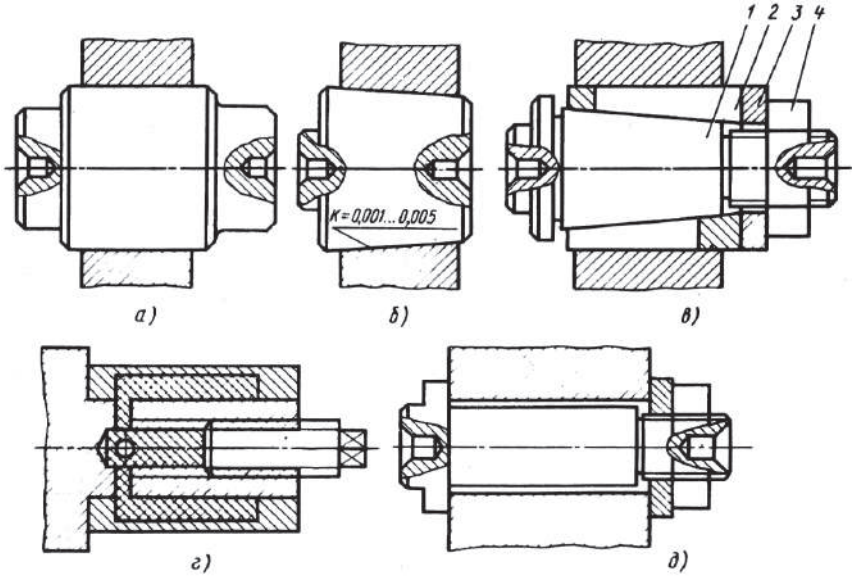



***Рис. 3.4. Типы оправок:***
*а* – жесткая цилиндрическая; *б* – жесткая коническая; *в* – цанговая разжимная; *г* – разжимная с гидропластом; *д* – жесткая с гайкой

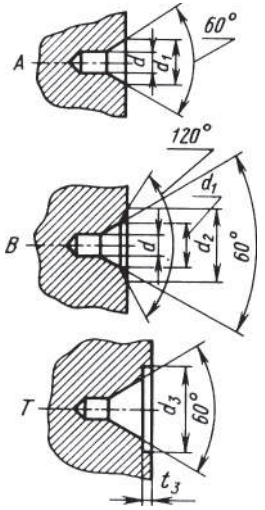
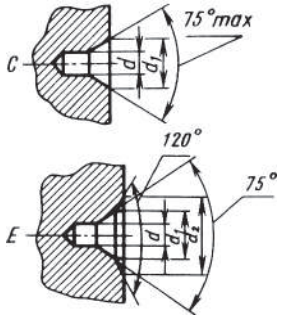
Центрирование заготовки и зажатие ее с необходимым рабочим усилием на оправке с гидропластом происходит в результате деформирования тонких стенок установочного цилиндра, внутри которого гидропласт создает высокое давление винтом, который при зажиме завинчивается, а при разжиме вывинчивается.

В качестве установочных элементов приспособлений могут быть использованы центры, если обрабатываемые заготовки имеют базовые поверхности в виде центровых отверстий *(табл. 3.1)* или конических фасок. Различают центры жесткие, вращающиеся, паводковые с мелкими зубцами (при внедрении в заготовку происходит передача крутящего момента), плавающие. Жесткие центры могут быть полные, срезанные и полуцентровые *(рис. 3.5, а–в)*.



**Таблица 3.1**

***Выбор центровых отверстий в зависимости от массы заготовки и формы центрового отверстия (по ГОСТ 14034–74)[1]***

| Форма отверстия | Масса заготовки, кг | Диаметр отверстия, мм | Примечание |
|---|---|---|---|
|  | 50<br>80<br>90<br>100<br>200<br>300<br>500<br>800<br>1500<br>2500<br>8000<br>20000 | 2<br>2,5<br>3,15<br>4<br>5<br>6,3<br>8<br>10<br>12<br>16<br>20<br>25 | *A* – следует применять после обработки, когда не возникает необходимости в центровых отверстиях, а также когда сохранность центровых отверстий в процессе их эксплуатации гарантируется термообработкой<br>*B* – применять, когда центровые отверстия многократно используются и необходимо наличие отверстий в готовой детали<br>*T* – для оправок и калибров–пробок |
|  | 1500<br>3000<br>9000<br>20000<br>35000<br>80000<br>120000 | 8<br>12<br>20<br>30<br>40<br>50<br>63 | C – для обработки крупных валов по аналогии с формой *A*<br>*E* – обработка крупных валов по аналогии с формой *B* |

[1] ГОСТ 14.034–74 предусматривает также следующие формы отверстий: *R9* – аналог формы *A*, но конус не прямой, а радиусный (для повышенной точности); *F* и *H* – специальные многоступенчатые формы (для монтажа, транспортирования, термообработки).

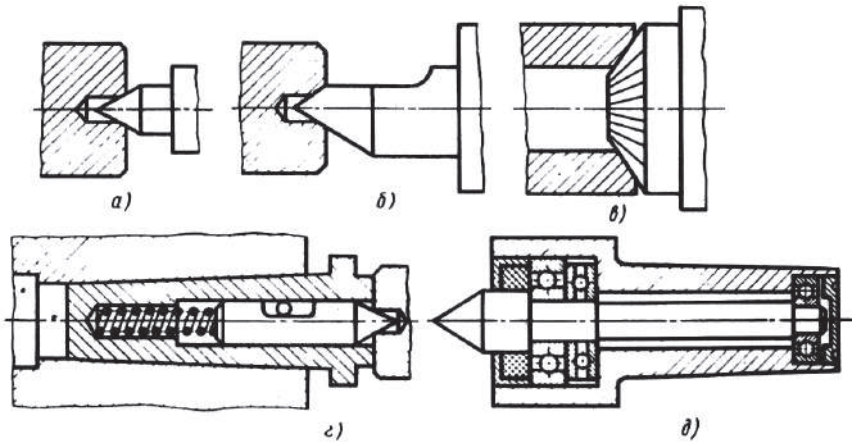



***Рис. 3.5. Установочные центры:***
*а* – жесткий полный; *б* – жесткий полуцентровой; *в* – жесткий паводковый срезанный с зубцами; *г* – плавающий; *д* – вращающийся

При использовании центров возникают погрешности при обработке вследствие неточности обработки центровых отверстий или фасок отверстия, а также вследствие наличия зазоров в подшипниках центров. Наиболее точно заготовку можно установить по длине при использовании плавающего переднего центра, установленного в конусе шпинделя *(рис. 3.5, г)*. Благодаря тому, что торец детали упирается в торец конусной втулки плавающего центра, обеспечивается постоянное осевое положение обрабатываемой заготовки. Вращающийся центр *(рис. 3.5, д)* уменьшает изнашивание поверхности центрового отверстия детали. Однако вследствие наличия зазоров в подшипниках этого центра точность обработки деталей снижается.

## 3.3. ЗАЖИМНЫЕ УСТРОЙСТВА

Зажимные устройства приспособлений предназначены для создания надежного контакта заготовки с установочными элементами и предотвращения смещения и вибрации заготовки в процессе ее механической обработки. При проектировании зажимного элемента необходимо определить возможное зажимное усилие, причем оно должно быть больше усилия резания при использовании этого элемента.



Зажимные элементы условно можно разделить на простые (элементарные) и комбинированные. К простым зажимным элементам относят винтовые, эксцентриковые, рычажные, клиновые и шарнирно-рычажные. Их обычно называют зажимами, а комбинированные, состоящие из нескольких последовательно сблокированных простых механизмов, называют прихватами.

По степени механизации зажимные механизмы можно классифицировать на:

- ручные, приводимые в действие усилием оператора (при этом расчетное усилие не превышает 150 Н);
- механизированные – компоновка простых или комбинированных механизмов с механизированным приводом;
- автоматизированные – зажимные устройства, приводимые в действие перемещающимися деталями станков, силами резания или инерционными силами вращающейся заготовки (в этом случае зажим и раскрепление заготовки происходят без участия оператора).

*Ручные* зажимные устройства применяют в единичном и мелкосерийном производстве, они должны быть универсальными. Механизированные зажимные устройства используют в серийном и крупносерийном производстве.

*Автоматизированные* зажимные устройства находят применение в крупносерийном и массовом производстве.

Для определения зажимного усилия необходимо определить схему базирования заготовки, направления этого усилия и усилия резания. На *рис. 3.6* приведены наиболее часто встречающиеся схемы базирования, составляющие силы резания $P$ и зажимного усилия $Q$. Для приведенных схем обработки и зажима заготовки необходимо соблюдать следующее условие: зажимное усилие (или его момент) должно быть (при некотором коэффициенте запаса) больше усилия резания (или его момента). Так, при обработке заготовки фрезерованием или строганием *(рис. 3.6, а)* это условие имеет вид:

$$Qf_1 + (Q + P_1) f_2 \geq P_2 k;\ Q \geq (P_2 k - P_1 f_2) / (f_1 + f_2); \qquad (3.1)$$

при токарной обработке *(рис. 3.6, б)*

$$Q \geq Mk / (fnR); \qquad (3.2)$$

при осевом сверлении заготовки на упоре *(рис. 3.6, в)*

$$Q \geq Mk / [Rf + Rf_1 \sin(\alpha/2)]; \qquad (3.3)$$

при одновременной расточке двух отверстий однорезцовыми борштангами: оба резца режут в одном направлении: (образуется наибольшая сдвигающая сила)

$$Q \geq (P_1 + P_2)\, k / (f_1 + f_2); \qquad (3.4)$$

если оба резца режут в противоположных направлениях (образуется наибольший сдвигающий момент), то

$$Q \geq Mk / L = (P_1 l_1 + P_2 l_2)\, k/L, \qquad (3.5)$$

где $k$ – коэффициент запаса зажимного усилия (его значение зависит от состояния поверхностей обработки и режущей кромки резца, равномерности припуска, стабильности положения точек контакта при установке заготовки т.д.); $M$ – момент сил резания; $Q$ – зажимное усилие; $R$ – радиус заготовки; $P$ – усилие резания; $n$ – число кулачков патрона; $f_1, f_2$ – коэффициенты трения заготовки о зажимные и установочные элементы приспособления, их принимают равными:

0,16 при использовании плоских опор;

0,18 ... 0,3 при использовании необработанных поверхностей заготовок и опор со сферической головкой;

0,7 и более при использовании рифленых головок опор.

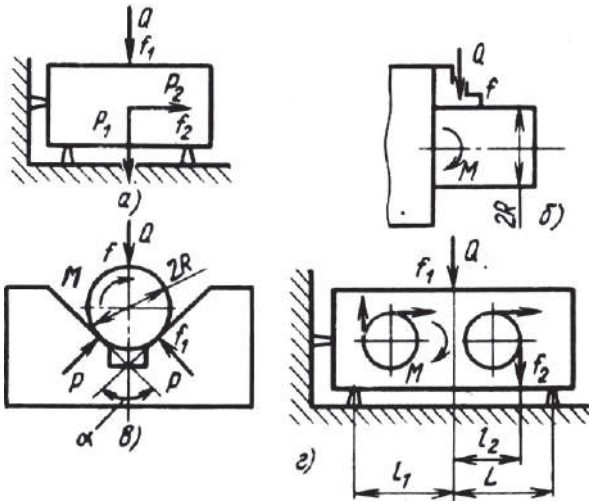



***Рис. 3.6. Схема действия сил резания и зажимных усилий при обработке заготовки:***

*а* – фрезерованием или строганием; *б* – точением на токарном станке; *в* – сверлением заготовки на упоре; *г* – растачиванием двух отверстий однорезцовыми борштангами



Винтовые зажимы могут быть использованы самостоятельно и с рычажным преобразователем (в прихватах). Достоинства этих элементов – простота устройства, создание достаточного зажимного усилия и отсутствие специальных источников энергии. Недостатки – малая производительность и непостоянство зажимного усилия. Момент от прикладываемого усилия определяют из выражения:

$$M = Q[(d_2/2)\, tg(\alpha + \varphi) + f(D^3 - d^3) / (D^2 - d^2)3] \approx 0{,}22dQ, \qquad (3.6)$$

где $d_2$, $d$ – средний и наружный диаметры резьбы, м; α = 2,5 ... 3,5° – угол подъема резьбы; φ – приведенный угол трения, tgφ = $f$ (для малых скоростей скольжения φ = 6,5 ... 7,5°); $f$ – коэффициент трения; $Q$ – зажимное усилие, Н; $D$ – диаметр опорной поверхности гайки, м *(рис. 3.7)*.

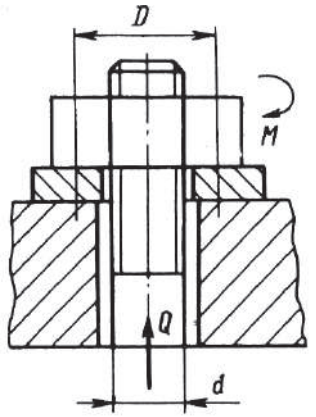



***Рис. 3.7. Винтовой зажим***

*Эксцентриковые зажимы (рис. 3.8)* – быстродействующие, но в них создаются небольшие зажимные усилия. Момент на рукоятке эксцентрика

$$M = Q[D/2\, \sin\varphi + d'/2 + e\sin(\alpha + \varphi)], \qquad (3.7)$$

где $D$ – диаметр эксцентрика, м; $d' = df'$ – диаметр круга трения цапфы, м; $f'$ – коэффициент трения в цапфе; $e$ – эксцентриситет эксцентрика, м; φ – угол трения эксцентрика, φ = 6°.

При определенных соотношениях диаметра эксцентрика и эксцентриситета зажим становится самотормозящим. Это будет в том случае, если

$$f > \text{tg}\varphi \qquad (3.8)$$

Так как угол α непостоянен, то зажимающее усилие изменяется. Последний фактор – существенный недостаток эксцентриковых зажимов.

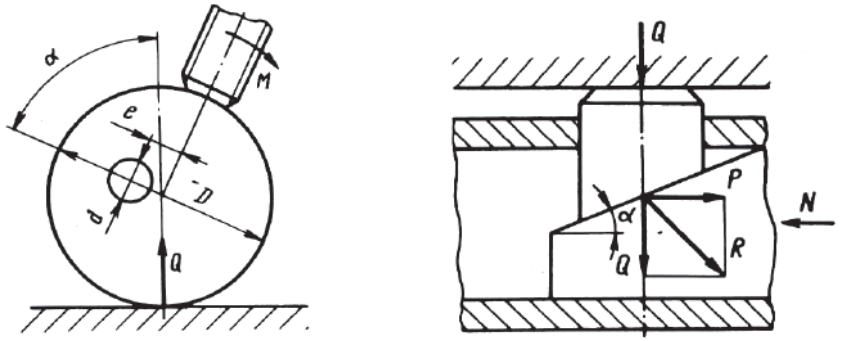



***Рис. 3.8. Зажимы эксцентриковый (слева) и клиновой (справа)***

*Клиновые зажимы (рис. 3.8)* применяют в комбинированных конструкциях приспособлений. Их используют в качестве промежуточных звеньев и для увеличения передаваемого зажимного усилия. Усилие для перемещения клина

$$N = Q\,\mathrm{tg}(\alpha + 2\varphi), \qquad (3.9)$$

где α – угол клина; φ – угол трения на клиновой поверхности, φ = 6 ... 7°; $Q$ – зажимное усилие, Н.

Это выражение справедливо для упрощенного случая, когда трение существует только на наклонной (клиновой) поверхности, а закрепляемая заготовка перемещается вместе с клином в направлении усилия N. В действительности трение имеется и на нижней поверхности клина, на прижатой стороне плунжера. Существенным недостатком рассмотренного клинового зажима является малый коэффициент полезного действия, небольшие углы (в пределах 6° ... 15°) для образования условий самоторможения. В этих зажимах требуется большой ход клина. Для увеличения КПД клинового зажима на поверхностях трения предусматривают опорные катки, в результате чего вместо трения скольжения имеет место трение качения. Однако в этом случае ухудшаются условия самоторможения.

*Рычажные зажимы* применяют в сочетании с другими элементарными зажимами. Например, действуя рычагом *(рис. 3.9)*, можно значительно увеличить зажимное усилие. При этом усилие привода



$$N = Q\,[(l_1 + l'_1 f_1 + 0{,}48\,df') / (l_2 - l_2' f_2 - 0{,}2\,df')], \qquad (3.10)$$

где $l_1$, $l_2$, $l'_1$, $l'_2$ $d$ – конструктивные размеры рычага и цапфы; $f_1$, $f_2$ – коэффициенты трения на опорных точках рычага; $f'$ – коэффициент трения в цапфе рычага; $Q$ – зажимное усилие, Н.

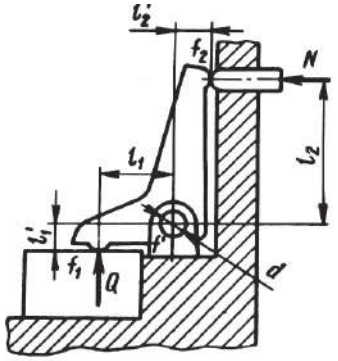



***Рис. 3.9. Рычажный зажим***

На практике очень часто используют рычажно-винтовые прихваты *(рис. 3.10)*. Зажимное усилие в них возникает при передаче усилия винтовой пары

$$N = Q\,(l_1 + l_2)\,/\,l_1 \qquad (3.11)$$

Такой прихват можно легко установить в любой точке стола металлорежущего станка благодаря наличию *Т*–образных пазов для головки винтов. При завинчивании гайки *3* усилие *N* передается рычагом *2* детали *1* и предотвращает ее смещение при обработке. При отвинчивании гайки пружина *4* отжимает рычаг и деталь свободно снимается со стола.

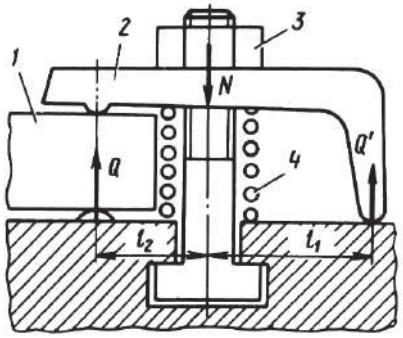



***Рис. 3.10. Комбинированный рычажно-винтовой зажим***

*Цанговые зажимы* относятся к установочно-зажимным или центрирующе-зажимным устройствам. При действии зажимного усилия происходит осевое смещение заготовки. Поэтому для точной фиксации последней необходимо использовать упоры. Осевое усилие цанги

$$N \approx Qn \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \qquad (3.12)$$

где φ – угол трения; $n$ – число лепестков цанги.

Цанга может быть выполнена тянущей для закрепления штучных заготовок *(рис. 3.11)* и толкающей. При изготовлении детали из пруткового материала используют толкающую цангу с внешним (дополнительным) упором для ограничения длины выдвижения прутка.

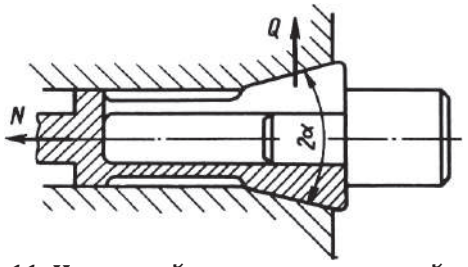



***Рис. 3.11. Цанговый зажим с тянущей цангой***

Цанга представляет собой разрезные пружины с наружным конусом втулки. Число лепестков и их форма могут быть различны. В основном используют трехлепестковые цанги из стали У8А, 65Г, 15ХА или 12ХН3А, термически обработанные до твердости HRC 55 ... 62. Цанги обеспечивают эксцентричность установки (биение) не более 0,02 ... 0,005 мм. Базовую поверхность заготовки при использовании цанг можно обработать по 9 квалитету точности. Трехлепестковые цанги предназначены для обработки заготовки диаметром не более 30 мм. Для диаметра заготовки 30 ... 80 мм используют цангу с четырьмя лепестками, а для заготовок больших диаметров – с шестью лепестками.

На многих металлорежущих станках используют зажимные устройства, преобразующие тот или иной вид энергии в механическую. По виду преобразуемой энергии эти устройства можно классифицировать на: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электрические, электромагнитные, магнитные, вакуумные, инерционные и от движущихся частей станка.

*Пневматические устройства* могут быть выполнены с пневмоцилиндрами, пневмокамерами и сильфонами.



**Пневматические мембранные устройства** могут быть выполнены с тарельчатой и плоской диафрагмами из прорезиненных тканей. Зажимное усилие у диафрагменных зажимных устройств изменяется в зависимости от положения диафрагмы:

в исходном положении штока соответственно для тарельчатой и плоской диафрагм

$$Q = 0{,}2(D + d)^2 p - c; \qquad (3.12)$$

$$Q = 0{,}78\, d^2 p - c; \qquad (3.13)$$

в крайнем (в момент зажима) положении штока соответственно для тарельчатой и плоской диафрагм

$$Q = (D + d)^2 p - c; \qquad (3.14)$$

$$Q = 0{,}7 d^2 p - c; \qquad (3.15)$$

где $D$, $d$ – диаметры камеры и диафрагмы, м; $p$ – давление водуха, МПа; $c$ – жесткость пружины, Н/м; $Q$ – усилие камерного привода без уплотнений, МН.

*Пневматические поршневые* устройства приводятся в действие сжатым воздухом. Они могут быть одностороннего или двустороннего действия. Обратный ход поршня в пневматических устройствах одностороннего действия осуществляется с помощью пружины. Для такого устройства диаметр поршня

$$d = \sqrt{4\,(Q + c) / (\pi p \eta)} \qquad (3.16)$$

где $Q$ – зажимное усилие, МН; $p$ = 0,4 ... 0,6 МПа; η – КПД поршневого пневмоцилиндра; η = 0,85 ... 0,9.

Для двустороннего пневматического устройства *(рис. 3.12)* диаметр поршня

$$d = \sqrt{4Q / (\pi p \eta)} \qquad (3.17)$$

Недостатки пневматических поршневых устройств: громоздкость, плохое восприятие импульсных и ударных нагрузок, при повреждениях цилиндров возможно травмирование рабочих, неплавное перемещение штока, наличие шума при работе.

*Гидравлические зажимные* устройства целесообразнее применять на станках с гидроприводом, поскольку они по принципу действия не отличаются от пневматических, но по сравнению с последними отличаются в лучшую сторону рядом свойств. Например, компактностью (благодаря повышению давления рабочей жидкости до 8 МПа), хорошим восприятием импульсных и ударных нагрузок, плавным перемещением штока и бесшумной

работой. Однако гидравлические устройства сложнее изготавливать и эксплуатировать, они имеют плохое быстродействие и сложнее в управлении.

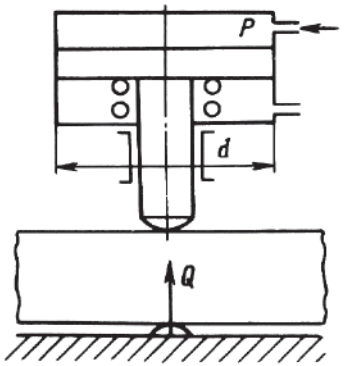



***Рис. 3.12. Пневматическое поршневое устройство***

*Пневмогидравлические зажимные* устройства получили широкое распространение. Их называют пневмогидравлическими усилителями *(рис. 3.13)*. У них сжатый воздух поступает в цилиндр диаметром $d$ и создает давление жидкости в плунжерной камере диаметром $d_1$. На гидропоршень диаметром $d_2$ действует давление жидкости (масла), большее, чем давление сжатого воздуха:

$$p_1 = p(d/d_1)^2\,\eta\eta_1. \qquad (3.18)$$

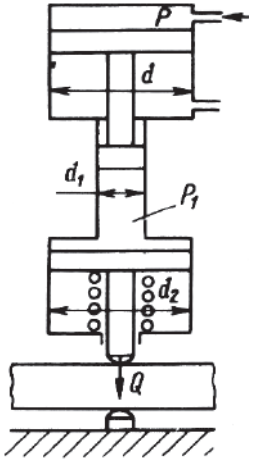



***Рис. 3.13. Пневмогидравлический усилитель***



Таким образом, гидроцилиндр создает усилие зажима

$$Q = p(d/d_1)^2(\pi d_2^2/4)\eta\eta_1\eta_2, \qquad (3.19)$$

где $\eta$, $\eta_1$, $\eta_2$, – КПД цилиндров, $\eta_2$ = 0,9 ... 0,95; $d$, $d_1$, $d_2$ – диаметры поршней и плунжера, м.

Преимуществами пневмогидравлического устройства являются: хорошее быстродействие и отсутствие сложной системы управления, хорошее восприятие ударных и импульсных нагрузок.

Получили распространение *механогидравлические усилители и усилители с гидропластом*. В этих устройствах давление в гидроцилиндре создается при перемещении плунжера винтовыми, клиновыми, кулачковыми и другими преобразователями. Эти преобразователи имеют ручной привод.

*Вакуумные зажимные устройства* работают по принципу использования разности атмосферного давления и давления в полости устройства, в котором вакуумным насосом создается разрежение. Эти устройства дороги в изготовлении и эксплуатации, они создают малые зажимные усилия, требуют применения различных уплотнений и т.п. Зажимное усилие этих устройств

$$Q = F(0{,}101325 - p)k, \qquad (3.20)$$

где $F$ – площадь прижима (обычно площадь заготовки внутри уплотнительного кольца), м$^2$; $p$ – остаточное давление в вакуумной камере, МПа; $k$ – коэффициент герметичности вакуумной системы, $k$ = 0,8 ... 0,85.

*Магнитные зажимные устройства* могут иметь постоянные магниты либо электромагниты. Эти устройства в виде плит или планшайб применяют для закрепления стальных, чугунных заготовок с плоской базовой поверхностью. Такие устройства обеспечивают достаточные зажимные усилия заготовки в необходимом положении и свободный доступ к ней. *Электромагнитные зажимные устройства* рекомендуется применять для отделочных операций (шлифования, тонкого точения и т.п.).

Магнитные зажимные устройства на постоянных магнитах надежнее, они могут создать зажимные усилия, достаточные для получистовой и тонкой обработки точением, не требуют источников питания. Зажимное усилие этих устройств можно определить по формуле

$$Q = 10^6 B^2 S/(2\mu_0) = 10^6\,\Phi^2/(2\mu_0 S) = 0{,}398\Phi^2/S, \qquad (3.21)$$

где $B$ – магнитная индукция, Тл; $\Phi$ – магнитный поток, проходящий через поверхность закрепления заготовки, Вб;

$S$ – активная площадь полюсников или площадь, на которую распространяется магнитный поток, м$^2$.

Обычные значения удельных зажимных усилий в магнитных и электромагнитных приспособлениях составляют от 0,2 до 1,0 МПа. Эти значения усилий в значительной степени зависят от материалов магнитов и магнитопроводов, а также от конструкции электромагнитных катушек. Применение электромагнитных устройств ограничено вследствие сильного электромагнитного поля, распространяющегося на достаточно большие расстояния от рабочих поверхностей приспособлений. Для них необходим подвод электроэнергии, что вызывает дополнительные трудности при использовании перемещающихся электромагнитных устройств. Этих недостатков нет у приспособлений с постоянными магнитами. В качестве постоянных магнитов могут быть использованы отливки на основе сплавов железа, никеля, алюминия и кобальта с легированием медью, серой, титаном, ниобием и другими элементами, а также на основе спеченных материалов и др.

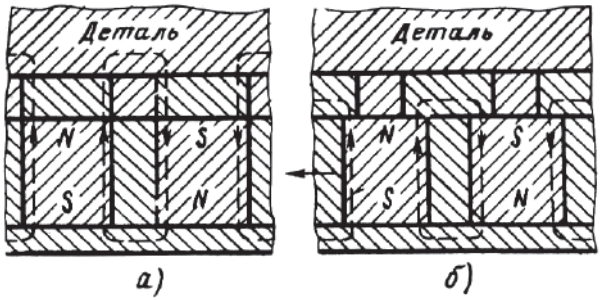



***Рис. 3.14. Схема шунтирования магнитного потока плит с литыми магнитами:***
*а* – деталь закреплена; *б* – деталь свободна

Для обеспечения снятия детали с магнитного зажимного устройства последнее снабжают управляющим устройством или специальным силовым механизмом (без отключения магнитного потока). Управляющее устройство выполняют ручным, электромеханическим, пневматическим или гидравлическим. Для отключения (точнее отвода) магнитного потока перемещают (сдвигают или поворачивают) магнитные блоки, в результате чего магнитный поток от детали шунтируется или нейтрализуется. Шунтирование чаще применяют для литых магнитов *(рис. 3.14)*. Однако при



этом часть потока замыкается через деталь и деталь не полностью «свободна», т.е. для ее снятия следует приложить некоторое усилие. Для отключения магнитного приспособления способом нейтрализации также используют перемещение магнитного блока *(рис. 3.15)*, но при этом достигается полное переключение магнитного потока, и деталь свободно снимается с зажимного устройства.

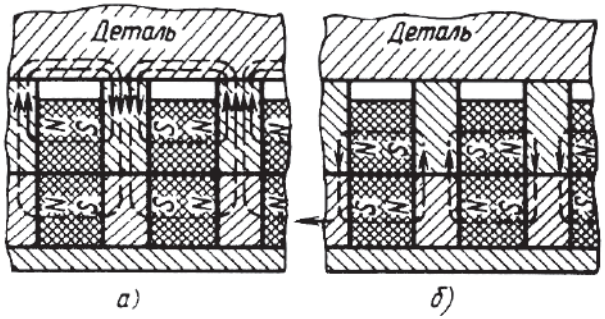



***Рис. 3.15. Схема нейтрализации магнитного потока плит с магнитом из спеченных материалов:***
а – деталь закреплена; б – деталь свободна

## 3.4. УСИЛИТЕЛИ ЗАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ

В зажимных устройствах используют усилители, принцип работы которых – преобразование малых усилий и больших пермещений в большие усилия и малые перемещения. Усилители можно классифицировать как механические, пневмогидравлические, механогидравлические. К механическим усилителям следует относить те усилители, кинематическая схема которых включает рычаги, клины (прямолинейные и криволинейные), зубчатые и червячные передачи. Криволинейные клины по принципу действия подобны прямому клину, но они компактнее. К ним относят эксцентрики (цилиндрические или торцовые), кулачки, байонетные устройства и др.

В пневмогидравлических усилителях большое перемещение поршня пневмоцилиндра преобразовывается в повышение давления в плунжерной камере, соединенной с гидроцилиндром.

В механогидравлических усилителях перемещением винта плунжера в плунжерной камере повышают давление жидкости, подаваемой в гидроцилиндр.

Рычажные усилители дают выигрыш в зажимном усилии за счет соотношения плеч *(рис. 3.16, а)* (необходимо учитывать потери на трение):

$$Q = N\,(l_1 - rf) / (l + rf) \approx N\eta l_1 / l. \qquad (3.22)$$

Зажимное усилие рычажного усилителя с угловым рычагом *(рис. 3.16, б)*

$$Q = N\,(l_1 - 0{,}4rf) / (l + 0{,}94rf) \approx N\eta l_1 / l. \qquad (3.23)$$

При расчетах рычажных усилителей зажимное усилие можно рассчитывать по следующей формуле:

$$Q = N\eta l_1 / l, \qquad (3.24)$$

где η – коэффициент, учитывающий потери от трения на оси и в точках приема и передачи усилия, η = 0,95 ... 0,8 (для расчетов можно применять минимальные его значения, т.е. η = 0,8).

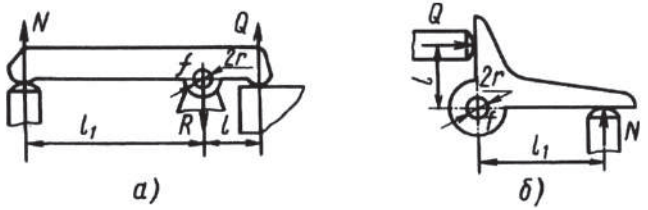



***Рис. 3.16. Рычажные усилители:***
*а* – с прямым рычагом; *б* – с угловым рычагом

При использовании клинового усилителя выигрыш в зажимном усилии создается в результате клинового эффекта *(рис. 3.17)*:

$$Q = N / [\mathrm{tg}\,(\alpha + \varphi_1) + \mathrm{tg}\,\varphi_2]. \qquad (3.25)$$

Если принять $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, то

$$Q = N / \mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi). \qquad (3.26)$$

где φ – угол трения на плоскостях контакта клина, φ = 6 – 7°.

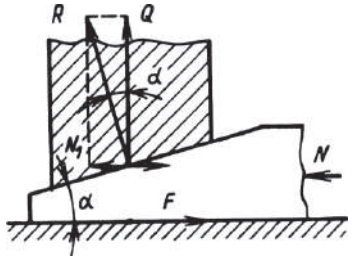



***Рис. 3.17. Клиновой усилитель***



Таким образом, чем меньше будет угол клина, тем больше будет зажимное усилие при постоянных $N$ и φ. При этом будет уменьшен ход прижимного элемента. В общем случае

$$Q = N\eta / \mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi), \qquad (3.27)$$

где η – коэффициент, учитывающий потери от трения на поверхностях клина (с учетом наличия роликов на плунжере, опирающемся в клин), η = 0,84 ... 0,99; для расчетов можно принять η = 0,84.

При использовании в качестве усилителей криволинейных клиньев можно использовать такую же формулу, как и выше. Так, для круглого эксцентрика (плоский клин и рычаг)

$$Q \approx Nl / [r\,\mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi)], \qquad (3.28)$$

где $l$ – длина рукоятки эксцентрика; $r$ – радиус эксцентрика.

Для цангового патрона

$$Q \approx N' / \mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi) = (N + P_л) / \mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi), \qquad (3.29)$$

где $P_л = 3EI/l^3$ – усилие деформации (прогиба) одного лепестка цанги (здесь $E$ = 2,1 · 106 МПа – модуль упругости стали лепестков; $I = D^2 s\,[\alpha_1 + \sin\alpha_1 \cdot \cos\alpha_1 - (2\sin^2\alpha)/\alpha]/8$ – момент инерции в сечении заделанной части лепестка; $\alpha = 360/z$ – угол лепестка; $f = \Delta$ – стрела прогиба лепестка, равная зазору между внутренним диаметром разжатой цанги и заготовкой; $z$ – число лепестков цанги; $l$ – расстояние от плоскости задела лепестка цанги до середины зажимающего конуса; $D$ – наружный диаметр цанги в сечении заделанной части; $s$ – толщина лепестка в том же сечении.

Учитывая малое значение усилия прогиба лепестков цанги, в расчетной формуле им можно пренебречь. При использовании винтового зажима или байонетного замка имеем криволинейный клин (угол подъема винтовой линии) и рычаг, плечи которого – размер гаечного ключа $l_1$ и средний диаметр резьбы $d_2$. В этом случае зажимное усилие

$$Q \approx 2Nl_1 / [d_2\,\mathrm{tg}\,(\alpha + 2\varphi)], \qquad (3.30)$$

где $N$ – усилие на гаечном ключе при завинчивании гайки (до 150 Н); α – угол наклона резьбы, $\mathrm{tg}\alpha = P/(\pi d_2)$ (здесь $P$ – шаг резьбы; φ – угол трения).

Пневмогидравлические усилители создают повышенное зажимное усилие благодаря большому перемещению пневматического поршня, шток которого играет роль плунжера для увели-

чения давления в камере гидропоршня. Пневмогидравлические усилители могут быть встроенными в зажимные устройства или раздельно установленными. Зажимное устройство со встроенными усилителями может быть нестационарным, так как в этом случае подвод сжатого воздуха можно осуществлять по гибким шлангам. Зажимное устройство с пневмогидравлическими усилителями, установленными раздельно от него, является стационарным, так как подвод жидкости высокого давления к рабочим гидроцилиндрам от усилителя можно осуществить только по цельнометаллическому прорезиненному трубопроводу.

Пневмогидроусилители могут быть выполнены с преобразователями последовательного действия (в основном системы с раздельно установленными блоками преобразователя и рабочего цилиндра) или с преобразователями прямого действия. Преобразователи прямого действия – системы со встроенными в приспособление или стол блоками преобразователя-гидроцилиндра, выполненными в одном общем корпусе. Пневмогидравличесие усилители последовательного действия могут быть выполнены двух видов.

Пневмогидроусилитель первого вида *(рис. 3.18)* имеет систему отдельного гидропоршня и блока усиления (пневмопоршень-гидроаккумулятор). Управление гидроусилителем ведется через четырехходовой распределительный кран. В первом положении воздух из сети подается в полость *А*, в которой мембрана сжимает масло и оно поступает в полость *Б* (подплунжерную полость), а затем в рабочий гидроцилиндр по трубопроводу. При этом происходит предварительный зажим заготовки. Во втором положении крана открывается доступ сжатого воздуха в полость *В* и поршень со штоком-плунжером перемещается вправо. Перепускное отверстие *2* перекрывается и в полости *Б* цилиндра и рабочем цилиндре создается номинальное давление (до 0,8 МПа) для окончательного зажима заготовки.

После обработки заготовки кран поворачивают в третье положение. При этом открывается доступ сжатого воздуха в полость *Д* и левую отжимную полость гидроцилиндра через отверстие *1* и трубопровод *3*. При этом воздух из полостей *А* и *В* выходит в атмосферу, пневмопоршень с плунжером отходят в исходное левое положение, давление масла в камере *Б* уменьшается и плунжер гидроцилиндра освобождает деталь.



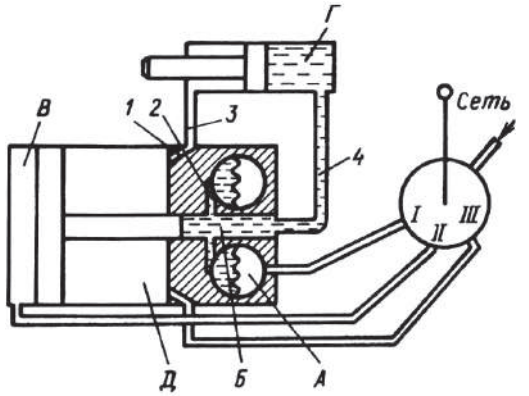



***Рис. 3.18. Пневмогидравлический усилитель последовательного действия, установленный раздельно от зажимного устройства***

Пневмогидроусилитель второго вида *(рис. 3.19)* работает аналогично, но отличается конструктивным исполнением. От распределительного крана сжатый воздух по каналу впуска поступает в полость *А*. В результате этого упругая оболочка *8* (с маслом внутри нее) сжимается, и масло выдавливается из полости *Б* в рабочие цилиндры через отверстия *7* и полость *В*, что ведет к предварительному поджатию заготовки. В это время пневмопоршень удерживается шариками *3*, прижатыми пружиной *2*, сила сжатия которой отрегулирована на расчетное давление.

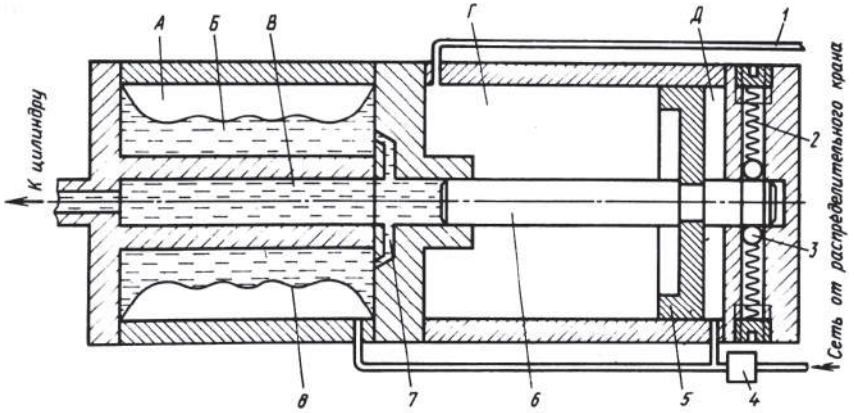



***Рис. 3.19. Гидропневмоусилитель последовательного действия, встроенный в зажимное устройство***

После достижения расчетного давления в полости *Д* поршень *5* отжимает шарики с пружинами и начинает движение влево, плунжер *6* сжимает масло и увеличивает давление в рабочих цилиндрах, в результате чего происходит окончательный зажим заготовки. Скорость хода пневмопоршня регулируется дросселем *4*.

Для снятия заготовки необходимо распределительным краном перекрыть подачу воздуха от канала впуска, соединить его с атмосферой, а полость *Г* отключить от атмосферы, в результате чего в гидроцилиндре рабочее давление будет таким, что шток и пневмопоршень переместятся вправо. Подавая небольшие порции сжатого воздуха в канал обратного хода *1* пневмоцилиндра *Г*, полностью освобождают заготовку от зажима.

Пневмогидроусилитель прямого действия предствлен на *рис. 3.20*. Эти пневмогидроусилители компактны. Принцип действия их следующий: сжатый воздух через распределительный кран подается в полость *А*. Пневмопоршень *5* перемещается влево, шток-плунжер *4* сжимает масло в рабочей камере *Б* гидроцилиндра, и поршень *3* через шток *1* зажимает заготовку. Возврат системы в исходное положение (при снятии заготовки) осуществляет пружина *2*, при этом отключается подача сжатого воздуха в полость *А*, которая соединена с атмосферой.

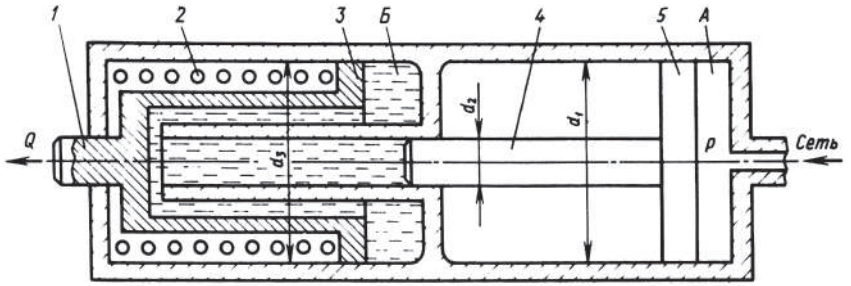



***Рис. 3.20. Пневмогидроусилитель прямого действия, встроенный в зажимное устройство***

Упрощенная формула для определения зажимного усилия на штоке гидропневмоусилителя при известном давлении в сети $p$, диаметрах пневмоусилителя $d_1$ и $d_2$, диаметре гидроцилиндра $d_3$ и КПД поршней $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 0{,}9$ имеет вид

$$Q = 0{,}6\, p\, d_1^2 d_3^2 / d_2^2. \qquad (3.31)$$

Диаметр гидроцилиндра

$$d_3 = 1{,}3\sqrt{Q / p}\,(d_2 / d_1) \qquad (3.32)$$



Механогидравлические усилители создают давление при перемещении плунжера механическим приводом. В основном это винтовой привод, вращение винта которого выполняется вручную маховичком или гаечным ключом. На *рис. 3.21* показан механогидравлический усилитель и усилитель с гидропластом. Принцип действия их одинаков. Однако в механогидравлическом усилителе рабочая жидкость (масло) действует на поршень, а в усилителе с гидропластом последний действует на тонкую стенку (наружную или внутреннюю) втулки, в результате чего ее диаметр увеличивается или уменьшается. Таким образом, втулка выполняет две функции: центрирует и закрепляет заготовку. Такие простые и надежные конструкции усилителей позволяют вести обработку деталей с большими зажимными усилиями. Зажимное усилие при использовании механогидравлического усилителя

$$Q = 2Nld_1^2\eta/[d_2 d_0^2 \operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi)], \qquad (3.33)$$

где $N$ – усилие руки рабочего (до 150 Н); $l$ – плечо маховичка или размер плеча ключа; $d_2$ – средний диаметр резьбы винта; $d_1$ – диаметр поршня; $d_0$ – диаметр плунжера; α – угол подъема нитки резьбы; φ – угол трения; η – КПД преобразователя, (η = 0,9 ... 0,95).

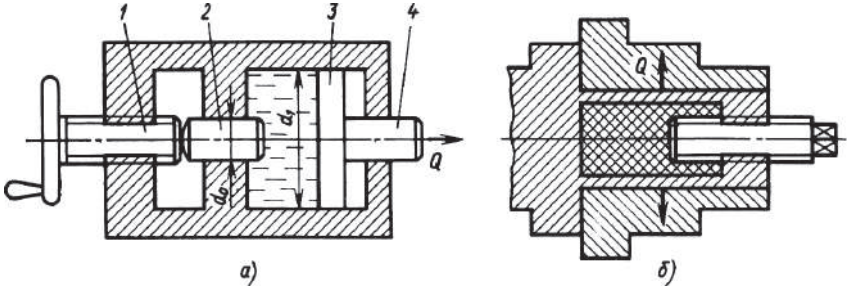



***Рис. 3.21. Винтовой усилитель:***
*а* – механогидравлический; *б* – с гидропластом

Зажимное усилие при использовании втулки с гидропластом возникает в результате сил трения, которые создают момент

$$M_т = 4Nll_к d^2 f\eta / [d_2 d_1^2 \operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi)], \qquad (3.34)$$

где $N$ – усилие завинчивания винта (до 150 Н); $l$ – длина ключа; $d$ – наружный диаметр оправки; $l_к$ – длина контактной зоны втулки и детали (ориентировочно 0,5 ... 0,8 длины тонкостенной части внулки); $f$ – коэффициент трения, $f$ = 0,15 ... 0,2; η – КПД плунжерной камеры, η = 0,9 ... 0,95; $d_2$ – средний диаметр винта; $d_1$ – диаметр плунжера.

Для нормальной работы зажимного устройства необходимо, чтобы момент от сил трения был больше момента от сил резания, т.е. $M_т = M_р k$ ($k$ = 2 ... 1,4 – коэффициент запаса).

## 3.5. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО ЗАЖИМНОГО УСИЛИЯ

В процессе обработки на заготовку действуют различные силы, которые можно разделить на силы активные и пассивные. К активным силам относятся внешние силы, действующие на заготовку и стремящиеся ее переместить или удержать на месте (в основном силы резания и зажимные усилия). Пассивные силы тоже внешние, но они зависят от направления и действия активных сил. К пассивным силам можно отнести реакции опор и силы трения. К активным силам следует также относить силы тяжести, инерционные и центробежные силы. Последние три силы учитывают тогда, когда они соизмеримы с силами резания.

Для нормальной обработки необходимо, чтобы закрепленная заготовка находилась в устойчивом равновесии, т.е. сумма проекций векторов действующих сил на любую ось или их моменты относительно любой из осей были равны нулю (условие динамического равновесия). Для случая малых значений инерционных, центробежных и других сил (когда ими можно пренебречь) можно говорить о статическом равновесии обрабатываемой детали. Причем в любом условии равновесия зажимное усилие Q должно быть достаточным для предупреждения смещения установленной в приспособлении заготовки. Следует, однако, иметь в виду, что при слишком большом значении зажимного усилия будут сказываться деформации, что уменьшает точность обработки. Поэтому максимальное зажимное усилие не должно превышать некоторого значения, соответствующего условиям точности выполнения операции. Найденное значение максимальной силы зажима должно обеспечивать надежное закрепление заготовки против смещения за счет сил резания, т.е.

$$Q = Pk, \qquad (3.35)$$

где $k$ – коэффициент надежности закрепления (коэффициент запаса), необходимость введения которого вызвана нестационарностью сил резания, зажимных усилий, моментов и другими факторами.

Значение этого коэффициента может быть определено опытно-статическим и дифференцированным способами.



Первый способ более легкий, так как учитывает опытные данные при проектировании приспособлений, обработке деталей и т.п. Однако этот метод не может претендовать на высокую точность. Поэтому используют дифференцированный способ расчета (предварительная оценка), а затем проверяют его при пробной обработке деталей. Дифференцированное значение коэффициента

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6, \qquad (3.36)$$

где коэффициенты: $k_0$ (1,5) – надежности (запаса); $k_1$ (1,0 ... 1,2) – влияния случайных неровностей поверхности детали; $k_2$ (1,0 ... 1,9) для учета затупления инструмента; $k_3$ (1,0 ... 1,2), учитывающий прерывистое резание; $k_4$ (1,0 ... 1,3) – непостоянства зажимных усилий; $k_5$ (1,0 ... 1,2) , учитывающий положение ручек в ручных зажимных устройствах; $k_6$ (1,0 ... 1,5) – учета момента, стремящегося повернуть заготовку.

Силы, действующие на закрепленную в приспособлении деталь, замыкаются через корпус приспособления *(рис. 3.22)*, т.е. происходит силовое замыкание системы. Последовательность определения зажимного усилия:

1) выбор рациональной схемы установки заготовки с определением места приложения зажимных усилий и сил резания в наиболее неблагоприятный момент обработки (необходимо, чтобы силы резания и силы зажима были нормально направлены к установочным поверхностям);

2) обозначвение стрелками действующих на заготовку сил (например, сил инерции, веса и т.п.);

3) решение шести уравнений статики для вычисления искомых сил равновесия;

4) принятие значения коэффициента надежности закрепления и определение зажимного усилия.

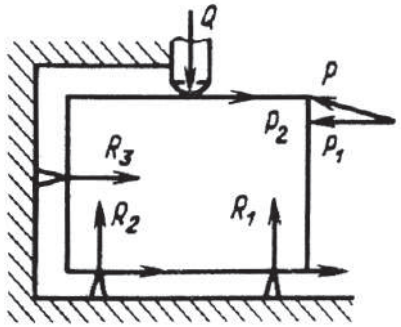



***Рис. 3.22. Схема силового замыкания системы***

Полученное зажимное усилие сравнивают с тем усилием, которое создает выбранное зажимное устройство.

Рассмотрим силы, действующие на обрабатываемую заготовку, и определим зажимные усилия.

Действие сил на заготовку может быть различным:

1. Сила резания и зажимное усилие прижимают заготовку к опорам приспособления. В этом случае зажимное усилие $Q = 0$ (например, при протягивании, обтачивании или шлифовании в центрах и т.п.). При нестабильной силе резания $Q > 0$.

2. Сила резания по направлению противоположна зажимному усилию, тогда

$$Q = Pk.$$

3. Силы резания направлены перпендикулярно зажимному усилию и стремятся переместить заготовку *(рис. 3.23)*. В этом случае определяют два значения зажимного усилия:

$$Q_1 = P_1 k_1; \quad Q_2 = [P_2 k_2 - P_1(f_1 - f_2)] / (f_1 + f_2). \tag{3.37}$$

Из полученных значений выбирают большее.

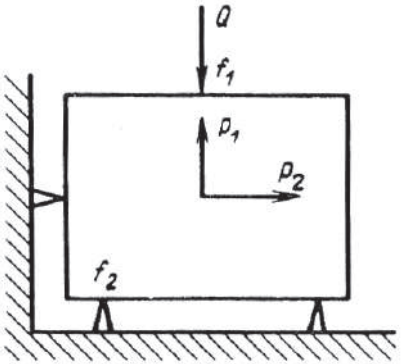



***Рис. 3.23. Схема действия сил резания, направленных перпендикулярно зажимному усилию***

Если силы действуют на заготовку, как показано на *рис. 3.24*, то

$$Q = k(P_2 e + P_1 l) / (a + f_1 l). \tag{3.38}$$

В этом случае зажимное устройство предупреждает проворачивание заготовки от действия момента. Рассмотрим определение зажимных усилий при закреплении заготовки в различных зажимных устройствах.



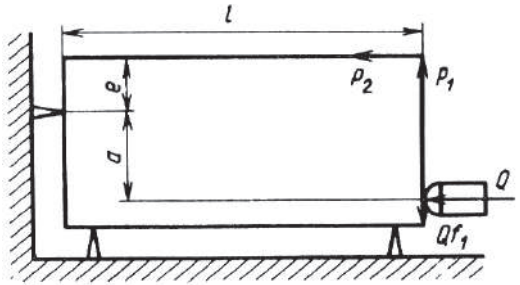



***Рис. 3.24. Схема действия сил на заготовку***

1. Заготовка диаметром $d$ установлена в патроне, число кулачков которого $n$. При действии на заготовку момента $M$ зажимное усилие

$$Q = 2Mк / (dfn), \tag{3.39}$$

где $f$ – коэффициент трения кулачка о заготовку.

Если на эту заготовку действует момент $M$ и осевая сила $P$, прижимающая заготовку к патрону, то

$$Q = (2Mk - Pd_1 f_2) / [(df - d_1 f_1 f_2)n], \tag{3.40}$$

где $d_1$ – средний диаметр расположения контакта торца заготовки и кулачков; $f_1$ – коэффициент трения при сдвиге заготовки вдоль кулачков; $f_2$ – коэффициент трения торца заготовки об уступ кулачков.

2. Заготовка диаметром $d$ закреплена в призме с углом 2α *(рис. 3.25)*:

$$Q = 2Mk / [(f_2 \sin\alpha + f)\, d]. \tag{3.41}$$

Если на заготовку действует только осевое усилие $P$, то

$$Q = Pk / (f_2 + f_3 \sin\alpha), \tag{3.42}$$

где $f_2$, $f_3$ – коэффициенты трения при сдвиге вдоль заготовки.

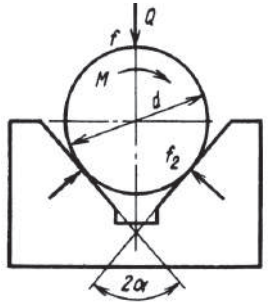



***Рис. 3.25. Схема сил резания и зажимных усилий при сверлении***

3. Заготовка закреплена на трех опорах карусельного станка. Центрирование – по наружному диаметру. Зажим выполнен несколькими прихватами. На деталь действуют момент $M$ и осевая сила $P$.

При удержании детали учитывают силы трения, действующие на поверхностях опор и зажимных элементов *(рис. 3.26)*. Тогда

$$Q = (2Mk - Pdf_2) / (d_1 f_1 + df_2). \quad (3.43)$$

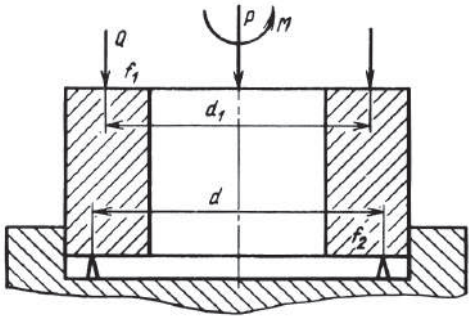



***Рис. 3.26. Схема сил резания и зажимных усилий при обработке на карусельном станке***

При малой тангенциальной жесткости прихватов силы трения между ними и заготовкой не учитывают. В этом случае

$$Q = (2Mk - Pdf_2) / (df_2). \quad (3.44)$$

4. Заготовка диаметром $d$ установлена в цанговом патроне. На заготовку действует момент $M$. Цанга имеет $n$ лепестков *(рис. 3.27)*. Тогда прижимное усилие, действующее на один лепесток цанги,

$$Q = 2Mk / (ndf). \quad (3.45)$$

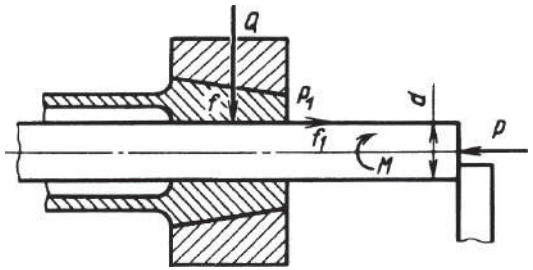



***Рис. 3.27. Схема сил резания и зажимных усилий в цанговом патроне с толкающей цангой***



Если на заготовку, кроме момента $M$, будет действовать осевая сила $P$, то

$$Q = (2Mk - Pndf_1) / (ndf). \quad (3.46)$$

В рассмотренном варианте пренебрегли весом заготовки, жесткостью лепестков цанг, инерционными силами и др.

## 3.6. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КОРПУСА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

К вспомогательным элементам приспособлений относятся направляющие, поворотные или делительные устройства, копиры, шаблоны, установы, выталкиватели.

Для направления инструмента при обработке применяют: кондукторные втулки для направления сверл, зенкеров и разверток; втулки для направления борштанг; опоры-копиры, по которым ведут обработку фасонных поверхностей.

Кондукторные втулки для сверления, зенкерования или развертывания делят на постоянные, сменные, быстросменные и специальные. Постоянные втулки *(рис. 3.28, а)* запрессовываются с небольшим натягом в корпус приспособления или кондукторную плиту. Их используют при обработке отверстия одним инструментом в единичном и мелкосерийном производстве. Сменные втулки применяют в приспособлениях для серийного, крупносерийного и массового производства. Они могут быть заменены на другие, с размером обработки большим, чем первая. Для этого необходимо отвинтить винт и изъять сменную втулку (сопрягающуюся с небольшим гарантированным зазором) *(рис. 3.28, б)*.

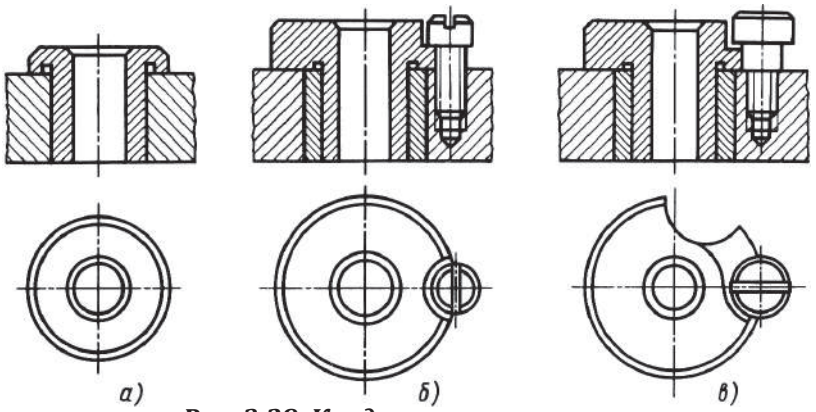



***Рис. 3.28. Кондукторные втулки:***
*а* – постоянные; *б* – сменные; *в* – быстросменные

Если необходимо производить обработку отверстия набором нескольких последовательно сменяемых инструментов, то предусмотрены быстросменные втулки. От сменных втулок последние отличаются тем, что при их изъятии не требуется вывинчивать крепежный винт. На буртике такой втулки *(рис. 3.28, в)* имеются вырез и срез, причем при повороте можно совместить вырез с головкой винта (облегчается съем втулки) или срез установить под головку винта (при условии, что новая втулка вставлена в приспособление и зафиксирована)

Специальные кондукторные втулки *(рис. 3.29)* применяют для сверления отверстий в наклонных площадках, а также при небольшом межосевом расстоянии между соседними отверстиями.

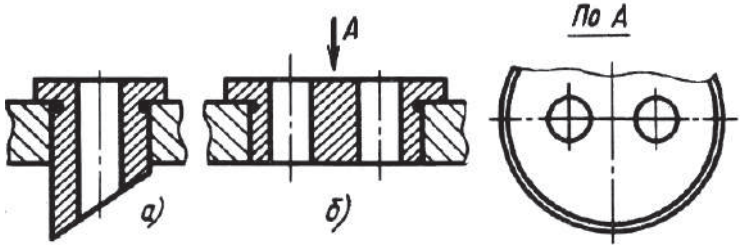



***Рис. 3.29. Специальные кондукторные втулки:***
*а* – для отверстий в наклонных площадках;
*б* – для спаренных отверстий с малым межосевым расстоянием

Для направления борштанг расточных приспособлений используют неподвижные и вращающиеся втулки. Первые применяют для направления невращающихся борштанг (в этом случае вращается деталь), а вторые – для вращающихся борштанг. Они имеют подшипники скольжения либо подшипники качения, защищенные от попадания стружки *(рис. 3.30)*. Недостаток втулок с подшипниками качения – большие габариты в радиальном направлении. В последнее время выпускаются втулки с игольчатыми подшипниками.

Отверстие втулок для направления инструментов должно иметь небольшой зазор при проходе инструмента. Посадочные поверхности имеют шероховатость (*Ra*) 0,8 мкм. Для прохода зенкеров и сверл предусмотрено поле допуска отверстия *F8*, шероховатость их (*Ra*) 0,4 мкм.



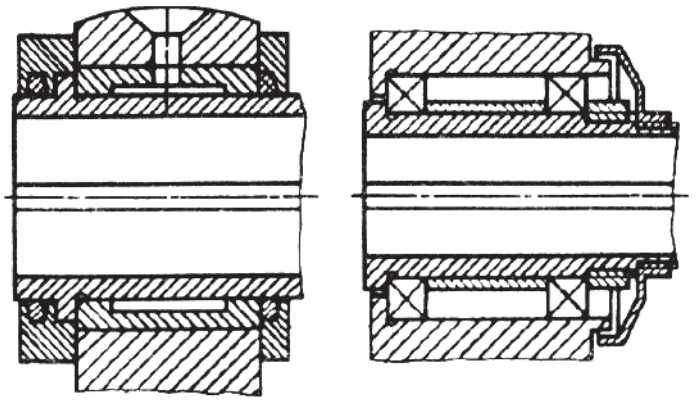


***Рис. 3.30. Втулки для направления борштанг:***
*а* – неподвижные; *б* – вращающиеся

Втулки диаметром до 25 мм изготовливают из стали У10А и У12А с последующей термообработкой до твердости *HRC* 60 ... 65, а втулки большего диаметра – из стали 20 с последующими цементацией на глубину 0,8 ... 1,2 мм и термообработкой до *HRC* 60 ... 65.

Опоры-копиры для направления формообразующего инструмента при обработке фасонных поверхностей устанавливают на зажимных устройствах. При их применении обеспечивается необходимая траектория инструмента для образования контура заготовки. В этом случае не требуются предварительная разметка, ручная подача инструмента при обработке, что повышает производительность и точность. Профиль копира определяют графически, для чего вычерчивают контур заготовки, который лучами из центра (или исходной точки копира) делится на равные части. Затем вычерчивают путь центров профилеобразующего инструмента (например, торцовой фрезы) через точки пересечения его оси с лучами и по этим центровым точкам строят след радиуса опорного пальца или ролика фрезы (в этом случае фреза имеет опорную поверхность, называемую пальцем или роликом). Для компенсации изменения диаметра фрезы при заточках ролик выполняют коническим с углом конуса 20 ... 30°. После заточки фрезы ролик перемещают вдоль оси и, таким образом, обрабатывающий инструмент смещается, размер детали остается постоянным *(рис. 3.31)*. Направление корректировки размера детали показано пунктирной стрелкой.

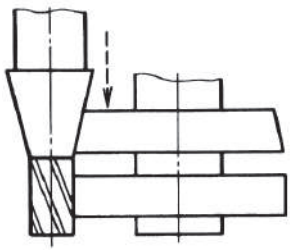


***Рис. 3.31. Схема опоры копира при профильном фрезеровании детали***

Шаблоны и установы применяют для ускорения и облегчения наладки станков на рабочий размер обработки, что повышает производительность наладчиков и точность обработки. Следует заметить, что шаблоны используют при наладке токарных, а установы – при наладке фрезерных станков. По шаблонам и установам координируют взаимное положение заготовки и обрабатывающего инструмента перед началом обработки. Шаблоны выполняют кольцевыми и плоскими. Установы стандартизированы, их разделяют на высотные, торцовые, угловые и угловые торцовые.

Поворотные или делительные устройства предназначены для фиксации обрабатываемой заготовки относительно рабочего инструмента в необходимом положении. Делительные устройства применяют в многопозиционных приспособлениях, когда подобная обработка повторяется несколько раз. Делительное устройство состоит из подвижной части, корпуса и фиксатора. Фиксатор может быть шариковым, пальцевым, пальцевым с коническим пальцем. Наиболее точен последний фиксатор, но он и более сложен. Поворот и фиксацию заготовки в необходимое положение можно выполнить вручную и механически.

Выталкиватели используют для ускорения снятия деталей с приспособлений.

Корпуса приспособлений – это базовые детали, поэтому они должны быть достаточно жесткими и одновременно легкими, удобными для установки или снятия различных элементов, простыми по конструкции и технологии обработки, износостойкими и максимально устройчивыми при обработке.

Корпуса приспособлений изготовляют литьем, сваркой, ковкой, сборкой специальных нормализованных элементов на винтах. Чаще используют сварные корпуса, однако лучшими качествами обладают корпуса литые из чугуна или стали. Использование стандартных и нормализованных элементов корпусов значительно сокращает трудоемкость и стоимость станочных приспособлений, сроки подготовки производства к выпуску нового изделия.



Корпус на столе станка крепят обычно болтами через Т–образные пазы или специальными быстродействующими прихватами. Правильное положение корпусу придают шпонки, вводимые в пазы стола и установы. Корпуса приспособлений, устанавливаемых на шпинделях станков, центрируют по конусным пояскам, а крепление их выполняют резьбовыми элементами, что создает безопасность работы и достаточную устойчивость приспособления.

## 3.7. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Разработка специального станочного приспособления включает два этапа: проектирование его принципиальной схемы (разработчиком-технологом, проектирующим технологический процесс обработки детали) и разработку его конструкции по схеме, предложенной технологом. Проектирование выполняет разработчик-конструктор по технологической оснастке. На малых предприятиях эти функции выполняет один и тот же инженер.

В задачу технолога входит: выбор технологических баз, определение маршрута обработки, содержание технологических операций, выбор режимов резания, типа и модели станка для обработки деталей.

В задачу конструктора входит: конкретизация принятой технологом схемы установки, выбор конструкции и размеров установочных элементов оснастки, определение необходимых зажимных усилий. Далее выполняются уточнение схемы и размеров зажимного устройства, определение размеров и типа направляющих элементов, определение общей компоновки приспособления.

Исходными данными для проектирования приспособления служат: рабочие чертежи заготовки и готовой детали, технические условия ее приемки; операционные эскизы заготовок на предшествующую и выполняемую операции; карта технологического процесса обработки детали с указанием последова-

тельности и содержания операций, принятого базирования, используемого оборудования и инструмента, режимов обработки, производительности, а следовательно, и времени установки, закрепления и снятия обрабатываемой детали; стандарты и нормали на детали и узлы станочных приспособлений, а также альбомы нормализованных конструкций. Кроме этих данных, необходимо учитывать технологические возможности изготовления приспособления в условиях данного завода, программу выпуска изделий, опыт эксплуатации подобных приспособлений, их энергопривод и др.

Часто рациональная, принятая технологом схема, в процессе конструирования приспособления претерпевает корректировки. Такие отступления допустимы и после согласования с технологом их вносят в карту технологического процесса.

Последовательность конструирования приспособления следующая. Сначала вычерчивают контур обрабатываемой детали с необходимым количеством проекций. Расположение всех проекций должно быть свободным, чтобы оставалось место для размещения на этих проекциях всех деталей и узлов проектируемого приспособления. Обычно контуры проекций изображают тонкими и пунктирными линиями. Затем вокруг контура детали, вычерчивают направляющие детали приспособлений (вопрос об их типе решается в зависимости от технологии обработки). После этого можно выбрать и вычертить установочные или опорные детали приспособления с учетом указанных технологом точек контакта детали с приспособлением. Когда эта работа будет закончена, определяют и вычерчивают зажимные и вспомогательные детали приспособления, выбирают форму, размеры и материал деталей, прорабатывают монтаж всех узлов и деталей на корпусе приспособления.

Спроектированную конструкцию специального приспособления вычерчивают в нескольких проекциях, дают необходимые сечения и разрезы. На проекциях обязательно следует указывать габаритные размеры, контрольные размеры с допусками взаимного расположения тех элементов, которые обеспечивают точность обработки детали в данном приспособлении.

На чертежах общего вида указывают технические условия на приспособление и приемку. В них указывают требуемую точность сборки отдельных узлов и в целом приспособления, его отладку, контроль и методы проверки при установке на станке.



После оформления общего вида приспособления, нумерации в соответствии с требованиями ЕСКД всех деталей производится деталировка приспособления.

Следует учитывать, что приспособление будет надежным и экономичным в изготовлении, если его детали и узлы будут стандартизированы или унифицированы.

## 3.8. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Важным условием, повышающим эффективность использования станков с ЧПУ, является обеспечение жесткости технологической системы. Станки с ЧПУ должны обладать повышенной жесткостью. Следовательно, станочные приспособления для них не должны снижать жесткость технологической системы при использовании полной мощности станков. Увеличение жесткости станочного приспособления в системе может быть достигнуто при комплексном решении этой задачи.

Для повышения жесткости приспособлений следует стремиться к уменьшению числа стыков при сборке; применять тарированную затяжку; использовать при изготовлении приспособлений легированные стали и элементы большой жесткости, при проектировании приспособлений проводить выбор числа и расположения зажимных устройств, предназначенных для крепления приспособления, с учетом деформаций его корпуса. Необходимо также уменьшать высоту точки, к которой приложена сила резания над плоскостью стола путем применения минимальных по высоте элементов; применять при установке заготовки подводимые опоры и дополнительные прижимы, увеличивающие жесткость обрабатываемых заготовок; использовать минимальные высоты элементов, выступающих над заготовкой (это уменьшает длину и увеличивает жесткость инструмента).

Важным условием для станков с ЧПУ является возможность обработки максимального числа поверхностей заготовки с одного установа. В этом случае станочные приспособления проектируют таким образом, чтобы установочные и зажимные элементы не препятствовали подходу инструмента при обработке заготовки с нескольких сторон с однго установа.

Кроме этого, должны быть увязаны базовые элементы детали с осями координат станка с ЧПУ и исходной точкой траектории движения инструмента. Поэтому важным этапом становится выбор баз и системы закрепления заготовки.

Для деталей типа вала рекомендуется использовать центровые отверстия (для полых валов – конические фаски). Детали типа диска и втулки устанавливают на базе центрального отверстия и одного торца (базовые поверхности должны быть точно обработаны на одной из первых операций). Корпусные детали на станках с ЧПУ базируют по предварительно обработанным поверхностям в координатный угол.

Так как станки с ЧПУ значительно дороже обычных станков (в 10 ... 20 раз), а производительность у них в 4 ... 7 раз выше, то необходимо сокращать время их простоя, связанного со сменой и переналадкой приспособлений, транспортированием, установкой и съемом обрабатываемой заготовки. Время, затрачиваемое на смену обрабатываемой заготовки на станках с ЧПУ, сокращается благодаря применению станочных приспособлений, оснащенных быстродействующими зажимами, совмещению времени установки и съема заготовки со временем работы станка (в этом случае используют быстросменные столы или приспособления–спутники).

Не менее важным фактором для станков с ЧПУ являются относительные перемещения инструмента и заготовки, задаваемые от принятого начала отсчета в абсолютной системе координат (АСК). Выбор местоположения начала отсчета в плоскости стола зависит от множества факторов, анализ влияния которых приводит к двум возможным случаям: начало отсчета АСК станка не связано с определенным положением инструмента относительно стола (плавающее начало координат); начало отсчета АСК жестко связано с определенным положением инструмента относительно стола.

Первый случай характерен тем, что настройка станка в исходную точку проводится после установки заготовки на станке. Плавающее начало координат обеспечивает возможность устанавливать заготовку в любом месте стола, так как система управления станком позволяет электрически смещать начало координат в любую точку в пределах перемещения его рабочих органов. Произвольное положение приспособления на столе увеличивает затраты времени на настройку станка в исходную точку.

Второй случай использует положение начала отсчета, жестко связанного с определенным положением инструмента относительно стола (относительно его установочных элементов). При



этом возникает необходимость устанавливать заготовку в строго определенное положение по отношению к инструменту. Такая ориентация заготовки обеспечивается установкой приспособления по конструктивным элементам стола.

В настоящее время на станках с ЧПУ применяют стандартизированную оснастку многократного применения: универсально–сборочные приспособления (УСП) и универсально–наладочные приспособления (УНП). Разновидностью УСП является комплекс переналаживаемых универсально-сборочных приспособлений (ПУСП), куда входят неразборные узлы, механизированные быстродействующие зажимы, базовые и зажимные узлы.

Для станков с ЧПУ существуют следующие типы базовых узлов с различными установочными поверхностями: плиты с продольными Т–образными пазами и несколькими поперечными рядами отверстий для установки и закрепления установочных и зажимных элементов; плиты с продольными Т–образными пазами и двумя упорными планками на торцах плиты, служащими для ориентирования заготовки через мерные блоки; плиты с сеткой отверстий, расположенных на равном расстоянии по осям координат станка; плиты с координатной сеткой отверстий. Последние два типа базовых узлов имеют ступенчатые отверстия (нижняя часть – резьбовая, а верхняя – точный цилиндр для установки и закрепления установочных и зажимных элементов). Сетка отверстий имеет отклонение межосевых расстояний в пределах ±15 мкм. Кроме плоских базовых узлов, находят применение угольники и блоки с сеткой Т–образных пазов и отверстий для установки сменных наладок: патронов, тисков, поворотных и делительных столов с программным управлением. Патроны используют пневматические, рычажно–клиновые или центробежные. Применение поворотных столов с программным управлением дает возможность с одной установки заготовки вести ее обработку с пяти сторон, причем обработку любой конфигурации поверхности (прямолинейной и криволинейной).

Большое влияние на конструкцию базовых элементов, из которых собирают приспособление для станка с ЧПУ, оказывает способ взаимной фиксации и ориентации элементов. Различают два надежных способа фиксирования элементов: при помощи пазов и шпонок или при помощи цилиндрических пальцев и высокоточных отверстий. Для выбора основного способа взаимной

ориентации необходимо проводить расчетные и экспериментальные работы для определения точности фиксации, жесткости отдельных элементов и приспособления в целом, экономичности изготовления и их применения.

Применение проектируемых автоматизированных систем для настройки станков с ЧПУ позволяет сократить вспомогательное время и увеличить точность настройки и обработки.

Следует отметить, что для ускорения технологической подготовки производства широко используют ЭВМ (системы автоматизированного проектирования технологических процессов – САПР ТП) и для автоматизированного конструирования приспособлений (системы автоматизированного проектирования приспособлений – САПР ПР).

## 3.9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Экономическую эффективность применения приспособлений определяют путем сопоставления годовых затрат и экономии по сравниваемым вариантам обработки деталей.

Затраты состоят из амортизационных отчислений и расходов на содержание и эксплуатацию приспособлений, а экономия получается за счет снижения трудоемкости обработки деталей, т.е. в результате сокращения затрат на заработную плату рабочих станочников и уменьшения цеховых накладных расходов. Применение приспособления считается экономически обоснованным при условии перекрытия экономией затрат на содержание и эксплуатацию, причем это учитывается на весь объем выпуска изделий.

Если считать, что расходы на режущий инструмент, амортизацию станка и электроэнергию одинаковы для двух сравниваемых вариантов, то элементы себестоимости обработки детали, зависящие от конструкции приспособления,

$$C_а = З_а(1 + H/100) + S_а(1/A + q/100)/П;$$

$$C_б = З_б(1 + H/100) + S_б(1/A + q/100)/П, \qquad (3.47)$$

где $S_а$, $S_б$ – затраты на изготовление приспособлений по вариантам *а* и *б* соответственно; $З_а$, $З_б$ – штучная заработная плата станочника при использовании для обработки деталей приспособлений по вариантам; $H$ – цеховые накладные расходы в процентах к зарплате станочника; $П$ – годовая программа выпуска деталей; $A$ – срок амортизации приспособлений; $q$ – расходы на эксплуатацию приспособлений в процентах от стоимости их.



Для ориентировочных расчетов стоимости изготовления приспособления можно использовать приближенную формулу:

$$S = Cк\partial, \qquad (3.48)$$

где $C$ – постоянная, зависящая от сложности приспособления и его размеров (для простых приспособлений $C$ = 15, для приспособлений средней сложности $C$ = 40); $к$ – число деталей в приспособлении, $\partial$ – коэффициент, учитывающий текущий курс валюты.

Если выпуск продукции стабильный, то для простых приспособлений срок амортизации составляет 1 ... 1,2 года; средней сложности – 2 ... 3 года; сложных – 4 ... 5 лет.

Если выпуск продукции нестационарный, т.е. продукция выпускается в определенный срок, то срок амортизации принимается равным этому сроку.

Годовые расходы на содержание и эксплуатацию приспособлений рекомендуется принимать на уровне 40 ... 20 % затрат на изготовление. Заработную плату рабочего-станочника по вариантам обработки определяют по штучному времени обработки детали и минутной ставке по действующей тарифной сетке:

$$З = T_{ШТ} З_{МИН}, \qquad (3.49)$$

Программу выпуска деталей, при которой оба сопоставляемых варианта в экономическом отношении равноценны, можно определить, решая систему равенств (3.47) относительно $П$.

Если заданная программа больше полученной расчетной, то выгоднее применять более сложное приспособление. Если этого не выполнить, проектируемое приспособление будет связано с убытками.

Экономический эффект от применения спроектированного приспособления за год

$$Э_г = (C_а - C_б)\,П. \qquad (3.50)$$

Использование проектируемого приспособления может вызвать перестройку технологического процесса в связи с тем, что некоторые операции могут отсутствовать или видоизменяться. В этом случае сопоставляют себестоимость механической обработки детали, зависящую от конструкции приспособлений, не по отдельным операциям, а по процессам.

# 4. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

## 4.1. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Станки с ЧПУ выполняют все те же функции, что и обычные станки с ручным управлением, но при этом перемещения исполнительных органов этих станков управляются по заранее установленной программе. Внешний вид типовых представителей станков с ЧПУ приведен на *рис. 4.1* и *4.2*.

Главные преимущества использования станков с ЧПУ по сравнению с обычными станками, иногда называемыми универсальными:

1. Высокая производительность процесса механической обработки за счет сокращения основного технологического времени.
2. Автоматизированная система установки и смены инструмента, что существенно уменьшает вспомогательное время.
3. Автоматизированные диагностика оборудования и мониторинг технологического процесса, что обеспечивает достаточно высокий уровень его надежности.
4. Повышенное качество машиностроительной продукции в результате исключения отрицательных субъективных факторов из процесса обработки.
5. Возможность оперативной смены номенклатуры деталей и масштабов производства от единичного до крупносерийного, то есть производственная гибкость. Это обусловлено тем, что для обработки разных деталей нужно всего лишь заменить программу.
6. Возможность обработки деталей, которые невозможно изготовить на обычном оборудовании. Это детали со сложной пространственной формой, например, штампы и пресс-формы.

***Рис. 4.1. Токарный станок с ЧПУ фирмы DOOSAN***

***Рис. 4.2. Фрезерный станок с ЧПУ фирмы Doosan***



Технологические возможности станков с ЧПУ обычно выше возможностей обычных станков, благодаря их повышенной точности и жесткости. Особенно широкими возможностями обладают обрабатывающие центры (станки сверлильно-фрезерно-расточной группы), оборудованные инструментальными магазинами для автоматической смены режущего инструмента.

## 4.2. КООРДИНАТНЫЕ ОСИ И НУЛЕВЫЕ ТОЧКИ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

При работе на станках с ручным управлением требуемые размеры изготавливаемых деталей достигаются, как правило, путем обработки заготовки относительно ее базовых поверхностей. На станках с ЧПУ требуемые размеры деталей достигаются путем обработки заготовки относительно начала отсчета выбранной по определенным соображениям системы координат.

Стандартные системы координат в станках с ЧПУ показаны на *рис. 4.3.* Основными осями являются оси *X,Y,Z*. Используются вторичные (*U,V,W*) и третичные (*P,Q,R*) оси. Круговые перемещения инструмента относительно заготовки считаются положительными при направлении против часовой стрелки, если смотреть на острие соответствующей оси координат. Обозначаются они латинскими буквами *A,B,C.* При круговых движениях заготовки положительные направления меняются на обратные.

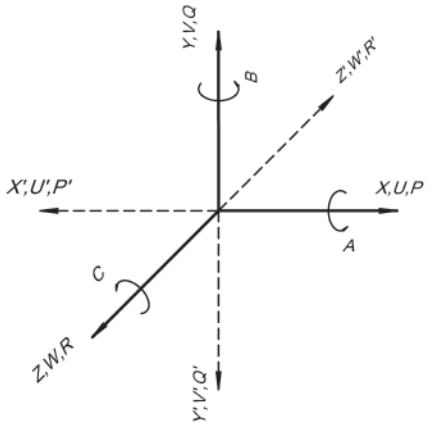



***Рис. 4.3. Стандартные системы координат в станках с ЧПУ***

Направления осей координат зависят от типа станка. На *рис. 4.4* показан пример расположения осей координат для вертикально-фрезерного станка.

Для программирования обработки кроме направления осей координат необходимо установить способ и начало отсчета перемещений по каждой оси.

В системах ЧПУ используют два различных способа отсчета: абсолютный и относительный (в приращениях). При абсолютном способе отсчета положение начала координат фиксировано для всей программы обработки. Это начало называют станочным нулем и для каждого подвижного органа всегда оговаривают в паспорте станка или инструкции к нему. При работе от станочных нулей на программоносителе записывают абсолютные значения координат последовательно расположенных опорных точек.

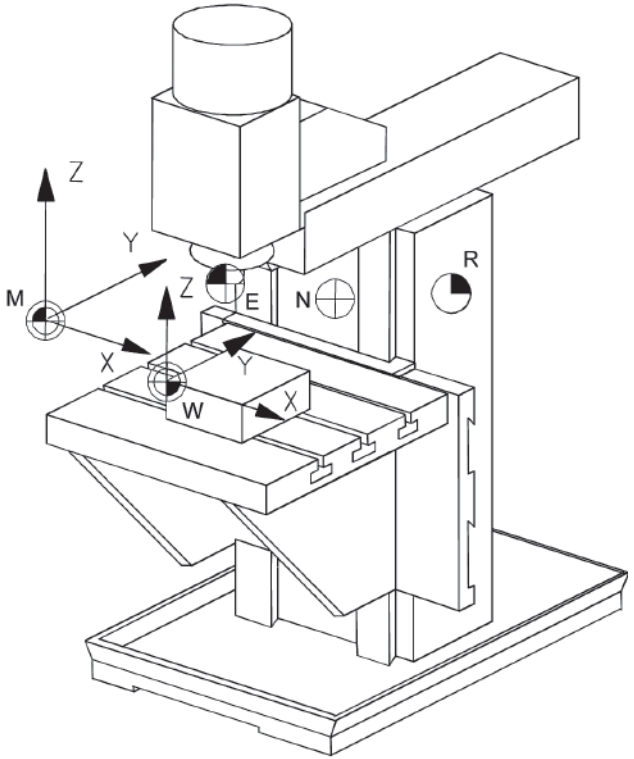



***Рис. 4.4. Расположение осей координат и нулевых точек для вертикально-фрезерного станка***



В системах с относительным способом отсчета координат нулевым каждый раз принимают положение исполнительного органа, которое он занимал перед началом очередного перемещения к следующей опорной точке. В программу в этом случае записывают приращения координат при переходе к последующей точке. Первая опорная точка программы называется исходной, или старт-точкой. Она выверяется при настройке станка и играет роль начала координат, от которого рассчитывают программу обработки конкретной заготовки. Такой способ отсчета используют почти во всех современных позиционных системах ЧПУ.

Фактически, при работе на станке с ЧПУ приходится иметь дело не с одной, а одновременно с несколькими системами координат, важнейшими из которых являются следующие три:

*Координатная система станка.* Система координат станка является главной расчетной системой, в рамках которой определяются предельные перемещения исполнительных органов станка, а также их исходные и текущие положения. У различных станков с ЧПУ в зависимости от их типа и модели координатные системы располагаются по-разному. Начало отсчета этой системы координат находится в определенной производителем станка точке и не подлежит изменению пользователем. Точка, представляющая собой начало отсчета координатной системы станка, называется нулем станка или нулевой точкой станка.

*Координатная система детали.* Система координат детали является главной системой для программирования обработки и назначается чертежом или эскизом технологической документации. Она имеет свои оси координат и свое начало отсчета, относительно которого определены все размеры детали и задаются координаты всех опорных точек контуров детали. Опорными точками в этом случае считаются точки начала, конца и пересечения или касания геометрических элементов детали, которые образуют ее контур и влияют на траекторию инструмента на технологических переходах. Точка начала отсчета координатной системы детали называется нулем детали или нулевой точкой детали.

*Координатная система инструмента.* Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки в момент обработки. Началом отсчета координатной системы инструмента является точка, от ко-

торой начинается запрограммированное перемещение рабочего инструмента. Эта точка называется нулем инструмента или нулем обработки. Как правило, координаты нуля обработки задаются в координатной системе детали, но при этом координаты нуля обработки могут не совпадать с нулем детали.

При разработке технологического процесса обработки детали на станке с ЧПУ необходимо определить исходную точку перемещений, с которой начинается выполнение команд управляющей программы. Наиболее желательно такое расположение исходной точки перемещений, при котором она совпадает с нулем инструмента, а координатные оси детали и станка параллельны друг другу. В этом случае процесс программирования траекторий перемещения исполнительных органов станка значительно упрощается и, следовательно, снижается вероятность появления ошибок в управляющей программе.

Нулевые и исходные точки основных систем координат, используемых при работе на станках с ЧПУ, как правило, имеют специальные обозначения, с помощью которых указывается их расположение на пульте станка или на эскизах технологической документации. Эти обозначения обычно состоят из пиктограммы и прописной буквы латинского алфавита. К сожалению, в государственных стандартах эти обозначения не определены.

В технической литературе по ЧПУ нулевые точки основных систем координат обозначены по-разному – в зависимости от того, какая система ЧПУ принята за основу. Поэтому можно встретить на пульте станка или в документации непривычную систему условных обозначений. Ниже показаны обозначения, принятые в Германии *(табл. 4.1)*.

В связи с тем, что нет общепринятой системы условных обозначений и их расшифровки, для некоторых обозначений может применяться не одно значение, а два наиболее распространенных.

*Нулевая точка станка M.* Нулевая точка станка M является исходной точкой системы координат, относящейся к данному станку. Положение этой точки на станке устанавливается производителем и не подлежит изменению. Обычно точку M совмещают с базовой точкой исполнительного органа, несущего заготовку, находящегося в положении, при котором все перемещения исполнительных органов будут находиться в области положительных значений координат.



**Таблица 4.1.**

***Наиболее распространенные обозначения и пиктограммы нулевых точек***

| Пиктограмма | Буквенное обозначение | Нулевые точки |
|---|---|---|
| | M | Нулевая точка станка (нуль станка) |
| | R | Исходная точка станка (относительная нулевая точка) |
| | W | Нулевая точка заготовки (нулевая точка детали) |
| | E | Нулевая точка инструмента (исходная точка инструмента) |
| | B | Точка установки инструмента |
| | N | Точка смены инструмента |

Как правило, у токарных станков точка M располагается на оси вращения шпинделя на его базовом торце, а у вертикально-фрезерных станков – на левом углу рабочего стола с лицевой стороны станка.

*Исходная точка станка R.* Исходная точка станка R используется для контроля перемещений исполнительных органов станка при отсчете в приращениях (в относительной системе координат). Координаты точки R имеют постоянное значение относительно точки M, при этом положение точки R по каждой оси координат фиксируется датчиком и учитывается управляющей программой. С помощью точки R устанавливается связь между нулевой точкой станка M и точкой автоматического выхода в нуль следящих приводов подач после каждого включения

и выключения питания на станке. После включения питания на станке для калибровки системы отсчета относительных перемещений необходимо по каждой оси координат вывести исполнительные органы в точку R.

*Нулевая точка заготовки W.* Нулевая точка заготовки W является началом системы координат заготовки. Ее расположение в системе координат станка назначается свободно, исходя из особенностей процесса обработки данной заготовки. Из практических соображений обычно стремятся к совмещению точки W с началом отсчета размеров на чертеже. В этом случае при составлении управляющей программы можно использовать размерные данные непосредственно из чертежа.

Например, при токарной обработке *(рис. 4.5)* точку W, как правило, назначают по оси вращения шпинделя по левому или правому торцу заготовки (в зависимости от относительного расположения инструмента). Расположение точки W в процессе обработки одной заготовки может меняться, если, например, заготовка обрабатывается с двух сторон.

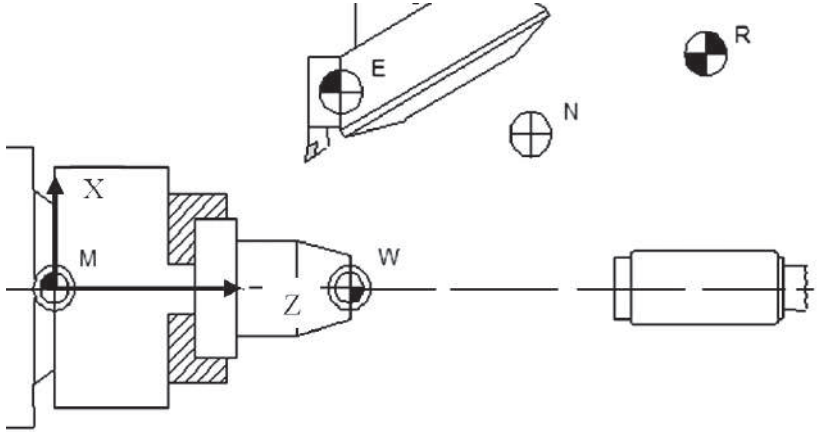



***Рис. 4.5. Расположение нулевых точек на токарном станке с ЧПУ***

На чертежах фрезерных деталей за базу при простановке размеров обычно принимается один из углов ее наружного контура. Этот же угол рекомендуется выбирать для назначения нулевой точки заготовки W при составлении управляющей программы для фрезерной обработки *(рис. 4.6)*.



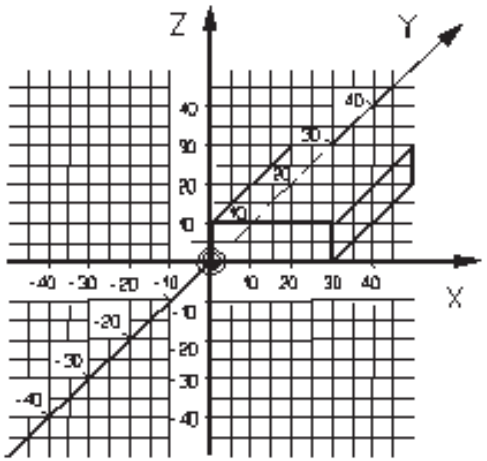



***Рис. 4.6. Расположение нулевой точки заготовки при работе на фрезерном станке с ЧПУ***

*Нулевая точка инструмента E.* Нулевая точка инструмента E является базовой точкой элемента станка, несущего державку с инструментом. Положение этой точки на станке устанавливается производителем и не подлежит изменению. Обычно нулевая точка инструмента располагается:

- у токарных станков – на пересечении оси державки револьверной головки и торца револьверной головки;
- для фрезерных станков – на пересечении оси шпинделя и его торца.

При проведении наладки станка расположение вершины режущей части закрепленного в державке инструмента должно быть точно измерено или выставлено относительно нулевой точки инструмента. Вершина режущей части инструмента характеризуется радиусом закругления R и координатами расположения теоретической вершины P в координатной системе инструмента. Настройка инструмента производится либо на самом станке – обычно при помощи оптической измерительной системы, либо вне станка – при помощи специального приспособления для установки инструментов. При этом если настройка производится на самом станке, то данные измерений координат вершины режущей части инструмента заносятся автоматически в систему ЧПУ станка с помощью клавиш пульта управления.

Специальное приспособление для установки инструментов имеет такое же посадочное место для державки с инструментом и такую же базовую точку для инструмента, что и станок. Инструмент в сборе с державкой устанавливается в данном приспособлении, после чего производится измерение координат вершины режущей части инструмента. Затем данные измерений заносятся вручную в систему ЧПУ станка.

При настройке инструмента вне станка используются еще одна исходная точка, относящаяся к координатной системе инструмента. Это точка установки инструмента В.

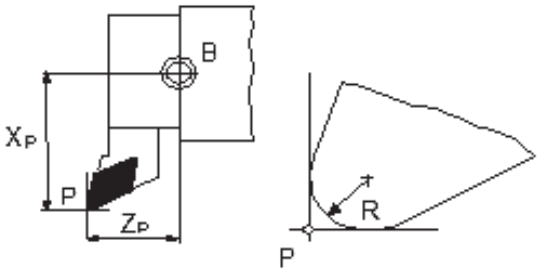



***Рис. 4.7. Расположение точки установки инструмента на токарном станке с ЧПУ***

Точка установки инструмента В является базовой точкой для инструмента в сборе с державкой *(рис. 4.7 и рис. 4.8)*. Она используется в том случае, когда державка с инструментом не установлена на станке, например, при наладочных работах вне станка. При установке державки с инструментом на станке точка В, как правило, совмещается с нулевой точкой инструмента Е.

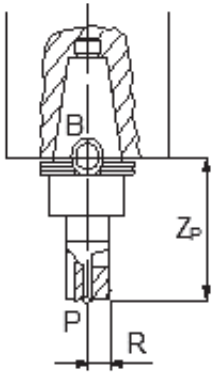



***Рис. 4.8. Расположение точки установки инструмента на фрезерном станке с ЧПУ***



*Точка смены инструмента N.* Точка смены инструмента N является координатной точкой в рабочем пространстве станка, в которой происходит замена одного инструмента на другой. В большинстве систем ЧПУ положение точки замены инструмента является переменной величиной и назначается при составлении управляющей программы.

## 4.3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Основные принципы построения технологических процессов механической обработки для станков с ЧПУ те же, что и для обычных станков. Однако здесь имеет место ряд специфических особенностей. Прежде всего, появляется принципиально новый элемент технологического процесса – программа работы станка, закодированная и записанная на программоноситель. При этом в понятия «переход» вносятся некоторые уточнения.

*Переход* – законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством инструмента и поверхностей, образуемых обработкой. Для фрезерных, сверлильных, расточных и фрезерно-контурных работ различают элементарные, инструментальные, позиционные и вспомогательные переходы;

*Элементарный переход* – непрерывный процесс обработки одной элементарной поверхности одним инструментом по заданной программе.

*Инструментальным переход* - законченный процесс обработки одной или нескольких элементарных поверхностей при непрерывном движении одного инструмента по заданной программе.

*Вспомогательный переход* – перемещение инструмента без снятия стружки.

*Позиционный переход* – совокупность инструментальных и вспомогательных переходов, выполняемых при неизменной позиции, оснастке, инструменте и программе.

Кроме того, при проектировании технологических процессов изменятся и объем, и содержание технологической документации, необходимой для наладки станков и составления управляющих программ. Работа по созданию управляющих программ делится на технологическую подготовку, занимающую 85–90 % всех работ, и программирование. Блок-схема выполнения работ по подготовке обработки деталей на станках с программным управлением приведена *рис. 4.9.*

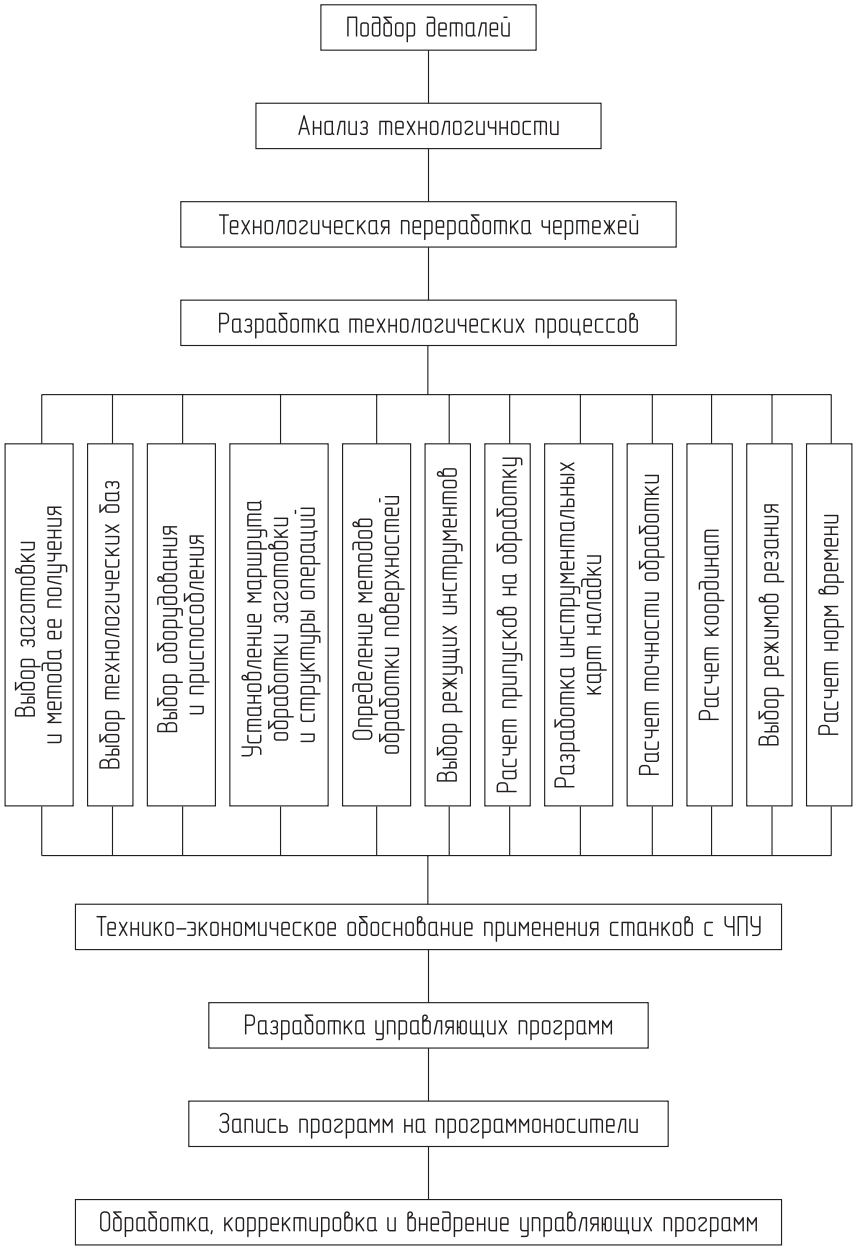



***Рис. 4.9. Блок-схема технологической подготовки обработки деталей на станках с ЧПУ***



Цель технологической подготовки – получение исходных данных для программирования, которое является заключительной стадией работ по созданию и отладке управляющих программ. Заключительная стадия включает в себя кодирование конструкторской и технологической информации, проверку совместимости работ инструментов, запись управляющей программы, отладку программы на станке. Программирование может осуществляться ручным и машинным способом.

Успех внедрения станков с ЧПУ во многом определяет правильный подбор деталей. Чем сложнее деталь и чем выше концентрация обработки, тем эффективнее применение станков с ЧПУ. При этом следует также учитывать требования к технологичности деталей, которые особенно проявляются у корпусных деталей и сводятся к следующему:

1. Обрабатываемые поверхности детали должны быть сосредоточены с четырех сторон. На двух остальных сторонах, используемых в качестве технологических баз, должно быть минимальное количество обрабатываемых поверхностей. Это облегчает применение такой схемы закрепления, которая не создает помех при обработке и не вызывает появление упругих деформаций, выходящих за пределы допустимых отклонений,
2. Длина растачиваемых с одной стороны отверстий не должна превосходить пяти-шести диаметров оправки, несущей расточной резец.
3. При далеко «разнесенных» соосных отверстиях, обработка которых ведется с поворотом на 180°, необходимо помнить, что такая схема удваивает погрешности.
4. При обработке на фрезерных станках плоских деталей все радиусы R сопряжения смежных участков контура должны быть по возможности одинаковыми. Величина R должна соответствовать нормальному ряду диаметров концевых фрез (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30 mm).
5. Если обработка ведется на трехосевых станках, то детали не должны иметь обрабатываемых поверхностей, расположенных под углом к осям координат. Это требование не распространяется на многоосевые станки.
6. В конструкциях деталей желательны два базовых отверстия повышенной точности, которые должны быть максимально удалены друг от друга.

7. Заготовки не должны иметь резких колебаний припусков на обработку. Последнее обусловлено удобством программирования. Особенно эти требования касаются деталей, обрабатываемые поверхности которых образуются кривыми линиями, сочетаниями прямых линий с дугами окружностей, т. е. деталей, требующих контурной обработки. Как правило, существующие конструкторские чертежи не удовлетворяют требованиям программирования. Поэтому их приходится перерабатывать.

## 4.4. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

При выборе технологической оснастки следует руководствоваться следующим. Приспособления для обработки детали, проще приспособлений, применяемых на обычных станках. Как привило, это стандартные центры, патроны, плиты, угольники, прихваты и так далее. Простота конструкций обусловлена, с одной стороны, типом производства (как правило, мелкосерийное), а, с другой стороны, отсутствием необходимости в направляющих и настроечных элементах, так как обработка ведется по программе.

Условия эксплуатации инструмента на станках с ЧПУ отличаются от условий эксплуатации инструмента на обычных станках и определяются следующими факторами:

1. Обработка отверстий осуществляется без кондукторных втулок и других направляющих устройств инструмента. Погрешности обработки при изготовлении деталей, например, увод сверла, не могут быть уменьшены и не всегда могут быть учтены при составлении программы.
2. Удельный вес времени резания от общего времени работы возрастает до 45–75 % вместо 20 % на обычных станках.
3. Детали обрабатывают по принципу автоматического получения заданных размеров, поэтому размерную настройку инструмента с учетом точного баланса, как правило, производят вне станка операционными контрольными средствами.

Учитывая перечисленные условия эксплуатации, при выборе режущих инструментов необходимо руководствоваться рекомендациями, изложенными ниже.

**Токарная обработка.** Для токарной обработки используют резцы с механическим креплением многогранных неперетачиваемых быстросменных пластинок из твердого сплава. В конструкциях подрезных резцов используют трехгранные пластинки, в конструкциях проходных резцов - четырехгранные с главным углом в плане 45° и пятигранные с углом в плане 60°. Твердосплавную пластинку закрепляют клином и винтом, базируя на цилиндрический штифт по центральному отверстию Ø 6 мм. Пластинки различают по маркам твердого сплава и размерам. Размер пластинки (14, 18, 22, 27 мм) – это диаметр описанной относительно ее контура окружности. После затупления одной грани работоспособность резца восстанавливают поворотом пластинки вокруг оси. Пластинки твердого сплава имеют при вершине стандартные радиусы закругления 0,6; 0,8; 1 мм. Настройка резцов на размер должна осуществляться вне станка с помощью специальных приспособлений, поставляемых вместе со станком.



**Фрезерование.** Плоскости фрезеруют торцевыми и концевыми фрезами преимущественно из твердого сплава. Для их крепления применяют патроны, как правило, с цанговым зажимом. Фрезерование плоскостей должно производиться на умеренных режимах, определяемых мощностью привода станков и жескостью шпиндельной бабки. Известную трудность представляет получение заданной ширины пазов деталей. Переточка фрезы уменьшает ее диаметр и ширину паза, поэтому при отсутствии коррекции инструмента по размеру приходиться завышать фрезы по диаметру.

**Обработка отверстий.** Спиральные стандартные сверла позволяют выполнять только предварительную обработку отверстий. Например, сверло Ø 6,5 мм имеет погрешность по высоте режущих кромок (биение) до 0,1 мм, несоосность перемычки – до 0,13 мм, погрешность расположения канавок – до 0,15 мм. Такие погрешности не позволяют получить точные отверстия. Поэтому следует применять сверла с более точными геометрическими параметрами и обращать особое внимание на минимальное смещение перемычки сверла. Предварительная заточка перемычки сверла по спирали обеспечивает лучшее его центрование при работе и уменьшает увод. Увеличение стоимости инструмента компенсируется увеличением его стойкости и повышением качества деталей. В некоторых случаях дорогие сверла позволяют отказаться от дополнительной обработки просверленных отверстий. Для увеличения жесткости сверл и возможности работы на больших подачах следует применять короткие сверла.

При обработке ступенчатых и фасонных отверстий целесообразно пользоваться комбинированными сверлами, зенкерами и цековками *(рис. 4.10)*.

***Рис. 4.10. Комбинированное сверло***

Для крепления сверл следует применять цанговые патроны, которые обеспечивают точную установку и имеют достаточно высокую жесткость. Для растачивания точных отверстий рекомендуется применять консольные оправки с минимальным вылетом, так как в этом случае можно допустить наибольшее сечение стружки при обеспечении необходимой точности отверстия. Для более точной настройки резцов на получение заданного размера отверстия применяют специальные оправки с регулировкой вылета резца. При растачивании отверстий на многооперационных станках, чтобы исключить царапины на обрабатываемой поверхности, предусматривают в программе обработки детали отвод оправки при ее выходе.

При растачивании отверстий небольшого диаметра оправкой с длинным вылетом на точность обработки влияют погрешности посадки оправки в шпиндель и ее недостаточная жесткость, поэтому в таких случаях целесообразно применять развертывание. При растачивании ступенчатых отверстий многорезцовыми оправками их следует конструировать так, чтобы в работе одновременно участвовал только один резец *(рис. 4.11, а)* или два резца с диаметрально противоположной установкой *(рис. 4.11, б)*. Внутренние канавки (полости) на станках с ЧПУ растачивают специальными расточными оправками с радиальным выдвижением резца.

**Нарезание резьбы в отверстиях.** Качество резьбы связано с трудностями очистки метчика от стружки. При нарезании резьбы стружка, перемещаясь по канавке, трется о ее стенки и обрабатываемую поверхность резьбы, это часто заклинивает стружку, формирует «рваную» резьбу и ломает метчик.

При нарезании резьбы в сквозных и глухих отверстиях хорошие результаты дают метчики со спиральными канавками.



При нарезании длинной резьбы в глухих отверстиях следует применять метчики только со спиральными канавками. У таких метчиков стружка поднимается по канавке в виде непрерывной ленты. При обработке магниевых и алюминиевых сплавов, а также мягкой стали (твердость до *HRC* 35) применяют бесканавочные метчики, для которых в качестве охлаждающей и смазывающей жидкости применяют масла тяжелого типа.

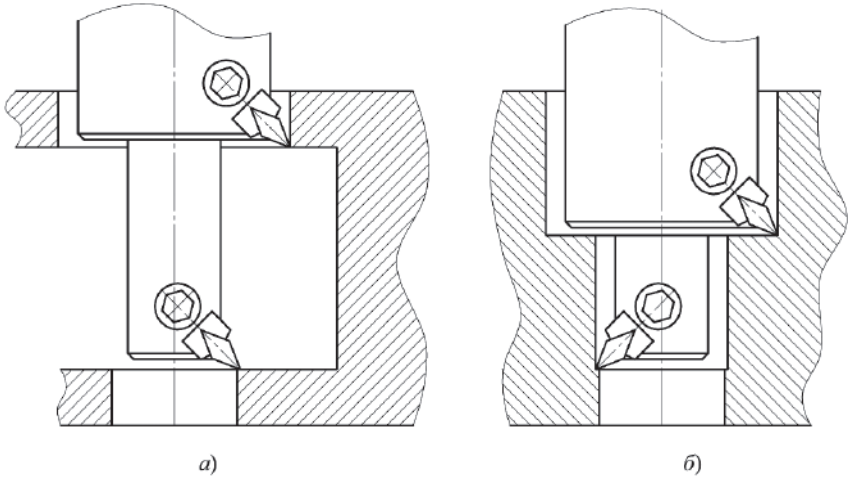



***Рис. 4.11. Схемы растачивания ступенчатых отверстий с применением многорезцовых оправок:***
*а)* – последовательная, *б)* – параллельная.

При выборе режущего инструмента предпочтение следует отдавать инструменту, специально предназначенному для станков с ЧПУ (резцы, фрезы, сверла).

## 4.5. УСТАНОВЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И НОРМ ВРЕМЕНИ

Выбор оптимальных режимов резания для станков с ЧПУ имеет исключительно важное значение. До 50 % всех ошибок при разработке технологических процессов составляют ошибки, связанные с неправильным назначением режимов резания. При их выборе для станков с ЧПУ необходимо учитывать следующие особенности: значительное удлинение циклов обработки вследствие концентрации технологических переходов; возмож-

ность автоматической смены инструмента (для обрабатывающих центров); возможность корректировки размерного износа инструментов; возможность усреднения режимов резания, поскольку за один переход могут обрабатываться различные поверхности; возможность снижения оптимальной стойкости инструмента из-за интенсификации режимов резания благодаря повышенной мощности главного приводя и повышенной жесткости конструкций станков.

Перечисленные особенности не всегда позволяют использовать существующие методики назначения режимов резания. Ими можно пользоваться лишь ориентировочно. Режимы резания, назначенные по общемашиностроительным нормативам, нуждаются в опытной проверке, которую следует проводить до программирования. Особенно это касается станков типа «обрабатывающий центр». Для них существует специальная методика расчета режимов резания. Режимы резания, рассчитанные по этой методике, по сравнению с режимами, выбранными по общемашиностроительным нормативам, позволяет уменьшить основное время на обработку деталей на 10–15 %.

Норму штучно-калькуляционного времени при обработке деталей на станках с ЧПУ можно представить в следующем виде:

$$T_к = \sum_{i=1}^{k} t_{o_i} + \sum_{i=1}^{k} t_{x.x_i} + T_B + T_{T.O.} + T_Ф + t_{п.з.} \qquad (4.1)$$

где – $t_{oi}$ основное время обработки при выполнении *i*-го перехода, мин.;

$t_{x.x_i}$ – время холостых ходов станка, для *i*- го перехода, мин.,

$$\sum_{i=1}^{k} t_{x.x_i} = \sum_{i=1}^{k} t_{И_i} + \sum_{i=1}^{k} t_{К_i} + \sum_{i=1}^{k} t_{П_i} + \sum_{i=1}^{k} t_{П.И_i} . \qquad (4.2)$$

Здесь *i* – номер перехода; $t_{И_i}$ – время не смену, включая время вращения магазина, захват и извлечение инструмента манипулятором в магазине и шпинделе (для обрабатывающих центров) или время поворота револьверной головки (прочие станки); $t_{К_i}$ – время на перемещение стола с деталью, мин.; $t_{П.И_i}$ – время на поворот стола с деталью, мин.; $t_{П_i}$ – время на быстрый подвод и отвод стола или шпинделя с инструментом, мин.; *k* – количество технологических переходов в операции; $T_B$ – время на установку, закрепление, снятие и измерение детали, на пуск и включение станка (смену, наладку и регулировку инструмента), мин.; $T_{T.O.}$ – время на техническое и организационное обслуживание рабочего места, мин.; $T_Ф$ – время на физические потребности, мин.; $t_{п.з.} = T_{П.З.}/n$ – подготовительно-заключительное время, приходящееся на одну деталь, мин.; $T_{П.З.}$ – подготовительно-заключительное время на партию обрабатываемых деталей, мин.; *n* – количество деталей в партии.



Основное время и время холостых ходов на операцию определяют суммированием $t_o$ и $t_{x.x}$ на каждый переход по расчетно-технологической карте. Время холостого хода на переход определяют по паспортным данным станка, сообразуясь с длиной холостых ходов, скоростью ускоренных перемещений исполнительных органов, положением инструмента в магазине и т. д. Время $T_{T.O.}$, $T_Ф$ и $T_{П.З.}$ можно принимать по общемашиностроительным нормативам для работ на обычных станках. Отметим, что при работе на станках с ЧПУ время на смену частоты вращения шпинделя и подачи инструмента перекрывается временем замены инструмента и отдельно не учитывается. Все остальные составляющие штучно-калькуляционного времени непрекрываемы. Расчетное время цикла

$$T_Ц = \sum_{i=1}^{k} t_{o_i} + \sum_{i=1}^{k} t_{x.x_i} \qquad (4.3)$$

рекомендуется откорректировать при испытании наладки проведением хронометража.

Следует помнить, что норма времени в большей степени зависит от времени холостых ходов станка. Особенно это проявляется на станках типа «Обрабатывающий центр». Структура операции на этих станках может отличаться большой многовариантностью, отличающейся количеством позиционирований, смен инструмента и оборотов стола.

Анализ работы на станках с ЧПУ показывает, что смена инструмента и поворот стола – более сложные и длительные элементы цикла работы станка, чем позиционирование стола или шпиндельной бабки, поэтому из экономических соображений структуру операции необходимо строить таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное число смен инструментов и минимальное число поворотов стола.

## 4.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЧЕРТЕЖЕЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, НЕ ПРИМЕНЯЮЩИХ CAD/CAM-СИСТЕМЫ

Обработка на станках с ЧПУ ведется по командам, привязанным к координатам точек, лежащих на пути инструмента в прямоугольной системе координат. Следовательно, на операционном эскизе размеры должны задаваться также в прямоугольной системе координат. Для этого определяют ее начало и выбирают направление осей, которые должны совпадать с направлениями осей координат станка.

Чтобы преобразовать информацию о геометрическом расположении обрабатываемых поверхностей детали *(рис. 4.12)* в информацию для управления перемещением рабочих органов станка, необходимо пересчитать чертежные размеры. Для этого выбирают нулевую точку (нуль изделия – НИ) исходя из условия возможности свободной смены детали в приспособлении. От НИ, как от нового начала координат, пересчитывают координаты всех поверхностей обработки детали. Данные перерасчета заносят в новый чертеж детали *(рис. 4.13)* и карту программирования.

Переработанный чертеж детали с указанием последовательности обработки отдельных поверхностей является геометрическим планом расположения обрабатываемых поверхностей *(рис. 4.13)*. Для корпусных деталей геометрический план обработки вычерчивают на каждую сторону детали. Каждое отверстие (поверхность) на геометрическом плане нумеруют порядковым номером. Одинаковые отверстия, которые обрабатывают одним типоразмером инструмента, рекомендуется нумеровать последовательными номерами. Для отверстий, обрабатываемых несколькими инструментами, нумерация отдельных переходов будет общей. В операционных картах можно рекомендовать свою нумерацию для каждой элементарной поверхности сложного отверстия, не связывая ее с нумерацией на чертеже детали.

При значительном количестве отверстий применяют табличный метод задания размеров, что очень удобно при программировании. На профиле обрабатываемой поверхности проставляют ряд опорных точек и указывают значения их координат, относительно выбранного на чертеже начала системы координат. Опорные точки проставляют, как правило, слева направо по часовой стрелке, но возможны и другие варианты. Опорными точками для отверстий является их центры.



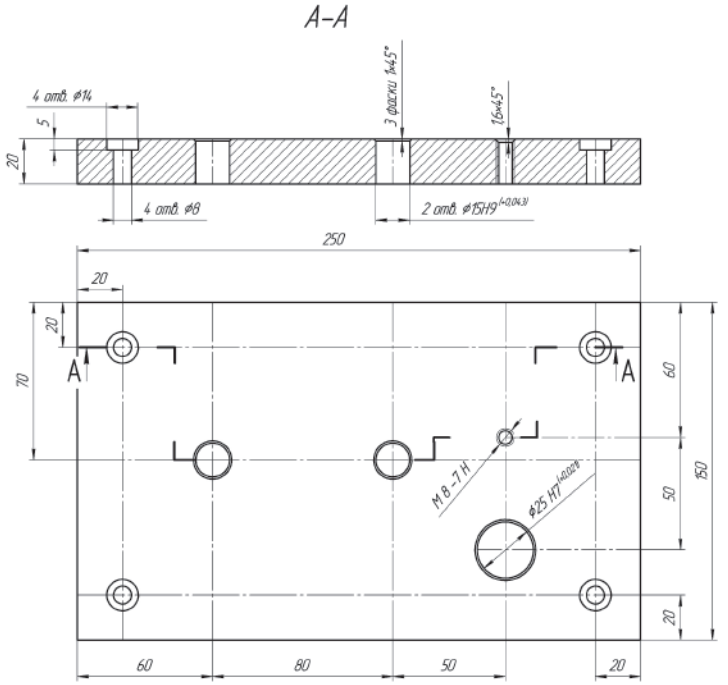



***Рис. 4.12. Фрагмент 2D-чертежа детали***

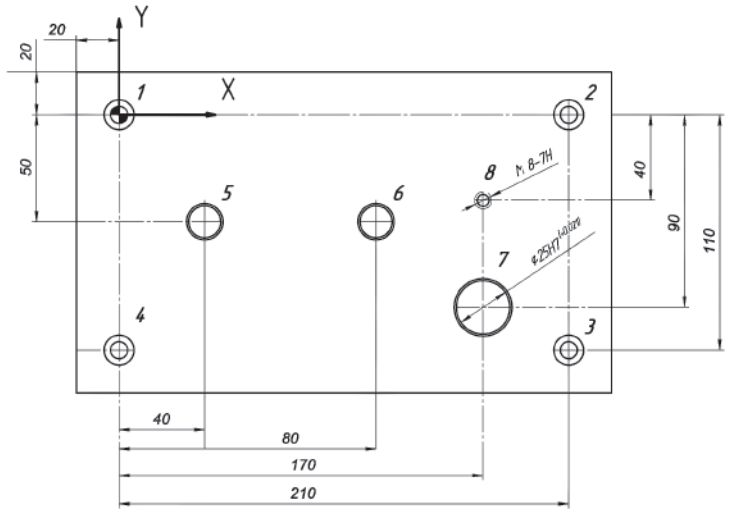



***Рис. 4.13. Переработанный 2D-чертеж детали с геометрическим планом обработки отверстий***

На *рис. 4.14* изображен фрагмент чертежа детали с криволинейным внешним контуром детали, а на *рис. 4.15* – схема траектории инструмента при ее обработке. В *табл. 4.2* приведен пример табличного задания координат опорных точек эквидистанты для детали, изображенной на *рис. 4.14,* при фрезеровании ее по контуру фрезой Ø 16 мм. Нуль изделия выбирают так, чтобы координаты отдельных поверхностей детали были одного знака. Однако это условие не является обязательным для станков, оборудованных системой «Плавающий нуль».

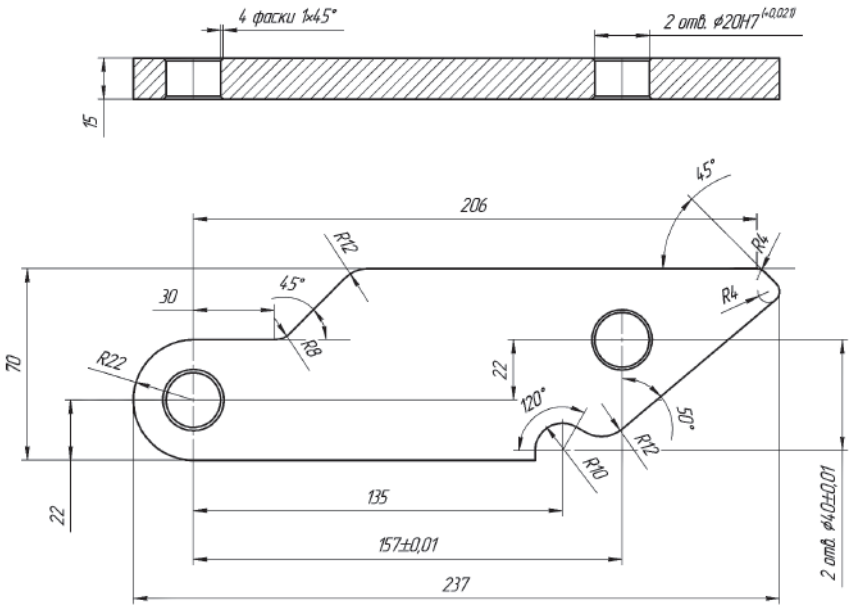



***Рис. 4.14. Фрагмент 2D чертежа детали с криволинейным внешним контуром***

Расчет координат опорных точек для позиционных систем (сверлильные, расточные и др. станки) не представляют особых трудностей, и может легко осуществляться вручную. Что же касается координат опорных точек для контурной обработки на токарных, фрезерных и др. станках, то их расчет, как правило, затруднителен и занимает много времени.

Расчет траекторий инструментов в таких случаях удобнее осуществлять на ЭВМ, применяя те или иные системы автоматизированного программирования (САП) или CAD-CAM системы.



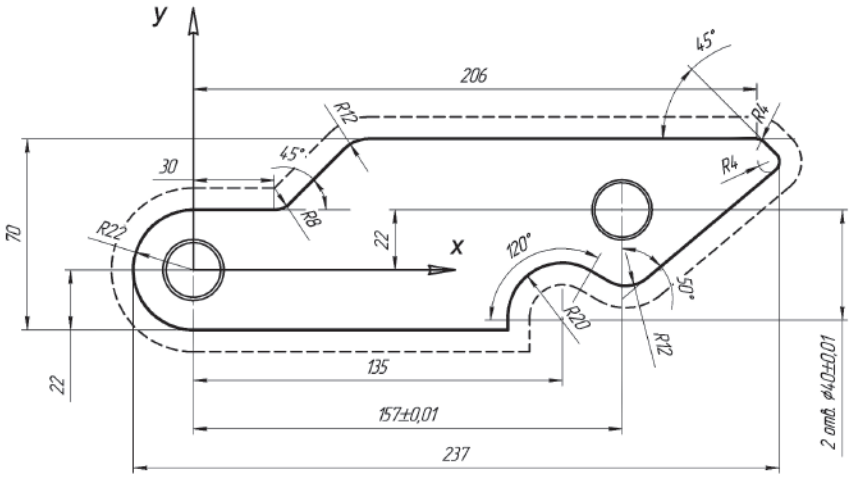



***Рис. 4.15. Схема траектории инструмента при обработке криволинейного профиля***

**Таблица 4.2.**

***Координаты опорных точек детали, изображенной на рис. 4.15***

| Номера и координаты опорных точек траектории | | | Связь между данной и следующей опорными точками | Номера и координаты опорных точек траектории | | | Связь между данной и следующей опорными точками |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № | X | У | | № | X | У | |
| 1 | -35,00 | +30,00 | Линейная | 10 | +171,20 | -9,17 | R20 |
| 2 | 0,00 | +3,00 | Линейная | 11 | +148,34 | -11,17 | Линейная |
| 3 | +30,00 | +30,00 | Линейная | 12 | +141,60 | -7,28 | R12 |
| 4 | +48,83 | +50,14 | R20 | 13 | +123,16 | -18,43 | Линейная |
| 5 | +63,97 | +56,00 | Линейная | 14 | +123,16 | -37,93 | Линейная |
| 6 | +206,34 | +56,00 | R12 | 15 | +131,06 | -30,00 | Линейная |
| 7 | +214,83 | +52,49 | Линейная | 16 | 0,00 | -30,00 | R30 |
| 8 | +219,19 | +48,13 | R12 | 2 | 0,00 | +3,00 | Линейная |
| 9 | +218,41 | +30,45 | Линейная | 1 | -35,00 | +30,00 | |

# 5. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ CAD/CAM-СИСТЕМ В ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ[2]

Под **CAD системами** (computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) понимают программное обеспечение, которое автоматизирует труд инженера-конструктора и позволяет решать задачи проектирования изделий и оформления технической документации при помощи персонального компьютера.

**CAM системы** (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) автоматизируют расчеты траекторий перемещения инструмента для обработки на станках с ЧПУ, и обеспечивают выдачу управляющих программ с помощью компьютера.

**CAE системы** (computer-aided engineering – компьютерная поддержка инженерных расчетов) предназначены для решения различных инженерных задач: конструктивной прочности, тепловых процессов, гидравлических систем.

CAD/CAM-системы подразделяют на системы различных уровней: верхнего, среднего и нижнего. Системы верхнего уровня обладают огромным набором функций и возможностей, но с ними тяжелее работать. Системы нижнего уровня имеют довольно ограниченные функции, но очень просты в изучении. Системы среднего уровня – это «золотая середина». Они обеспечивают пользователя достаточными для решения большинства задач инструментами, при этом не сложны для изучения и работы.

Теоретической основой CAM-систем явилась, в том числе, теория формообразования поверхностей деталей, которая интенсивно разрабатывалась в последние десятилетия прошлого века и продолжает создаваться и в наши дни. Интенсивное раз-

[2] В разделе использованы данные, содержащиеся в книге: Ловыгин А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-системы /А.А. Ловыгин, Л.В. Теверовський – М.: ДМК Пресс, 2012. – 279 с.

витие информационных технологий позволило визуализировать сложные поверхности деталей и инструментов, даже в тех случаях, когда используются сложные модели поверхностей, разработанные в математике: матричная, векторная, параметрическая, в явной или неявной форме. В различных отраслях машиностроения применяются инженерные методы задания и аналитического описания поверхностей деталей и инструментов – но и эти методы могут быть сведены к перечисленным.

## 5.1 ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РАБОТЫ С CAD/CAM СИСТЕМОЙ

Общая схема работы с CAD/CAM-системой включает четыре этапа, представленные на *рис. 5.1.*

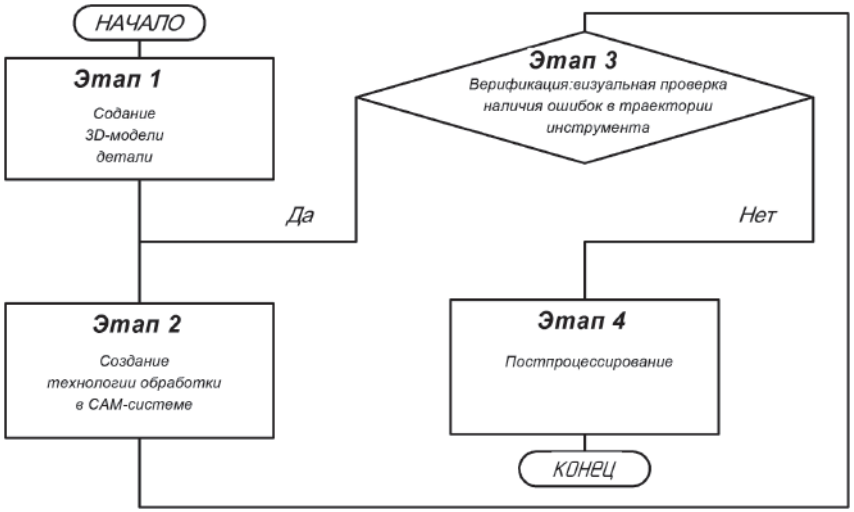



***Рис. 5.1. Общий алгоритм работы с CAD/CAM-системой***

*Этап 1.* В CAD-системе создается электронная 3D-модель детали, которая имеет статус официального чертежа *(рис. 5.2)*.

*Этап 2.* Электронный чертеж или 3D-модель детали импортируется в CAM-систему. Технолог совместно с программистом определяет поверхности и геометрические элементы, которые необходимо обработать, выбирает стратегию обработки, режущий инструмент и назначает режимы резания. Система производит расчеты траекторий перемещения инструмента *(рис. 5.3)*.



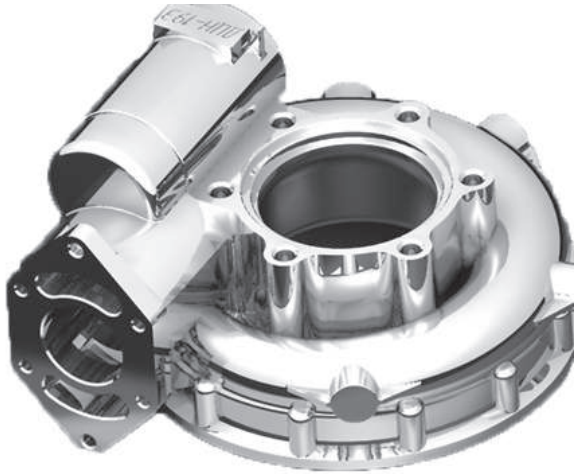


***Рис. 5.2. 3D-чертеж детали***

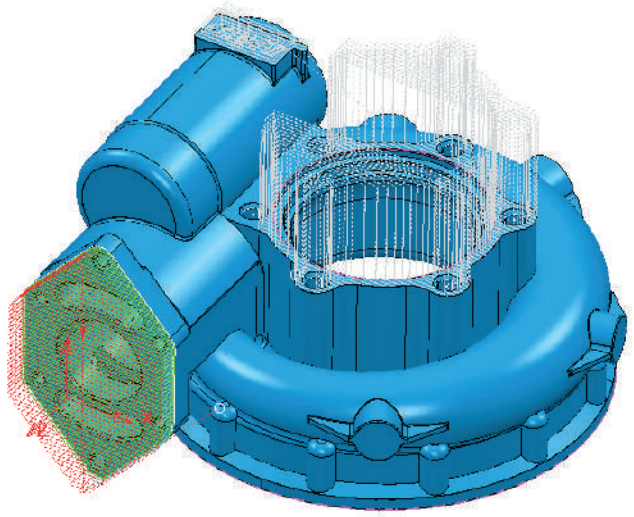


***Рис. 5.3. Изображение траекторий инструмента, рассчитанных CAM-программой***

*Этап 3.* В CAM-системе производится верификация (визуальная проверка) созданных траекторий. Если на этом этапе обнаруживаются какие-либо ошибки, то программист может легко их исправить, вернувшись к предыдущему этапу *(рис. 5.4)*.

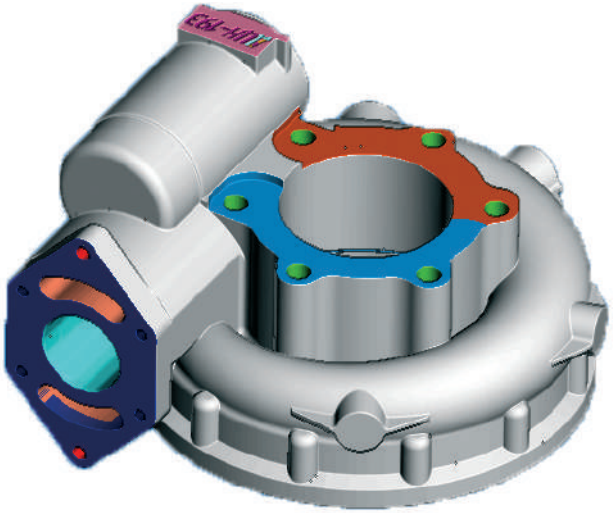


***Рис. 5.4. Результат верификации траектории инструмента в CAM-программе***

*Этап 4.* Финальным продуктом CAM-системы является код управляющей программы. Этот код формируется при помощи постпроцессора, который форматирует УП под требования конкретного станка и системы ЧПУ.

Объемная, или 3D-модель, предназначена для однозначного определения геометрии всей детали. Системы объемного моделирования базируются на методах построения поверхностей и твердотельных моделей на основе плоских и неплоских эскизов. Эскиз, в свою очередь, состоит из простых геометрических элементов – линий, дуг и кривых.

В CAD-системах 3D-модели могут быть представлены в форматах каркасной модели *(рис. 5.5)*, поверхностной модели *(рис. 5.6)*, твердотельной модели детали *(рис. 5.7)*.

**Каркасная модель** представляет геометрию детали в трехмерном пространстве, описывая положение ее контуров и граней. Каркасная модель предоставляет CAM-системе частичную информацию о глубине геометрии.

**Поверхностная модель** очень похожа на модель каркасную. Представьте себе, что между гранями каркасной модели натянута тонкая ткань. Это и будет поверхностью модели. Таким образом, любое изделие может быть представлено в виде набора ограничивающих поверхностей.



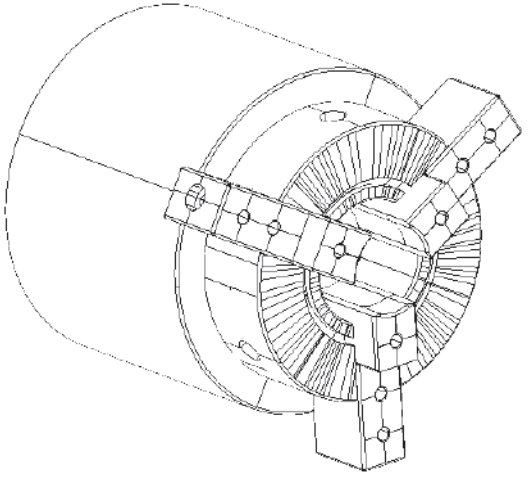


***Рис. 5.5. 3D-каркасная модель токарного патрона***

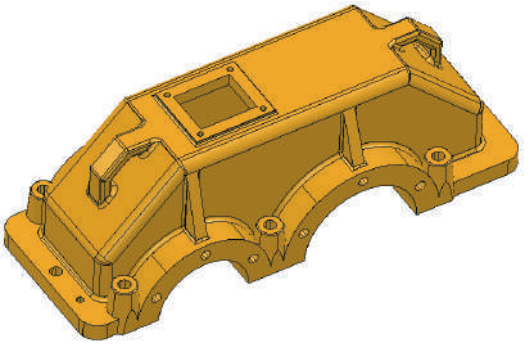


***Рис. 5.6. 3D-поверхностная модель крышки редуктора***

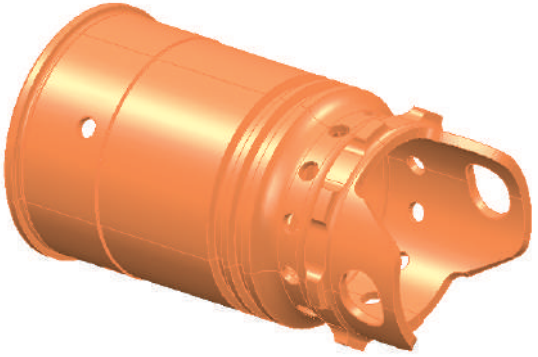


***Рис. 5.7. 3D-твердотельная модель детали***

**При твердотельном способе** моделирования основными инструментами являются тела, созданные на основе эскизов. Для построения твердого тела используются такие операции, как выдавливание, вырезание и вращение эскиза. Булевы операции позволяют складывать, вычитать и объединять различные твердые тела для создания 3D-модели детали. В отличие от поверхностных моделей, твердотельная модель не является пустой внутри. Она обладает некоторой математической плотностью и массой. На сегодняшний день твердотельные модели – это самая популярная основа для расчета траекторий в CAM-системе.

Одним из главных преимуществ этого способа является так называемая параметризация. Параметризация означает, что в любой момент вы можите изменить размеры и характеристики твердого тела, просто изменив числовые значения соответствующих параметров.

Современная CAD/CAM-система должна обладать инструментами для создания как поверхносных, так и твердотельных моделей.

## 5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ УРОВНЕЙ CAM-СИСТЕМ

CAM-система предназначена для автоматизированного создания управляющих программ на основе геометрической информации, подготовленной в CAD-системе. Главные преимущества, которые получает технолог при взаимодействии с системой, заключаются в наглядности работы, удобстве выбора геометрии, высокой скорости расчетов, возможности проверки и редактирования созданных траекторий.

Конкретная CAM-система может отличаться от другой областью применения и возможностями. К примеру, существуют системы для токарной, фрезерной, электроэрозионной обработки, деревообработки и гравировки. Несмотря на то, что большинство современных CAD/CAM-систем способны создавать УП для любого типа производства, такое разделение по областям применения остается актуальным. Если предприятию нужна фрезерная обработка, то оно приобретает модуль фрезерования. Если же нужна только токарная обработка, то достаточно приобрести токарный модуль этой же системы. Модульность построения CAM-систем является частью маркетинговой политики разработчиков и позволяет предприятию-пользователю экономить значительные средства для приобретения только необходимых конструкторско-технологических возможностей.



В свою очередь, модули системы отличаются определенным уровнем возможностей. Обычно для фрезерной обработки разработчики вводят следующие уровни:

- 2,5-осевая обработка. На этом уровне система позволяет рассчитывать траектории для простого двухкоординатного фрезерования и обработки отверстий;
- трехосевая обработка с позиционированием 4-ой оси. На этом уровне вы сможете работать с 3D-моделями. Система способна генерировать УП для объемной обработки;
- многоосевая обработка. В этом случае система предназначена для работы с самым современным оборудованием и способна создавать УП для 5-осевого фрезерования самых сложных деталей.

Чем выше уровень модуля, тем большими возможностями он обладает. Естественно, что для разработки алгоритмов 5-координатной обработки требуются бóльшие инвестиции (как финансовые, так и интеллектуальные), чем для разработки алгоритмов 3-координатной обработки. Следовательно, и стоимость модулей будет разной. Если у вашего предприятия нет оборудования для 3-координатной обработки, то нет смысла приобретать самый дорогостоящий модуль.

Прежде чем начать работу с CAD/CAM-системой необходимо уяснить, что геометрия детали, изготовленной на станке с ЧПУ, может отличаться от истинной геометрии CAD-модели. Несомненно, что 3D-модель служит базой для расчета траекторий, но готовая деталь является результатом работы CAM-системы и станка с ЧПУ, которые по-своему интерпретируют исходную геометрическую информацию.

Возьмем эллипс, который может быть создан в любой CAD-системе очень просто – достаточно пары кликов мышкой. Однако станок с ЧПУ не способен напрямую описать эллипс, ведь он умеет перемещать инструмент только по прямой или дуге. CAM-система знает это и решает возникшую проблему при помощи аппроксимации эллипса прямыми линиями с определенной точностью. В результате траекторию эллипса можно получить и на станке с ЧПУ, но уже при помощи линейной интерполяции.

Программист сам устанавливает ограничивающую зону для аппроксимации, то есть определяет, с какой точностью нужно «приблизиться» к исходной геометрии. Чем выше задана точность, тем больше будет произведено отдельных сегментов, и тем больший размер будет иметь программа обработки. Особенно ярко этот эффект проявляется при обработке 3D-моделей.

Несмотря на то, что сегодня существует не один десяток CAM-систем и все они отличаются интерфейсом и возможностями, порядок работы с ними примерно одинаков.

Самым первым действием технолога-программиста является выбор геометрических элементов, подлежащих обработке. Такие геометрические элементы **называются рабочими**, или **обрабатываемыми**. Это могут быть точки, линии, поверхности, грани и ребра 3D-моделей.

Современные CAM-системы позволяют контролировать перемещение инструмента не только относительно рабочих элементов, но и относительно других геометрических элементов. Можно выбрать **контролируемые** элементы, которых инструмент не должен касаться ни при каких условиях.

Некоторые CAM-системы **требуют определения геометрии заготовки** уже на начальном этапе проектирования обработки *(рис. 5.8–5.10)*. Это означает, что система «видит» заготовку и рассчитывает траектории, исходя из проектного припуска.

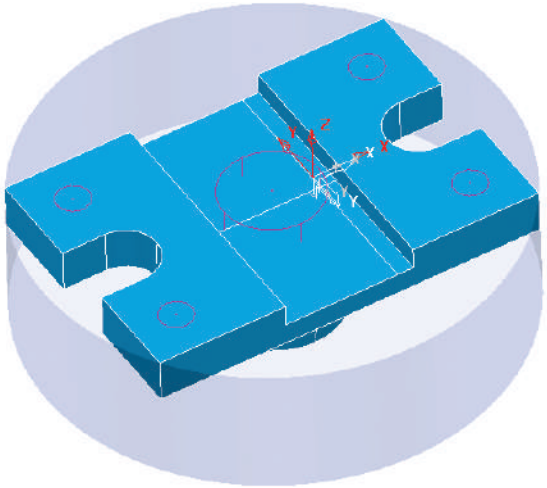


***Рис. 5.8. Цилиндрическая заготовка***



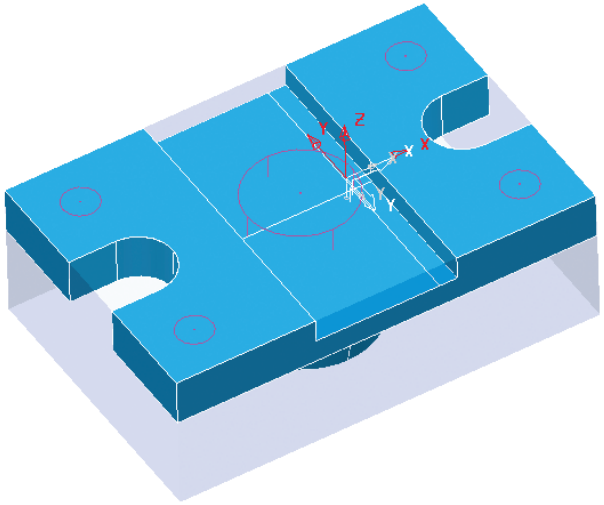


***Рис. 5.9. Заготовка в виде параллелепипеда***

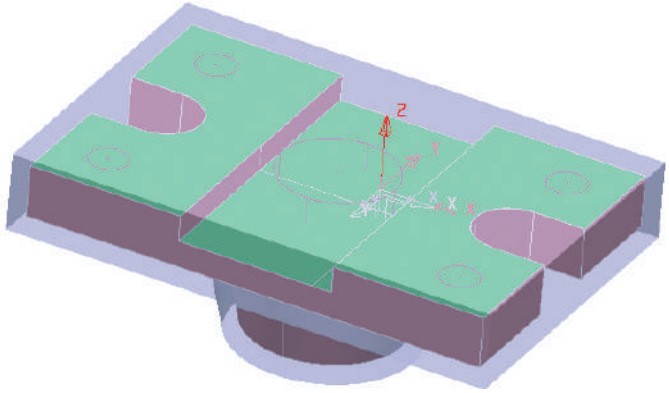


***Рис. 5.10. Заготовка, выполненная литьем***

Заготовка может быть определена в виде цилиндра, параллелепипеда (куба), или в виде произвольной формы.

Для построения заготовок сложных форм, имитирующих отливки и поковки, CAM-система может создавать модели заготовок, смещая внешние границы 3D-модели на величину припуска. Большинство современных CAD/CAM-систем позволяют импортировать 3D-модель заготовки, которая была создана в другой или в этой же системе.

Существуют системы, которые не требуют определения геометрии заготовки на этом этапе. Заготовка назначается и используется только на этапе верификации и не участвует в процессе расчета траекторий. Такое решение является недостаточно эффективным, так как при расчетах система всегда исходит из заготовки правильной формы – параллелепипеда или цилиндра. Если же на самом деле заготовка имеет неправильную форму, то система может сформировать довольно много холостых ходов.

Выбирая геометрические элементы, подлежащие обработке, технолог-программист должен учитывать положение детали и заготовки относительно нулевой точки. Здесь есть два пути. Во-первых, можно сместить 3D-модель детали относительно нулевой точки таким образом, чтобы выбранный элемент совпал с ней. Во-вторых, можно смещать нулевую точку относительно модели, «привязывая» ее к определенному геометрическому элементу. Однако это не означает, что первоначальный выбор нулевой точки является окончательным. Система позволяет изменять любые параметры, в том числе и положение нулевой точки детали, в любой момент и на любом этапе проектирования обработки.

## 5.3. ВЫБОР СТРАТЕГИИ, ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ И ИНСТРУМЕНТА, ВЕРИФИКАЦИЯ

На втором этапе работы с CAM-системой технолог-программист выбирает стратегию и параметры обработки, назначает инструмент и режимы резания. Современная система обычно имеет солидный набор стратегий и позволяет выполнить обработку одной и той же детали разными способами.

Условно все стратегии можно разделить на черновые и чистовые, стратегии плоской и объемной обработки. Ниже рассмотрены стратегии, характерные для большинства современных CAM-систем.

### 5.3.1. ПЛОСКАЯ ОБРАБОТКА

Стратегии плоской обработки применяются при работе с 2D-геометрией. В этом случае не требуется большого разнообразия – вся обработка сводится к фрезерованию контура или плоскости, выборке кармана и обработке отверстий *(рис. 5.11–5.14)*



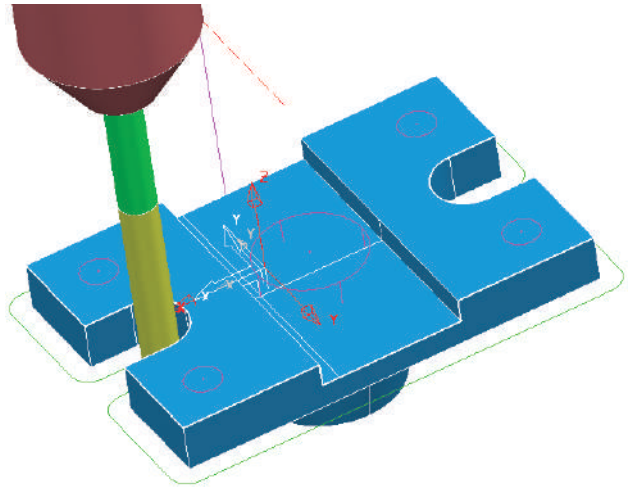


***Рис.5.11. Контурная стратегия (Contour)***

При использовании стратегии *Contour* для чернового фрезерования указывается количество проходов и шаг между ними (перекрытие).

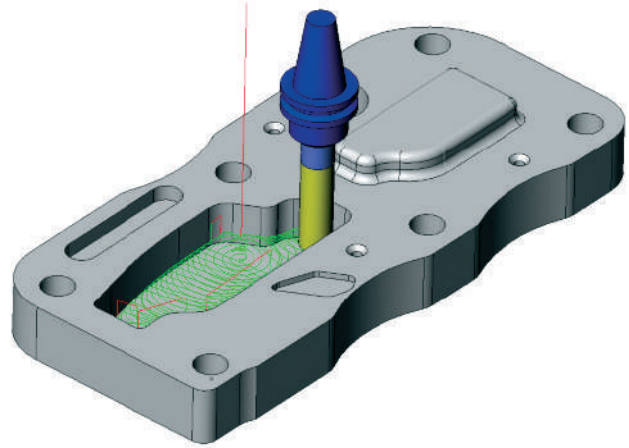


***Рис. 5.12. Обработка кармана (Pocket)***

Стратегия *Pocket* предназначена для выборки замкнутых областей. Основными параметрами является шаг между проходами фрезы и тип траектории (параллельная, спиральная, зигзаг и др.).

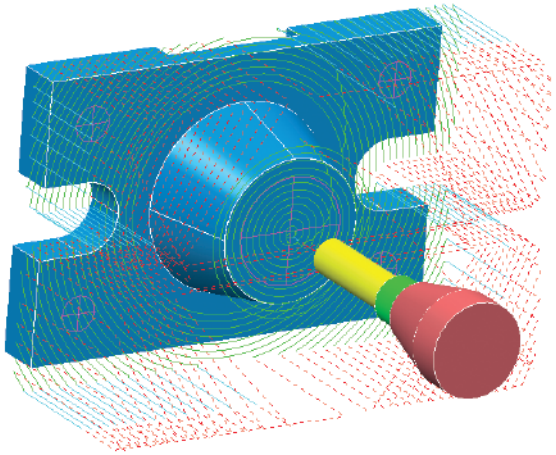


***Рис. 5.13. Обработка торца (Face)***

Для стратегии *Face* основными параметрами являются шаг между проходами фрезы и угол обработки.

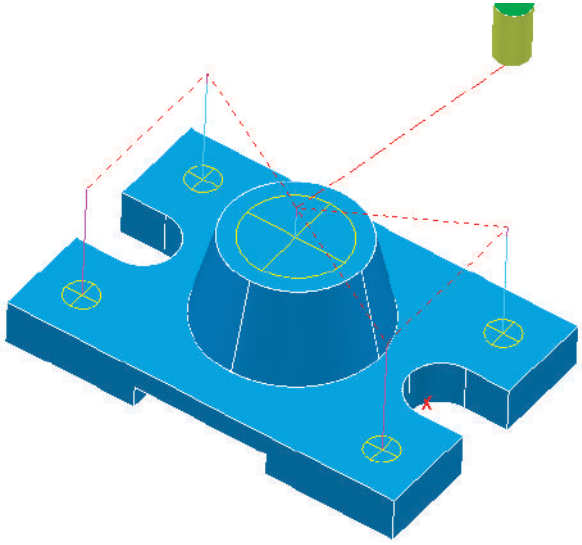


***Рис. 5.14. Обработка отверстий:***
сверление (Drill), нарезание резьбы (Threading), растачивание (Boring)

Основным параметром при сверлении отверстий является глубина обработки.



## 5.3.2 ОБЪЕМНАЯ ОБРАБОТКА

Стратегии объемной обработки предназначены для работы с 3D-моделями. Эти стратегии отличаются большим разнообразием, однако все они условно могут быть разделены на черновые и чистовые.

**Стратегии объемной черновой обработки** предназначены для быстрой послойной выборки большого объема материала и подготовке детали к последующей чистовой обработке.

**Стратегии объемной чистовой обработки** используются для окончательного фрезерования поверхностей с требуемым качеством. Зачастую при объемном чистовом фрезеровании управление перемещением режущего инструмента осуществляется одновременно минимум по трем координатам. Как правило, при объемной обработке используют сферические фрезы. В этом случае произвести расчет перемещения инструмента самостоятельно, без использования CAD/CAM-системы чрезвычайно трудно.

В качестве примеров рассмотрены некоторые стратегии объемной обработки более подробно.

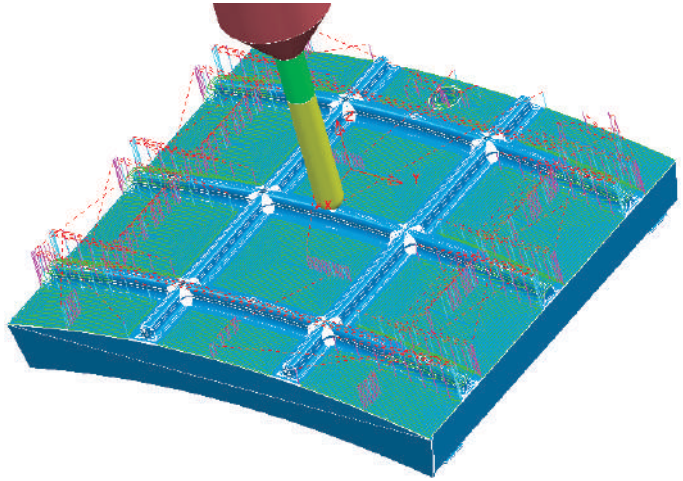


***Рис. 5.15. Послойная обработка кармана***

*Обработка кармана* – стратегия, предназначенная для эффективного удаления материала из закрытых или открытых карманов. Существует множество схем карманной обработки: зигзаг, в одном направлении, параллельная и круговая спираль *(рис. 5.15)*.

Современная CAD/CAM-система выбирает оптимальную схему фрезерования, обеспечивая максимальную производительность и минимальное число холостых ходов. Как правило, эта стратегия заключается в последовательной послойной выборке материала и выполнении заключительного чистового обхода контура на окончательной глубине. При зигзагообразной схеме обработки кармана происходит изменение вида фрезерования – со встречного на попутное или наоборот.

**Стратегия радиальной обработки** обычно применяется для черновой или чистовой обработки деталей круглой формы. Перемещение инструмента в этой стратегии производится от центра детали к ее внешним границам (или, наоборот) с постепенным изменением угла в плоскости обработки *(рис. 5.16)*.

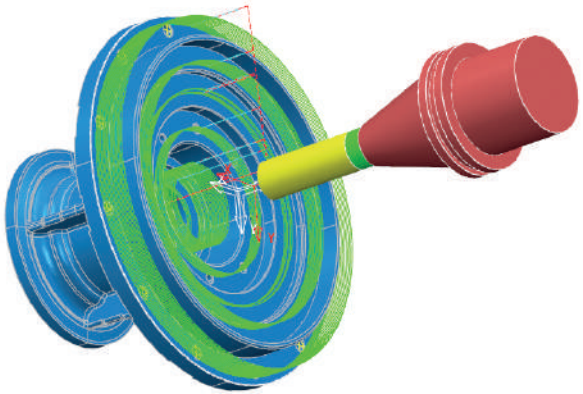


***Рис. 5.16. Радиальная обработка***

С помощью **черновой вертикальной выборки** можно быстро обработать деталь, используя движения, аналогичные сверлению. Производства, использующие такую стратегию, приобретают специальные плунжерные фрезы, позволяющие быстро выбрать материал и имеющие подвод охлаждающей жидкости через ось инструмента. Стратегия черновой вертикальной выборки отлично подходит для обработки глубоких впадин и карманов *(рис. 5.17)*.

**Стратегия фрезерования остатков (дообработка)** позволяет автоматически удалить материал, оставшийся от предыдущей операции. Для увеличения производительности обработки принято выбирать материал сначала инструментом большого



диаметра, а уже затем производить фрезерование в труднодоступных местах инструментом меньшего диаметра. Система, анализируя объем снятого и оставшегося материала, автоматически генерирует траекторию для выборки материала, который не был удален в предыдущей операции обработки *(рис. 5.18)*.

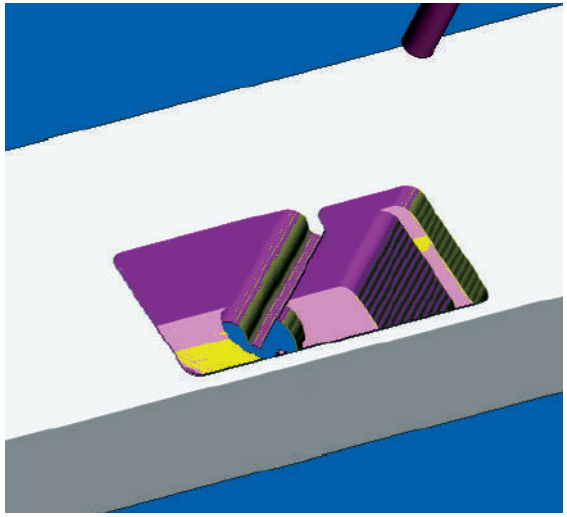


***Рис. 5.17. Результат применения стратегии черновой вертикальной выборки***

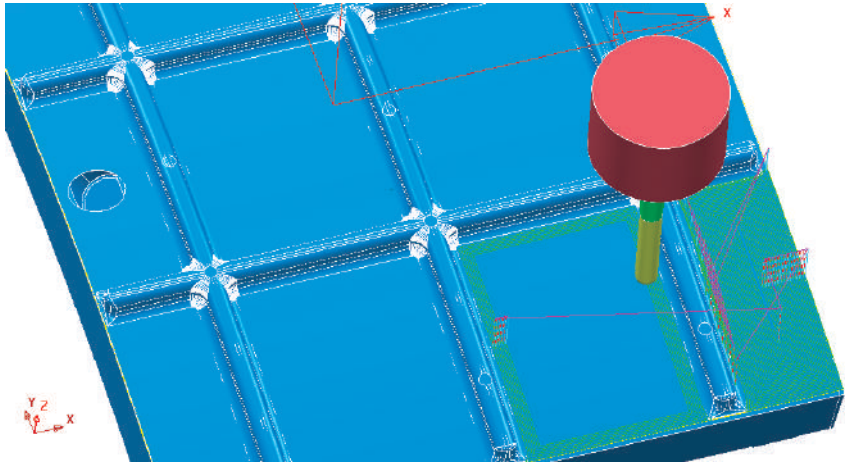


***Рис. 5.18. Стратегия дообработки меньшим инструментом***

**Стратегия контурной обработки** используется для черновой или чистовой контурной обработки деталей произвольной формы. Суть стратегии заключается в удалении припуска за счет проходов фрезы по контурам, созданным путем «смещения» границ текущего слоя по *Z (рис. 5.19)*.

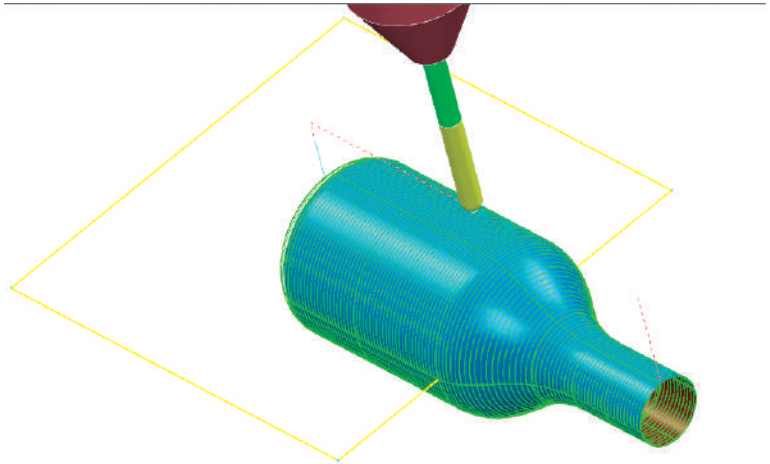


***Рис. 5.19. Объемная контурная обработка***

**Стратегию обработки по потоковым линиям** применяют для чистовой обработки любых поверхностей. Система создает траектории с учетом формы и направления поверхностей *(рис. 5.20)*.

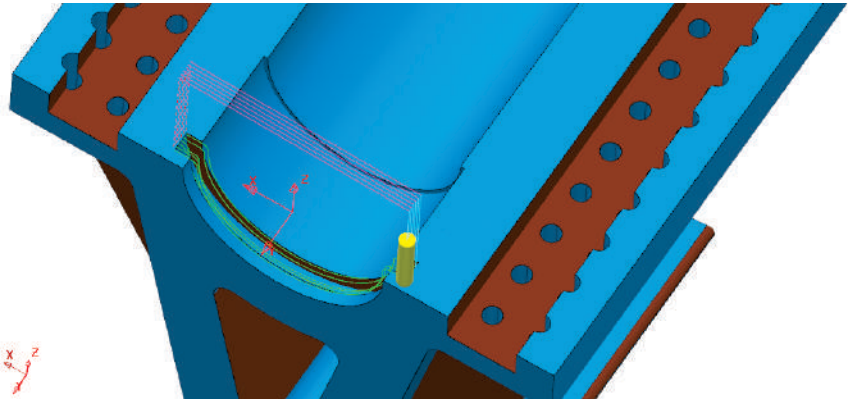


***Рис. 5.20. Обработка по потоковым линиям***



**Стратегия проекционной обработки** позволяет наложить на любой участок обрабатываемой поверхности своеобразный шаблон **траектории** движения инструмента или спроецировать плоскую траекторию на 3D-модель.

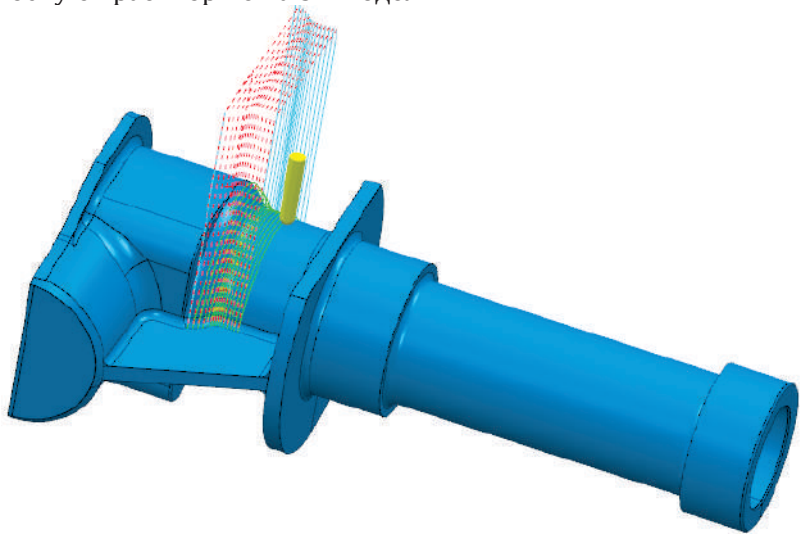


***Рис. 5.21. Карандашная обработка***

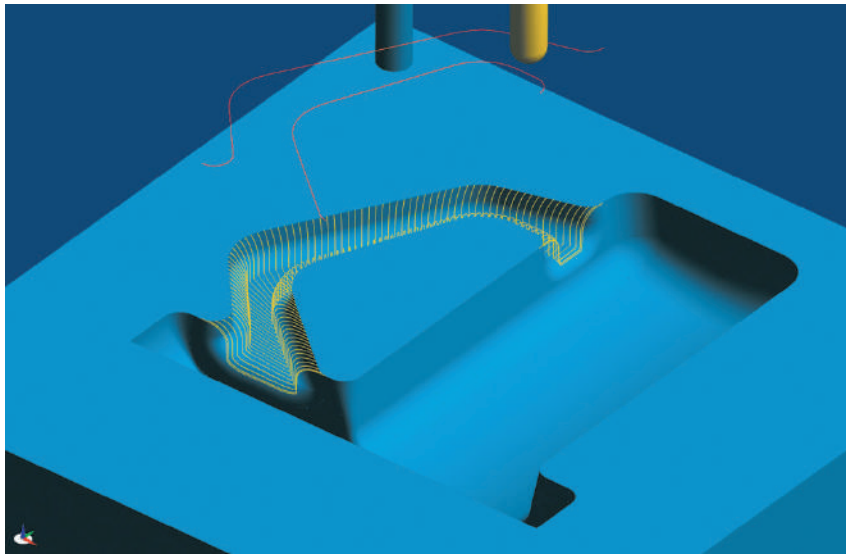


***Рис. 5.22. Проецирование траектории на поверхность***

После выбора стратегии и определения основных параметров обработки необходимо назначить режущий инструмент, либо выбрать его из библиотеки инструментов. На этом же этапе определяются режимы резания: скорость рабочей подачи, обороты шпинделя – и программируется включение или выключение СОЖ. Результатом второго этапа является сформированная траектория. В дереве операций CAM-системы должна появиться новая технологическая операция.

## 5.4. ВЕРИФИКАЦИЯ. НАГЛЯДНАЯ ПРОВЕРКА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

В настоящее время любая CAM-система имеет функции для проверки правильности созданных траекторий. **Функция бэкплота** (Backplot) позволяет программисту отлеживать перемещения режущего инструмента. При этом он может наблюдать за траекторией центра инструмента и самим инструментом прямо на 3D-модели. Как правило, бэкплот используется для предварительной проверки рассчитанных траекторий и настройки технологических параметров операции. Окончательная проверка обычно осуществляется с помощью верификации.

Инструменты верификации предоставляют программисту прекрасные возможности для наглядной проверки траектории движения инструмента, для оценки качества и общей технологии изготовления детали. Основной смысл верификации заключается в демонстрации процесса удаления материала заготовки и возможности посмотреть на окончательный результат работы УП – модель изготовленной детали. Полученную «виртуальную» деталь можно рассмотреть с разных сторон. Можно увидеть, все ли элементы выполнены правильно, и даже разглядеть гребешки на материале, оставшиеся от инструмента.

Верификация может быть твердотельной или растровой, В случае **твердотельной верификации** система работает с трехмерной моделью заготовки и позволяет реализовать множество полезных функций. К примеру, измерить обработанную деталь или экспортировать ее в CAD-систему для дальнейшей работы. **Растровая верификация** лишь имитирует работу с трехмерной моделью и применяется сейчас достаточно редко.

На этом этапе еще нет готовой УП, то есть самого кода. Код программы обработки появится позже, после постпроцессирования. Но что же тогда проверяется?



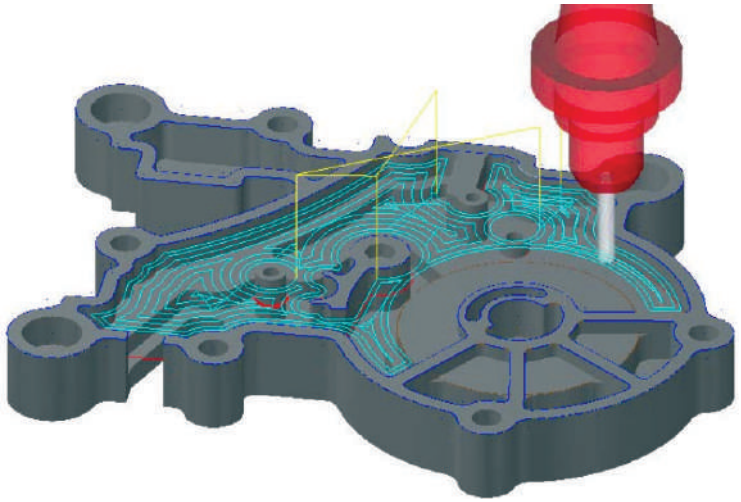


***Рис. 5.23. В режиме «Backplot» можно наблюдать за траекторией перемещения центра инструмента***

Результатом предыдущего этапа является сформированная траектория перемещения инструмента для определенной операции. Информацию об этой траектории, всех координатах и инструменте система записывает в специальный промежуточный файл. Этот файл не похож на обычную программу обработки, так как в нем нет привычных G- и M-кодов. В настоящий момент именно этот файл является объектом для верификации и бэкплота.

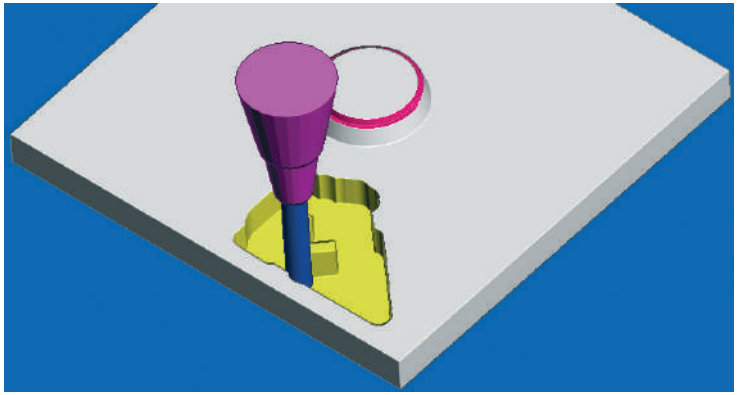


***Рис. 5.24. Процесс верификации***

## 5.5. ПОСТПРОЦЕССИРОВАНИЕ

**Постпроцессор** – программа, которая преобразует файл траектории движения инструмента и технологических команд (промежуточный файл), сформированный CAD/CAM-системой, в файл УП в соответствии с требованиями конкретного комплекса станок – СЧПУ. В ряде систем постпроцессоры называются **паспортами**.

Для того чтобы абстрагироваться от большого разнообразия станков, систем ЧПУ и языков программирования обработки, CAM-система генерирует промежуточный файл, содержащий: информацию о траектории, угле поворота инструмента (в случае многокоординатной обработки) и обобщенные команды управления станком. Обычно этот промежуточный файл называется CL-файлом (Cutter Location) или CLDATA-файлом.

Далее в работу вступает постпроцессор. Он преобразует этот промежуточный файл в программу обработки в строгом соответствии с форматом программирования конкретного станка с ЧПУ.

Такая технология позволяет программисту во время проектирования обработки в CAD/CAM-системе не задумываться о том, на какой конкретно станок попадет УП и каков будет ее формат. Ему необходимо лишь выбрать постпроцессор, соответствующий определенному станку с ЧПУ, и тот возьмет на себя всю работу по созданию программы обработки определенного формата.

Откуда же взялась идея постпроцессирования и почему до сих пор в этой области существуют проблемы? По идее, разработчики станков и систем ЧПУ должны соблюдать стандарты Ассоциации электронной промышленности и Международной организации стандартизации (ISO). То есть одинаковые G-коды на разных станках с ЧПУ должны выполнять одну и ту же функцию. В принципе, эти стандарты соблюдаются, но только для основных команд станка, например, для включения СОЖ, линейной и круговой интерполяции.

Если же дело доходит до других команд, постоянных циклов и специальных функций, то соответствие определенному стандарту практически отсутствует. Это приводит к невозможности правильного исполнения одной и той же УП на разных станках с ЧПУ. К этой проблеме прибавляется другая – постоянная модификация оборудования с ЧПУ. В условиях жесткой конкуренции станкостроительные компании создают все более сложные



станки, а разработчики систем ЧПУ придумывают новые циклы и функции. В результате серьезные отличия в формате УП могут быть замечены даже у станков одной фирмы, но разных моделей.

Когда появились первые CAM-системы, то для работы с конкретным станком с ЧПУ разрабатывался **индивидуальный постпроцессор**, который представлял собой исполняемый файл. Индивидуальный постпроцессор мог быть создан только опытным программистом (именно программистом, а не технологом-программистом) путем длительного общения со станочником для выяснения всех нюансов работы с определенным станком. После этого проходили испытания и доводка индивидуального постпроцессора. В результате постпроцессор выполнял свои функции, но процесс его создания был очень долгим, мучительным и дорогим. Изменения в таком постпроцессоре мог сделать только сам автор-разработчик.

В 70-80-х годах прошлого века наблюдался значительный подъем автоматизированного машиностроения. Стали появляться новые станки с различными системами ЧПУ. Возник огромный спрос на технологическое программное обеспечение и CAD/CAM-системы.

Программисты просто не успевали разрабатывать новые индивидуальные постпроцессоры, что подтолкнуло их к автоматизации собственного труда. Появилась идея создания обобщенных постпроцессоров для разных станков с одинаковой системой ЧПУ. В этом был смысл – при работе с системой ЧПУ одной фирмы даже на разных станках отличия в УП будут минимальными, значит, и изменения, которые нужно внести в исполняемый файл, тоже будут незначительными.

Классический постпроцессор, находящийся на службе современной CAD/CAM-системы, состоит из нескольких файлов. Во-первых, это исполняемый файл – программа. Исполняемый файл занимается преобразованием данных промежуточного CL-файла в кадры УП, Преобразование осуществляется по некоторым правилам, отличным для разных станков и систем ЧПУ. Эти правила, или алгоритмы преобразования, находятся во втором файле – текстовом.

Текстовый файл написан на специальном макроязыке, который может быть изменен в случае необходимости самим технологом-программистом в любом текстовом редакторе. Вносить

какие-либо изменения в исполняемый файл не требуется. Как правило, с CAD/CAM-системой поставляется набор таких текстовых файлов, которые описывают правила для преобразования промежуточных файлов в программу обработки для нескольких десятков различных станков и систем ЧПУ В данном случае постпроцессором можно смело называть именно текстовый файл. Исполняемый же файл является модулем CAM-системы и работает незаметно для пользователя. В некоторых CAM-системах присутствует и третий файл, необходимый для постпроцессирования. Этот файл также является текстовым. Он предназначен для ввода дополнительных условий и передачи специальной информации в управляющую программу.

К сожалению, разработчики CAD/CAM-систем не придерживаются единого стандарта для формирования промежуточных CL-файлов. В результате текстовый файл с описанием алгоритмов преобразования (постпроцессор) одной CAM-системы будет абсолютно бесполезен для использования внутри другой CAM-системы. Для разработки даже такого текстового постпроцессора «с нуля» необходимы глубокие знания самой системы и принципов преобразования исходных данных. Поэтому пользователю предоставляют набор базовых постпроцессоров с редактируемыми переменными. Работая с этими переменными, пользователь может самостоятельно настроить постпроцессор для имеющегося станка.

Сегодня наиболее эффективным и простым решением проблем постпроцессирования на предприятии является использование универсального постпроцессора (генератора).

Универсальные постпроцессоры позволяют работать со многими известными CAD/CAM-системами и одновременно не зависеть от них. Дело в там, что, в отличие от классических постпроцессоров, которые работают с промежуточным файлом только «родной» системы, универсальные постпроцессоры способны «перерабатывать» CL-файлы разных CAM-систем. Прибавьте сюда продвинутый интуитивно-понятный графический интерфейс, позволяющий строить наглядную кинематическую схему станка и задавать типовые параметры системы ЧПУ, и вы получите мощное и универсальное средство для решения проблем совместимости любого оборудования с любой CAD/CAM-системой.



Оценить результаты работы постпроцессора не очень сложно. Если полученная программа не требует ручной правки и доводки, значит, постпроцессор работает правильно. Это главный принцип. Хороший постпроцессор способен сформировать УП с учетом максимальных возможностей станка с ЧПУ, CAD/CAM-системы и должен правильно работать с постоянными циклами. К примеру, если система ЧПУ станка поддерживает винтовую интерполяцию, то желательно, чтобы постпроцессор не заменял ее множеством линейных перемещений. Естественно, что программа обработки не должна содержать лишних кодов и координат.

## 5.6. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ НА СТАНОК С ЧПУ

После постпроцессирования CAD/CAM-система открывает файл УП в специальном редакторе или в стандартном «Блокноте» операционной системы Windows. Многие системы поставляются со специальными редакторами УП, которые являются простым и удобным инструментом для правки и передачи программ на станок.

В большинстве случаев связь осуществляется в соответствии со стандартом RS-232. При этом COM-порт персонального компьютера соединяется кабелем со специальным разъемом на корпусе станка или панели УЧПУ. Для передачи данных необходимо, чтобы УЧПУ станка и коммуникационная программа были синхронизированы. Это достигается соответствующей настройкой параметров СЧПУ и коммуникационной программы. Например, если значение для стоповых битов (stop bits) системы ЧПУ станка равно двум, то такое же значение должно находиться и в соответствующем параметре коммуникационной программы.

После настройки основных параметров УП можно передать на станок. Вам придется переключить систему ЧПУ станка в режим приема/передачи данных, нажать на панели УЧПУ клавишу «Прием данных», а в коммуникационной программе выбрать пункт меню «Передать». Для передачи данных со станка на ПК нужно действовать наоборот. Сначала переключаем СЧПУ станка в режим приема/передачи данных, затем в коммуникационной программе выбираем пункт меню «Принять» и нажимаем клавишу на панели УЧПУ станка «Передать данные». В документации к

станку обязательно находится информация о настраиваемых параметрах для приема и передачи данных, а также последовательность действий при работе с внешними устройствами хранения информации.

Для передачи УП, размер которых превышает размер свободной памяти СЧПУ, используется режим DNC. В этом режиме программа обработки не записывается в память системы ЧПУ, а выполняется прямо с компьютера. Система ЧПУ имеет (или создает в памяти) специальный программный буфер, в который приходит часть программы. Как только этот буфер заполняется, система посылает сигнал на компьютер, чтобы тот прекратил передавать данные. В это время СЧПУ станка выполняет кадры УП, находящиеся в буфере. Когда буфер освобождается, система ЧПУ посылает новый сигнал на ПК, который разрешает дальнейшую передачу данных. Этот процесс продолжается до полного выполнения УП. Для работы в режиме DNC необходимо, чтобы СЧПУ станка было соответствующим образом подготовлено производителем, а на персональном компьютере находилась коммуникационная программа с поддержкой этого режима.

Наиболее продвинутые системы дают возможность передавать данные по локальной сети, а не по RS-232. В этом случае пользователь прямо с ПК может «видеть» содержимое памяти станка. А прием и передача данных осуществляются привычным для Windows способом – перетаскиванием файлов из одной папки в другую, что очень удобно. Некоторые станки с ЧПУ снабжены встроенным дисководом или умеют читать информацию с флэш-карт.

Ассоциативность CAD/CAM-системы заключается в ее способности связать геометрию с траекторией обработки, инструментом, материалом, параметрами и сформировать завершенную операцию. Если какая-либо часть операции изменяется, то другие ее части остаются нетронутыми и могут быть использованы для дальнейших расчетов и создания обновленной операции. Ассоциативность предоставляет технологу-программисту небывалые возможности по отладке технологии обработки и защищает его от утомительного исправления своих ошибок. Изменяя параметры операции, можно следить, как меняются траектория и машинное время обработки, и в результате выбрать наилучший вариант. Как правило, такая ассоциативность действует в пределах только одной CAD/CAM-системы.



## 5.7. ОСОБЕННОСТИ ПЯТИКООРДИНАТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Существенный интерес к многоосевой обработке вызван, с одной стороны, повышением спроса на изготовление деталей сложной формы, с другой – снижением стоимости 5-координатных станков с ЧПУ и развитием математического аппарата CAD/CAM-систем.

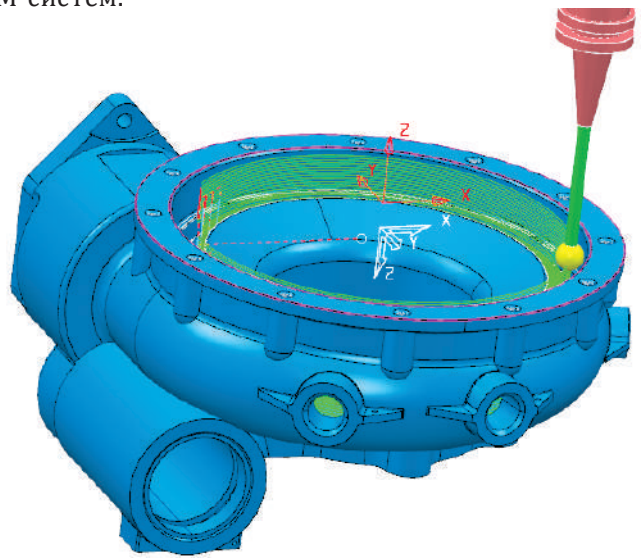



***Рис. 5.25. Для расчета траекторий 5-координатной обработки используются CAM-системы.***

Традиционной областью применения этой технологии является авиационная промышленность, где 5-координатные обрабатывающие центры служат для механической обработки турбинных лопаток, лопастей и других деталей сложной формы. Постепенно эта прогрессивная технология внедряется в обычное производство для изготовления инструмента и пресс-форм. При 5-координатном фрезеровании инструмент может обрабатывать поверхность детали торцевой или боковой частью. При такой обработке обычно используют концевые или сферические фрезы, поэтому в одном случае контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью будет точечным, а во втором – линейным. Существуют два вида 5-координнатной обработки:

одновременная (непрерывная) и обработка с индексированием. В первом случае в каждом кадре УП действительно находятся пять адресов осевого перемещения, например: *X, Y, Z, A, B*. Во втором случае нельзя говорить об одновременном перемещении по всем пяти осям – в каждом кадре обычно содержатся только три координаты. Остальные адреса стоят отдельно и используются как вспомогательные – для поворота инструмента или детали в определенное положение и дальнейшей 3-х координатной обработки.

Управляющие программы для многоосевой обработки создаются исключительно при помощи CAD/CAM-систем. Зачастую технологу-программисту приходится строить дополнительные направляющие поверхности и ограничивать угол наклона режущего инструмента. Для получения корректной программы требуется тщательная настройка постпроцессора, создание которого может обойтись предприятию довольно дорого.

Термин 3D-коррекцня часто используется, когда речь заходит о технологии объемной обработки. При обычном плоском фрезеровании существует возможность выполнить коррекцию на радиус инструмента слева или справа от запрограммированного контура при помощи кодов G41 и G42. А как поступить в случае объемной поверхностной обработки, например, при изготовлении матриц и пуансонов?

Когда производится обработка плоского контура, корректирующее смещение указывается справа или слева, то есть по нормали к обрабатываемой поверхности в точке контакта с инструментом. При использовании 3D-коррекции ситуация аналогичная, просто необходимо знать вектор ориентации инструмента и вектор нормали поверхности в точке контакта с инструментом. Исходя из взаимного положения этих векторов и корректирующего значения, система ЧПУ рассчитывает пространственное смещение режущего инструмента с сохранением его ориентации и заданной точки контакта.

Если система ЧПУ на вашем станке поддерживает 3D-коррекцию инструмента, то оператор может влиять на размеры деталей со сложной геометрией, изменяя значение радиуса инструмента как «в плюс», так и «в минус». Однако в этом случае CAM-система и СЧПУ станка, скорее всего, не смогут контролировать возможные столкновения и ошибки позиционирования.



## 5.8. ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ (ВСО)

Теоретическое обоснование эффективности высоких режимов резания при механической обработке металлов возникло достаточно давно. Однако только сейчас, с появлением современных станков с ЧПУ, максимальная частота вращения шпинделя у которых достигает 60 000 об/мин, а скорость рабочей подачи превышает 5 000 мм/мин, осуществлен переход к реальному производству. В *табл. 5.1* приведено сравнение параметров традиционной обработки и высокоскоростной.

**Таблица 5.1**

***Технологические параметры ВСО в сравнении с традиционной обработкой***

| Параметры | Традиционная обработка | Высоко-скоростная обработка |
|---|---|---|
| Частота вращения, мин $^{-1}$ | 6 000 | 15 000 – 40 000 |
| Подача, м/мин | 0,2 – 0,8 | 1,5 – 5 |
| Глубина резания, мм | 1 – 5 | 0,02 – 0,5 |
| Твердость обрабатываемого материала, HRC | < 36 | < 62 |
| Сила резания, кН | 11 – 15 | 0,9 – 1,2 |

Установлено, что при увеличении скорости резания температура в зоне резания постепенно возрастает и достигает некоторого максимального значения *(рис. 5.26)*. При дальнейшем увеличении скорости резания происходит существенное снижение температуры и крутящий момент, необходимый для выполнения резания, тоже снижается. Это означает, что существует некоторая область сверхвысоких скоростей обработки, в которой процесс резания происходит спокойно и режущий инструмент не подвергается влиянию высоких температур и катастрофическим нагрузкам.

Следует обратить внимание, как следует из *табл. 5.1*, на возможность использования ВСО для обработки закаленных сталей, имеющих твердость порядка 60 HRC, на значительное снижение

силовых параметров резания (примерно в 10 раз). Кроме этого, падение температуры в зоне резания в два и более раза является весьма важным для стойкости инструмента, структуры и поверхностного слоя материала обрабатываемой детали, шероховатости поверхности *(рис. 5.27)*.

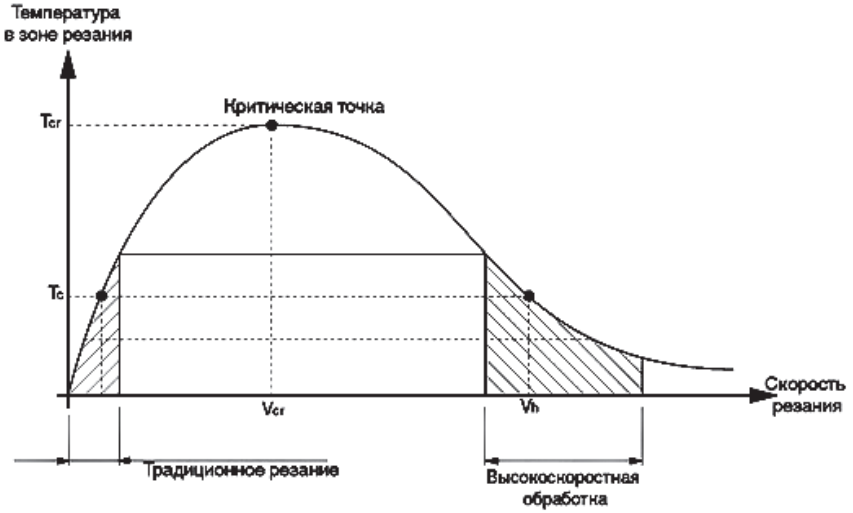
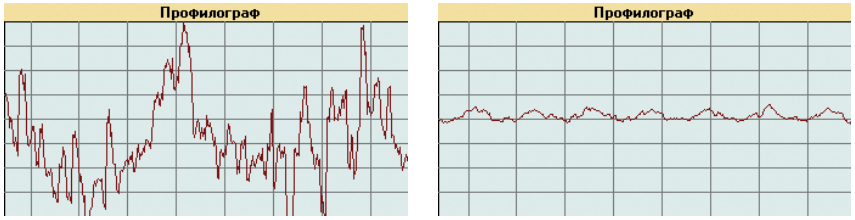



***Рис. 5.26. Зависимость температуры от скорости резания***




*а)* *б)*

***Рис. 5.27. Профилограммы шероховатости поверхностей, обработанных при различных скоростях резания:***
*а* – 30 м/мин, *б* – 120 м/мин)

На *рис. 5.28* приведена термограмма в зоне резания при ВСО. В результате анализа определен баланс распределение тепла. Основная часть тепла – 75% отводится стружкой, 20% – инструментом и только 5% – обрабатываемой деталью. Такой тепловой баланс способствует повышению стойкости инструмента по сравнению с традиционными режимами обработки.



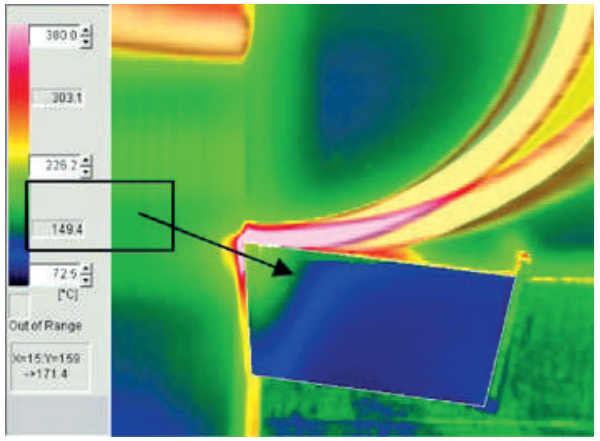



***Рис. 5.28. Термограмма зоны резания при ВСО***

В настоящее время для основных классов обрабатываемых материалов определены сравнительные диапазоны возможных скоростей резания. На *рис. 5.29* приведены диапазоны реализуемых скоростей резания в зависимости от материала детали, из которого видно, что высокоскоростная обработка эффективна для обработки, как алюминиевого сплава, так и для разных марок чугуна и стали.

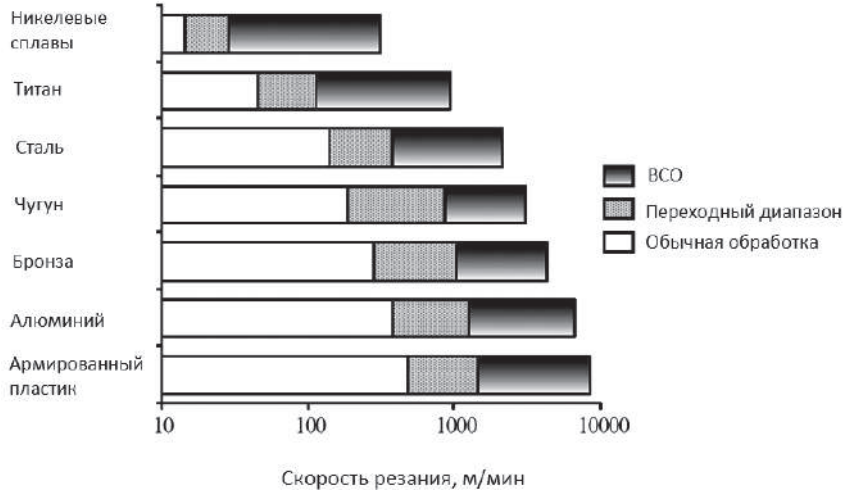



***Рис. 5.29. Сравнительные диапазоны скоростей резания в зависимости от материала детали***

Работа в условиях ВСО имеет ряд особенностей и предъявляет особые требования к оборудованию, инструменту и управляющим программам *(рис. 5.30)*.

***Рис. 5.30. Требования к элементам технологической системы для ВСО***

При работе в таком режиме, во-первых, станок должен иметь частоту вращения шпинделя не менее 15 000 об/мин и подачу не менее 2500 мм/мин, во-вторых, он должен успевать за программой, то есть быстро ускорять и замедлять рабочую подачу. Станок должен обладать высокой жесткостью и иметь эффективные средства для удаления стружки.

Режущий инструмент является главным «ограничителем» скорости обработки. Как правило, режущая часть инструмента для ВСО имеет специальное износостойкое покрытие. Необходимо уделять особое внимание патрону, так как малейшая погрешность установки вызывает биение, особо опасное на таких скоростях вращения шпинделя. Вылет инструмента должен быть минимальным.

При ВСО глубина и шаг обработки на примере фрезерной операции гораздо меньшие, чем при обычном фрезеровании.



Траектория перемещения должна быть плавной, без резких смен направления и скорости подачи. Часто линейные перемещения заменяют на петлеобразные, используют трохоидальную траекторию *(рис. 5.31)*. Врезание инструмента в металл должно проходить по спирали или под небольшим углом, но никак не вертикально. Все это делается для уменьшения нагрузки на инструмент и исключения его поломки.

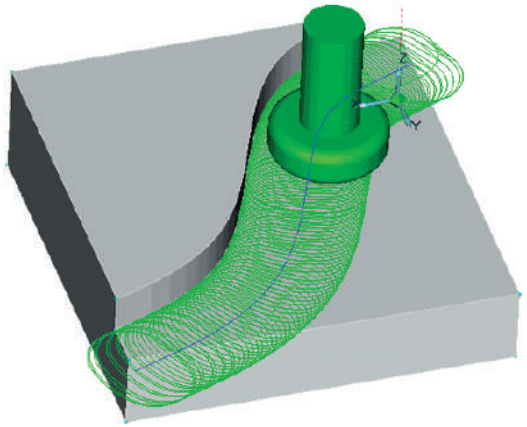


***Рис. 5.31. Трохоидальная траектория, состоящая из множества петелек***

Так как при этом управляющая программа для ВСО содержит очень много перемещений, то ее размер может превышать размер обычной программы обработки в десятки или сотни раз. Система ЧПУ станка должна успевать отрабатывать кадры и иметь достаточно большой программный буфер для подготовки к последующим перемещениям. Если система не имеет значительного объема памяти для хранения программы, то не обойтись без DNC-режима.

Не стоит увлекаться методом ВСО для обработки всей детали целиком. В большинстве случаев черновую обработку можно выполнить на обычных режимах «грубым» инструментом. Серьезная CAM-система обязательно должна иметь инструменты дообработки, средства определения излишков материала и возможность сравнивания результатов обработки. Используя различные программные фильтры и оптимизаторы, производящие анализ перемещений в УП, можно значительно сократить размер программы, сделать ее наиболее подходящей для метода ВСО.

При использования ВСО меньший шаг и глубина фрезерования в сочетании с бо̀льшими значениями рабочей подачи и оборотов шпинделя при чистовой обработке существенно повышают качество поверхности и значительно сокращают машинное время.

Увеличение скорости резания дает следующие преимущества:

- значительное сокращение основного времени,
- возможность повышения удельной объемной производительности резания примерно на 30%,
- увеличение скорости подачи в 5 – 10 раз,
- возможность уменьшения силы резания более чем на 30%,
- возможность обработки в условиях отсутствия вибраций геометрически сложных деталей,
- возможность чистовой обработки резанием, при которой качество поверхности почти соответствует качеству при шлифовании.



# 6. ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ CAD/CAM-СИСТЕМ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ[3]

## 6.1. CALS-ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Исторически сложившийся процесс производства и эксплуатации изделий машиностроения предполагает наличие нескольких этапов так называемого «жизненного» цикла» (ЖЦ) изделия *(рис. 6.1)*.

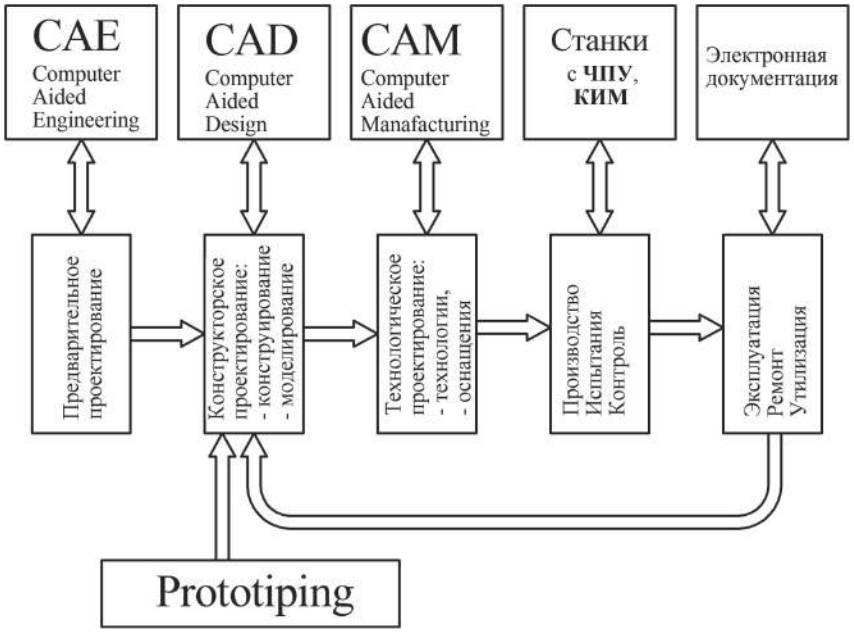



***Рис. 6.1. Жизненный цикл изделия и CALS-технологии***

В начале любого проекта стоит изучение потребностей рынка, генерирование технической идеи, формулировки технического задания. Затем наступает важный этап – проектирование – когда создается описание некоторого объекта или процесса, который

[3] Раздел написан проф. Ю.В. Петраковым

еще не существует, но уже задуманный человеком. Процесс проектирования многоэтапный. Он включает в себя уточнение технического задания, предварительное проектирование, эскизное проектирование, техническое проектирование и, наконец, изготовление опытного образца и его испытания. Любой цикл проектирования должна предусматривать возможность возврата к уже пройденным этапам.

Однако, воплощение проекта в жизнь все-таки происходит на следующих этапах – технологической подготовки производства, изготовления деталей, сборки изделия, контроля, производственных испытаний. Последними этапами ЖЦ изделия является эксплуатация, ремонт и утилизация. На этих этапах используется техническая документация, разработанная при проектировании, изготовлении, а результаты эксплуатации обеспечивают обратную связь усовершенствования изделия.

Требования современного рынка приводят к постоянному ускорению сроков проектирования и изготовления, что делает неэффективным применение традиционных технологий 20 века – как при проектировании, так и при изготовлении на универсальном оборудовании или жестких автоматических линиях. Технический прогресс, создание мощных процессоров, цифровых систем автоматического управления привели к развитию информационных технологий. Кроме того, основная тенденция проектирования – уменьшение количества деталей машин за счет расширения их функциональных возможностей, приводит к значительному усложнению формы и, как следствие, технологии изготовления, предусматривает широкое использование многокоординатных станков и обрабатывающих центров с ЧПУ. Сейчас здесь также не обойтись без автоматизированной подготовки управляющих программ.

На этапе предварительного проектирования уже просто невозможно решить некоторые важные задачи без использования CAE-систем (Computer Aided Engineering). Такие системы включают различные классические инженерные методы расчетов на прочность, устойчивость, динамические расчеты, определение переходных и частотных характеристик проектируемых технических систем при помощи программного обеспечения MATHCAD, MATLAB, Simulink и т.п. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния с использованием метода конечных элементов, математическое описание сложных геометрических поверхностей проводится с использованием 3D-сплайн – функций Solid Works, ANSYS, LS DYNA др.



Алгоритм предварительного проектирования создания оптимальной системы или процесса показан на *рис. 6.2.*

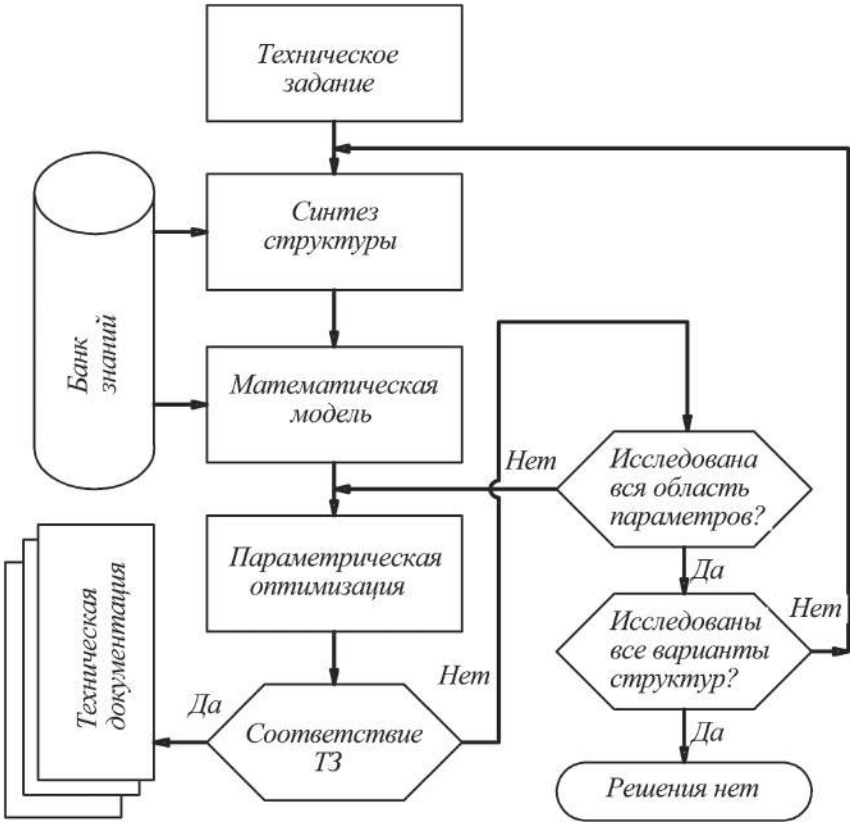



***Рис.6.2. Укрупненный алгоритм предварительного проектирования***

CAE-система предоставляет разработчику базу данных по известным аналогичным техническим решениям – различные структуры, их предполагаемые параметры и выходные характеристики. Далее она позволяет синтезировать новые структуры, после чего предоставляет на выбор различные стандартные методы параметрической оптимизации.

В очень ответственном и трудоемком этапе подготовки конструкторской документации широко используются различные CAD-системы. Эта часть информационных технологий является, на сегодняшний день, наиболее развитой и совершенной. Современные CAD-системы способны обеспечивать автоматизацию разработки 2D-чертежей и трехмерных твердотельных моделей, как отдельных деталей, так и целых сложных изделий. Системы отличаются по базе используемых данных и стандартов, однако все они развиваются в направлении обеспечения создания параметрических чертежей. Наиболее продвинутые в этом отношении CAD-системы на территории СНГ создает фирма «ТОП - СИСТЕМЫ» (Москва) – программные продукты T-flex.

Параметризация предполагает создание чертежей, где любые элементы могут быть связаны между собой с помощью функций переменных, которые впоследствии можно менять. За счет этого значительно облегчается создание чертежей деталей одного класса, автоматическое получение чертежей деталей при изменении сборочного чертежа, задание параметров чертежа через переменные и формулы. CAD-3D развиваются в направлении упрощения создания объемных моделей по видам плоского чертежа и наоборот, создания сборок из отдельных трехмерных параметрических моделей с выполнением булевых операций между трехмерными фрагментами, трехмерной анимации с автоматической генерацией AVI -файлов.

С начала 1990 появились технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), которые позволяют получить твердотельную геометрическую модель детали. Эти технологии (LOM, Стереолитография) могут использоваться как на этапе конструкторского проектирования для создания моделей верификаций сложных деталей, так и для изготовления оснастки для дальнейшего литья деталей по выплавляемым моделям, то есть частично выполнять функции CAM-систем. Однако существенным препятствием в настоящее время для такого применения является процесс выжигания моделей, который сопровождается образованием кокса в полостях формы.

Поскольку CAD-системы являются звеньями информационных технологий, самое важной их функцией является создание электронных чертежей объектов, которые служат исходной информацией для работы последующих CAM-систем.



Работы в области создания CAM-систем можно разделить на два направления. Первое предполагает создание систем автоматического программирования (САП) для станков с ЧПУ и является наиболее развитым. Системы разделяются по видам обработки на токарную, сверлильные (2D-обработка), фрезерную (2,5D-, 3D-, 5D-обработка) и другие. Системы автоматически проводят расчет всех геометрических параметров траекторий формообразующих и вспомогательных движений, технологических команд (смены инструмента, включения и выключения СОТС и др.). А также генерируют управляющие программы в соответствии с постпроцессором конкретного станка с ЧПУ.

Совершенствование САП проводится в направлении улучшения автоматического распознавания геометрических образов с электронных чертежей, оптимизации геометрических траекторий формообразующих движений и расширения номенклатуры постпроцессоров в базе данных.

Развитие таких CAM-систем непосредственно связано с полной заменой парка технологического оборудования на производственные комплексы станков с ЧПУ, поскольку только так можно обеспечить непрерывность информационных технологий, их связь с материальным производством и удовлетворить современным требованиям рынка. Удачным временным решением такой проблемы можно считать опыт некоторых предприятий, где устаревшие фотосчитывающие устройства станков с ЧПУ заменяют контроллерами на базе ПЭВМ. Это позволяет с относительно небольшими затратами включить станки в заводскую сеть без использования материальных носителей информации, обеспечить управление непосредственно от CAM-системы со всеми их преимуществами.

Другое направление, характерное, в основном, для систем, разрабатываемых на территории СНГ, – автоматизация технологической подготовки производства – САПР ТП. Такие системы чаще всего является интерактивной базой данных, их целью является автоматизация процесса создания технологической документации в виде маршрутных и операционных карт, карт контроля, перечней оснащения.

В связи с отсутствием формализованного описания процесса проектирования технологии обработки, а также его многовариантностью и существенной зависимостью конкретного произ-

водства от имеющегося оборудования, такие системы строятся по принципу самообучающихся систем. Основой для обучения являются технологические процессы изготовления конкретных деталей, которые уже прошли практическую проверку на предприятии. По мере наполнения баз данных, система может предлагать технологические процессы изготовления совершенно новых изделий, которые еще не изготавливались на предприятии. Однако, существующие системы (например, T-flex/Технопро, Аскон/ВЕРТИКАЛЬ) все же не исключают, а скорее предполагают участие опытного технолога.

Основными направлениями совершенствования является создание алгоритмов автоматического проектирования процессов обработки отдельных поверхностей деталей с назначением режима резания, а также совершенствование алгоритмов построения технологического процесса в целом на базе принципов групповой технологии, типовых технологий обработки групп деталей, алгоритмов самообучения.

На этапе эксплуатации изделия важнейшим требованием современного рынка является его сопровождение комплектом электронной документации на различных носителях, в основном на CD-R, что обеспечивает не только полное электронное описание продукта, но и упрощает все техническое обслуживание и даже ремонт. Сейчас отсутствие такого сопровождения наукоемкой продукции делает ее не конкурентоспособной на рынке.

Учитывая взаимосвязь и непрерывность этапов ЖЦ изделия, применение распределенных автоматизированных систем для проектирования, изготовления и управления в машиностроении не имеет альтернативы. Такие системы, объединяющие в себе CAE/CAD/CAM системы, является основой CALS-технологий. По мере развития этого направления информационных технологий интерпретация аббревиатуры CALS менялась, отражая его постепенную эволюцию: 1985 – Computer-Aided of Logistics Support; 1988 – Computer Acquisition and Logistics Support; 1993 – Continuous Acquisition and Lifecycle Support; 1995 – Commerce At Light Speed.

Одной из основных задач CALS-технологий в машиностроении можно считать полное электронное сопровождение всех этапов ЖЦ изделия. Это означает, что, однажды созданная при проектировании электронная модель изделия используется многократно как при изготовлении, так и при модернизации и ремонте.



Поскольку при автоматизации отдельных этапов ЖЦ изделия используются существующие прикладные программные средства (CAE/CAD/CAM), то для их интеграции согласно стратегии CALS необходимо наличие стандартного интерфейса к тем данным, которыми представляются. При решении таких задач в рамках единого информационного пространства (ЕИП) применяют специальные программные средства – системы управления данными об изделии – PLM-системы (Product Lifecycle Management). Задачей PLM-систем является аккумуляция всей информации об изделии, создаваемой с помощью прикладных программ, в единую логическую модель. Крупнейшие разработчики приложений используют именно такой подход. Например, в составе «тяжелых» систем, таких как CATIA, CADDS, UNIGRAPHICS есть необходимые функциональные модули и подсистемы для сопровождения всех этапов ЖЦ изделия, а также средства коммуникации с инженерными и сетевыми программами.

CALS-технологии и создание ЕИП обусловливает возникновение виртуального предприятия, которое является группой реальных предприятий по проектированию, изготовлению сложных узлов и машин в целом, объединенных информационными технологиями и локальными сетями. Поскольку в таких локальных сетях есть информация как технического, технологического характера, так и по управлению бизнесом, задачи обеспечения безопасности и защиты являются весьма актуальными.

Однако вернемся от общих проблем к отдельным вопросам, которые под силу решить небольшой группе специалистов в области обработки материалов резанием совместно с программистами. Проведенный обзор и анализ стратегии CALS и существующих систем CAE/CAD/CAM показал, что ведущие фирмы стремятся создавать программные продукты, которые охватывают как можно больше областей деятельности человека и, в частности, как можно больше этапов ЖЦ изделия. Такой подход объясним с позиций ЕИП, которое предполагает использование общих стандартов, интеграцию систем и подсистем и диктуется рынком. Однако более глубокий анализ показал, что далеко не все CAE-системы построены по оптимизационному алгоритму *(см. рис. 6.2)*, а CAM-системы или не способны проектировать оптимальную технологию, или при проектировании управляющих программ для станков с ЧПУ учитывают только геометри-

ческие условия формообразования поверхности детали. Однако тенденции в развитии программных продуктов ведущих фирм (MasterCam, VeriCut) показывают, что их совершенствование происходит именно в направлении учета и оптимизации процесса резания и всей технологической обрабатывающей системы при проектировании управляющих программ для станков с ЧПУ.

## 6.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ CAM-СИСТЕМ

Сегодня уже трудно представить предприятие, которое или не использует современные CAD/CAM-системы, либо не находится на этапе их выбора. Большое количество подобных программных продуктов позволяет автоматизировать ту или иную область промышленного производства, постоянно расширяя свою функциональность. В частности, они автоматизируют процесс подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Среди современных заводов, пожалуй, не найти практически ни одного, где бы такие станки не использовались, их возможности постоянно совершенствуются, предоставляя пользователям новые режимы работы.

На рынке высоких технологий присутствует множество CAD/CAM-систем, среди которых можно выделить наиболее известные и широко применяемые:

- Программа технологического проектирования (CAM-подсистема) в составе PLM-решения компании UGS.
- CAM-система ESPRIT компании DPTechnology (США), включающая модули токарной, фрезерной, в том числе пятикоординатной фрезерной обработки, электроэрозионной обработки.
- CAD/CAM-система Mastercam компании CNC Software.
- CAD/CAM-система CATIA компании Dassault Systemes.
- Программная система проектирования технологических процессов механообработки, созданная компанией CNC Software PowerMILL.
- Пакет CAM программ (компания Delcam) для многоосевой обработки, разработки программ для станков с ЧПУ по трехмерным моделям, созданных в CAD-системе PowerSHAPE.



- Программная система проектирования технологических процессов механообработки, созданная компанией SOLIDCAM Ltd NX CAM.
- Программа технологического проектирования в составе PLM-решения компании UGS CAMWorks.
- CAM система компании Pathtrace Technology – предназначена для создания управляющих программ для фрезерной, токарной и электроэрозионной обработки на станках с ЧПУ EDGECAM.
- Система автоматизированного проектирования технологических процессов компании Топ Системы T- FLEX ЧПУ 10.

Рассмотрим возможности, предоставляемые современными CAD/CAM-системами в области автоматизации технологической подготовки операций на станках с ЧПУ.

**ESPRIT** – флагманский продукт корпорации DP Technology (США), высокопроизводительная многофункциональная CAM-система для решения широкого спектра задач программирования мехобработки на станках с ЧПУ. Полнота функциональности системы заключается в способности работать с самыми сложными станками. ESPRIT™ удовлетворяет самых требовательных специалистов, работающих во всем мире в различных областях производства: от медицины до авиации.

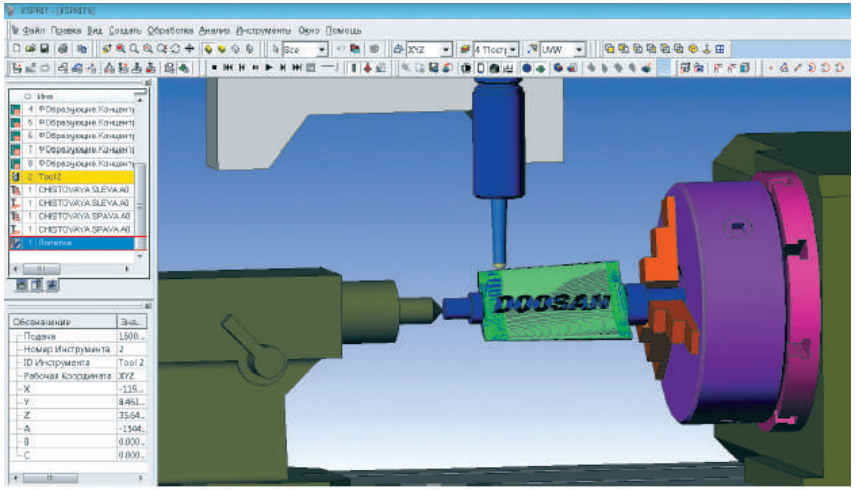



***Рис. 6.3. Симуляция обработки детали «Лопатка» на станке DOOSAN DNM500 с поворотным столом***

ESPRIT предлагает мощные средства для любого станка с ЧПУ. Функциональность ESPRIT включает программирование фрезерной обработки от 2 до 5 осей, токарной обработки от 2 до 22 осей, электроэрозию от 2 до 5 осей, многоцелевых токарно-фрезерных станков с синхронизацией, станков с осью B. Программа имеет прямой CAD/CAM-интерфейс для импорта моделей из различных источников без необходимости правки или перестроения. Она позволяет обрабатывать любую комбинацию тел вращения и поверхностей, каркасной геометрии или STL, обеспечивая гибкую настройку под любое производство.

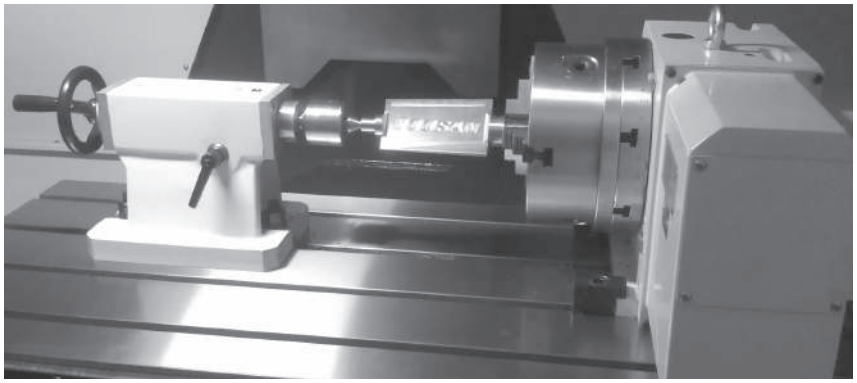


***Рис. 6.4. Обработка детали «Лопатка» на станке DOOSAN DNM500 с поворотным столом***

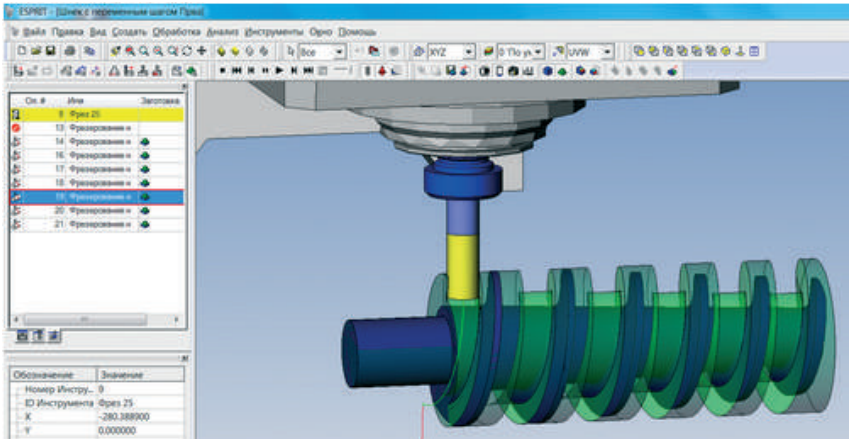


***Рис. 6.5. Фрагмент визуализации обработки конического шнека***



Универсальный постпроцессор ESPRIT™ позволяет выводить правильный G-код для полного использования возможностей оборудования. В стандартный комплект ESPRIT входит большая библиотека стандартных постпроцессоров. Открытая архитектура позволяет легко настроить любой постпроцессор под производственные требования.

В состав CAD/CAM-системы **Mastercam** входит пакет Mastercam Lathe – система для программирования токарной обработки деталей любой сложности. Присутствуют практически все наборы средств, включая переворот и перехват детали, поддержку вертикального шпинделя, отслеживание изменений формы заготовки для предотвращения холостых проходов по воздуху и многое другое.

В состав модулей, обеспечивающих технологическую подготовку выполнения различных видов обработки, входят развитые инструменты каркасного и поверхностного моделирования, набор инструментов твердотельного моделирования, обеспеченный ядром Parasolid. Комбинация Design + Solid делает Mastercam мощной системой гибридного моделирования, средства которой достаточны для создания и редактирования 3D-моделей высокой сложности.

Таким образом, Mastercam является интегрированной CAD/CAM-системой. В стандартный комплект Mastercam входит библиотека постпроцессоров для наиболее распространенных станков. Так, Mastercam Mill включает более 80 готовых постпроцессоров, кроме того, в пакет входят средства для создания и редактирования постпроцессоров.

Однако, режим резания задается технологом либо на основании своего опыта, либо по данным фирмы-производителя инструмента, или по справочникам.

Mastercam показывает соответствующий список инструментов для выбранного типа обработки. Предоставляется возможность выбрать инструмент из библиотеки или создать собственный. Одновременно в соответствующих полях окна задается подача и скорость резания.

CAM-система Mastercam постоянно совершенствуется, однако подавляющее большинство нововведений направлено на усовершенствование геометрического проектирования, повышения удобства работы пользователя с программным продуктом. Среди направлений совершенствования, влияющих непосредствен-

но на результат проектирования – управляющую программу – следует отметить введение в анализ формы заготовки (CAM-система начинает «чувствовать» заготовку), и начальные попытки учета самого процесса резания. Например, в последних версиях (начиная с девятой) утверждается, что «между операциями для оптимизации подачи анализируется толщина срезаемого слоя».

Такие новые свойства CAM-систем часто называют «интеллектуальными возможностями», что в действительности означает возможность учета некоторых особенностей процесса резания. Указано, что для правильного управления процессом, необходимы как общие технологические знания, включая осведомленность о последних новинках в своей области, так и практический опыт, знания приемов и ноу-хау, которые накапливаются в конкретном цехе с учетом характерной только для него коллекции станков, инструмента, приспособлений и т.п. Таким образом, для того, чтобы сделать обработку на станках эффективной, нужен солидный интеллектуальный багаж.

Понимая это, разработчики CAM-систем вводят в них новые функции, имея целью сделать эти необходимые знания, частью автоматизированных процедур, встроенных в их системы. Такие автоматизированные справочные возможности упрощают процесс создания оптимальных УП для станков с ЧПУ. Часто для обозначения этих возможностей используется термин «Knowledge-based machining» (экспертный, основанный на знаниях подход для решения задач данного класса, или, как еще говорят, «интеллектуальная механическая обработка» – ИМО), однако строгого определения этого понятия пока нет. Сегодня оно относится к широкому спектру возможностей, различающихся для каждой конкретной CAM-системы.

Существует несколько подходов к «интеллектуализации» механообработки. Одни CAM-системы ориентированы на обеспечение пользователя подробной информацией о процессах обработки, тогда как другие делают акцент, прежде всего на организации процедур нахождения и накопления этой информации. Большинство систем предлагают некую комбинацию этих двух подходов. Аналогично этому одни системы тяготеют к организации базы знаний вокруг процессов механической обработки, тогда как другие имеют тенденцию основываться на характеристиках детали.



Следующий шаг приводит к решениям, основанных на правилах, созданных пользователем и отражающих предпочтительные для него методы. Следуя этим правилам, система автоматически выбирает последовательность шагов обработки, режущий инструмент, скорости, подачи и т.п. Она делает расчеты и применяет их – например, устанавливает расстояние между проходами в процентах от заданного пользователем диаметра фрезы и рассчитывает черновую обработку, оставляя постоянный припуск для чистовой обработки, который также определяется пользователем.

Программа **EDGECAM**, разработанная компанией Pathtrace Technology, – один из ведущих мировых программных продуктов в области создания управляющих программ обработки для станков с ЧПУ токарной, фрезерной и электроэрозионной групп. Вопросы назначения режимов резания переведены в меню выбора инструмента и, по сути, отданы на выбор технолога.

Так, при выборе инструмента из базы данных, появляется интерфейс, многочисленные окна которого при этом заполняются автоматически. Например, при проектировании черновой обработки – *Rough Turning* в соответствующих полях окна необходимо указать подачу (*Feed rate*), скорость резания (*Speed*), шаг обработки (*Cut increment*), припуск по оси X (*X Offset*) и по оси Z (*Z Offset*). Направление обработки (*Select by Region*) при задании траектории необходимо также задать вручную и выбрать способ обработки (*Cut Direction*).

С помощью программы **T-FLEX ЧПУ 2D** технолог и программист создают траектории обработки. Траектория поддерживает линейную и круговую интерполяцию с заданной точностью.

Модуль токарной обработки программы T-FLEX ЧПУ 2D предназначен для создания управляющих программ обработки деталей на станках токарной группы. Поддерживаются следующие группы стратегий обработки: точение контура, снятие припуска, точение в кармане, точение канавки, нарезание резьбы, осевое сверление, машинные циклы (EXCEL, 2P22, NC31, NCT), а также циклы, созданные пользователем.

Модуль снабжен информативным интерфейсом и позволяет визуализировать траектории формообразующих движений, однако режим резания так же, как и в рассмотренных выше системах назначается технологом вручную.

Одна из наиболее распространенных CAM-систем на территории СНГ – система **SprutCAM®** – система генерации управляющих программ для обработки деталей на двух, двух с половиной, три- и пяти-координатных токарных, фрезерных и токарно-фрезерных станках с ЧПУ. Система позволяет производить расчет управляющих программ для любых типов устройств ЧПУ. Функциональное наполнение и широкий набор инструментальных средств SprutCAM 2007 обеспечивает эффективное использование системы при изготовлении штампов, пресс-форм, литейных форм, прототипов изделий, мастер-моделей, деталей машин и конструкций, оригинальных изделий, изделий из дерева, шаблонов, а также при гравировке надписей и изображений.

Декларируется, что SprutCAM – система нового поколения, работает непосредственно с геометрическими объектами исходной модели без предварительной аппроксимации или триангуляции. Это позволяет, во-первых, максимально экономно использовать ресурсы компьютера, а, во-вторых, производить расчет траектории движения инструмента с любой какой угодно точностью.

Основные режимы работы SprutCAM: импорт и работа с моделью, плоские построения, формирование процесса обработки, моделирование процесса обработки.

Однако, назначение режима резания выполняется технологом и программистом вручную.

Богатая история **NX (Unigraphics)** в области механообработки дает возможность компании Siemens UGS PLM Software предложить решения, которые идеально подходят даже для прогрессивных новых технологических процессов, включая и пятиосевое фрезерование, скоростную обработку NURBS поверхностей и т.д. Примеры интерфейса приведены на *рис. 6.6–6.9.*

Компания UGS разработала совершенно новый модуль токарной обработки, который заменил старый модуль UG/LATHE. Данный модуль расширяет и объединяет основные операции токарной обработки. Это дает мощные функциональные возможности для черновой и чистовой обработки, проточки канавок, нарезания резьбы и сверления на токарном станке.

Модуль предлагает возможности анимации, например, отражение срезания материала в процессе воспроизведения операции и вывод на экран трехмерной заготовки в процессе обработки.



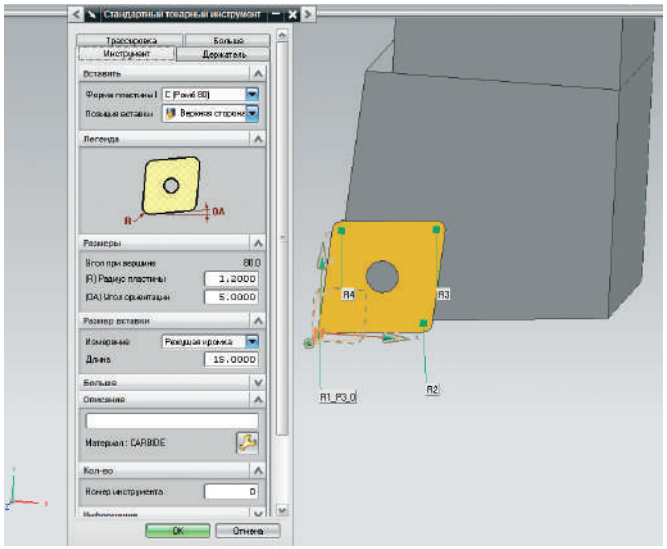



***Рис. 6.6. Вкладка «Инструмент»***

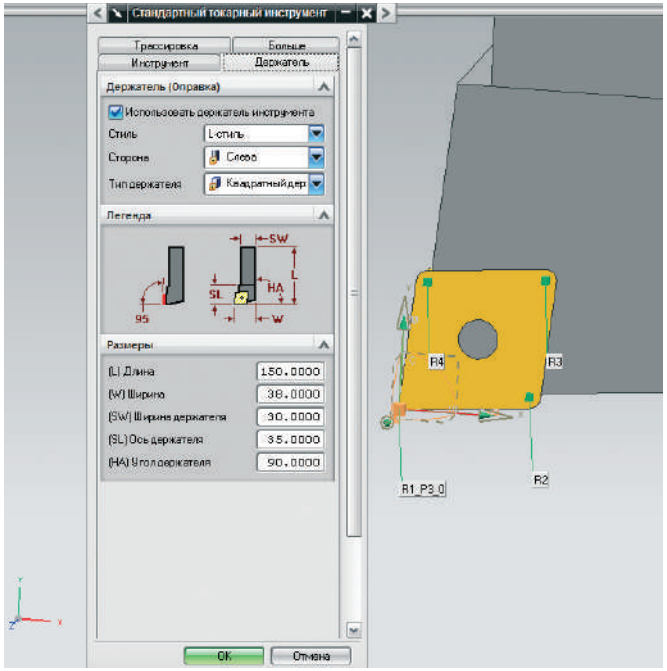



***Рис. 6.7. Вкладка «Держатель»***

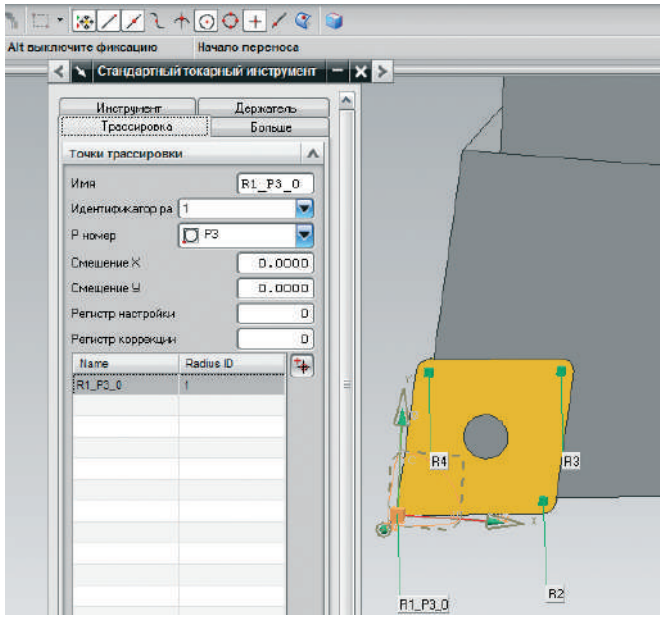



***Рис. 6.8. Вкладка «Трассировка»***

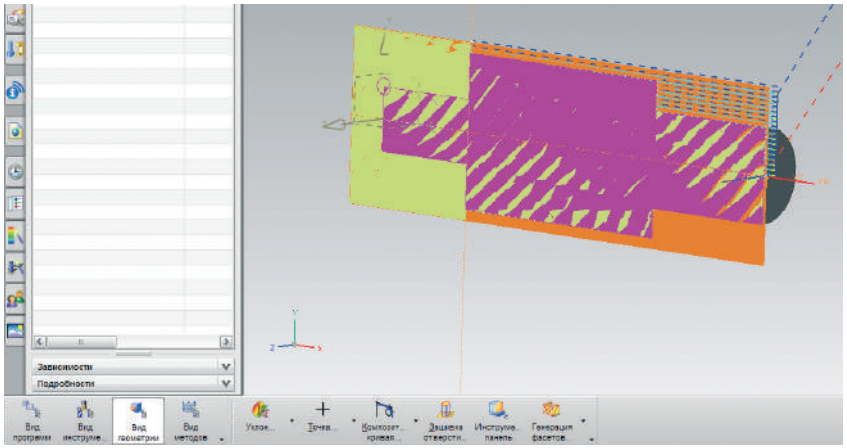


***Рис. 6.9. Отображение сгенерированной траектории токарного точения***

Несмотря на это, такие данные не используются для автоматического назначения режима резания или хотя бы для подсказок технологу-программисту.



При развитии CAM-систем особое внимание уделяется созданию постпроцессоров для станков с ЧПУ. Так, специалистами компании ООО «Евразия Ltd», разработан Универсальный инвариантный Постпроцессор APTIPP, который, как утверждается, не имеет аналогов среди программных продуктов *(рис. 6.10)*.

***Рис. 6.10. Структура модуля инвариантного постпроцессора***

Выгодно отличается от представленных выше CAM-систем программный комплекс **Yericut** фирмы CGTech. Составление и редактирование управляющей программы для станка с ЧПУ – первый, но, как правило, не самый трудоемкий этап работы технолога-программиста. Основное время и усилия приходится тратить на отработку и внедрение рабочих программ, но даже самые опытный специалист не застрахован от случайной ошибки.

Уберечь ценное оборудование, технологическую оснастку и инструмент, сократить затраты на создание управляющих программ для металлообрабатывающего оборудования, а также значительно повысить его производительность позволяет упомянутый программный комплекс. Утверждается, что многолетний опыт разработок позволил фирме создать точный и эффективный инструмент для проверки и оптимизации управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Действительно, многие CAD/CAM – системы имеют встроенные функции для контроля и проверки УП, но обычно они проверяют не ту программу, которая попадает в цех, а ее промежуточную версию – файл в формате APT, что требует дальнейшей перекодировки постпроцессором, в ходе которого также могут возникнуть ошибки в УП.

Сильной стороной программного комплекса Vericut является то, что он работает с любыми УП, независимо от того, какими программными средствами они были созданы. Это позволяет проводить их проверку с учетом характерных особенностей стойки ЧПУ и G-кодов, моделировать работу УП, программ параметрического программирования, использующих макросы и структурную логику (циклы, условные переходы, обращение к системным параметрам).

Система использует текущее состояние заготовки в процессе симуляции, что, как утверждается, позволяет осуществлять оптимизацию УП по режимам резания в целях ускорения процесса обработки, повышения эффективности использования оборудования и улучшения качества обрабатываемых поверхностей. В процессе симуляции УП траектория инструмента разделяется на элементарные участки с заданным шагом. Сравнивая объем снимаемого материала на каждом участке, с заданными условиями резания, которые рекомендуются, система назначает оптимальную подачу на каждом участке.

Vericut учитывает такие факторы обработки, как производительность станка (мощность, тип шпинделя, скорость быстрого позиционирования и т.д.), тип режущего инструмента (форма, число зубьев, вылет, интенсивность износа и т.п.), глубину, ширину, угол резания. На выходе пользователь получает новую УП, траектория которой идентична начальной, но имеет оптимизированные величины подач. Хотя система и рассчитывает оптимальные значения подач автоматически, все-таки начальные параметры для определенных условий резания задает технолог-программист ЧПУ исходя из собственного опыта или по таблицам режимов резания поставщиком режущего инструмента.

Модуль OptiPath предназначен для автоматического подбора оптимальных скоростей подач исходя из условий резания и количества удаляемого (чем меньше удаляется материала, тем выше скорость, подача, и наоборот).



В модуле определяются параметры слоя припуска, который срезается на каждом этапе процесса обработки и по этим геометрическим параметрам выполняется проектирование закона управления подачей. Таким образом, обеспечивается выравнивание условий резания на различных участках траектории инструмента.

Учитываются такие факторы, как:

- технические характеристики станка (мощность приводов станка, скорости ускоренных перемещений и т.д.);
- характеристики режущего инструмента (тип, материал, конструкция, количество зубьев, длина и т.д.);
- виды обработки (черновая, получистовая и чистовая) и соответствующие им режимы резания (глубина резания, скорость подачи в начале врезания, ширина резания, угол резания);
- опыт операторов станков с ЧПУ, основанный на решении конкретных задач механической обработки.

Диапазон подач, обороты шпинделя и минимальный шаг их изменения задаются пользователем.

Таким образом, проведенный анализ современных CAM-систем позволяет сделать вывод об отсутствии возможности автоматического назначения режима резания самой системой. Управляющие программы, спроектированные с помощью таких систем, обычно обеспечивают геометрическое формообразование, однако процесс резания не является оптимальным. CAM-система Vericut ближе всего подошла к решению задачи оптимального управления процессом резания при формообразовании поверхностей деталей машин. Однако рассчитанные законы управления являются рекомендательными, проверочными, а математический аппарат, используемый для решения задач оптимизации, не разглашается.

Проведенный аналитический обзор, производственный опыт, а также исследования, выполненные ведущими учеными в области технологии машиностроения и теории резания, подтверждают актуальность и важность проблемы назначения оптимальных режимов резания. В теоретическом плане остаются актуальными проблемы разработки концепции оптимального управления процессом резания в упругой ТОС, создания адекватной, информативной математической модели процесса обработки точением. Сюда можно отнести и проблемы автомати-

зации процесса технологической подготовки обработки на станках с ЧПУ с помощью CAM-систем, технологической подготовки программ. Внедрение методов оптимизации в современных CAM-системах для станков с ЧПУ сдерживается отсутствием надежного математического алгоритма, который мог бы использоваться при моделировании процесса резания для создания промежуточного файла управления с автоматическим расчетом траекторий формообразующего движения, а также для создания траекторий на черновых проходах, с определением оптимального режима резания и который был бы реализован на современном программном уровне. Кроме того, для оценки условий работы технологической обрабатывающей системы при оптимальном управлении необходимы четкие критерии, желательно в количественном представлении, с помощью которых можно оценивать состояние системы при переменных режимах и стойкость инструмента в таких условиях. Для успешного использования необходимо также адаптировать программное обеспечение для автоматизированного программирования станков с ЧПУ в реальных практических условиях эксплуатации.

Таким образом, главной целью дальнейшего усовершенствования автоматизации подготовки программ для станков с ЧПУ является разработка концепции оптимального управления процессом обработки и ее реализация путем создания специализированного модуль CAM-системы технологической подготовки производства.

## 6.3. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РЕЗАНИЯ

Процесс резания может быть представлен в виде управляемого объекта в его классическом понимании, на который действуют различные возмущающие воздействия *(рис. 6.11)*. Целью любого процесса обработки резанием является получение годной детали (поверхности) за минимальное время или с минимальной себестоимостью.

***Рис. 6.11. Упрощенная структурная модель управления процессом резания***



Процесс формообразования на любом станке выполняется в упругой технологической системе, на которую влияют различные возмущения, мешающие достижению цели управления. На этапе проектирования технологической операции по имеющейся модели процесса могут быть определено большинство детерминированных возмущений, или хотя бы наиболее сильные из них. Далее, при выборе управлений, которыми чаще всего являются параметры режима резания, применяют два принципиально разных подхода. Первый предполагает выбор постоянных значений параметров режима, которые назначают исходя из того, чтобы при наихудшем сочетании возмущений получить годную деталь. Второй подход заключается в непрерывном управлении режимами согласно известных принципов автоматического регулирования. Первый подход в настоящее время можно смело считать анахронизмом.

Первый подход, который часто применялся на практике благодаря своей простоте, приводит к весьма существенным потерям производительности обработки. Причем потери будут тем больше, чем больше диапазон колебания возмущений и чем сильнее их влияние на технологическую систему. Например, при обработке сложных поверхностей деталей, которые характеризуются изменением условий обработки по контуру в десятки раз, эти потери достигают 200-300 % основного времени. Поэтому, при выборе параметров режима резания, вместе с задачей оптимизации всего процесса, необходимо решать задачу компенсации или стабилизации возмущений, действующих на систему, что позволит максимально приблизить процесс к стационарному. Таким образом, эти две задачи взаимосвязаны, поскольку возмущения в значительной мере определяют ограничения области возможных значений управлений, а также законы или алгоритмы управления.

Как уже отмечалось, сильнее эти возмущения сказываются при обработке сложных поверхностей, когда к традиционным возмущающим факторам, а именно: изменениям припуска, физико-механических свойств материала заготовки, инструмента и т.п., добавляются возмущения, связанные со сложным относительным формообразующим движением инструмента и детали и непрерывным изменением параметров слоя срезаемого припуска.

Известно, что почти для всех видов обработки главным фактором, определяющим качество обработанной поверхности, является интенсивность $Q$ срезания припуска, которая зависит от длины дуги контакта. Поскольку интенсивность срезания припуска зависит также и от подачи по эквидистанте центра инструмента, появляется возможность стабилизировать интенсивность срезания припуска за счет управления этой подачей. Искомый закон управления подачей по эквидистанте влияет на условия максимального приближения условий контурной обработки к условиям обработки поверхности постоянной кривизны. В результате может быть достигнута одинаковая интенсивность срезания припуска на всех участках контура.

Теперь наступает очередь выполнения главной цели управления: минимизировать время обработки. Здесь, безусловно, должна решаться задача оптимизации, желательно в такой формулировке, которая позволяет считать ее однокритериальной. Например: выбрать такой уровень изменения подачи $S_o$ по эквидистанте (т.е. ее «среднюю» величину $S_o$), чтобы при максимальной производительности удовлетворялись все условия точности и качества обработанной поверхности. Оптимальная величина «средней» подачи определяется при решении стандартной задачи нелинейного программирования как для поверхности постоянной кривизны.

Однако такое управление хотя и приводит к выравниванию условий резания по контуру и оптимизации процесса по принятому критерию (минимальное время обработки), но не может полностью стабилизировать силу резания по причине различного влияния интенсивности и подачи на силовые и качественные характеристики процесса. Кроме того, вообще не следует ожидать стабилизации составляющих $P_x$ и $P_y$ силы резания хотя бы вследствие изменения направления вектора силы. Кстати, жесткости упругой ТОС по различным направлениям всегда разные и упругие деформации, вызванные составляющими сил резания, также различны. На формирование погрешности обработки, измеряемой по нормали к контуру, эти упругие деформации влияют по-разному. Все это приводит к необходимости вводить третье – управляющее воздействие, в виде коррекции траектории движения центра инструмента, которая уже не будет эквидистантной.



Таким образом, формирование управлений для любого процесса обработки резанием должно осуществляться в следующей строгой последовательности:

1. Стабилизация условий резания.
2. Оптимизация процесса резания.
3. Коррекция формообразующей траектории.

Конечно, в начале решения задачи управления необходимо установить соответствующие управляющие воздействия, которые сильно влияют на процесс и легко меняются. Как правило, для большинства видов обработки таким управлением является подача по эквидистанте.

Следует отметить, что не для всех процессов резания все перечисленные пункты обязательны для исполнения. Например, при обработке гладкой цилиндрической детали точением при эквидистантном припуске стабильность условий резания по ходу формообразования обеспечена самой конфигурацией детали и способом обработки. Однако, можно с уверенностью утверждать, что два последующих пункта обязательны всегда.

Как уже отмечалось, наиболее целесообразно осуществлять автоматическое управление режимами обработки на станках с ЧПУ, так как при этом основное время тратится непосредственно на резание. В станках с ЧПУ есть широкие технические возможности для реализации необходимых законов управления и, в конце концов, именно на этих станках осуществляется контурная обработка и обработка сложных 3D-поверхностей. Все это позволяет при минимальных затратах на автоматическое управление получить максимальный выигрыш. Отметим, что в многосерийном и массовом производстве также экономически выгодным будет оснащение специальных и специализированных станков системами автоматического управления.

Наиболее сложными операциями в технологическом плане являются операции обработки 3D-поверхностей. Действительно, процесс обработки сложной 3D-поверхности существенно отличается от процессов контурной обработки (2D) и еще больше от поверхностей постоянной кривизны. Основное отличие заключается в сложных траекториях формообразующих движений, форме начальной инструментальной поверхности, форме поверхности заготовки – то есть в геометрических и кинематических услови-

ях выполнения процесса. Следствием этого является существенное изменение вектора геометрических параметров срезаемого припуска (в десятки раз), зависящие от участка обрабатываемой поверхности, что и приводит к существенной нестационарности всех основных параметров и выходных характеристик процесса.

По этой причине для успешной реализации процесса обработки сложной 3D-поверхности необходимо непрерывное управление с целью компенсации дестабилизирующго действия отмеченных факторов. Поскольку такое управление должно выполняться в функции ведущей координаты обработки, то есть быть «быстрым», в качестве управления не могут быть приняты скорость резания, смазочно-охлаждающая технологическая среда (СОТС) и материал инструмента. Действительно, какую бы марку инструментального материала или СОТС не выбирать, устранить или компенсировать действие главного дестабилизирующего фактора – вектора геометрических параметров срезаемого припуска, который определяется только геометрическими условиями, не удастся. Напротив, в качестве управляемого параметра подходит подача формообразующего движения, а при многопроходной обработке и поперечная подача (глубина резания).

В металлообработке применяют два основных метода управления, а также их комбинации: управление по ошибке и по возмущению. Управление по ошибке предусматривает создание специальных систем автоматического управления с обратными связями и модернизацию станка. Управление – по возмущению требует точного знания адекватной математической модели процесса и может быть реализовано на станке с ЧПУ без его модернизации. Причем, эффективность такого управления для обработки сложных 3D-поверхностей вполне достаточна. Это можно обосновать тем, что все главные нестационарные возмущения, так или иначе, связаны с геометрической взаимодействием начальной инструментальной поверхности и поверхности заготовки. Последние могут быть с достаточной степенью точности определены на этапе моделирования, что обуславливает высокую адекватность математической модели, используемой для управления. Для каждого вида обработки (точения, фрезерования, шлифования) эта априорная информация должна быть дополнена. Например, если процесс формообразования выполняется с высокими скоростями, то обязательным является учет динамических явлений, для шлифования необходимо учитывать износ абразивного круга и т.п.



Таким образом, управление по возмущению предусматривает расчет законов управления подачей формообразующего движения, коррекции траектории формообразования на последнем проходе, а при многопроходной обработке – это и расчет закона распределения срезаемого припуска, по рабочим ходам. Расчеты выполняются на этапе моделирования процесса с использованием априорной информации с последовательным выполнением указанных выше этапов: стабилизация – оптимизация – коррекция.

Стабилизация предполагает управление скоростью формообразования путем одновременного управления подачей формообразующего движения в направлении текущей координаты обработки и поперечной подачей при многопроходной обработке. Как уже отмечалось, для этих видов обработки, где по схеме срезания припуска обеспечена стабильность или там, где нестабильность режимов резания несущественно влияет на качество обработанной поверхности, можно обойтись без первого этапа. Далее проводится оптимизация режима резания. После, при моделировании процесса с найденным на первом этапе законом управления скоростью формообразования, выполняют расчет коррекции. Коррекция траектории формообразующего движения означает изменение траектории по сравнению с геометрической эквидистантою и особенно рекомендуется для технологических обрабатывающих систем (ТОС) с пониженной или переменной жесткостью в направлении формообразующей координаты.

Предыдущие практические испытания показали, что при таком управлении удается обеспечить не только необходимое качество обработанной 3D-поверхности на всех участках, но и ее необходимые геометрические параметры при минимальном времени обработки.

Итак, несомненно, задача автоматизации назначения режима резания является чрезвычайно важной и актуальной. Она должна решаться в CAM-системе и обеспечивать выполнение первых двух условий проектирования любого процесса обработки: стабилизации и оптимизации. Однако, следует не забывать, что проектирование формообразующих траекторий при

обработке сложных поверхностей деталей машин тоже требует постоянного развития. Такой процесс будет наблюдаться и в дальнейшем, поскольку появляются новые кинематические схемы формообразования со специфическим расположением координатных осей станка с ЧПУ, например, гексаподобные кинематические структуры, в которых выгодно обрабатывать ту или иную поверхность, а «универсальные» CAM системы не способны выполнять такое проектирование.



# 7. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ ГОРНЫХ МАШИН

## 7.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Сборка, выверка и испытание отдельных узлов и машины является завершающей стадией машиностроительного производства, осуществляемой после изготовления деталей. Трудоемкость сборочных работ составляет 10 ... 12 %, 25 ... 30 % и 35 ... 45 % общей трудоемкости производства машин соответственно в массовом, серийном, единичном производстве. Сборка машин в единичном производстве осуществляется по принципу концентрации операций, с минимальным количеством специальной оснастки. С увеличением масштаба производства концентрация операций заменяется широкой их дифференциацией с применением специальной оснастки и механизации процессов сборки. Такое совершенствование технологического процесса позволяет организовать работу по сборке машин на поточной линии, а при дальнейшем увеличении масштаба производства перейти к конвейерным линиям сборки.

*Технологический процесс сборки* – это комплекс действий по установке и образованию соединений составных частей заготовки или изделия.

Технологический процесс сборки состоит из отдельных сборочных операций.

*Сборочная операция* – технологическая операция установки и образования соединений составных частей заготовки или изделия.

**Виды сборки.** Сборку разделяют на узловую и общую. Под *узловой сборкой* понимают процесс соединения в определенной последовательности деталей сборочной единицы, а под *общей* – сборку готовых изделий из сборочных единиц.

По перемещению собираемого изделия сборку разделяют на *стационарную* и *подвижную*.

При *стационарной сборке* изделия или составные части полностью собирают на одной позиции.

При *подвижной сборке* изделия или составные части последовательно перемещаются по позициям.

В единичном и мелкосерийном производстве сборка машин обычно осуществляется на одном неподвижном рабочем месте, к которому подаются все составные части и сборочные единицы.

В крупносерийном и массовом производстве применяют в основном поточный метод подвижной или стационарной сборки. При подвижной поточной сборке изделия обычно находятся на конвейере и перемещаются непрерывно или через определенный интервал времени. Иногда сборка сложных машин требует применения нескольких конвейеров, из которых один служит для общей сборки, а остальные – для узловой.

При выпуске крупных машин, перемещение которых затруднительно, применяют стационарную поточную сборку. Собираемые изделия устанавливают на нескольких неподвижных стендах.

Для соблюдения непрерывности процесса поточной сборки необходимо обеспечить его ритмичность: процесс сборки строят так, чтобы длительность каждой операции равнялась или была кратной такту (темпу) выпуска изделий с данной поточной линии.

Интервал времени, по истечении которого должно быть собрано изделие, называют тактом сборки

$$\tau = k\frac{T_{см} - T_{об} - T_{н.п.}}{M} \qquad (7.1)$$

где $T_{см}$ – длительность рабочей смены; мин; $T_{об}$ – потери времени на обслуживание рабочих мест, мин; $T_{н.п}$ – потери времени на нормированные перерывы для отдыха во время работы, мин; $M$ – заданный выпуск изделий за смену, шт; $k$ – коэффициент запаса производительности сборочного участка, чем ближе его значение к единице, тем лучше организован поточный процесс.

В такт поточной сборки должно входить время, затрачиваемое на сборку, и время, затрачиваемое на переход рабочих от одного рабочего места к другому или на перемещение собираемого объекта. Если время, затрачиваемое на сборку, больше такта, то оно должно быть кратным такту. В этом случае проектируют параллельное выполнение данной операции путем дублирования рабочих мест.



## 7.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ МАШИН

Исходными материалами при разработке технологических процессов сборки являются: 1) сборочные чертежи узлов и общие виды машины; 2) спецификации деталей, входящих в узлы; 3) технические условия приемки узлов и машины в целом; 4) количество машин, подлежащих выпуску (годовой объем выпуска продукции).

Проектирование технологического процесса сборки включает: выбор метода сборки, определение необходимого такта общей и узловой сборки, разработку последовательности операций сборки, разработку схемы сборки и операционной технологии на сборку каждого узла и узловую сборку машины. Также выполняются нормирование сборочных работ, распределение сборочных работ для каждого рабочего места в соответствии с тактом выпуска, составление технологических карт сборки.

При проектировании массового и крупносерийного производства технологический процесс сборки разрабатывают подробно, расчленяя его на операции, переходы и приемы. Для единичного и мелкосерийного производства процесс сборки разрабатывают укрупнено, устанавливая лишь с определенным приближением трудоемкость сборочных работ и ориентировочно разбивая их на операции.

**Нормирование сборочных работ.** Нормы времени на сборочные работы устанавливают опытно-статистическим путем и методом пробных сборок. Нормы на выполнение отдельных операций определяют сравнением разрабатываемого процесса с трудоемкостью сборки аналогичных машин на передовых предприятиях, а затем уточняют при опытной (пробной) сборке. Общее время, затрачиваемое на сборку узла или выполнение операции,

$$T_{сб} = T_{о} + T_{в} + T_{об} + T_{н.п}, \qquad (7.2)$$

где $T_{о}$ – основное технологическое время, затрачиваемое непосредственно на сборочные операции, проверку, регулирование, отладку узла и фиксирование деталей, мин; $T_{в}$ – время, затрачиваемое на вспомогательные операции по обеспечению выполнения основной работы (поднять деталь, взять инструмент, положить его и т.п.), мин; часто при проектировании сборочных процессов $T_{о}$ и $T_{в}$ представляют в виде суммарного оперативного

времени $T_{оп} = T_{о} + T_{в}$; $T_{об}$ – время, затрачиваемое в течение рабочего дня на обслуживание рабочего места, мин; обычно принимают $T_{об} = 0{,}02T_{оп}$ ; $T_{н.п}$ – нормированное время перерывов на отдых и физические потребности, на ожидание деталей, инструментов, вспомогательных материалов, мин,

$$T_{н.п} = (0{,}02 \ldots 0{,}07)\ T_{оп}. \qquad (7.3)$$

При переходе от сборки одной партии узлов к другой затрачивается время на подготовку рабочих постов к сборке нового объекта, называемое подготовительно-заключительным временем $T_{пз}$. Часть подготовительно-заключительного времени, приходящаяся на один собранный узел, в сумме со временем, затрачиваемым на сборку, называют калькуляционным временем

$$T_{к} = T_{сб} + T_{пз} / n, \qquad (7.4)$$

где $n$ – число узлов в партии.

Основное влияние на производительность сборочных работ оказывает механизация, внедрение сборочных и контрольных приспособлений, устранение простоев, применение передовых методов работы.

Сборка и выверка узлов, слесарно-пригоночные работы, общая сборка машины, а также контроль сборки и выверки узлов и машин производят на слесарно-сборочных участках. Каждый участок сборки оборудуют стеллажами для комплектующих узлов и машин, слесарными верстаками и тисками, гидравлическими и ручными прессами, ваннами с маслом для подогрева подшипников качения, подъемно-транспортными средствами (мостовыми кранами, талями, электрокарами и др.), а также специальными стендами для испытания собранных узлов и машины.

## 7.3. ВИДЫ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

Заданная точность сборки машин может быть обеспечена следующими видами сборки: 1) с полной взаимозаменяемостью; 2) с групповой взаимозаменяемостью; 3) с подборкой (с неполной взаимозаменяемостью); 4) с применением компенсаторов; 5) пригонкой или изготовлением деталей по месту; 6) с регулированием.

Выбор того или иного вида сборки зависит от количества выпускаемых однотипных изделий, принятой системы организации производства и ее технической оснастки, квалификации рабочих, а также конструктивных особенностей узлов и



машины в целом. В современном машиностроении имеет большое значение взаимозаменяемость деталей и узлов, под которой понимают свойство любой детали или сборочной единицы, позволяющее устанавливать их в процессе сборки без дополнительной обработки и пригонки. Детали или сборочные единицы называют взаимозаменяемыми, если при установке на машину одной сборочной единицы (детали) вместо другой не потребуется дополнительная обработка и подгонка, причем работа машины при этом не претерпевает никаких изменений. Такая взаимозаменяемость называется полной.

Сборка с полной взаимозаменяемостью является наиболее простой и экономичной. Она сводится к соединению деталей без всякого подбора и пригонки, а требуемый зазор или натяг получается с заданной точностью. Однако следует учитывать, что для полной взаимозаменяемости деталей и узлов необходимы совершенные методы обработки, наличие большого количества точных приспособлений, инструментов и контрольно-измерительных приборов.

Сборку с групповой взаимозаменяемостью применяют тогда, когда по условиям работы деталей требуется зазор или натяг в более узких пределах, чем получаемый из основных размеров деталей с учетом их допусков. В этом случае необходимые зазоры или натяги получают путем соответствующего подбора охватывающих и охватываемых деталей, которые в пределах допусков на их изготовление разбивают на несколько групп. Соединяя парные детали, взятые из одноименных групп, можно получить посадки большей точности, чем точность изготовленных деталей. Пусть в общем случае допуск вала будет $T_{d}$, а допуск отверстия $T_{D}$. Тогда допуск зазора при соединении этих деталей

$$T_{S} = T_{d} + T_{D}. \qquad (7.5)$$

Если все валы и втулки рассортировать по размерам на равное число $m$ групп, то очевидно, что в каждой группе будут валы и втулки с допусками $T_{d}/m$ и $T_{D}/m$. Если соединять валы и втулки одноименных групп, то допуск зазора в этих соединениях

$$\frac{T_{d}}{m} + \frac{T_{D}}{m} = \frac{T_{S}}{m} \qquad (7.6)$$

т.е. точность соединения во столько раз становится больше точности изготовленных сопрягаемых деталей, на сколько групп разбивали сопрягаемые детали. Правильное применение данно-

го метода в производстве позволяет в ряде случаев снизить стоимость изготовления изделий без понижения качества и точности их сборки.

При сборке с применением компенсаторов можно получить необходимую точность размерной цепи путем изменения размера одного из заданных звеньев. Все остальные звенья обрабатывают по допускам, экономически приемлемым для данного производства. Размер компенсирующего звена можно регулировать двумя способами:

1) введением в собираемый узел неподвижного компенсатора, например, прокладки, шайбы, промежуточного кольца и т.п.;
2) изменением положения одной из деталей, выполняющей роль подвижного компенсатора, например, клина, эластичной или пружинной муфты, втулки, и т.п.

Следует отметить, что компенсирующие устройства широко используют при ремонте машин для «выбирания» зазора после изнашивания сопряжения.

Сборка с применением пригонки деталей по месту имеет существенные недостатки: требуются пригоночные работы, выполняемые чаще всего вручную слесарями высокой квалификации; значительно повышается трудоемкость работ, иногда достигающая 50–60 % общей трудоемкости сборки машины. Наиболее распространенные приемы пригонки – опиловка, зачистка, притирка, полирование, шабрение.

## 7.4. СБОРКА НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НА ЗНАЧЕНИЯ НАТЯГОВ И ЗАЗОРОВ ПРИ СБОРКЕ

В процессе сборки узлов встречаются неразъемные и разъемные неподвижные соединения. К неразъемным относятся сварные, паяные и клепаные соединения. Разъемные неподвижные соединения монтируют на болтах, винтах, шпильках, шпонках. Промежуточное положение между указанными видами соединений занимают прессовые посадки, применяемые для соединения тех деталей, которые очень редко приходится разбирать.

Соприкасающиеся поверхности деталей подвергают предварительной обработке; способ обработки устанавливают в зависимости от характера соединения и требуемой точности пригонки.



Непроницаемость (плотность) соединения достигается применением прокладок из различных уплотняющих материалов; для этого применяют листовую резину, картон, фторопласт, асбест и парусину, а также металлические (кольца из красной меди или латуни) или свинцовые прокладки.

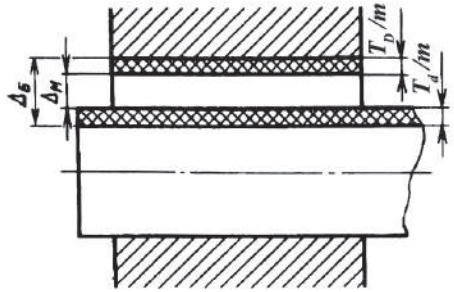



***Рис. 7.1. Схема к определению сборочных зазоров***

Одним из важных элементов при установлении натягов и зазоров является температурный режим, так как от него зависят действительные размеры изготовливаемых деталей, а также качество их сборки и надежность работы в узлах и механизмах.

Подобные вопросы могут возникать в практике применительно к деталям, работающим при повышенных или пониженных температурах. В этом случае рабочие зазоры и натяги (в рабочем состоянии соединения) отличаются от тех значений, которые определяются по предельным размерам сопрягаемых деталей, отнесенным к нормальной температуре (обычно к нормальной температуре близка температура сборки и поэтому условно говорят об отличии рабочих зазоров и натягов от сборочных).

Температурное изменение посадки $\Delta_t$ определяется по формулам для зазоров

$$\Delta_t^S = S_p - S_{сб} = d_{н.с}(\alpha_D \Delta t_D - \alpha_d \Delta t_d); \quad (7.7)$$

для натягов

$$\Delta_t^N = N_p - N_{сб} = d_{н.с}(\alpha_d \Delta t_d - \alpha_D \Delta t_D), \quad (7.8)$$

где $\Delta_t^S$ и $\Delta_t^N$ – изменение зазора и натяга, вызванное отличием рабочей температуры сопрягаемых деталей от нормальной; $S_p$ и $N_p$ – рабочий зазор и рабочий натяг; $S_{сб}$ и $N_{сб}$ – сборочный зазор и сборочный натяг (при нормальной температуре); $d_{н.с}$ – номинальный размер сопряжения; $\alpha_D$ и $\alpha_d$ – коэффициенты

линейного расширения материалов детали с отверстием и вала; $\Delta t_D = t_D - 20°$ – разность между рабочей температурой детали с отверстием и нормальной температурой; $\Delta t_d = t_d - 20°$ – разность между рабочей температурой вала и нормальной температурой.

При расчете температурного изменения посадки по формуле (7.7) знак плюс при значении $\Delta_t^S$ означает, что отклонение температуры от нормальной приводит к увеличению рабочего зазора (или уменьшению рабочего натяга).

При расчете температурного изменения посадки по формуле (7.8) знак плюс при значении $\Delta_t^N$ означает, что отклонение температуры от нормальной приводит к увеличению рабочего натяга (или уменьшению рабочего зазора).

Значения $\Delta_t$ учитывают при расчете посадок.

**Сборка с нагреванием.** Часто приходится монтировать неподвижные соединения деталей с цилиндрическими поверхностями с нагреванием до такой температуры, при которой будет достигнуто необходимое линейное расширение для свободной установки вала в отверстие. Следовательно, относительное расширение отверстия должно быть несколько больше натяга.

Учитывая остывание детали во времени работы, температуру нагревания повышают по сравнению с расчетной примерно в 2 раза.

Нагрев деталей следует вести осторожно; для сталей температура нагревания не должна превышать 700 °С.

**Охлаждение вала.** Вместо нагревания отверстия можно применять охлаждение вала при помощи жидкого воздуха или твердой углекислоты в специальном холодильнике или в электрическом рефрижераторе. Простейшее оборудование, применяемое при этом, представляет деревянный ящик, состоящий из отделений с надежной тепловой изоляцией. В одном отделении находится твердая углекислота, а в другом – детали. Время охлаждения – 0,5 ... 2 ч в зависимости от их массы. Если твердой углекислотой охлаждать спирт или ацетон, то температура в холодильнике будет -78 °С. С помощью аммиачного рефрижератора температуру охлаждения можно донести до -120 °С. Применяя для охлаждения жидкий воздух, кислород или азот, можно получить температуру от -180 до -190 °С.

Основное достоинство применения охлаждения деталей заключается в возможности без вредных последствий охлаждать закаленные детали, которые при нагревании могли бы частично



потерять приобретенную при закалке твердость. Охлаждение вала целесообразно применять при насадке деталей, испытывающих при вращении удары и сотрясения (шкивы, приводные шестерни, кулачные шайбы на дробилках, кривошипы и т.п.).

**Запрессовка деталей.** Для запрессовки вала в отверстие необходимо приложить усилие, которое при этом увеличивается от нуля до некоторого максимума по мере увеличения поверхности соприкосновения деталей *(рис. 7.2)*. Когда вал войдет на всю длину отверстия, то дальнейшее его продвижение происходит без увеличения усилия запрессовки. При сборке соединений с натягом необходимо знать усилия запрессовки и выпрессовки, так как в зависимости от этих усилий подбирают необходимое оборудование для выполнения операции (прессы гидравлические или ручные, съемники). Наибольшее усилие $P$ запрессовки (Н), необходимое для сборки соединения с натягом, может быть определено по формуле

$$P = f\pi d l \sigma, \qquad (7.9)$$

где $f$ – коэффициент трения при запрессовке ($f$ = 0,06 ... 0,22); $d$ и $l$ – размеры ступицы, мм; $\sigma$ – напряжение сжатия на контактной поверхности, МПа.

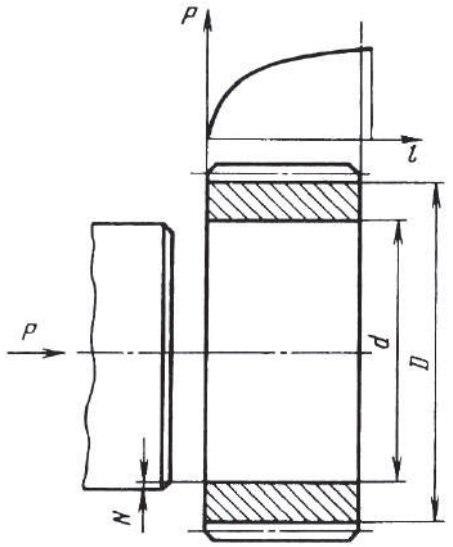



***Рис. 7.2. Зависимость усилия запрессовки от длины поверхности соприкосновения***

Напряжение сжатия зависит от ряда факторов: действительного натяга $N$, диаметра ступицы $D$, диаметра отверстия $d$, внутреннего диаметра полости охватываемой детали $d_0$, модулей упругости материала отверстия $E_1$ и вала $E_2$.

Ввиду сложности вычислений напряжения сжатия на практике для ориентировочного определения усилия $P$, которое необходимо приложить при запрессовке деталей, используют следующие эмпирические формулы:

для запрессовки стального вала в стальную втулку

$$P = \frac{2{,}9N\left[(D/d)^2 - 1\right] l}{(D/d)^2} \cdot 10^4 \qquad (7.10)$$

где $N$ – натяг, мм; $D$ – диаметр ступицы, мм; $d$ – диаметр отверстия, мм;

для запрессовки стального вала в чугунную втулку

$$P = \frac{4{,}3N\left[D/d + 0{,}3\right] l}{D/d + 6{,}35} \cdot 10^4 \ . \qquad (7.11)$$

Подставляя наиболее часто встречающееся соотношение $D/d = 2$ в формулы (7.15) и (7.16), получаем:

для стального вала и стальной ступицы (втулки)

$$P = 2{,}18\ Nl \cdot 10^4; \qquad (7.12)$$

для стального вала и чугунной ступицы

$$P = 1{,}18\ Nl \cdot 10^4. \qquad (7.13)$$

Усилия, получающиеся при распрессовках ремонтируемых сопряжений, часто значительно превосходят подсчитанные по приведенным формулам, особенно, если эти сопряжения имеют ржавчину.

**Сборка на болтах и шпильках.** Перед установкой болтов (шпилек) и гаек следует их осматривать и непригодные браковать. Болты и гайки должны быть без трещин и надломов, с резьбой полной и целой, без сорванных ниток. Затяжка болтов или гаек производится при помощи гаечных ключей. Для завинчивания и отвинчивания шпилек используют специальный ключ с резьбой или навинчивают на шпильку две гайки, заменяющие головку.

В зависимости от числа болтов в соединении различают одно- и многоболтовые крепления. При одноболтовом креплении гайку болта или шпильки сразу завинчивают до конца ключом



нормальной длины, не допуская при этом разрыва болтов. Окончательная затяжка гайки зависит от материала детали, степени обработки поверхностей соприкосновения и требуемой плотности соединения. При многоболтовом креплении требуется с большей или меньшей точностью выдержать расстояние между центрами отверстий при их сверлении. Совпадение отверстий в соединяемых деталях получают точной разметкой, последовательным сверлением отверстий сначала в одной детали, а затем в другой, с использованием предыдущей детали в качестве кондуктора или применением специальных кондукторов.

К болтовым креплениям оборудования взрывобезопасного исполнения, предназначенного для работы в шахтах, предъявляется ряд специальных требований, предусмотренных техническими условиями.

1) Резьбовые гнезда для шпилек и болтов в местах соприкосновения камер с токоведущими частями должны быть глухими.
2) Сквозные отверстия не допускаются; глубину отверстий следует проверять шаблоном, прочность и непроницаемость резьбовых перемычек – постукиванием слабыми ударами молотка и использованием керосина.
3) Ширина прилегающих чисто обработанных поверхностей, отделяющих взрывобезопасные камеры от наружного пространства (газовый путь), не должна быть меньше 25 мм.

При многоболтовом креплении необходимо стремиться к тому, чтобы все болты были затянуты с одинаковым усилием. Менее прочная из соединяемых деталей может покоробиться и дать трещину.

## 7.5. СБОРКА ПОДШИПНИКОВ

**Подшипники скольжения.** Сборку разъемных толстостенных подшипников обычно начинают с подгонки их по шейкам вала. Затем изготовляют смазочные канавки, если они не были выполнены заранее на станке и, наконец, собирают подшипник. Смазочные канавки выполняют только в ненагруженной части подшипника.

**Тонкостенные вкладыши.** Некоторая особенность сборки тонкостенных вкладышей заключается в создании натяга при их посадке в гнездах. Форма вкладыша перед установкой в гнез-

до показана на *рис. 7.3.* После прижатия вкладыша к поверхности гнезда края его выступают над плоскостью стыка корпуса на величину $h = (0{,}5 \ldots 0{,}8) \cdot 10^{-3} d$ (здесь $d$ – диаметр цапфы, мм). После затяжки болтов корпуса благодаря этим выступам вкладышей обеспечивается натяг $N$ (мкм). Из соотношения $\pi (d+N) \approx \pi d + 4h$ имеем

$$N = 4h / \pi. \qquad (7.14)$$

Полученный натяг не должен превышать значения, соответствующего допуску *S7 – S8*:

$$N \le (0{,}5d + 30). \qquad (7.15)$$

Чрезмерный натяг вызывает остаточные деформации вкладыша; вкладыш теряет правильную цилиндрическую форму, поэтому отдельные места усиленно изнашиваются и подшипник быстро выходит из строя.

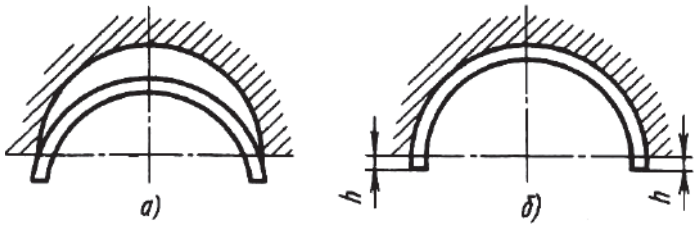



***Рис. 7.3. Схема изменения положения вкладыша:***
*а, б* – соответственно до и после монтажа

Радиальный зазор (мкм) между цапфой и верхним вкладышем тихоходных передач

$$\Delta p = (1{,}0 \ldots 1{,}5) d \qquad (7.16)$$

Необходимый зазор достигается изменением набора тонких прокладок из латуни, укладываемых между стыками вкладышей.

В последнее время широко применяют для подшипников скольжения капрон благодаря его высокой износостойкости и низкому коэффициенту трения ($f$ = 0,055). Так как капрон имеет высокий коэффициент линейного расширения, почти в 10 раз больший коэффициента линейного расширения стали, зазор при сопряжении капроновой втулки со стальным валом необходимо принимать в 1,5 – 2 раза больше, чем у металлической пары.



**Сборка подшипников качения.** Сборка шарико- и роликоподшипников заключается в правильном закреплении их на валу и корпусе. Посадочные места корпуса и вала необходимо внимательно осмотреть, очистить от грязи, протереть насухо, проверить их соответствие размерам, установленным допусками, и покрыть тонким слоем смазочного материала. При напрессовке подшипника качения на вал или монтаже его с натягом в отверстии корпуса внутреннее кольцо увеличивается, а наружное уменьшается в диаметре. В связи с этим диаметральный зазор между поверхностями качения и шариками (или роликами) уменьшается. Ориентировочно уменьшение зазора в подшипнике может быть определено по формуле

$$\delta = (0{,}55 \ldots 0{,}65) N, \qquad (7.17)$$

где $N$— натяг в сопряжении, мм.

Уменьшение диаметрального зазора в подшипнике может произойти также при неодинаковом нагреве его колец. Не исключена возможность полного исчезновения радиального зазора между шариками и кольцами подшипника, что связано с опасностью защемления шариков (или роликов) и быстрым изнашиванием подшипника. Если известна радиальная нагрузка на подшипник $Q$, то при проверке натяга $N$ (мм) можно использовать следующую формулу:

$$N = 13 \cdot 10^{-5} kQ / (b - 2r), \qquad (7.18)$$

где $k$ – коэффициент, полученный опытным путем, который принимают для легкой серии подшипников равным – 2,78, для средней – 2,27 и для тяжелой – 1,96; $b$ – ширина кольца, мм; $r$ – радиус закругления, мм.

Крепление подшипника качения на валу можно выполнить несколькими способами. Если подшипник служит опорой для вращающегося вала, то его внутреннее кольцо не должно проворачиваться на валу, так как при проворачивании места опор вала будут быстро изнашиваться. Посадку подшипника с натягом следует выполнять при помощи пресса или другого приспособления, обеспечивающего плавный, безударный нажим *(рис. 7.4)*. Если на валу имеется шейка, снабженная резьбой, то при появлении 3 – 4 ниток навинчивают гайку и дальнейшее продвижение кольца производят навертыванием гайки *(рис. 7.5, а)*. При этом используют круглую гайку с углублениями для отвинчивания и

завинчивания специальным ключом. После остывания подшипника гайку следует окончательно подтянуть. Если вал гладкий, а подшипник требуется закрепить на некотором расстоянии от его конца, то применяют крепление на валу при помощи конической втулки *(рис. 7.5, б)*. Эта втулка *2* имеет сквозной разрез *АБ* и резьбу. Завинчивая, гайку *1*, можно в любом месте закрепить втулку на валу и одновременно внутреннее кольцо на втулке. Для того чтобы внутреннее кольцо при работе подшипника способствовало завинчиванию гайки, втулка должна быть надета так, чтобы гайка завинчивалась против направления вращения вала.

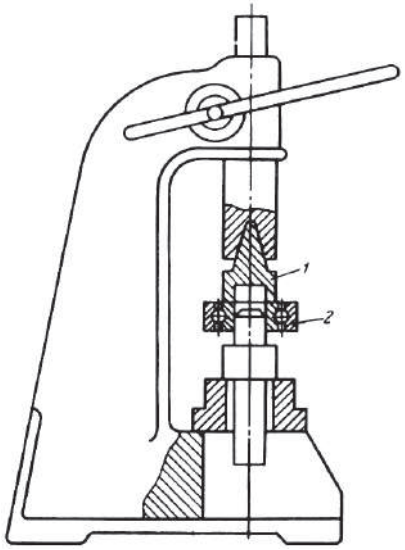



***Рис. 7.4. Схема посадки шарикоподшипника на шейку вала прессом***

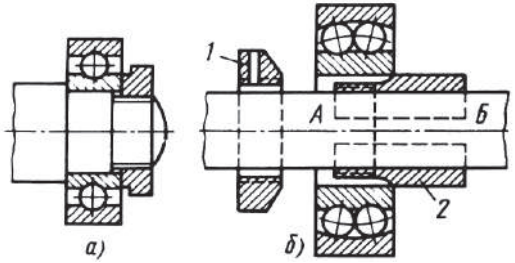



***Рис. 7.5. Крепление шарикоподшипников на валу:***
*а* – гайкой, *б* – коническими втулками с гайкой



Простейший способ посадки подшипника малых и средних размеров заключается в том, что его выдерживают в течение 10 ... 15 мин в ванночке с минеральным маслом, нагретым до температуры 70 ... 100 °С, и затем быстро устанавливают на вал. Срок службы шарикоподшипников в значительной мере зависит от степени предохранения их от грязи и пыли. Большое значение имеют различного рода прокладки, устанавливаемые в специально предназначенные для них кольцевые канавки. По окончании монтажа узла с подшипниками качения следует проверить легкость вращения установленного вала. При недостаточной легкости вращения следует устранить: перекос вала или гнезда при монтаже; слишком тугую посадку, вызывающую защемление деталей подшипника; чрезмерную затяжку конических роликоподшипников или радиально-упорных шарикоподшипников; чрезмерную набивку смазкой или ее отсутствие; трение уплотнений о вал.

Однорядные радиальные шарикоподшипники совершенно не допускают перекосов, поэтому тогда, когда не исключена возможность перекоса оси вала относительно оси корпуса, следует применять самоустанавливающиеся подшипники. Если на валу установлено несколько радиальных подшипников, то для компенсации разницы в линейном расширении вала и корпуса все подшипники, кроме одного, должны быть самоустанавливающимися в осевом направлении *(рис. 7.6, а)*. В радиально-упорных шарикоподшипниках допускается регулирование зазоров. Их всегда устанавливают попарно, открытыми сторонами внутрь для возможности регулирования зазоров с помощью наружного регулирующего кольца *(рис. 7.6, а, б)*.

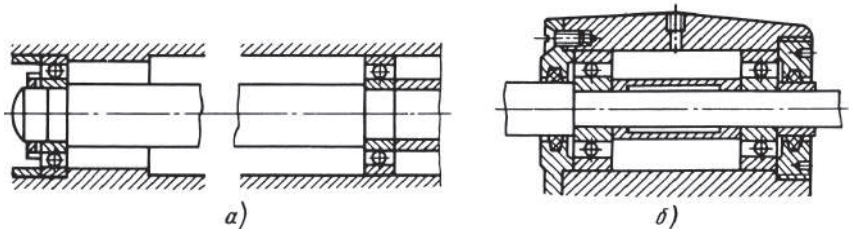



***Рис. 7.6. Сборка радиальных шарикоподшипников:***
*а* – по самоустанавливающейся схеме;
*б* – по схеме с наружным регулировочным кольцом

При установке конических радиально-упорных роликоподшипников необходимо соблюдать те же правила, что и для радиально-упорных шарикоподшипников. Их должны монтировать попарно с небольшим расстоянием друг относительно друга (до 2,5d) для того, чтобы свести к минимуму влияние температурных изменений длины вала.

## 7.6. УСТАНОВКА И ВЫВЕРКА ВАЛОВ

Правильное положение вала определяется следующими условиями:

1) вал должен равномерно опираться на все подшипники;
2) вращение вала в подшипниках должно происходить легко, плавно и без заедания;
3) валы должны быть расположены строго перпендикулярно или параллельно друг относительно друга.

При укладке валов, особенно длинных, следует помнить, что при работе они должны иметь возможность удлиняться вследствие нагрева при продолжительной работе. Для этого все подшипники, кроме одного – направляющего, должны иметь разбег с учетом того, что удлинение стального вала при повышении температуры на 50 °С составляет 0,6 мм на один метр его длины. Проверка параллельности валов производится путем измерения расстояния между валам в двух точках, по возможности наиболее удаленных одна от другой.

При установке тяжелого вала приходится поднимать и опускать его при помощи тали или крана. Выполнять эти операции необходимо с большими предосторожностями, чтобы не повредить шейку вала или другие детали установки. Подъем и посадку на вкладыш необходимо производить, сохраняя горизонтальное положение вала. Проверку горизонтальности обычно осуществляют при помощи скобы и отвеса *(рис. 7.7)*; расстояния вверху и внизу должны быть одинаковыми. Установка коленчатого вала и доводка вкладышей требует проверки по расхождению щек. Например, если левый вкладыш установлен с превышением, то при работе машины расстояние между щеками получается увеличенным при верхнем положении колена и уменьшенным при повороте колена на угол 180°. Наличие указанных изменений



расстояния между щеками в работающей машине очень вредно отражается на состоянии вала и может привести к образованию трещин и его поломке.

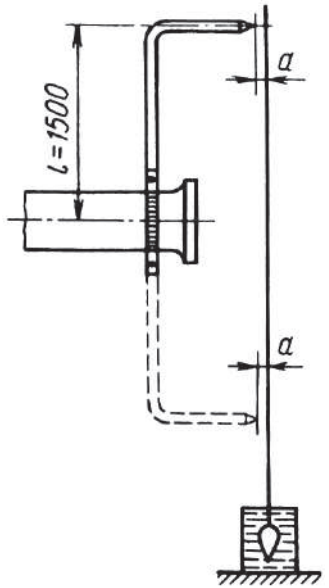



***Рис. 7.7. Контроль сборки вала скобой и отвесом***

Для проверки расхождения щек применяют различные приспособления с индикаторной головкой *(рис. 7.8)*. Расхождение щек необходимо проверять при четырех положениях вала: при верхнем положении его колен и при повороте на углы 90, 180 и 270°. Расхождение не должно превышать 0,02 мм; необходимо стремиться это расхождение довести до 0,01 мм соответствующим шабрением вкладышей.

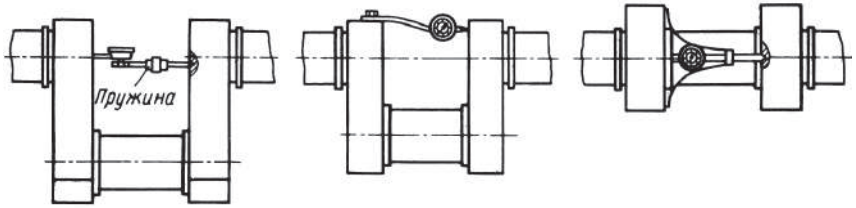



***Рис. 7.8. Контроль сборки коленчатого вала индикаторными головками***

## 7.7. СБОРКА И ВЫВЕРКА ПЕРЕДАЧ С ЗУБЧАТЫМИ КОЛЕСАМИ

По точности изготовления и сборки зубчатые передачи редукторов горных машин могут быть 7, 8, 9 и 10 степеней точности (ГОСТ 1643–81). Основными критериями выбора степени точности являются окружная скорость и тип передачи. Например: при окружной скорости $V$ = 6 ...10 м/с применяют прямозубые колеса 7 или 8 степени точности; при $V$ = 2 м/с – прямозубые колеса 9 степени точности, а в тихоходных передачах – колеса 10 степени точности.

**Передача с цилиндрическими зубчатыми колесами**. При сборке передач с зубчатыми колесами выполняются следующие основные операции: 1) установка и закрепление зубчатого колеса на валу; 2) установка валов в корпуса; 3) проверка и регулирование зацепления.

Напрессовка зубчатого колеса на вал вручную применима лишь для колес малого диаметра и термически необработанных. Зубчатые колеса большого размера, а также термически обработанные напрессовывают только при помощи пресса или с применением специальных приспособлений. Иногда напрессовывают, нагревая колесо или охлаждая вал. Перед напрессовкой зубчатого колеса на вал необходимо обратить внимание на состояние поверхностей отверстия и посадочной шейки вала. Если зубчатое колесо напрессовывают до упора, то фаска на зубчатом колесе должна быть выполнена такой, чтобы избежать упора торца в галтель вала.

Кроме искажения профиля зубчатого венца при напрессовке зубчатых колес, наиболее часто встречаются следующие погрешности: качание зубчатого колеса на шейке вала *(рис. 7.9, а)*, торцовое биение *(рис. 7.9, б)* и неплотное прилегание к упорному буртику вала *(рис. 7.9, в, г)*. Зубчатые колеса, собранные на валу, проверяют на биение по диаметру начальной окружности и торцу. Для осуществления проверки вал устанавливают на призмах или в центрах *(рис. 7.10)*.

При сборке зубчатых колес весьма существенное значение имеет положение ведущего и ведомого валов в корпусе. Для правильного зацепления цилиндрических колес оси валов должны быть расположены параллельно друг относительно друга и в одной плоскости. Расстояние (мм) между осями валов



$$L = m\frac{z_1 + z_2}{2}, \qquad (7.19)$$

где $m$ – модуль колес, мм; $z_1$ и $z_2$ – число зубьев на ведущем и ведомом колесах.

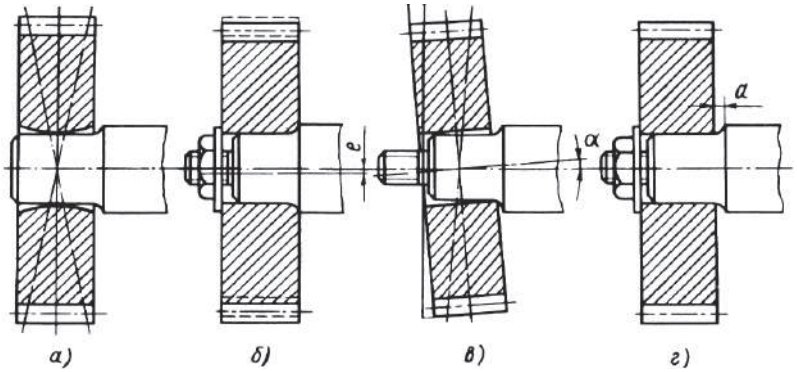



***Рис. 7.9. Возможные нарушения при сборке зубчатых колес с валами***

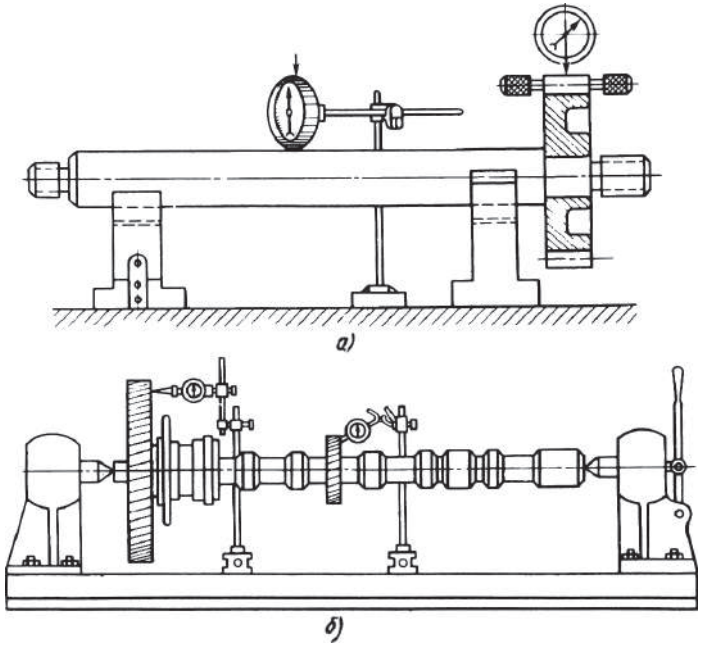



***Рис. 7.10. Контроль сборки цилиндрических колес измерением параметров биения:***
*а*, *б* – соответственно радиального и торцового биения

Расстояние между осями может быть несколько увеличенным, но не уменьшенным. Расхождение осей (мм) можно определить по формуле

$$l' = am. \qquad (7.20)$$

В зависимости от окружной скорости и типа передачи можно принимать коэффициент $a$ = 0,015 ... 0,04. Большим окружным скоростям соответствуют малые значения коэффициента $a$. Кроме того, при малых расстояниях между осями (50 ... 200 мм) следует принимать меньшие значения коэффициента, а при расстоянии более 200 мм – большие.

Проверка параллельности осей валов производится измерением расстояний между валами в двух местах. Разность размеров межосевого расстояния не должна превышать допуска на непараллельность осей.

**Проверка бокового и радиального зазоров между зубьями.** При установке зубчатых колес необходимо выдержать определенные боковой и радиальный зазоры между зубьями.

Зазоры зависят от модуля и точности обработки колес. Боковой зазор необходим для создания нормальных условий смазывания зубьев, компенсации погрешностей изготовления и монтажа, температурной деформации передачи. При слишком малых зазорах шестерни будут стремиться раздвинуться, что влечет за собой выдавливание смазки и быстрое изнашивание зубьев, а иногда даже повреждение подшипников или изгиб валов. Внешним признаком слишком малого зазора является гудение и скрип при работе зубчатых колес. При увеличенном боковом зазоре происходят удары между зубьями, что ведет к быстрому их изнашиванию и возможному повреждению. Для измерения бокового зазора зубчатые колеса устанавливают так, как показано на *рис. 7.11*, после чего боковой зазор измеряют щупом. Радиальный зазор можно измерить при помощи свинцовой проволоки, прокатывая ее между зубьями парных колес. Толщину сплющенной проволоки, соответствующую зазору, измеряют микрометром. На вновь устанавливаемых зубчатых передачах в зависимости от модуля боковой зазор (мм)

$$j_n = bm, \qquad (7.21)$$

где $b$ – 0,02 ... 0,10 – коэффициент, зависящий от окружной скорости и типа передачи, для необработанных зубьев $b$ = 0,16.



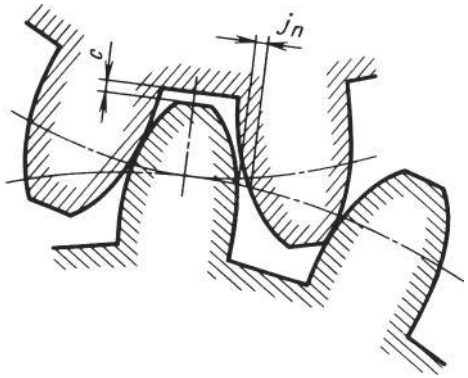



***Рис. 7.11. Схема для определения бокового зазора в зубчатом зацеплении***

Радиальный зазор (мм)

$$c = (0{,}15 \ldots 0{,}30)m. \qquad (7.22)$$

Устанавливая при сборке механизма зазоры в зацеплении зубчатых колес, необходимо учитывать возможность изменения их вследствие нагревания деталей в процессе работы. При работе механизма расстояние между осями зубчатых колес в корпусе

$$L_к = L + \alpha_к t_к L = L(1 + \alpha_к t_к), \qquad (7.23)$$

$$L = m\,(z_1 + z_2)\,/\,2 \qquad (7.24)$$

где $L$ – расстояние между осями валов в холодном состоянии, мм; $\alpha_к$ – коэффициент линейного расширения материала корпуса, $К^{-1}$; $t_к$ – превышение температуры корпуса по сравнению с температурой окружающей среды.

Суммарное увеличение радиусов малого и большого зубчатых колес вследствие нагревания при работе

$$L_r = L\,(1 + \alpha_r t_r), \qquad (7.25)$$

где $\alpha_r$ – коэффициент линейного расширения материала зубчатых колес, $К^{-1}$; $t_r$ – превышение температуры колес по сравнению с температурой окружающей среды, °С.

Следовательно, изменение в положении (мм) зацепляющихся зубьев колес по направлению линии, соединяющей их центры,

$$l' = L_к - L_r,$$

или

$$l' = L(\alpha_к t_к - \alpha_r t_r). \qquad (7.26)$$

Зубчатые колеса следует проверять на биение.

**Передача с коническими зубчатыми колесами.** Качество передачи с коническими зубчатыми колесами определяется: правильностью пересечения осей валов передачи, точностью угла между осями колес, правильностью касания зубьев и значениями бокового и радиального зазоров. Отклонение δ для осей конических колес *(рис. 7.12, а)* устанавливают в зависимости от модуля. При модуле колес, измеренного по наибольшей делительной окружности, в пределах 2 – 8 мм, отклонения (мм)

$$\delta = (0{,}015 \ldots 0{,}06)m. \qquad (7.27)$$

Чем выше степень точности колес и больше модуль, тем меньшее значение числового коэффициента следует принимать. При модулях 8 – 14 мм для колес 8-й степени точности

$$\delta = (0{,}02 \ldots 0{,}015)m. \qquad (7.28)$$

Правильное расположение осей отверстий в корпусе можно проверить при помощи контрольных оправок, концы которых срезаны вдоль оси *(рис. 7.12, б)*. При помощи щупа или специальных калибров измеряют расстояние между срезанными плоскостями оправок, и полученное значение сравнивают с результатом вычисления. Допускаемая неточность угла между осями колес зависит от модуля, числа зубьев и угла при вершине одного из колес.

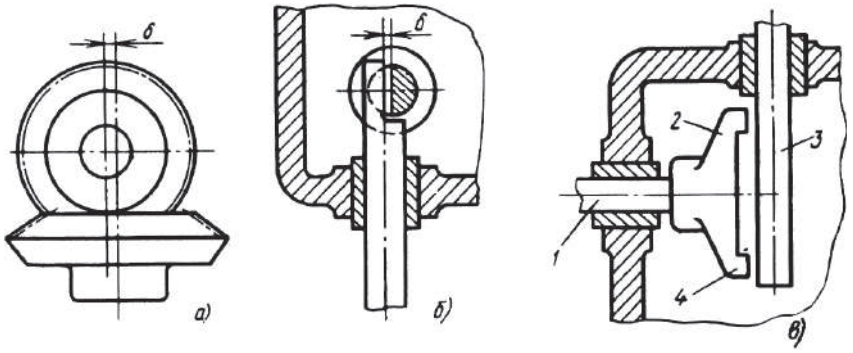



***Рис. 7.12. Контроль сборки конических зубчатых колес:***
*а* – отклонение осей; *б*, *в* – правильное расположение осей в корпусе

Проверку правильности угла между осями часто производят при помощи контрольных оправок *(рис. 7.12, в)*. В одно отверстие корпуса устанавливают гладкую контрольную оправку *5*,



а в другое – оправку *1* с наконечниками *2* и *4*, плоскости которых должны быть строго перпендикулярны к оси оправки. Разность значений зазоров между контрольной оправкой и плоскостями наконечников *2* и *4* является показателем неточности угла между осями колес. Проверка радиального и бокового зазоров в передачах с коническими зубчатыми колесами производится так же, как и для цилиндрических колес (щупом, свинцовой проволокой). Зазоры при конических шестернях можно отрегулировать путем некоторого перемещения парных шестерен вдоль вала. Допустимые зазоры для конических колес можно принимать такими же, как и для цилиндрических.

**Проверка правильности касания зубьев способом нанесения краски.** Для этого зубья меньшего колеса покрывают краской. После того, как большое колесо сделает 3 – 4 оборота, пятна краски должны покрыть среднюю часть боковой поверхности зубьев большого колеса: в передачах 7 степени точности – не менее 75 % длины и 60 % высоты; в передачах 8 степени точности – 60 % длины и 40 % высоты; в передачах 9 степени – 50 % длины и 30 % высоты и в передачах 10 степени точности – 40 % длины и 20 % высоты. Доводка до требуемого процента прилегания зубьев 7 и 8 степеней точности производится приработкой и обкаткой, 9 и 10 степеней точности – шабровкой зубьев, а иногда и припиловкой. На *рис. 7.13* показаны отпечатки следов, полученных при проверке «на краску» зацеплений цилиндрических и конических колес.

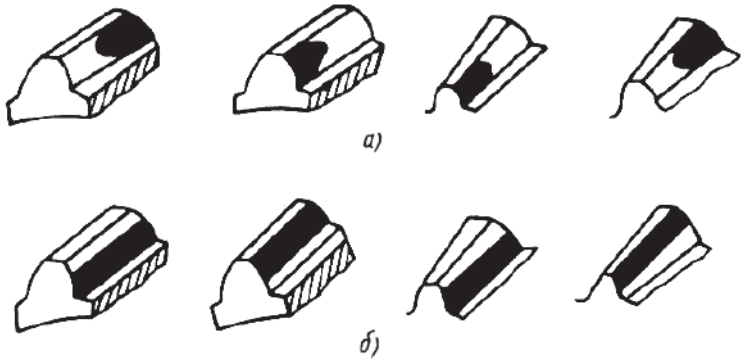



***Рис. 7.13. Схема положения пятен контакта зубьев колес:***
*а* - при перекосе; *б* - при правильном положении осей

## 7.8. СБОРКА И ВЫВЕРКА ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Червячная передача весьма чувствительна к неточности сборки и отклонениям. Неправильная сборка может резко снизить КПД, увеличить нагрев и быстрое изнашивание передачи. Качество червячной передачи в собранном виде определяется следующими показателями:

1) правильностью расстояний между центрами валов червяка и червячного колеса;
2) правильностью углов между осями червяка и червячного колеса;
3) совпадением средней плоскости колеса с осью червяка;
4) наличием определенного зазора между нитками червяка и зубьями червячного колеса;
5) постоянством момента вращения червяка.

В горных машинах применяют червячные передачи 7, 8 и 9 степеней точности (ГОСТ 3675-81). Передачи 7 и 8 степеней точности применяют при окружной скорости червячного колеса 3 – 6 м/с, 9 степени точности – в редукторах. Контроль качества сборки производят путем проверки по определенным показателям, соответствующим степени точности передачи.

**Проверка «мертвого хода» червяка.** Для обеспечения правильной работы червячной передачи между нитками червяка и зубьями колеса должен быть боковой зазор, наличие которого вызывает «мертвый ход» червяка, т.е. угловое перемещение при неподвижном колесе. Боковые зазоры для новых передач

$$j_t = (0{,}015 \ldots 0{,}03)m_e, \qquad (7.29)$$

где $m_e$ – внешний окружной модуль, мм.

Проверку «мертвого хода» червяка производят следующим образом *(рис. 7.14)*: на вал червяка надевают диск *3* с градуированными делениями, а к одному из зубьев червячного колеса подводят индикатор; угол «мертвого хода» устанавливают при помощи стрелки *2* путем покачивания червяка, причем стрелка индикатора *1* должна оставаться неподвижной.

**Проверка степени прилегания профилей червяка и червячного колеса.** Винтовую поверхность червяка покрывают тонким слоем краски и после медленного проворачивания проверяют отпечатки на колесе, по расположению которых судят о првильности сборки передачи *(рис. 7.15)*. При обнаружении смещения зубчатого колеса производят необходимое регулирование его положения. При правильном положении червяка краска должна покрывать поверхность зуба червячного колеса не менее чем на 50 ... 60 % по длине и высоте.



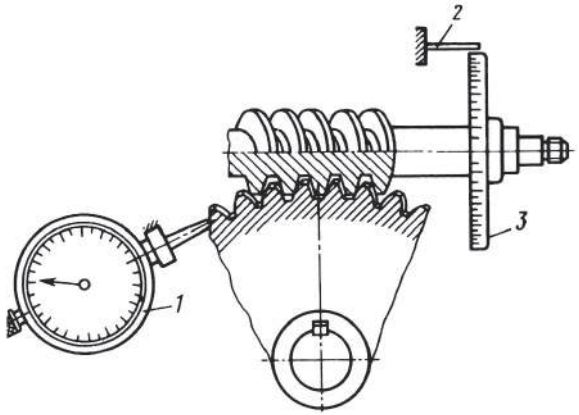



***Рис. 7.14. Контроль «мертвого» хода червячного зацепления***

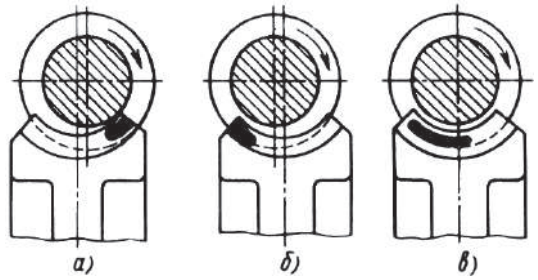



***Рис. 7.15. Контроль правильности регулирования положения червяка:***

*а*, *б* - положение червяка отрегулировано со смещением;
*в* – положение червяка отрегулировано в допускаемых пределах

## 7.9. БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

Основными причинами, вызывающими неуравновешенность деталей и узлов, являются:

- неточность изготовления деталей (например, изготовленная деталь имеет овальную форму вместо правильной формы круга);

- неравномерность распределения материала деталей относительно оси вращения;
- неправильная термическая обработка детали, вызывающая образование в ней различных структур;
- неравномерность распределения масс металла, получаемая в результате неточной сборки узла;
- смещение при вращении деталей, недостаточно закрепленных при сборке.

Различают статическую и динамическую неуравновешенности.

Если неуравновешенные массы данной детали или узла приводятся к одной массе и одной центробежной силе, вызываемой данной массой при вращении детали, то возникает *статическая неуравновешенность (рис. 7.16, а)*. Приведенная центробежная сила (Н)

$$Q = m\omega^2\rho, \qquad (7.30)$$

где $m$ – неуравновешенная масса, кг; $\rho$ – расстояние от оси вращения до центра тяжести неуравновешенной массы, м; $\omega$ – угловая скорость узла, $с^{-1}$.

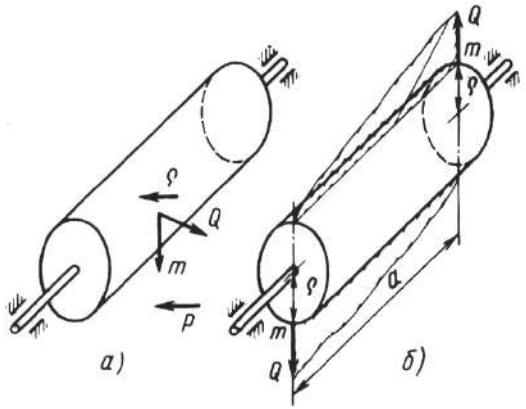



***Рис. 7.16. Неуравновешенность детали:***
*а* - статическая; *б* - динамическая

Такая неуравновешенность характерна для деталей, имеющих сравнительно большой диаметр и незначительную длину, например, маховики, шкивы и т.п.

Если в детали образуются две равные и прямо противоположные приведенные центробежные силы, действующие в одной плоскости, то возникает *динамическая неуравновешенность*



*(рис. 7.16, б)*. Значение каждой центробежной силы можно определить по формуле (7.30), а момент, создаваемый этими силами,

$$M = m\omega^2\rho a, \qquad (7.31)$$

где $a$ – расстояние между силами.

Из уравнения (7.31) следует, что чем больше окружная скорость детали, тем больше вызываемый данной парой сил будет момент: при $n = 0$ и $M = 0$, т.е. деталь уравновешена в статическом положении. Динамическая неуравновешенность характерна только для деталей большой длины, например, коленчатых валов, роторов электрических машин, турбомашин, многоступенчатых центробежных насосов, валов редукторов с несколькими зубчатыми колесами и т.п.

Динамическая неуравновешенность может появиться даже при предварительном, неправильном устранении статической неуравновешенности.

Если при наличии неуравновешенных масс во вращающемся узле появляются несколько центробежных сил $Q_1$, $Q_2$, $Q_3$, $Q_4$ то появляется *смешанная неуравновешенность (рис. 7.17)*, при которой силы $Q_1 - Q_4$ можно привести к двум силам, действующим в любых поперечных плоскостях приведения I и II, но в различных осевых плоскостях. Значение каждой из этих неуравновешенных сил можно определить по формулам

$$F = m_1\rho_1\omega^2; \quad Q = m_2\rho_2\omega^2. \qquad (7.32)$$

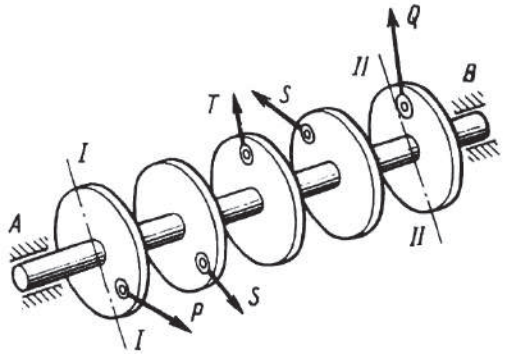



***Рис. 7.17. Общий случай неуравновешенности узла***

Смешанная неуравновешенность характерна преимущественно для деталей значительной длины. Неуравновешенность возникает при вращении детали. При этом в ее опорах, помимо

реакций от приложенных к ней сил, будут возникать дополнительные реакции от неуравновешенных сил $P$ и $Q$, что приведет к повышению нагрузки на подшипники, вызовет нагревание вкладышей и ускоренное их изнашивание вследствие истирания.

Для устранения неуравновешенности применяют балансировку, которая заключается в нахождении значения и направления неуравновешенности и компенсации этой неуравновешенности добавлением или удалением корректирующих масс сверлением, фрезерованием, наплавкой и др.

Балансировку разделяют на статическую и динамическую.

**Статическая балансировка.** Узкие диски, зубчатые колеса, шкивы, рабочие колеса центробежных насосов и подобные детали можно подвергать статической балансировке. Сущность статической балансировки заключается в устранении смещения центра тяжести детали (точка приложения сил $P$ и $Q$) относительно оси ее вращения. Уменьшая массу «тяжелой» части или увеличивая «легкую» часть детали, можно добиться требуемой степени уравновешенности. Статическая балансировка детали на параллелях показана на *рис. 7.18*. При наличии в диске статической неуравновешенности его помещают на балансировочные параллели в положение, показанное на *рис. 7.18, а*. Причем неуравновешенная масса $m_1$ должна находиться в горизонтальной плоскости, проходящей через оси диска. На противоположном радиусе диска закрепляют такую массу $m_2$, при которой сила $G$ от массы $m_1$ может повернуть диск на небольшой угол α (около 10°) в направлении, указанном стрелкой. Далее поворачивают диск в том же направлении, на 180° так, чтобы центры приложения сил $Q$ и $G$ были расположены в одной горизонтальной плоскости. Если в этом положении отпустить диск, то он повернется в обратном направлении на малый угол. Чтобы воспрепятствовать повороту диска обратно и заставить его сделать поворот на такой же малый угол α в направлении, показанном стрелкой, к массе $m_2$ добавляют массу $m_3$ *(рис. 7.18, б)*. В качестве временных масс можно применять небольшие, разные по массе магнитики, специальные пружинные скрепки и др.

Зная массу $m_2$ и $m_3$, можно определить требуемую уравновешивающую массу

$$m_0 = m_2 + \frac{m_3}{2} + \frac{m_1 \rho}{r} \qquad (7.33)$$



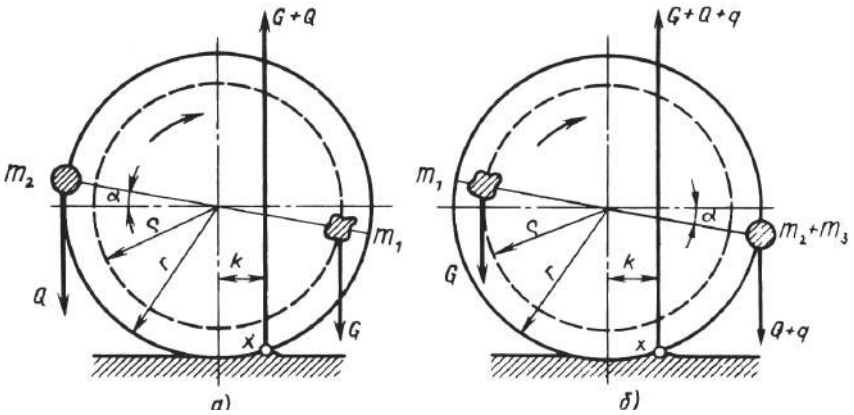



***Рис. 7.18. Статическая балансировка детали на параллелях***

Уравновешивающая масса $m_0$ должна быть прибавлена к диску в точке приложения силы $Q$ или убавлена в точке, диаметрально ей противоположной. Если требуется изменить уравновешивающую массу или плечо ее расположения, то используют соотношение

$$Q_0 r = Q_1 r_1 \qquad (7.34)$$

где $Q_0$ – расчетная сила тяжести уравновешивающей массы; $r$ – плечо приложения силы тяжести $Q_0$ ; $Q_1$ – сила тяжести постоянной уравновешивающей массы; $r_1$ – плечо приложения силы тяжести $Q_1$.

При скрытой статической неуравновешенности (недостаточной для преодоления момента трения качения между опорными частями оправки и параллелями) применяют следующий метод балансировки. Окружность диска разделяют на 6 – 12 частей и отмечают точки деления на диске определенной цифрой *(рис. 7.19, а)*. Затем перекатывают диск в направлении, указанном стрелкой, и поочередно приводят каждую из отмеченных точек в горизонтальную плоскость, проходящую через ось вращения диска. В этом положении для каждой отмеченной точки подбирают такую массу, чтобы диск под действием силы тяжести этой массы сделал бы небольшой поворот на угол примерно равный 10°, в направлении перекатывания. По наименьшей массе $m_2$, например, в точке *4 (рис. 7.19, а)* определяют положение неуравновешенной силы $G$. Массу $m_2$ затем удаляют, и диск поворачивают на угол 180° в на-

правлении, указанном стрелкой. В точке *8* закрепляют такую массу $m_3$, сила тяжести которой повернет диск *(рис. 7.19, б)* в том же направлении и на такой же малый угол.

Уравновешивающая масса

$$m_0 = (m_3 - m_2) / 2. \qquad (7.35)$$

Полученную уравновешивающую массу $m_0$ добавляют в точке *8* или снимают в точке *4*.

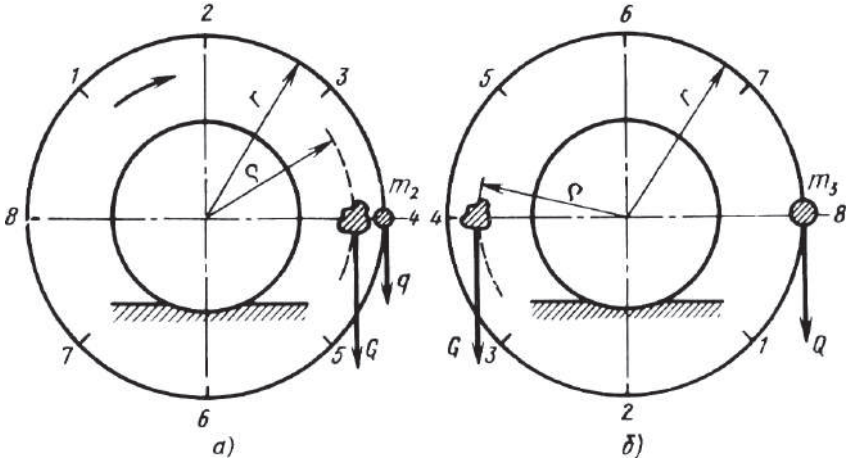



***Рис. 7.19. Статическая балансировка детали методом разделения диска на четное число частей***

Точность балансировки на призмах будет тем выше, чем меньше сила трения, возникающая между направляющими и шейками валов. Поэтому соприкасающиеся поверхности шеек и призм должны быть точно выполнены. Кроме того, они не должны иметь забоин, ржавчины и других дефектов.

Основным недостатком способа статической балансировки на призмах является перекатывание выверяемой детали по направляющим и невозможность балансировки при разных диаметрах шеек. Поэтому в ряде случаев более удобно производить балансировку на роликах *(рис. 7.20)*.

Статическую балансировку деталей можно производить также на специальном массоизмерительном устройстве *(рис. 7.21)*. На правом конце коромысла этого устройства имеются открытые подшипники, в которые устанавливается деталь *3*, закрепленная на валу или оправке. На левом конце коромысла *2* подвешены гири *1*. Если в проверяемой детали имеется смещение центра тяжести относительно оси вращения, то при взвешивании в зависимости от положения центра тяжести массоизмерительное устройство будет показывать неодинаковую массу детали или узла. Если центр тяжести будет расположен в положениях $S_1$ и $S_3$ *(рис. 7.21, а)*, то устройство покажет истинную массу проверяемой детали. Если центр тяжести будет в положении $S_2$, устройство покажет наибольшую искаженную массу, а в положении $S_4$ – наименьшую массу. При балансировке деталь постепенно поворачивают около оси вращения на угол 30° и после каждого поворота определяют массу.



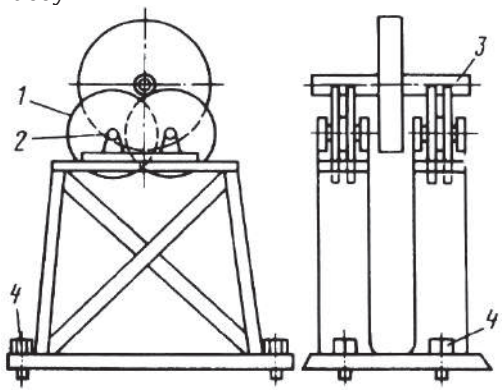



***Рис. 7.20. Статическая балансировка на роликах***

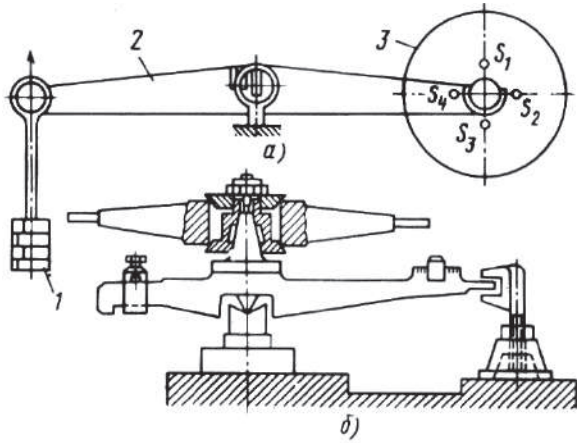



***Рис. 7.21. Статическая балансировка на массоизмерительном устройстве***

Собранные рабочие колеса вентиляторов и другие детали, имеющие форму тонкого диска большого диаметра, удобно балансировать на специальных массоизмерительных устройствах *(рис. 7.21, б)*. Балансировочное массоизмерительное устройство является более совершенным по сравнению с распространенными призмами и роликами, так как с их помощью можно определить смещение неуравновешенных масс.

Допустимой статической неуравновешенностью диска считают такую неуравновешенность, которая при нормальной угловой скорости диска дает неуравновешенную центробежную силу, не превышающую 4 ... 5 % веса диска.

**Динамическая балансировка** отличается от статической тем, что ее производят при вращении балансируемой детали. При этом необходимо обеспечить совпадение оси вращения детали с главной осью инерции всей системы. Динамическая неуравновешенность вызывается неправильным распределением масс металла по длине детали.

Перспективным методом динамической балансировки является удаление металла с ротора лазерным лучом с использованием оптических квантовых генераторов (ОКГ). На *рис. 7.22* показана схема лазерной балансировочной машины для балансировки роторов маломощных электродвигателей.

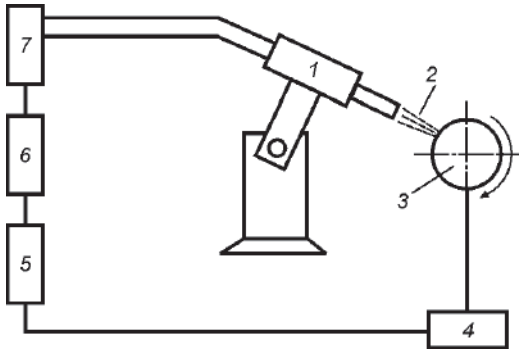



***Рис. 7.22. Схема лазерной балансировочной машины:***
*1* - ОКГ; *2* - объектив; *3* - деталь;
*4* - датчик сигнала величины и места дисбаланса; *5* - приемник;
*6* - прибор дистанционного управления; *7* - блок поджига

Балансировка производится при рабочих оборотах ротора (8–15 тыс. об/мин), при этом автоматически определяется величина и место дисбаланса, устраняется дисбаланс расплавлением



и испарением металла ротора лучом лазера. Температура металла в фокусе лазерного луча достигает 8000°С. Продолжительность одного импульса 6–10 с.

Уравновешивание отдельных деталей изделия иногда проводят методом подгонки по весу, например, шатуны и поршни, входящие комплектом в двигатель, подгоняют по весу с допуском 1–2% от веса детали. Уравновешивают также и собранные двигатели внутреннего сгорания на специальных стендах.

Если неуравновешенную деталь установить на гибких опорах, то при ее вращении могут возникнуть неуравновешенные центробежные силы, которые создадут колебательные движения гибких опор. Амплитуды колебаний опор измеряют при резонансной частоте вращения, когда число оборотов детали совпадает с числом свободных колебаний системы. При резонансной частоте вращения амплитуды колебаний резко увеличиваются.

Обычно проводят динамическую балансировку каждого конца детали, установленного на опору. При этом опору I уравновешиваемого конца выполняют подвижной, а противоположную закрепляют *(рис. 7.23)*. Колебания вращающейся детали при этом вызывают силу *P*. Балансировка свободной стороны детали заключается в определении значения и направления силы *P* и устранения вредного ее влияния путем приложения уравновешивающей массы в определенном месте. После уравновешивания одной стороны детали закрепляют опору I, а опору II освобождают и, в свою очередь, определяют для этой стороны значение и место приложения уравновешивающей массы и силы *Q*.

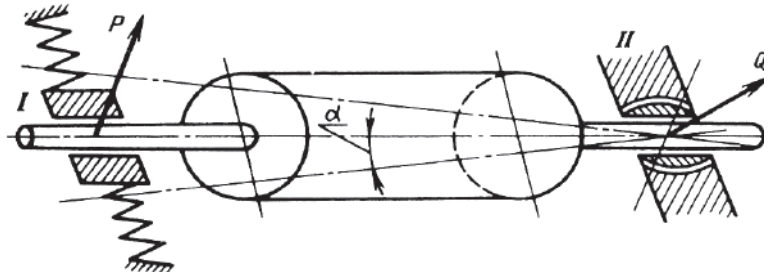



***Рис. 7.23. Схема закрепления детали при динамической балансировке***

Существует много способов динамической балансировки деталей. В основном можно выделить два способа: максимальных отметок и обхода пробным грузом.

Метод максимальных отметок дает удовлетворительные результаты динамической балансировки, не требует большой точности нанесения отметок на валу и измерения амплитуды вибрации подшипников при одной и той же частоте вращения.

На участок цилиндрической поверхности вала около шейки наносят отметки. Первую отметку наносят при резонансной частоте вращения с освобожденной опорой I. Одновременно измеряют амплитуду колебаний. Середина нанесенной дуги является максимальной точкой *a* отметки *(рис. 7.24)*. Эту точку переносят по радиусу на окружность расположения уравновешивающей массы. На этой же окружности закрепляют пробную уравновешивающую массу *q* в точке *c*, которая будет расположена относительно перенесенной точки примерно под углом 90°. Деталь опять вращают и при резонансной частоте вращения наносят вторую максимальную отметку в точке *b* и измеряют амплитуду вибрации опоры I. Зная максимальные отметки и амплитуду вибрации подшипника при вращении детали с пробной массой и без нее, графически определяют необходимую уравновешивающую массу $Q_1$ и ее положение для данной стороны детали. Затем проводят в произвольном масштабе окружность и переносят на нее точку а максимальной отметки (середина дуги) на валу детали при разгоне ее без массы, точку *b*, соответствующую максимальной отметке при пробной уравновешивающей массе *q* и точку *c*, в которой была приложена пробная масса. Затем на радиусах *Oa* и *Ob* откладывают в определенном масштабе амплитуду вибрации подшипников: вектор *OA* – амплитуда вибрации при вращении детали без массы, вектор *ОБ* – амплитуда вибрации при вращении детали с пробной массой. Тогда вектор *AB* представит амплитуду вибрации опоры I под действием центробежной силы только пробной массы *q*. Треугольник *OAB* можно рассматривать как треугольник сил, вызывающих вибрацию подшипника с определенной амплитудой. Тогда необходимую уравновешивающую массу можно найти из соотношения

$$\frac{Q_1}{q} = \frac{\overline{OA}}{\overline{AB}},$$

откуда

$$Q_1 = q\frac{\overline{OA}}{\overline{AB}}.$$



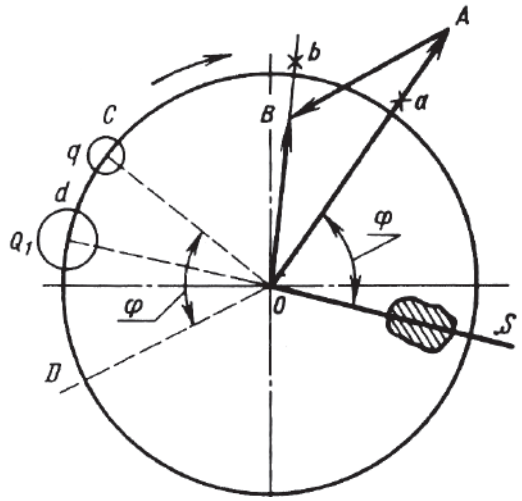



***Рис. 7.24. Динамическая балансировка деталей в подшипниках по методу двух пусков***

Для определения расположения уравновешивающей массы проводят из центра *O* радиус *OD*, параллельный вектору *AB*. Точка *D* – это точка наибольшего отклонения вала под действием центробежной силы при наличии пробной массы *q*, а угол φ определяет запаздывание наибольшего отклонения вала от направления центробежной силы вследствие влияния инерции движущейся системы. Этот угол зависит от ряда факторов, в том числе от частоты вращения вала детали. Учитывая, что частота вращения вала детали и условия испытаний остались неизменными, можно считать, что угол также будет неизменным. Поэтому, отложив от радиуса *OA* в направлении вращения вала угол φ, получим радиус *OS*, который определяет направление центробежной силы, вызываемой неуравновешенной массой детали. Уравновешивающей точкой приложения массы $Q_1$ будет точка *d*. Эту точку пересечет на другой стороне окружности прямая линия, проведенная через точки *S* и *O*.

После приложения временно найденной массы $Q_1$ осуществляют балансировку другой стороны детали. Аналогично определяют значение приложения уравновешивающей массы $Q_2$. Если приложить массу $Q_2$, начать вращение детали и освободить оба подшипника, то снова обнаружатся признаки вибрации. Это

объясняется тем, что каждая из масс, т.е. $Q_1$ и $Q_2$, наряду с устранением неуравновешенности на своей стороне создает добавочную силу на противоположной стороне, вызывающую неуравновешенность этой стороны детали. Для улучшения балансировки на каждой стороне необходимо приложить добавочные небольшие массы $q_1$,$q_2$.

На одной стороне детали массу $q_2$ располагают по отношению к основной массе $Q_2$ под углом 180°. На другой стороне детали массу $q_1$ располагают по отношению к массе $Q_1$ также под углом 180° .

Более надежным, но требующим значительно большего времени для динамической балансировки, является метод обхода грузом, заключающийся в том, что каждую сторону детали балансируют отдельно, причем точки приложения уравновешивающих масс расположены на окружности, разделенной на восемь равных частей. Затем измеряют амплитуду колебаний при постоянной частоте вращения вала без уравновешивающей массы и амплитуду колебаний детали с одной и той же ориентировочно принятой пробной массой (меньше необходимой), которую прикладывают последовательно в каждой из восьми намеченных точек. Положение пробной массы, при которой амплитуда колебаний будет наибольшая, определит направление силы инерции, а по диаметрально направленному радиусу можно определить точку приложения уравновешивающей массы, значение которой определяют многократным опробованием.

Для определения значения и направления неуравновешенных центробежных сил в узлах и деталях машин применяют различные балансировочные машины. Большинство балансировочных машин имеет одну степень свободы, т.е. установленная на опоры деталь может колебаться относительно какой-либо одной оси.

Динамическую балансировку узлов в подшипниках можно производить методом обхода грузом, но более удобным является метод трех испытательных разгонов с пробной массой, последовательно закрепляемой в трех точках, расположенных по окружности детали через 90°.

Предположим, что один из подшипников балансируемой детали имеет амплитуду вибрации $h$ (мм), возникающую от дисбаланса детали, и амплитуды $h_1$, $h_2$, $h_3$, возникающие при разгоне детали с пробной массой $q$, у которой точки приложения последовательно расположены по окружности через 90°.



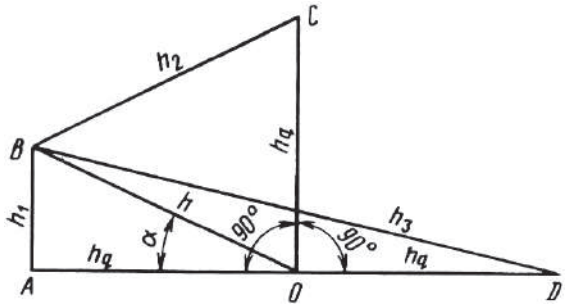



***Рис. 7.25. Динамическая балансировка в собственных подшипниках по методу трех пробных разгонов***

Выполнив соответствующие построения, получим три треугольника с общей для них стороной $h$ *(рис. 7.25)*. Из треугольника *AOB* определим

$$h_1^2 = h^2 + h_q^2 - 2hh_q \cos\alpha. \qquad (7.36)$$

Из треугольника *BOC* имеем

$$h_2^2 = h^2 + h_q^2 - 2hh_q \cos(90° - \alpha)$$

или

$$h_2^2 = h^2 + h_q^2 - 2hh_q \sin\alpha \qquad (7.37)$$

Из треугольника *BOD* определим

$$h_3^2 = h^2 + h_q^2 - 2hh_q \cos(180° - \alpha)$$

или

$$h_3^2 = h^2 + h_q^2 - 2hh_q \cos\alpha \qquad (7.38)$$

Решая уравнения (7.36 – 7.38) совместно, получаем

$$h_q^2 = \frac{h_1^2 + h_3^2}{2} - h^2 \qquad (7.39)$$

Из уравнения (7.37)

$$\sin\alpha = (h^2 + h_q^2 - h_2^2) / (2hh_q). \qquad (7.40)$$

Из уравнения (7.36)

$$\cos\alpha = (h^2 + h_q^2 - h_1^2) / (2hh_q). \qquad (7.41)$$

Определив из уравнения (7.39) амплитуду вибрации $h_q$, вызываемую пробным грузом, определим дисбаланс

$$Q = q\frac{h}{h_q}.$$

Подставляя в уравнения (7.37) и (7.38) значения найденных амплитуд, определяем sinα и cosα, а затем угол α. Этот угол определяет положение уравновешивающей массы по отношению к пробной массе при его первой установке. Более просто и удобно осуществлять балансировку деталей в подшипниках при помощи специальных балансировочных аппаратов.

В соответствии с ГОСТ 22061-76 приняты 12 классов точности балансировки. Детали и узлы горных машин и оборудования должны соответствовать 4 ... 10 классам точности балансировки.



# 8. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

## 8.1. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

В условиях становления промышленности в период перехода к рыночной экономике подготовка предприятий к выходу со своей продукцией на международный рынок будет усложняться. В связи с сертификацией продукции машиностроения повысятся требования, предъявляемые к испытаниям на работоспособность и ресурс, к шероховатости поверхности и размерной точности. В настоящее время действует, как межгосударственный комплекс стандартов, объединенных общим названием “Единая система технологической подготовки производства” (ЕСТПП)[4], так и отдельные национальные стандарты[5,6].

Технологическая подготовка производства (ТПП) – совокупность мероприятий, беспечивающих технологическую готовность предприятия выпускать продукцию требуемого качества.

Под технологической готовностью производства понимается прежде всего наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

Машиностроение включает в себя создание любых деталей машин, инструмента, механизмов, силовых агрегатов. Продукцию современного машиностроения отличают повышенные требования к качеству и точности изготовления.

---

4 ГОСТ 14.004–83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий.

5 ДСТУ 3974-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення.

6 ДСТУ 2391-94. Система технологічної документації. Терміни та визначення.

Любое изделие, которое нужно изготовить (произвести) называется объектом производства. На предприятии обычно различают основное и вспомогательное производство. В основном производстве изготавливают изделия, которые составляют продукцию предприятия – например, станки.

Во вспомогательном производстве изготавливаются изделия, которые необходимы для производства основной продукции предприятия (приспособления, штампы, пресс-формы и др.). Все изделия, как основного, так и вспомогательного производства, являются объектами производства.

Процесс создания любого нового изделия основного производства включает в себя ряд последовательных этапов (стадий):

**1. Поисковое проектирование**. Этот этап называют также стадией научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). На этой стадии проводятся экспериментальные работы – изготовление макетов, моделей, проверка работы отдельных составных частей технологической оснастки и нестандартного оборудования.

Стадия опытно-конструкторских работ играет значительную роль в формировании технического уровня будущей продукции. Здесь закладываются основные технические параметры и конструкторские решения новой техники, недостатки которых трудно, а подчас невозможно компенсировать на последующих стадиях.

На этом этапе также производится анализ потребности рынка в данном изделии, исследуются конкурирующие аналоги, оцениваются временные и финансовые затраты для начала производства изделия, планируется серийность (годовой объем выпуска) изделия и устанавливаются его основные технические характеристики, оценивается возможная прибыль предприятия.

Результаты обоснования необходимости выпуска нового изделия оформляются в виде технического задания (ТЗ) на разработку проекта изделия.

ТЗ используется при составления бизнес-плана в разделе «План производства». Именно в бизнес-плане освещаются ключевые вопросы постановки продукции на производство, в том числе проводится:

- анализ потребностей на новую продукцию;
- определение тенденции в изменении технико-экономического уровня данной продукции, происходящих под воздействием требований потребителей и научно-технического прогресса;



- сравнительная оценка рассматриваемых вариантов по основным параметрам, характеризующим технико-экономический уровень продукции: надежности, технологичности, экономическим показателям, материалоемкости, энергоемкости, стандартизации и унификации;
- выбор наиболее эффективного перспективного варианта.

Техническое задание регламентирует состав, структуру и технические характеристики изделия. Отдельный его раздел – Технико-экономическое обоснование - посвящен вопросам, которые находят отражение в бизнес-плане.

ТЗ разрабатывается на основе результатов выполненных НИР, ОКР, краткосрочного и долгосрочного прогнозирования, данных анализа отечественных и зарубежных комплексных и опережающих стандартов, достижений науки и техники. В ТЗ включаются прогнозируемые показатели технического уровня продукции с отражением уровня стандартизации и унификации. Оно содержит технико-экономические требования к продукции, определяющие ее потребительские свойства и эффективность применения, перечень документов, требующих совместного рассмотрения, порядок сдачи и приемки результатов разработки. ТЗ может содержать требования к технологической подготовке производства, проведению экспертизы.

Основной целью экспертизы является определение соответствия разрабатываемой продукции заданному техническому уровню, степени унификации и стандартизации. В процессе экспертизы проверяется комплексность решения общей технической задачи, ее увязка с перспективой дальнейшего развития, создания и производства однотипных изделий, решения вопросов унификации и стандартизации, возможность сокращения номенклатуры и типоразмеров составных частей, уменьшения количества применяемых марок и сортаментов материалов, соответствия продукции требованиям безопасности и санитарно-гигиеническим нормам.

В поисковом проектировании принимают участие ведущие специалисты предприятия – сотрудники отдела маркетинга, конструкторы технологи, экономисты. К работе могут привлекаться также отдельные специалисты или коллективы специалистов других фирм. Участников поискового проектирования можно разделить на группы: заказчики, разработчики и изготовители.

Разработчик на основе исходных требований заказчика (потребителя), изложенных в техническом задании (ТЗ) на проектирование продукции, маркетинга, условий применения, тенденций развития и имеющегося научно-технического задела проводит необходимые НИР, ОКР и опытно-технологические работы, включая патентные исследования, функционально-стоимостный анализ, моделирование, художественное конструирование и другие прогрессивные методы создания продукции. При этом разработчик руководствуется нормативно-техническими и другими документами, в которых установлены значения показателей, определяющих технический уровень продукции, требования сопротивляемости внешним воздействиям, взаимозаменяемости и совместимости составных частей и продукции в целом, безопасности, охраны здоровья и природы.

Заказчик (потребитель) обосновывает требования, предъявляемые к продукции, обеспечивает надлежащее применение, принимает участие в оценке технического уровня и качества продукции.

Изготовитель продукции проводит технологическую подготовку, обеспечивающую стабильное качество изделий, выпуск их в количестве, удовлетворяющем потребности общества. Если изготовитель намерен стать отечественным производителем продукции, то рано или поздно столкнется с вопросом о документе, регламентирующим порядок производства, требования к сырью и материалам, методам контроля качества готовой продукции и остальным аспектам производства. Таким документом может быть ГОСТ – межгосударственный стандарт, действующий со времен СССР, ДСТУ – государственный стандарт Украины, или ТУ – технические условия на производство продукции.

Технические условия (ТУ) разрабатываются заинтересованной стороной (предприятием-изготовителем, объединениями предприятий), в зависимости от специфики продукции согласуются с разными госслужбами (МНС, МОЗ, Держбуд и др.). ТУ могут согласовываться основным потребителем будущей продукции. Регистрация ТУ проводится уполномоченными органами Госстандарта Украины. Требования к разработке ТУ изложены в соответствующем стандарте[7].

[7] ДСТУ1.5:2003 "Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів"



В Украине существует государственная система сертификации продукции – система УкрСЕПРО. Все работы по сертификации продукции и систем менеджмента качества в системе УкрСЕПРО выполняются в соответствии с требованиями серии стандартов системы УкрСЕПРО.

В данной системе может проводиться как обязательная, так и добровольная сертификация. Обязательная сертификация во всех случаях должна включать проверку и испытание продукции для определения ее характеристик и дальнейший государственный технический надзор за сертифицированной продукцией. Законодательством Украины определен перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации в Украине. В указанном Перечне продукции приведены коды Украинской классификации товаров внешнеэкономической деятельности (УКТ ВЭД), перечень нормативных документов, устанавливающих обязательные требования при сертификации.

Добровольная сертификация проводится на соответствие требованиям, не относящимся к обязательным. При этом сертификация на соответствие всем обязательным требованиям, если они установлены для этой продукции, проводится обязательно.

В процессе добровольной сертификации, проводимой в системе УкрСЕПРО, определяется соответствие параметров продукции требованиям нормативных документов, указанных заявителем. О результатах завершения контроля соответствия продукции стандартам в системе УкрСЕПРО свидетельствует сертификат и/или знак соответствия.

Технологическая подготовка производства должна учитывать требования сертификации и предусматривать изготовление средств, предназначенных для различных испытаний продукции.

Продукция серийного и массового производства может подвергаться приемо-сдаточным и периодическим испытаниям. Приемо-сдаточные испытания проводит служба технического контроля качества (ОТК) предприятия-изготовителя, периодические испытания – предприятие-изготовитель или специализированная организация с участием представителей организации-разработчика и основного потребителя.

Приемо-сдаточные испытания готовой продукции проводятся на приемочном контроле, как правило, приемочной комиссией,

создаваемой изготовителем продукции. Если на предприятии-изготовителе имеются представители заказчика, то они проводят испытания в присутствии представителя изготовителя. Цель приемо-сдаточных испытаний – проверить соответствие параметров, которыми фактически обладает готовое изделие, заданным параметрам в нормативно-технической документации.

Периодические испытания продукции проводятся в объемах и в сроки (периоды), установленные техническими условиями или другой нормативно-технической документацией. Цель их – проверка соответствия параметров изделия в предусмотренных периодах времени (подтверждается стабильность параметров).

Полнота и совершенство технологической подготовки производства подтверждаются проведением квалификационных испытаний образцов первой промышленной партии. Цель этих испытаний – подтвердить, что отклонения основных параметров продукции, обеспечиваемые технологией, не выходят за допускаемые пределы и недостатки, выявленные приемочной комиссией, устранены. При положительных результатах квалификационных испытаний освоение (постановка) продукции на производство считается завершенной, и продукция может поставляться заказчику (потребителю).

**2. Конструирование.** На данном этапе, который еще называют конструкторской подготовкой, осуществляется детальная разработка конструкции изделия. Структура, состав и геометрические и прочностные параметры изделия должны соответствовать техническому заданию и обеспечивать требуемые эксплуатационные характеристики изделия. Важно спроектировать изделие так, чтобы его можно было изготовить наиболее простым образом и с минимальными затратами (разумеется, не в ущерб качеству). Если это требование выполнено, то говорят о технологичности изготовления изделия. Вопросы технологичности конструкции рассмотрены далее.

Результаты конструирования оформляются в виде комплекта конструкторской документации. Он включает в себя чертежи деталей и сборок, спецификации и другие документы. Чертежи выполняются в соответствии с действующими стандартами (в Украине используется стандарт ЕСКД, на западе обычно применяются стандарты ISO и ANSI).



В настоящее время в конструкторскую документацию могут включаться компьютерные модели деталей и сборочных единиц изделия.

**3. Технологическая подготовка производства.** Данный этап состоит, как уже отмечалось выше, в обеспечении технологической готовности предприятия к выпуску данного изделия, при соблюдении требований к качеству, срокам и объемам выпуска, а также с учетом запланированных затрат.

Технологическая подготовка производства (ТПП) включает:

- обеспечение технологичности изделия;
- разработку и внедрение технологических процессов (механообработки, сборки, штамповки, литья, термообработки и др.) для изготовления деталей и узлов изделия;
- разработку и отладку программ для станков с ЧПУ;
- проектирование и изготовление необходимого нестандартного оборудования и средств технологического оснащения (приспособлений, пресс-форм, штампов, специального режущего и мерительного инструмента);
- управление процессами ТПП.

Цель ТПП - обеспечение высокой эффективности производства изделий требуемого качества и количества в установленные сроки и в соответствии с заданными технико-экономическими показателями, определяющими технический уровень изделия и минимальные трудовые и материальные затраты.

С помощью ТПП обеспечивается мобильность производства при изменении программы выпуска и освоении новых видов изделий. Работы по ТПП ведутся в двух направлениях:

1) текущая технологическая подготовка, связанная непосредственно с обеспечением технологичной готовности производства;
2) разработка методов, обеспечивающих сокращение длительности и трудоемкости ТПП.

ТПП ведется на двух уровнях: на уровне предприятия и на уровне отрасли машиностроения. Во втором случае результатами разработок являются методические материалы, которыми может воспользоваться любое машиностроительное предприятие.

ТПП является сложным и трудоемким процессом, который включает комплекс разнообразных технологических работ, вы-

полняемых на различных стадиях построения и функционирования производства. Весь процесс технологической подготовки можно разделить на две стадии:

1) проектно-технологические работы по созданию нового или реконструкции и техническому перевооружению действующего производства;
2) текущая технологическая подготовка действующего производства.

К выполнению работ привлекают специалистов проектно-технологических институтов и инжиниринговых фирм.

На основе анализа результатов предпроектного обследования принимают решения, определяющие основные направления технического перевооружения или реконструкции производства.

Техническое перевооружение предполагает комплекс мероприятий, связанных с:

1) внедрением в производство новых технологических процессов;
2) использованием на ряде рабочих мест нового оборудования;
3) совершенствованием структуры и организации работы производственных участков;
4) изменением количества оборудования и его расположения;
5) внедрением средств механизации и автоматизации на действующем производстве.

Реконструкция производства, как правило, предусматривает расширение действующих цехов или создание новых производственных объектов.

Разработанные решения, определяющие основные направления технического перевооружения и реконструкции производства, утвержденные руководством предприятия и инвесторами, оформляют в виде задания на проектирование. В ходе разработки проектов технического перевооружения или реконструкции участков, цехов и предприятия в целом решается комплекс взаимосвязанных вопросов технологического, организационного и строительного проектирования.

ТПП в зависимости от типа производства различается степенью детализации. Чем больше серийность производства, тем подробнее проводится ТПП и тщательнее разрабатываются технологические процессы.

Полученные в результате разработки ТПП данные о трудоемкости далее используют для основных технологических расчетов и обоснования проектных решений по количеству



оборудования и числу рабочих мест, по составу и структуре оборудования производственных участков и линий. Очень важным вопросом в технологической подготовке технического перевооружения и реконструкции производства является выбор вариантов и разработка детальных планов расположения оборудования и рабочих мест, а также определение численности работающих.

При разработке проектов реконструкции производства возникает необходимость строительного проектирования, а также более углубленной проработки энергетической и санитарно-технической части проекта.

К выполнению этих работ обычно привлекают специализированные проектные организации. Объектами разработки являются объемно-планировочные решения.

Задачами функции обеспечения технологичности конструкции изделия являются:

а) проведение технологического контроля конструкторской документации;
б) оценка уровня технологичности конструкции изделия;
в) отработка конструкции изделия на технологичность;
г) внесение необходимых изменений в конструкцию изделия и документацию.

Задачами функции разработки технологических процессов являются:

а) разработка, стандартизация и применение типовых технологических процессов и операций на сборочные единицы и детали;
б) разработка и применение рабочих технологических процессов на сборочные единицы и детали;
в) организация на уровне предприятия фондов документации на типовые технологические процессы и операции.

Задачами функции проектирования и изготовления средств технологического оснащения являются:

а) проведение унификации и стандартизации СТО;
б) организация применения СТО. в том числе унифицированных и стандартных средств, использование баз проката СТО;
в) проектирование и изготовление специальных СТО.

Основными задачами функции организации контроля и управления технологическими процессами являются:

1) сравнение заданных и фактических значений параметров качества изделий;
2) анализ причин отклонений параметров качества изделий;
3) принятие технологических решений о ликвидации возникших отклонений параметров качества изделий;
4) разработка и внедрение в производство мероприятий, обеспечивающих стабилизацию параметров качества изделий.

В отличие от функций ТПП, выполняемых до начала непосредственного производства изделия, указанная функция реализуется при производстве изделия в реальном масштабе времени.

**4. Создание опытного образца**. Этот этап имеет своей целью проверку качества принятых конструкторских и технологических решений путем испытаний опытного образца изделия. По результатам испытаний могут быть внесены изменения как в конструкторскую документацию (то есть в конструкцию изделия), так и в разработанные технологические процессы.

**5. Освоение производства**. На данном этапе предприятие должно выйти на намеченные объемы выпуска изделия, стабилизировать качество продукции и добиться заданной трудоемкости на всех стадиях производства. Здесь может понадобиться освоение дополнительных производственных мощностей, совершенствование технологических процессов, повышение численности и квалификации персонала.

## 8.2. ОТРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ – ПЕРВООЧЕРЕДНАЯ ФУНКЦИЯ ТПП

Основные положения, система показателей, последовательность и содержание работ по обеспечению технологичности изделия установлены национальным стандартом[8].

Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, предусматривающая взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач,

[8] ГОСТ 14.201-83. Единая система технологической подготовки производства. Обеспечение технологичности конструкции изделия изделий. Общие требования. Provision of technological efficiency of design production. General requirements.



направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе и монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Обеспечение технологичности конструкции изделия включает:

- технологический контроль конструкторской документации;
- количественную оценку технологичности конструкции изделий;
- отработку конструкции изделий на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и, в обоснованных случаях, при изготовлении изделия;
- улучшение условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий, и фиксацию принятых решений в технологической документации;
- подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

Порядок проведения и содержание технологического контроля конструкторской документации регламентирован по ГОСТ 14.206-73.

*Количественная оценка технологичности конструкции изделий.* Технологичность конструкции изделия оценивают количественно с помощью системы показателей, которая включает:

- базовые (исходные) значения показателей технологичности, являющиеся предельными нормативами технологичности, обязательными для выполнения при разработке изделия;
- значения показателей технологичности, достигнутые при разработке изделия;
- показатели уровня технологичности конструкции разрабатываемого изделия.

Базовые значения показателей технологичности указываются в техническом задании на разработку изделия, а по отдельным видам изделий, номенклатура которых устанавливается отраслями, – в отраслевых стандартах.

Данные об уровне технологичности конструкции должны использоваться в процессе оптимизации конструкторских решений на стадиях разработки конструкторской документации, при принятии решения о производстве изделия. Эти данные также используются при анализе технологической подготовки производства, разработке мероприятий по повышению уровня технологичности конструкции изделия и эффективности его производства и эксплуатации, при сертификации качества изделия и определении технико-экономических показателей производства, эксплуатации и ремонта изделия в порядке, установленном нормативно-технической документацией.

Необходимость количественной оценки технологичности конструкции изделий, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделий, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Число количественных показателей должно быть минимальным, но достаточным для оценки технологичности. Наиболее часто применятся следующие количественные показатели:

- трудоемкость изготовления изделия;
- удельная трудоемкость изготовления изделия;
- удельная материалоемкость изделия (удельная металлоемкость, удельная энергоемкость и пр.);
- технологическая себестоимость изделия;
- коэффициент использования материала.

При проведении отработки конструкции изделия на технологичность следует учитывать:

- вид изделия, степень его новизны и сложности, условия изготовления, технического обслуживания и ремонта, а также монтажа вне предприятия-изготовителя;
- перспективность изделия, объем его выпуска;
- передовой опыт предприятия-изготовителя и других предприятий с аналогичным производством, новые высокопроизводительные методы и процессы изготовления;
- оптимальные условия конкретного производства при рациональном использовании имеющихся средств технологического оснащения и производственной площади и планомерном внедрении новых передовых технологических методов и средств производства;
- связь достигнутых показателей технологичности с другими показателями качества изделия.



Технологичность конструкции специфицируемого изделия рассматривают относительно всего изделия, учитывая технологичность составных частей, сборки, испытаний, монтажа вне предприятия-изготовителя, технического обслуживания и ремонта.

*Обработка конструкции изделия на технологичность* должна обеспечивать решение следующих основных задач:

- снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и его монтажа вне предприятия-изготовителя;
- снижение трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия;
- снижение расхода металла и топливно-энергетических ресурсов при изготовлении, монтаже вне предприятия-изготовителя, техническом обслуживании и ремонте.

Комплекс работ по снижению трудоемкости, стоимости и продолжительности технического обслуживания и ремонта изделия в общем случае включает:

- использование конструкторских решений, позволяющих снизить затраты на подготовку к использованию изделия по назначению, технический контроль, техническое диагностирование, а также на транспортирование изделия;
- использование конструкторских решений, позволяющих снизить затраты на обеспечение: доступа к составным частям; замены составных частей изделия такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом; установки и съема составных частей изделия; восстановления геометрических характеристик и качества поверхности детали;
- обеспечение требований по унификации и стандартизации составных частей изделия;
- ограничение числа сменяемых составных частей изделия, номенклатуры материалов, инструмента, вспомогательного оборудования и приспособлений;

- использование конструкторских решений, облегчающих и упрощающих условия технического обслуживания и ремонта и снижающих требования к квалификации персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт *(табл. 8.1)*.

Комплекс работ по снижению материалоемкости изделия включает:

- применение рациональных сортаментов и марок материалов, рациональных способов получения заготовок, методов и режимов упрочнения деталей;
- разработку и применение прогрессивных конструкторских решений, позволяющих повысить ресурс изделия и использовать малоотходные и безотходные технологические процессы;
- разработку рациональной компоновки изделия, обеспечивающей сокращение расхода материала при монтаже вне предприятия-изготовителя;
- внедрение научно обоснованных запасов прочности металлоконструкций, типовых методов расчетов и испытаний изделия.

Отработка конструкции изделия на технологичность проводится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями изделия и представителями заказчика (специалистами по техническому обслуживанию и ремонту техники). В необходимых случаях к отработке конструкции изделия на технологичность должны привлекаться специализированные технологические институты.

Ответственными исполнителями отработки конструкции изделия на технологичность являются разработчики конструкторской документации.

Отработку конструкции изделия на технологичность при выполнении опытно-конструкторских работ проводят в общем случае на основе:

- типизации конструкторских схем и компоновок изделия и его составных частей;
- унификации, агрегатирования и взаимозаменяемости изделия и его составных частей;
- блочно-модульного построения систем и устройств.



**Таблица 8.1**

***Рекомендуемое основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия***

| Стадии разработки конструкторской документации | Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия |
|---|---|
| Техническое предложение | Выявление вариантов конструктивных решений, имеющих лучшие предпосылки для рационального членения и компоновки изделия.<br>Выявление возможности заимствования составных частей изделия.<br>Выявление новых материалов, технологических процессов и средств технологического оснащения.<br>Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия. |
| Эскизный проект | Анализ соответствия компоновок и членения вариантов конструкции изделия условиям производства.<br>Анализ соответствия компоновок и членения вариантов конструкции изделия условиям технического обслуживания и ремонта.<br>Сопоставление вариантов конструкции изделия по унификации, стандартизации, по точности расположения и способам соединения составных частей изделия.<br>Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия.<br>Выбор вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки.<br>Технологический контроль конструкторской документации. |
| Технический проект | Определение возможности параллельной и независимой сборки и контроля специфицированных составных частей изделия.<br>Анализ соответствия конструкции и компоновки, сменных и требующих технического обслуживания составных частей изделия требованиям технического обслуживания и ремонта. |

**Продолжение табл. 8.1**

| Стадии разработки конструкторской документации | Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия |
|---|---|
| Технический проект | Выявление возможности применения покупных, стандартных, унифицированных или освоенных производством составных частей изделия.<br>Анализ возможности применения новых, в том числе типовых и групповых высокопроизводительных технологических процессов.<br>Расчет показателей технологичности конструкции изделия.<br>Принятие основных принципиальных решений по технологичности конструкции изделий и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте.<br>Технологический контроль конструкторской документации. |
| Изготовление опытного образца (опытной партии) или изделия единичного производства (кроме разового изготовления) | Проводятся:<br>- анализ возможности сборки изделия и его составных частей без промежуточных разборок;<br>- выбор рациональных способов фиксирования, центрирования и регулирования составных частей изделия;<br>- определение доступности и легкосъемности сменных частей изделия, требующих технического обслуживания и ремонта;<br>- выявление возможности унификации сборочных единиц и их конструктивных элементов;<br>- выявление возможности унификации деталей (включая детали крепежа) и их конструктивных элементов;<br>- установление экономически целесообразных методов получения заготовок;<br>- поэлементная отработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность; |



**Продолжение табл. 8.1**

| Стадии разработки конструкторской документации | Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия |
|---|---|
| Изготовление опытного образца (опытной партии) или изделия единичного производства (кроме разового изготовления) | - расчет показателей технологичности конструкции изделия;<br>- технологический контроль конструкторской документации.<br>При изготовлении и испытании опытного образца (партии) или изделия единичного производства (кроме разового изготовления) проводится проверка:<br>- соответствия членения конструкции организационной структуре предприятия-изготовителя.<br>- соответствия конструкции деталей рациональным способам получения заготовок и их обработки;<br>- соответствия заданной точности изготовления изделия техническим данным средств технологического оснащения;<br>- возможности использования конструкторских баз в качестве технологических и их увязка;<br>- удобства и быстроты регулировки расположения составных частей изделия;<br>- возможности замены составных частей изделия другими такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом;<br>- соответствия технологичности конструкции требованиям ремонтопригодности и транспортабельности;<br>- показателей технологичности после отработки конструкции при изготовлении и испытании опытного образца.<br>Проводится корректировка и технологический контроль конструкторской документации с учетом предложений об изменении, выявленных при анализе технологичности опытного образца. |

**Продолжение табл. 8.1**

| Стадии разработки конструкторской документации | Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия |
|---|---|
| Серийное (массовое) производство | Окончательное принятие решений по обеспечению условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте; фиксация этих решений в технологической документации.<br>Окончательная отработка конструкции изделия в период изготовления установочной серии.<br>Доведение конструкции изделия до соответствия требованиям.<br>Оценка соответствия достигнутого уровня технологичности требованиям технического задания.<br>Корректировка конструкторской документации.<br>Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности путем проведения исследовательских (определительных) испытаний или организации сбора данных о технологичности изделия в процессе эксплуатации и ремонта. |

## 8.3. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

При подготовке производства необходимо исходить, в том числе, из того, что каждое изделие машиностроения, поставляемое в условиях жесткой конкуренции на внутренний и, в особенности, на внешний рынок, должно обладать новым уровнем свойств и отвечать все возрастающим требованиям, предъявляемых потенциальным потребителем к функциональным, экологическим и эстетическим свойствам.

Эти тенденции повышения требований потребителей к качеству изделий нашли свое отражение в международных стандартах серии ISO-9000/2000. Получение такого уровня изделий все больше связывают с нетрадиционными конструкторскими



и технологическими решениями, реализация которых не всегда возможна на основе использования технологии, оборудования, оснастки общего назначения, т.е. на основе всего того, что составляет суть традиционных технологий.

В связи с этим все большее внимание специалистов привлекают нетрадиционные технологии, созданию которых предшествует накопление обширных данных фундаментальных и прикладных наук. В отличие от традиционных, такие технологии называют «наукоемкими», «прецизионными», «ультрапрецизионными», «нанотехнологиями» и др.

Термин «нанотехнология» используется для определения систем оборудования и технологий интегрированного производства, которые обеспечивают отклонения размеров порядка 1 нм (миллионная доля мм). В более широком плане «нанотехнология» занимается системами, новые функции и свойства которых зависят только от наноэффектов их компонентов (так звучит академическое определение понятия, которое дает союз немецких инженеров). Известно, например, что в мир микроизделий могут вести два пути: можно из массивной заготовки, например, из кремния шлифованием получать необходимое точное миниатюрное изделие. По этому принципу функционирует системная нанотехника, которая в основном занимается структурами размеров от мм до мкм. Другой возможный путь: берутся отдельные атомы молекулы или частички из них, из которых, как из кирпичиков создают желаемую структуру. Этот принцип применяется в нанотехнологии, которая занимается структурами размером до нанометров. Таким образом, термины, применяемые к новым технологиям, не являются исчерпывающими, т.к. не отражают всей многосложности и емкости новых технологий, всего спектра и нового уровня функциональных и других свойств макро- и микроизделий.

Представляется, что независимо от используемой терминологии, все эти технологии объективно представляют собой составляющие единого, самостоятельного направления в рамках общей технологии машиностроения, суть которого более полно отражается в понятии высокие технологии (ВТ).

Высокими будем считать такие технологии, которые, обладают совокупностью основных признаков: наукоемкостью, системностью, структурно-параметрической оптимизацией на

основе физического и математического моделирования. ВТ характеризуются высокой эффективностью рабочего процесса размерной обработки, компьютерной технологической средой и, на этой основе, автоматизацией на всех этапах разработки и реализации, устойчивостью и надежностью, экологической чистотой. При этом должно иметься соответствующее техническое обеспечение (прецизионное оборудование, оснастка и инструмент) а также кадровое сопровождение, определяющее необходимый характер рабочей технологической среды, систему диагностики.

Достигаемый с помощью высоких технологий новый уровень функциональных, эстетических и экологических свойств изделий при соблюдении экономической целесообразности гарантирует конкурентоспособность продукции.

Достижению такого уровня свойств подчинены все структурные составляющие высоких технологий *(рис. 8.1)*.

Самым общим признаком высоких технологий является **наукоемкость**, отражающая то обстоятельство, что они базируются на новейших результатах фундаментальных и специальных прикладных исследований.

**Системность** предполагает диалектическую взаимосвязь, взаимодействие всех элементов технологической системы, всех основных процессов, явлений и их составляющих. Системность особо важна для обеспечения прецизионности и соответствия этим требованиям всех структурных элементов технологической системы обработки и сборки (оборудования, инструмента, обрабатываемого материала, оснастки, средств и методов измерения, диагностики).

Системный подход предполагает также использование не отдельных математических моделей, а системы взаимосвязанных моделей с непременной структурной и параметрической оптимизацией. Например, параметрическая оптимизация преследует цель минимизации ряда характеристик процесса размерной обработки, прежде всего энергетических затрат, минимизации толщины срезов, силы резания и уровня температуры, интенсивности окислительных и диффузионных процессов и т.д.

Важнейшим признаком ВТ, безусловно, является рабочий процесс. Он доминирует во всей технологической системе и должен отвечать самым разнообразным требованиям, но, главное,



быть потенциально способным обеспечить достижение нового уровня функциональных свойств изделия. Здесь богатыми возможностями обладают те устойчивые и надежные рабочие процессы, в которых эффективно используются физические, химические, электрохимические и другие явления в сочетании со специальными свойствами инструмента, технологической среды, например, криогенное резание, диффузионное формообразование изделий из алмазов и т.п.

***Рис. 8.1. Структурные составляющие высоких технологий***

Несомненно, существенным признаком высоких технологий является высокий уровень автоматизации, базирующийся на **компьютерном управлении** всеми процессами проектирования, изготовления и сборки, на физическом, геометрическом и математическом моделировании, всестороннем анализе моделей процесса и его составляющих. Наличие рассматриваемого признака ВТ есть, по существу, системный подход к их компьютерно-интеллектуальной среде, т.е. переход к CAD/CAM-системам.

Таким путем обеспечивается сочетание гибкости и автоматизации, прецизионности и производительности. Очевидно, специфика высоких технологий требует специализации таких систем на узкой группе изделий или признаков.

Для высокой технологии нужна высокая степень («глубина») оптимальности для сравнительно узкого конкретного диапазона условий и требований. Базой такой оптимальности могут быть только глубокие специальные исследования в этой области, разработка автоматизированных систем научного обеспечения, специальных методов оптимизации, методов достижения прецизионности, технологического обеспечения функциональных свойств и др.

Важную роль играет техническое обеспечение высоких технологий, в рамках которого в качестве основных условий реализации выступают прецизионность оборудования, инструмента, оснастки, системы диагностики и контроля.

Все это происходит в рамках основных направлений развития, например, в технологии размерной обработки это прежде всего создание новых рабочих процессов, прецизионного оборудования и средств технологического обеспечения, новых форм построения технологических процессов. Основные направления развития каждого из этих направлений сочетаются с новейшими достижениями науки и смежных областей техники, которые являются естественными истоками высоких технологий *(рис.8.2.)*.

При этом прогресс создания рабочих процессов ВТ должен характеризоваться наиболее высокими темпами, т.е. должно выполняться соотношение



$$\frac{dРП}{d\tau} > \frac{dО}{d\tau} > \frac{dСТО}{d\tau} > \frac{d\Phi_{орг}}{d\tau},$$

где $\tau$ – время, а каждое частное отражает скорость разработки соответственно, *РП* – рабочих процессов, *О* – оборудования, *СТО* – средств технологического оснащения, $\Phi_{орг}$ – форм организации технологического процесса.

***Рис. 8.2. Основные направления развития технологии размерной обработки***

## 8.4. КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ[9]

В современных условиях в машиностроении отмечается все возрастающая роль малых и средних предприятий, которые характеризуются в сравнении с крупными заводами лучшими условиями стратегического управления и бюджетирования *(см. табл. 8.2)*.

С точки зрения внедрения стратегического менеджмента в систему управления малым предприятием, бюджетирование – это инструмент комплексного совершенствования деятельности предприятия, обеспечивающий согласование стратегических и оперативных планов, приведение затрат в соответствие с качеством продукции, выявление и исключение необоснованных расходов всех видов ресурсов, совершенствование организационной и построение финансовой структур управления и обеспечение их соответствия.

Деятельность малых и средних инновационных машиностроительных предприятий (МСИП) ставит ряд новых вопросов.

К таким вопросам можно отнести, в первую очередь, все возрастающие возможности автоматизации процедур решений конструкторских и технологических задач. Эти новые возможности обусловлены особенностями современного технологического оборудования с ЧПУ, что позволяет по-другому решать проблемные вопросы технологии. Новое оборудование может обуславливать нетипичные возможности с точки зрения классического представления о технологии машиностроения. К такому оборудованию относятся токарные станки с приводным инструментом, токарно-фрезерные многокоординатные обрабатывающие центры, пятикоординатные обрабатывающие центры с одновременным управлением по 5 осям, многокоординатные электроэрозионные проволочные станки и др. Инновационные технологии, основанные на новых возможностях многокоординатного управления формообразованием и повышенной точности данного оборудования, совместно с применением современного

[9] Аверчинков А. В. Автоматизация технологической подготовки производства для малых инновационных предприятий в машиностроении: дис. доктора техн. наук – 05.13.06 / – Брянск. Брянский государственный технический университет, 2012 – 376 с.



инструмента, позволяют свести в одну технологическую операцию задачи по обработке деталей, выполняемых в классической технологии машиностроения на нескольких единицах оборудования и, что особенно важно, позволяют по-новому взглянуть на технологичность изделий.

**Таблица 8.2**

***Взаимосвязь особенностей малых и средних предприятий и их преимущества в стратегическом управлении***

| Особенности малых предприятий | Преимущества для стратегического управления |
|---|---|
| Руководитель предприятия – предприниматель | Позволяет максимально использовать потенциал предпринимателя (высокая мотивация и самоорганизация) |
| Простая и гибкая структура управления | Упрощается процесс координации и контроля |
| Взаимозаменяемость сотрудников | Высокая концентрация знаний |
| Высокая скорость прохождения информации | Эффективность коммуникаций |
| Сильные личностные связи | Практически нет проблем с координацией |
| Хорошая управляемость малых предприятий | Преимущества для стратегического управления |
| Высокая мотивация сотрудников и удовлетворенность своим трудом | Способствует развитию интрапренерства (корпоративного предпринимательства) |
| Недостаток управленческих знаний и опыта | Возникает мотивация к повышению профессионального уровня |
| Высокая доля интуитивных решений | Дает возможность подкрепить решения достоверными данными |
| Ограниченность времени и перегрузка сотрудников | Способствует эффективному распределению рабочего времени |

Информационное обеспечение деятельности МСИП в машиностроении осуществляется в поле действия единого информационного пространства (ЕИП). Автоматизированные системы и модули получают информацию и взаимодействуют между со-

бой через ЕИП. На *рис. 8.3* показаны связи автоматизированных систем с базой знаний и единым информационным пространством, соответствующие следующим номерам:

1. CAD/CAM/CAE – системы являются базовым звеном автоматизации процесса подготовки производства МСИП. Они используют информацию большинства вспомогательных систем и хранят данные в базе знаний МСИП.
2. САПР ТП получают из базы знаний (БЗ) МСИП конструкторскую документацию на изделия в виде чертежей и конструкторско-технологических элементов (КТЭ) деталей. В БЗ передаются разработанные технологические процессы изготовления деталей.
3. Системы автоматизации документооборота и управления производством управляют информационными потоками в ЕИП МСИП, решают складские, логистические, экономические, бухгалтерские и ряд других задач.
4. Автоматизированные системы подбора метало-обрабатывающего инструмента на основе данных из БЗ подготавливают рекомендации по выбору рационального инструмента и передают их через ЕИП в CAM-системы и САПР ТП.
5. Автоматизированные системы интеграции CAD и САПР ТП на основе 3D-модели и конструкторского чертежа из БЗ распознают и составляют КТЭ деталей для автоматизированного проектирования на их основе технологических процессов в САПР ТП.
6. Автоматизированные системы выбора стратегий обработки на основе данных из БЗ подготавливают рекомендации для CAM-систем по коррекции стратегий обработки с целью уменьшения машинного времени.
7. Автоматизированная система информационного поиска отслеживает глобальные сети на предмет поиска новой информации и технологий в области конструкторско-технологической информации, а также актуализирует БЗ МСИП. Доступ к информационным и вычислительным («облачные технологии») ресурсам сети Интернет обеспечивает актуализацию информационного наполнения БЗ и ряд других общеизвестных возможностей. Доступ к онлайн-сервисам открывает для МСИП ряд специфических возможностей, таких как онлайн-заказ материалов и инструмента.



8. ЕИП МСИП может быть связано через глобальные сети с ЕИП других МСИП или крупных предприятий в рамках виртуальных предприятий. В этом случае в ЕИП связанных предприятий начинают действовать некоторые общие установленные правила и закономерности.

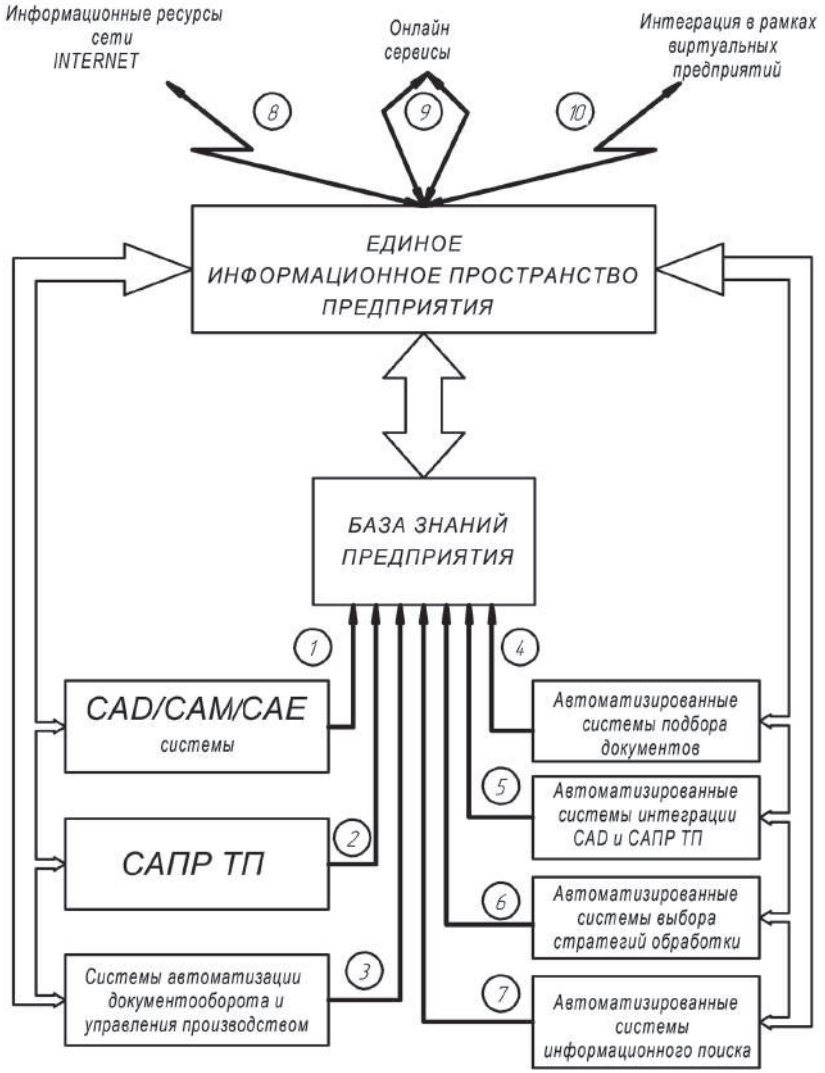



***Рис. 8.3. Структура единого информационного пространства предприятия***

Решение задач по автоматизации деятельности МСИП требует информационной поддержки в виде базы знаний, включающей в себе как общедоступную информацию, так и специализированную информацию по деятельности конкретного МСИП.

В общем виде основные потребности МСИП в информационных ресурсах для ТПП можно свести в следующую *табл. 8.3*.

**Таблица 8.3**

***Базовые информационные ресурсы для ТПП***

| № | Название | Основное содержание ресурса | Взаимосвязанные ресурсы |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Конструкторско-технологическая информация | 3D-модели деталей, чертежи, технологические процессы | |
| **ОБОРУДОВАНИЕ** | | | |
| 2 | Токарное металлообрабатывающее оборудование | Габаритные размеры, масса, мощность и частота вращения привода главного движения (ПГД), мощность для приводного инструмента, максимальный диаметр обточки, максимальный диаметр прутка, количество инструментов в суппорте (револьверном барабане), размеры инструмента, точность обработки, система ЧПУ | |
| 3 | Фрезерное металлообрабатывающее оборудование | Габаритные размеры, масса, мощность и частота вращения ПГД, размеры стола, максимальная масса детали, количество одновременно управляемых координат, количество инструментов в инструментальном магазине, размеры инструмента (конус оправок), точность обработки, система ЧПУ | |



**Продолжение табл. 8.3**

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 4 | Электроэрозионное проволочное оборудование | Габаритные размеры, масса, мощность электрогенератора, размеры стола, максимальная масса детали, количество одновременно управляемых координат, система ЧПУ | |
| 5 | Станки для изготовления и заточки режущего инструмента | Габаритные размеры, масса, максимальные размеры изготавливаемого инструмента, количество управляемых режущих инструментов, точность, система ЧПУ, количество возможных для изготовления конфигураций инструмента | |
| 6 | Технологические установки для гидроабразивной, плазменной и лазерной резки материалов | Габаритные размеры, масса, точность, максимальная ширина реза, система ЧПУ | |
| 7 | Технологическое оборудование заготовительного производства | Габаритные размеры, масса, точность, вид оборудования, массогабаритные характеристики получаемых заготовок | |
| **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ** | | | |
| 8 | Токарные державки | Размер резцедержателя, тип быстросменных пластин, левый/правый, наружная/внутренняя обработка, производитель | Быстросменные твердосплавные пластины для токарной обработки. Режимы резания. Основные стратегии инструментальной обработки |

**Продолжение табл. 8.3**

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 9 | Быстросменные твердосплавные пластины для токарной обработки | Инструментальный материал, покрытие, главный угол в плане, задний угол, передний угол, область применения, стружколом, вид обработки, размеры, количество граней, производитель | Токарные державки. Режимы резания |
| 10 | Сверла монолитные | Диаметр, максимальная глубина сверления, инструментальный материал, покрытие, установочный размер и стандарт, производитель | Режимы резания |
| 11 | Сверла со сменными пластинами | Диаметр, максимальная глубина сверления, тип быстросменных пластин, выполняемые операции, установочный размер и стандарт, производитель | Быстросменные твердосплавные пластины для сверл. Режимы резания. Основные стратегии инструментальной обработки |
| 12 | Быстросменные твердосплавные пластины для сверл | Инструментальный материал, покрытие, главный угол в плане, задний угол, передний угол, область применения, стружколом, вид обработки, размеры, производитель | Сверла со сменными пластинами. Режимы резания |
| 13 | Монолитные фрезы | Диаметр, инструментальный материал, количество зубьев, тип обработки, длина режущей части, покрытие, форма, производитель | Режимы резания |
| 14 | Корпусные фрезы | Размеры и установочный стандарт, количество пластин, возможные стратегии обработки, производитель | Быстросменные твердосплавные пластины для фрез. Основные стратегии инструментальной обработки |



**Продолжение табл. 8.3**

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 15 | Быстросменные твердосплавные пластины для фрез | Инструментальный материал, покрытие, главный угол в плане, задний угол, передний угол, область применения, вид обработки, размеры, количество граней | Корпусные фрезы. Режимы резания |
| 16 | Расточные оправки | Размеры и установочный стандарт, количество пластин, производитель, точность обработки | Быстросменные твердосплавные пластины для токарной обработки. Режимы резания |
| 17 | Комбинированный и специальный инструмент | Размеры и установочный стандарт, область применения, производитель, точность обработки | Режимы резания. Основные стратегии инструментальной обработки |
| 18 | Расточные оправки | Размеры и установочный стандарт, количество пластин, производитель, точность обработки | Быстросменные твердосплавные пластины для токарной обработки. Режимы резания |
| 19 | Комбинированный и специальный инструмент | Размеры и установочный стандарт, область применения, производитель, точность обработки | Режимы резания. Основные стратегии инструментальной обработки |
| **ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ** | | | |
| 20 | Формализованные конструкторско-технологические элементы деталей | Тип КТЭ, возможные элементы второго уровня, размерные характеристики, точностные характеристики | Основные стратегии инструментальной обработки. Формализованное преставление основных конструкторских обозначений |
| 21 | Формализованное преставление основных конструкторских обозначений | Взаимосвязи геометрических элементов конструкторских обозначений на чертеже, закономерности размещения | Формализованные конструкторско-технологические элементы деталей |

**Продолжение табл. 8.3**

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 22 | Элементы технологических приспособлений УСП | Стандарт, тип элемента, точность, размерные характеристика | |
| 23 | Режимы резания | Скорость резания, подача на оборот, минутная подача, подача на зуб, частота вращения инструмента, глубина резания, поправочные коэффициенты | Токарные державки. Быстросменные твердосплавные пластины для токарной обработки. Сверла со сменными пластинами |
| **ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ** | | | |
| 24 | Основные конструкционные материалы и их характеристики | Тип материала, содержание углерода, содержание легирующих элементов, предел прочности, достижимые характеристики при термообработке, обрабатываемость, литейные характеристики, возможность обработки давлением, производитель, стандарт | Сортамент заготовительного производства. Режимы резания |
| 25 | Сортамент заготовительного производства | Тип сортамента, размерные характеристики, стандарт, поставщики | Основные конструкционные материалы и их характеристики |
| **ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ** | | | |
| 26 | Основные стратегии инструментальной обработки | Тип стратегии, требования к технологической системе | Токарные державки. Сверла со сменными пластинами. Монолитные фрезы. Корпусные фрезы. Комбинированный и специальный инструмент. Формализованные конструкторско-технологические элементы деталей |



**Продолжение табл. 8.3**

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ** | | | |
| 27 | Ведение бухгалтерского учета | Данные по проведенным платежам, дебиторская кредиторская задолженность, бухгалтерские данные | Складские задачи |
| 28 | Складские задачи | Наличие материалов и инструментов на складе, наличие готовой продукции на складе, логистические связи | Ведение бухгалтерского учета |
| 29 | База данных по актуальному законодательству | Законы, постановления, распоряжения, нормативные акты, государственные стандарты | |
| 30 | Набор баз данных для автоматизации информационного поиска | Информационно-поисковый тезаурус, выборки актуальных данных, текстовые и графические хранилища данных | |

На основе информационных ресурсов при технологической подготовке производства обеспечивается техническое перевооружение, реконструкция и расширение отдельных производственных участков, а также модернизация оборудования.

Важно выделять основные факторы, определяющие уровень ТПП, в том числе:

– *Экономические факторы* – поэтапное опережающее финансирование работ технологической подготовки производства; предоставление льготных кредитов; создание фонда стимулирования освоения (постановки на производство) новой техники.

– *Организационные факторы* – развитие и углубление специализации производства; аттестация качества технологических процессов и изготовленных средств технологического оснащения, нестандартного оборудования по результатам изготовления опытного образца или первой промышленной

партии изделий основного производства, улучшение организации вспомогательного производства; совершенствование взаимоотношений между вспомогательным и основным производством; расширение внутризаводского, межзаводского, внутриотраслевого кооперирования.

– *Социальные факторы* – повышение квалификации исполнителей; механизация и автоматизация производственных и вспомогательных операций с целью улучшения условий труда, развитие социальной сферы; улучшение психологической атмосферы в коллективе.

Все вышеотмеченное позволяет заключить, что технологическая подготовка по постановке продукции на производство является базой научно-технического прогресса на предприятии.

## 8.4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ [10]

В настоящее время существенным фактором повышения конкурентоспособности становится сокращение сроков выпуска продукции. Одним из наиболее перспективных способов решения этой задачи является уменьшение времени технологической подготовки производства. Современный подход к этому вопросу лежит, в том числе, в области автоматизации ТПП. Наиболее трудоемкая на этапе ТПП задача – разработка технологических процессов, и помочь здесь может использование систем автоматизированного проектирования техпроцессов, например, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, САПР ТП ТехноПро, САПР ТП TechnologyExpert, Модуль ЧПУ Токарная обработка в КОМПАС 15 и др.

По исследованиям АСКОН, только 7% промышленных предприятий используют САПР ТП в практической деятельности, однако, существуют тенденции, обуславливающие рост их числа. Увеличение доли автоматизации ТПП связано с рядом технических и экономических причин:

– изделия усложняются, что приводит к возрастанию сложности и увеличению трудоемкости проектирования технологических процессов;
– широко внедряется использование станков с числовым программным управлением, что требует применения современных автоматизированных систем разработки управляющих программ и технологических процессов;

[10] *Раздел написан Савостенко А.В.*



– снижается количество серийной продукции в сторону «позаказной», что ведет к росту доли ТПП в общей себестоимости изделия и к увеличению частоты создания новых технологий.

Кроме финансовых и инженерных соображений значительный вклад в увеличение спроса на САПР ТП дают кадровые проблемы промышленности. Технологическое проектирование гораздо более зависимо от опыта исполнителя, чем конструирование.

Зависимость работы технологических служб от ключевых специалистов, сложность передачи опыта молодым сотрудникам и поиска подходящего опытного специалиста, сложность и продолжительность обучения молодых кадров специфике отрасли и предприятия побуждают производителей искать решение этого вопроса в области автоматизации труда технолога.

Таким образом, внедрение в ТПП автоматизированных систем, повышает эффективность решения имеющихся проблем как экономического, так и кадрового характера.

Особенности работы в САПР ТП рассмотрены на примере программы **TechnologyExpert**, которая состоит из двух модулей – первый встраивается в систему SolidWorks и проводит анализ 3D-геометрии деталей с указанными требованиями к точности изготовления с последующим переносом во второй модуль – автономный модуль генерации техпроцессов. Модуль работы с 3D-геометрией интегрируется непосредственно в SolidWorks при инсталляции и появляется в списке добавлений, при активации его в данном списке в SolidWorks. *(рис. 8.4, 8.5)*.

Для разработки техпроцесса предусмотрено два режима. Основной режим – автоматический, в котором анализ геометрии, формирование операций и переходов, выбор оборудования, инструмента, приспособлений и режимов резания проводится программой на основе выбранной технологом конфигурации, в зависимости от требований к обрабатываемой поверхности на 3D-модели, материала заготовки, габаритов и т.д. *(рис. 8.6, 8.7)*.

В полуавтоматическом режиме технолог, указав геометрический элемент на 3D-модели, может выбрать вариант обработки из списка доступных для данного типа элементов, при этом так же производится считывание требований точности, припуска и геометрических параметров элемента с 3D-модели *(рис.8.8)*.

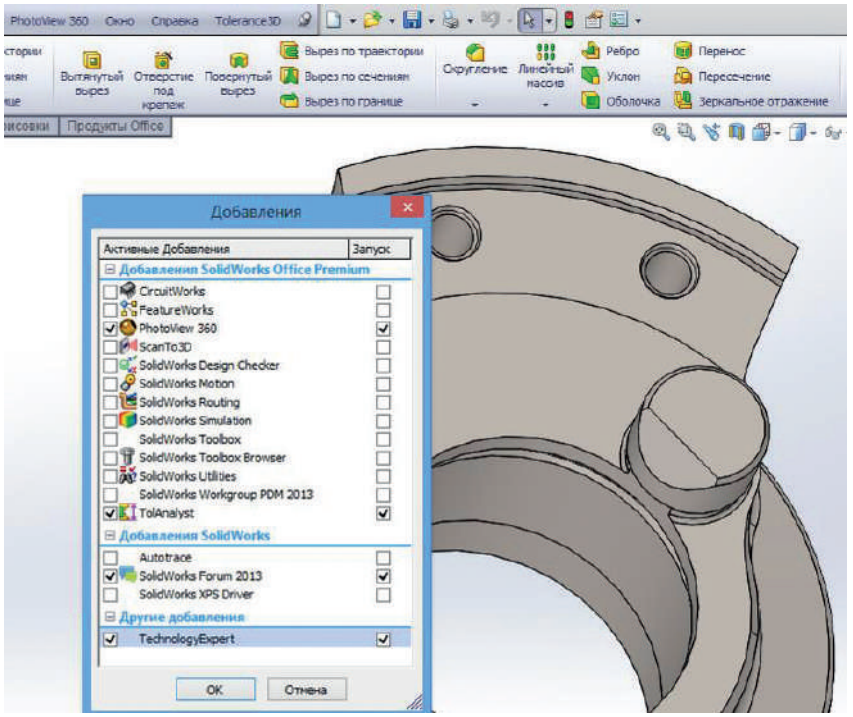



***Рис. 8.4. Добавление TechnologyExpert***

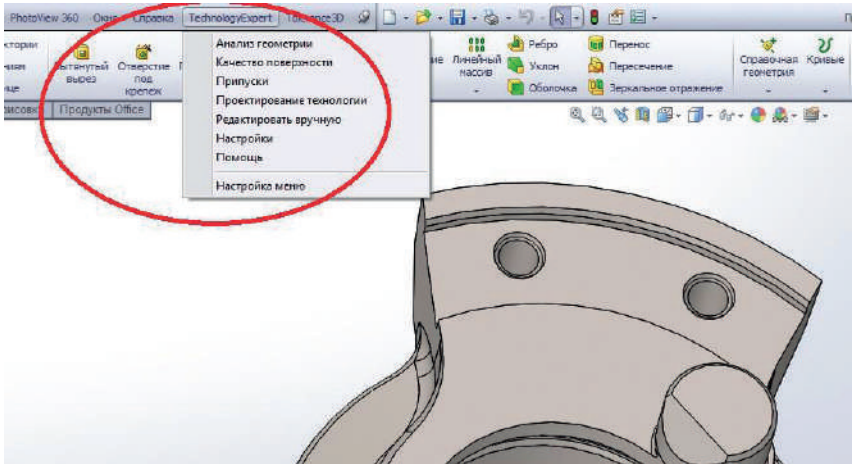
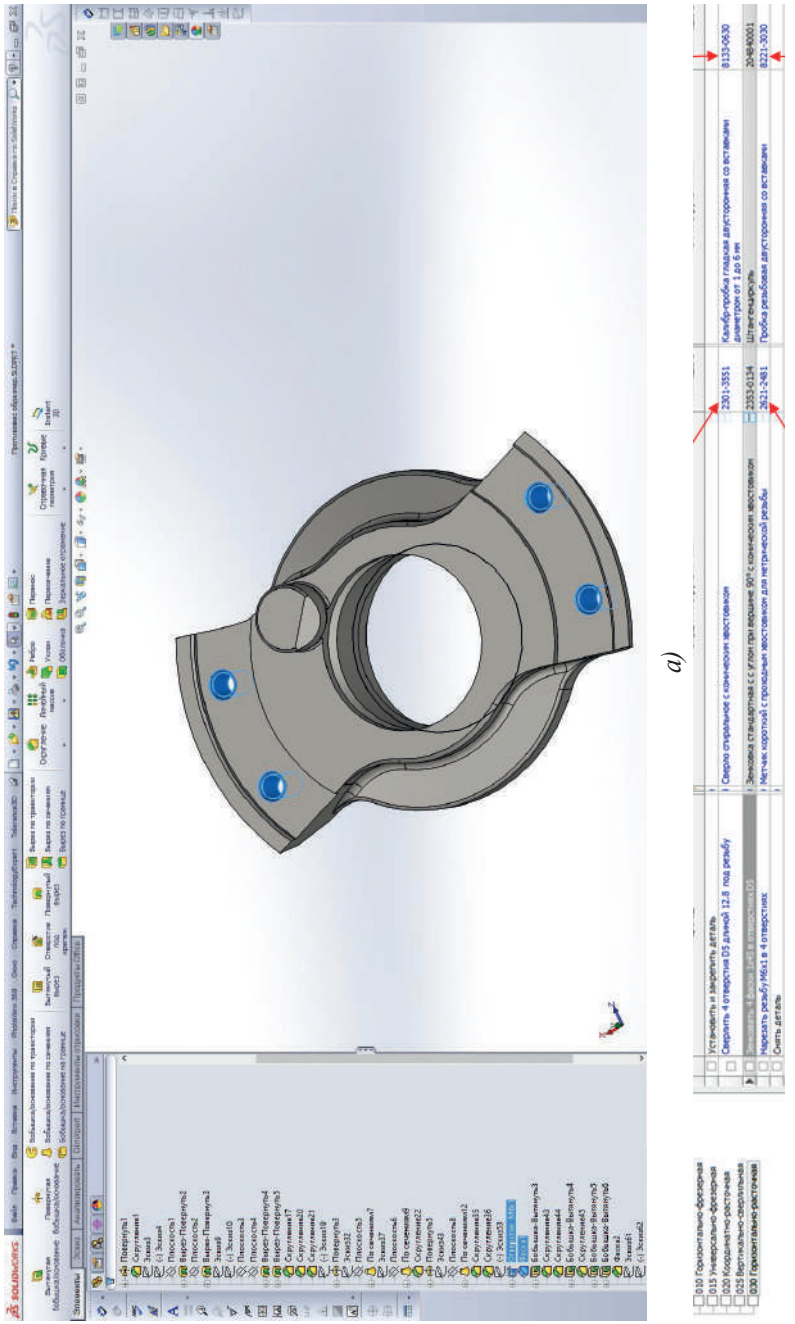


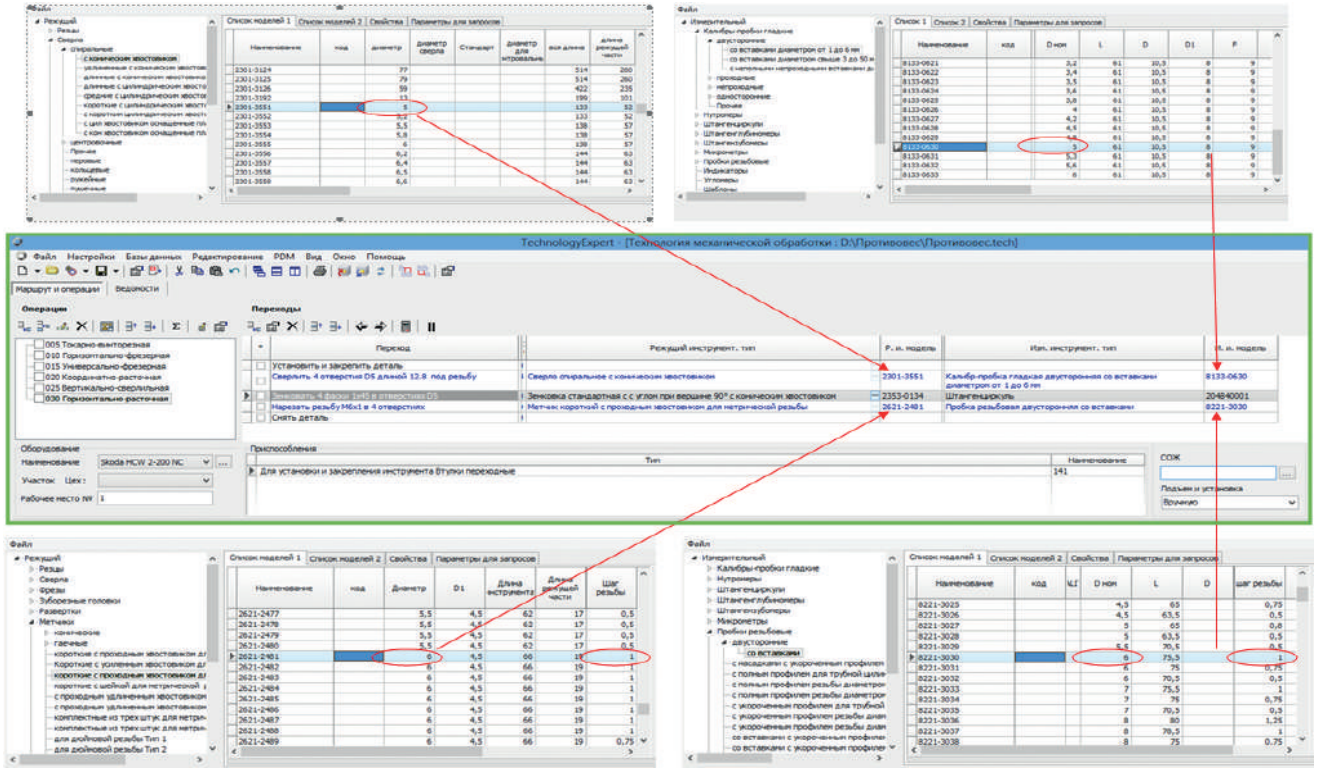

***Рис. 8.5. Ниспадающее меню TechnologyExpert для анализа конструкторско-технологических особенностей детали***





*а* *б*

***Рис. 8.6. Выбор оборудования, инструмента, приспособлений и режимов резания***



*в)*

***Рис. 8.6. Выбор оборудования, инструмента, приспособлений и режимов резания***

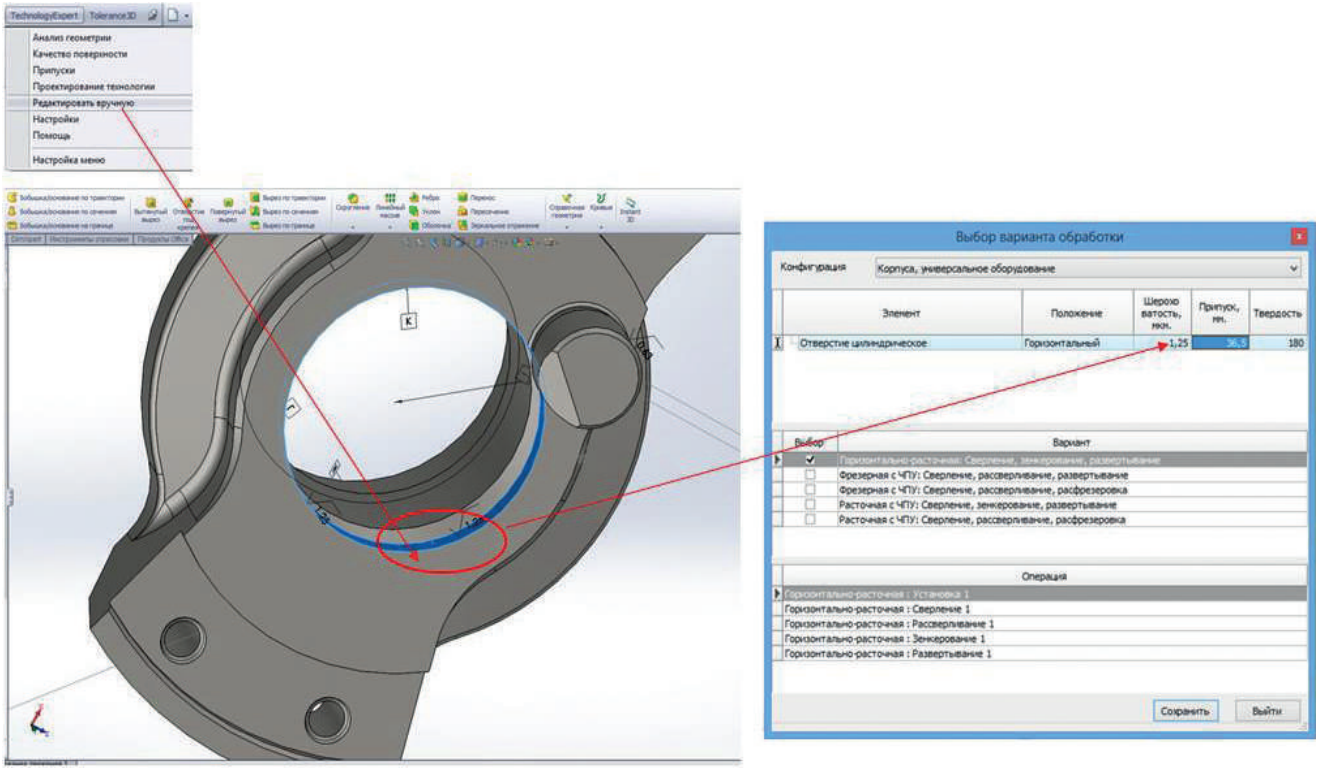


***Рис. 8.7. Выбор оборудования, инструмента, приспособлений и режимов резания в полуавтоматическом режиме***

Конфигурации (или шаблоны) обработки включают последовательность операций с соответствующими настройками по формированию переходов, выбору оборудования, инструмента, приспособлений и режимов резания до максимально возможной точности данного элемента.

При проектировании техпроцесса программа выбирает только те операции, которые необходимы для достижения точности, указанной на 3D-модели *(рис. 8.8)*.

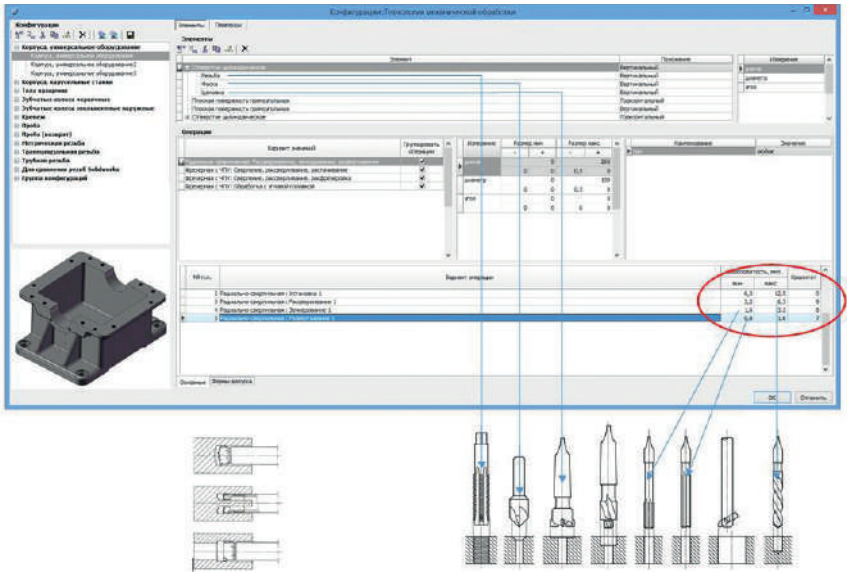


***Рис. 8.8. Выбор операций и переходов, обеспечивающих заданную точность КТЭ***

Схемы обработки определяются так же в зависимости от размеров или других параметров элемента. Например, обычное сверление или глубокое сверление.

Поддерживается экспорт-импорт конфигураций через операции экспорта-импорта, что позволяет легко реализовать обмен технологическим опытом между разными предприятиями или схему централизованной разработки типовых процессов в головном подразделении компании с последующей передачей их через файлы обмена непосредственно в производственные подразделения. При наличии 3D-модели заготовки возможно автоматическое получение припусков на обрабатываемые поверхности *(рис. 8.9)*.



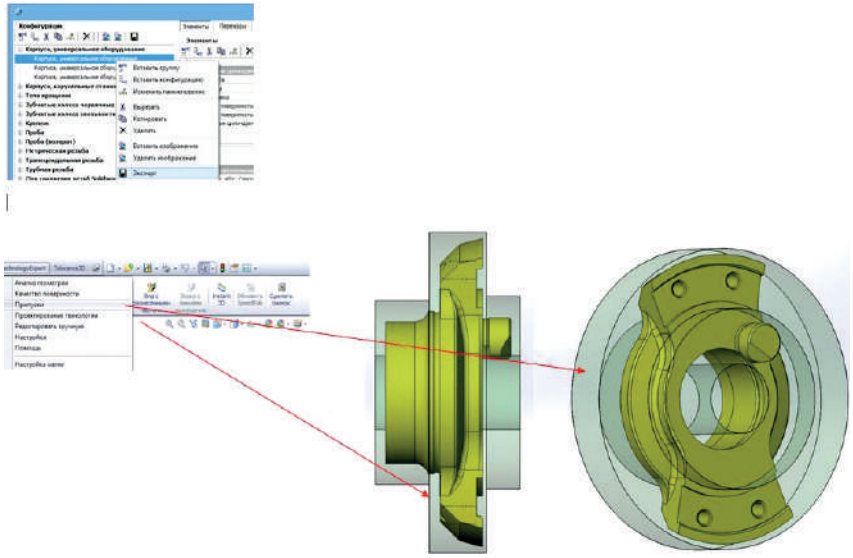


***Рис. 8.9. Автоматическое назначение припусков***

Для каждой операции предусмотрена возможность автоматически сгенерировать или указать существующую 3D-модель схемы операции в виде сборки SW, включающей приспособления, станок и инструмент, что значительно ускоряет разработку эскизов, карт наладок и разработки программ ЧПУ *(рис. 8.10)*.

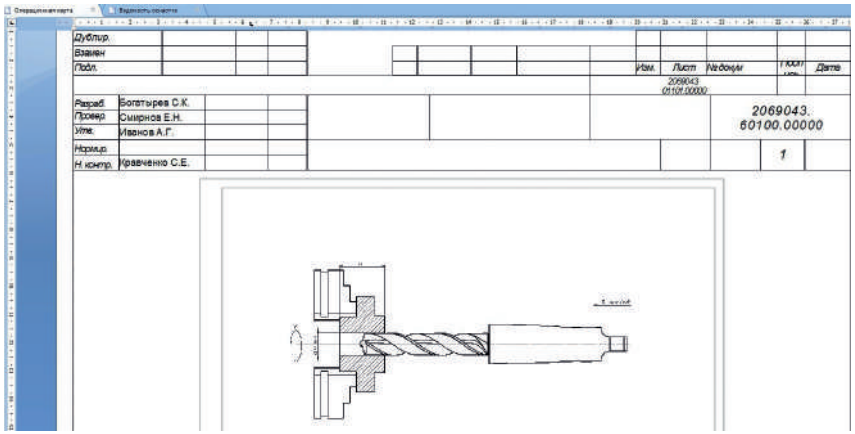
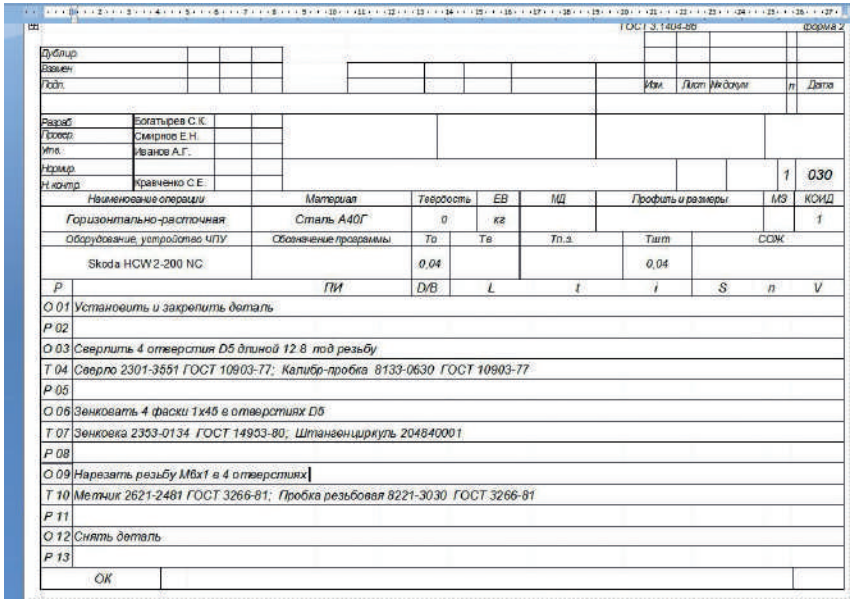



***Рис. 8.10. Фрагмент КЭ при автоматическом внесении изменений***

Связанные с операцией файлы 3D-моделей, эскизов и программ ЧПУ автоматически связываются с базовым файлом 3D-модели детали и техпроцесса в системе SolidWorks Enterprise PDM, что значительно упрощает и ускоряет управление, внесение изменений и уведомление задействованных в проекте лиц. Для полной интеграции с PDM системой доступ к функциям SolidWorks Enterprise PDM для текущего проекта реализован так же непосредственно из программы через соответствующее меню.

При генерации технологических карт в виде печатных документов связанные операциями эскизы в формате чертежей SW переносятся в печатный документ.

Поскольку эскизы операций связаны с 3D-моделями, то данный подход облегчает внесение изменений в документацию, т.к. при изменении исходных 3D -моделей эскизы перестраиваются автоматически. Генерация маршрутной, операционной технологических карт, ведомостей оснастки, материалов, оборудования и др. печатной документации в соответствии с ЕСТД производится автоматически. Технологу достаточно только выбрать типы документов для генерации. Возможно так же создавать собственные формы печатных документов в конструкторе отчетов.



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Разраб. | Богатырев С.К. | | | | | | | | |
| Провер. | Смирнов Е.Н. | | | | | | | | |
| Утв. | Иванов А.Г. | | | | | | | | |
| Нормир. | | | | | | | | 1 | 030 |
| Н.контр. | Кравченко С.Е. | | | | | | | | |

| Наименование операции | Материал | Твердость | ЕВ | МД | Профиль и размеры | МЗ | КОИД |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Горизонтально-расточная | Сталь А40Г | 0 | кг | | | | 1 |

| Оборудование, устройство ЧПУ | Обозначение программы | То | Тв | Тп.з. | Тшт | СОЖ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Skoda HCW2-200 NC | | 0,04 | | | 0,04 | |

| Р | ПИ | D/B | L | t | i | S | n | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| О 01 | Установить и закрепить деталь | | | | | | | |
| Р 02 | | | | | | | | |
| О 03 | Сверлить 4 отверстия D5 длиной 12.8 под резьбу | | | | | | | |
| Т 04 | Сверло 2301-3551 ГОСТ 10903-77; Калибр-пробка 8133-0630 ГОСТ 10903-77 | | | | | | | |
| Р 05 | | | | | | | | |
| О 06 | Зенковать 4 фаски 1х45 в отверстиях D5 | | | | | | | |
| Т 07 | Зенковка 2353-0134 ГОСТ 14953-80; Штангенциркуль 204840001 | | | | | | | |
| Р 08 | | | | | | | | |
| О 09 | Нарезать резьбу М8х1 в 4 отверстиях | | | | | | | |
| Т 10 | Метчик 2621-2481 ГОСТ 3266-81; Пробка резьбовая 8221-3030 ГОСТ 3266-81 | | | | | | | |
| Р 11 | | | | | | | | |
| О 12 | Снять деталь | | | | | | | |
| Р 13 | | | | | | | | |
| | ОК | | | | | | | |

***Рис. 8.11. Фрагмент операционной карты***



```
N1 G90
N2 G40
N3 S500 F0.35
N4 M03
N5 G00 X500 Z250
N6 T001
N7 G00 X70.8 Z1.9
N8 CYCLE95 ("KONTUR_1", 2.5, , , , 0.5, 0.25, 0.15
N9 G00 X37.8
N10 G01 Z-39.6
N11 G01 X42.8
N12 G01 Z-56.1
N13 G01 X48.88
N14 G01 X48.83 Z-56.52
N15 G03 X65.95 Z-65.09 CR=8.1
N16 G01 X66.8 Z-65.06
```

***Рис. 8.12. Фрагмент управляющей программы в кодах системы ЧПУ SINUMERIK 8020***

**FeatureCAM** – система для подготовки управляющих программ с высокой степенью автоматизации принятия решений, что позволяет минимизировать время разработки УП для станков с ЧПУ. В основе CAM-системы лежит автоматическое распознавание типовых элементов твердотельной модели и их автоматическая обработка с применением встроенной технологической базы знаний.

До 2014 г. фирмой АСКОН разработка управляющих программ для станков с ЧПУ охвачена не была. Появление программного продукта **КОМПАС 15.1 «Модуль ЧПУ-токарная обработка»** коренным образом меняет сложившуюся ситуацию в лучшую сторону. Включение программного продукта КОМПАС 15.1 «Модуль ЧПУ-токарная обработка» в состав читаемых дисциплин в университетах для подготовки технологов-машиностроителей позволит существенно повысить качество их подготовки.

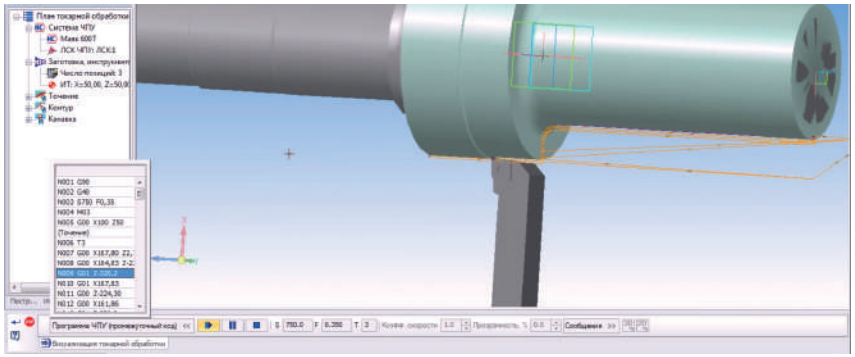


***Рис. 8.13. Визуализация токарной обработки в среде КОМПАС 15.1 «Модуль ЧПУ-токарная обработка»***

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. Аверчинков А.В. Автоматизация технологической подготовки производства для малых инновационных предприятий в машиностроении: дис. доктора техн. наук– 05.13.06 / – Брянск. Брянский государственный технический университет, 2012. – 376 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. т.1, 2, – М.: 1986. – 830 с.
3. Барбашов Ф.В. Фрезерные и зуборезные работы. / Ф.В. Барбашов, Б.Н. Сельверстов // – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.
4. Грановский Э.Г. Приспособление для станков с программным управлением / Э.Г. Грановский, В.П. Тихонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 50 с.
5. Горошкин А.К. Приспособление для металлорежущих станков / А.К. Горошкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 300 с.
6. Грабченко А.И. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / А.И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 430 с.
7. Дидык Р.П. Технология производства и ремонт горных машин / Р.П. Дидык, В.Н. Забара, П.М. Шилов. – Д.: «Наука и образование»,1999. – 470 с.
8. Дидык Р.П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів. Точіння, свердління, зенкерування, розгортання. / Р.П. Дидык, В.В. Зиль, С.Т. Пацера. – Д.: «Національний гірничий університет», 2013. – 196 с.
9. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – 6-е. изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч. 1. 543 с.
10. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – 6-е. изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – Ч. 2. 448 с.
11. Козлов Д.Н. Зуборезные работы / Д.Н. Козлов. – М.: Машиностроение,1971. - 250 с.
12. Константинов О.Я. Магнитная технологическая оснастка / Константинов О.Я. – Л.: Машиностроение, 1974. – 288 с.

13. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / В.С. Корсаков. – М.: Машиностроение, 1971. – 288 с.
14. Косилова А.Г. Точность обработки заготовки и припуски в машиностроении: Справочник технолога / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.А. Калинин. – М.: Машиностроение, 1976. – 250 с.
15. Лавриненко М.З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. / М.З. Лавриненко. – К.: Вища школа, 1982, – 230 с.
16. Ловыгин А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-системы / А.А. Ловыгин, Л.В. Теверовский. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 279 с.
17. Паньков М. Токарная обработка как начало CAM-истории в АСКОН / М. Паньков //САПР и графика. – 2013. – №7. – С.37 – 43.
18. Петраков Ю.В.. Автоматическое управление процессами резания / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев. – Старый Оскол: «Тонкие наукоемкие технологии», 2011. – 405 с.
19. Петраков Ю.В. Моделирование процессов резания издательство / Ю.В. Петраков, О.И. Драчев. – Старый Оскол: «Тонкие наукоемкие технологии», 2011, – 239 с.
20. Производство зубчатых колес. Справочник. // М.: Машиностроение, 1975. – 380 с.
21. Серебреницкий П.П. Краткий справочник станочника / П.П. Серебреницкий. – Л.: Лениздат, 1982. 300 с.
22. Суслов А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
23. Цехмистро И.С. Технология изготовления деталей и сборки машин. Учебное пособие / И.С. Цехмистро. – Д.: ГИПОмет, 2002. – 190 с.
24. Якушев А.Н. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.Н. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – 323 с.