

***В.С. Кривцов, В.Т. Сикульский,
Ю.В. Дьяченко, А.П. Кириенко***

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА**

2004

3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

75-летию ХАИ посвящается

***В.С. Кривцов, В.Т. Сикульский,
Ю.В. Дьяченко, А.П. Кириенко***

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА

Учебное пособие

Харьков «ХАИ» 2004

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Национальный аэрокосмический университет

им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

75-летию ХАИ посвящается

***В.С. Кривцов, В.Т. Сикульский,
Ю.В. Дьяченко, А.П. Кириенко***

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА

Учебное пособие

Харьков «ХАИ» 2004

Технология изготовления деталей летательных аппаратов с удалением припуска / В.С. Кривцов, В.Т. Сикульский, Ю.В. Дьяченко, А.П. Кириенко. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 182 с.

Рассмотрены общие вопросы обработки деталей планера ЛА с удалением припуска, конструктивно-технологические особенности ЛА как объекта производства, основные виды заготовок и полуфабрикатов для изготовления типовых деталей, классификация заготовительно-обработочных процессов, структура технологического процесса обработки резанием, режим резания и нормирование операций обработки с удалением припуска.

Представлены геометрические параметры системы резания, технологические особенности и конструкция режущего инструмента для основных видов обработки – точения, сверления, фрезерования, шлифования, особенности обработки композиционных материалов, методы упрочняющей обработки для повышения усталостной прочности деталей ЛА.

Приведены рекомендации по выбору типовых траекторий инструмента, технологических параметров черновой, получистовой и чистовой обработки, созданию типовых циклов контурной обработки.

Дан анализ основных направлений интенсификации процессов обработки с удалением излишнего материала, в том числе на базе компьютерных интегрированных технологий CAD/CAM.

Для студентов, изучающих дисциплины, связанные с самолето- и вертолетостроением, производством летательных аппаратов, а также с системами автоматизированного проектирования.

Ил. 113. Табл. 1. Библиогр.: 35 назв.

Рецензенты: лауреат Государственной премии Украины В.И. Заяц,
канд. техн. наук, доц. В.Г. Чистяк

© Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее значимых факторов технического прогресса в машиностроении, как и в других отраслях, является совершенствование технологии производства. Особенность современного производства – применение новых конструкционных материалов: жаропрочных, коррозионно-стойких, композиционных, порошковых, полимерных и др.

Обработка этих материалов требует совершенствования существующих технологических процессов и создания новых методов, основанных на совмещении механического, теплового, химического и электрического воздействия.

Процесс резания сопровождается упругими и пластическими деформациями, разрушением материала, трением, износом режущего инструмента, вибрациями отдельных деталей и узлов и в целом технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД). Знание закономерностей этих явлений позволяет выбирать оптимальные условия, обеспечивающие производительную и качественную обработку деталей.

Процесс резания представляет собой комплекс чрезвычайно сложных явлений, зависящих от физико-механических свойств обрабатываемого материала, качества режущего инструмента, условий резания, состояния станка, жесткости технологической системы.

Физические явления, составляющие процесс резания, определяют необходимую основу для конструирования инструментов, станков и приспособлений, а также для создания более совершенных методов обработки. Исходя из анализа физического механизма резания, определяют оптимальный режим резания, т. е. такое сочетание глубины резания, подачи и скорости резания при заданном виде заготовки и технических условиях на обрабатываемую деталь, при котором максимально используются режущие свойства инструмента и возможности станка и оснастки. Оптимальные условия резания обеспечивают получение наибольшей производительности труда или наименьшей себестоимости изготавливаемой продукции.

Отмечена тенденция роста объема механической обработки по мере расширения применения в конструкции современных летательных аппаратов (ЛА) монолитных деталей и узлов сложных пространственных форм, повышения физико-механических свойств используемых материалов и ужесточения требований к весовой эффективности изделий и точности обработки. В связи с этим большую актуальность приобретают задачи повышения эффективности механической обработки, решение которых способствует снижению трудовых затрат, уменьшению эксплуатационных расходов, повышению производительности отдельных операций, автоматизации обработки сложных обводообразующих поверхностей деталей ЛА.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЛА С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА

1.1. Конструктивно-технологические особенности ЛА как объекта производства

Изделиями основного производства предприятий аэрокосмической отрасли являются в первую очередь следующие виды ЛА: самолеты и вертолеты специального и многоцелевого назначения, компоненты ракетно-космических систем – спускаемые аппараты, ракеты, разгонные блоки, воздушно-космические самолеты (рис. 1.1).

Согласно ГОСТ 2.101–68 *изделием* называется любой предмет производства, подлежащий изготовлению на предприятии.

Приведем термины и определения основных понятий в соответствии с ГОСТ 3.1109–82:

- **деталь** – изделие, изготавливаемое из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций;

- **полуфабрикат** – предмет труда, подлежащий дальнейшей обработке на предприятии-потребителе;

- **заготовка** – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, точности, шероховатости или свойств материала получают готовые детали;

- **исходная заготовка** – заготовка перед первой технологической операцией;

- **основной материал** – материал исходной заготовки.

Среди других изделий современного машиностроения ЛА как объекты производства обладают рядом специфических особенностей.

Большая номенклатура и многодетальность планера. Детали планера ЛА отличаются друг от друга по назначению и виду, имеют большой перечень наименований – номенклатуру. Количество деталей в конструкции планера ЛА превышает сотни тысяч единиц, используется большое количество однотипных деталей, в том числе крепежных, что дает основание называть конструкцию многодетальной.

Большая номенклатура используемых материалов. Номенклатура применяемых в конструкции планера ЛА материалов насчитывает несколько сотен наименований. Примерно 50% общего количества деталей планера ЛА изготавливают из алюминиевых и магниевых сплавов, 25% – из легированных высокопрочных сталей и титановых сплавов. Непрерывно расширяется объем использования в конструкции планера ЛА композиционных материалов. Напряженный тепловой режим работы узлов космических ЛА в агрессивной среде и в условиях вакуума вызывает необходимость применения новых материалов со специальными эксплуатационными свойствами (жаропрочностью, коррозионной и химической стойкостью). Эти материалы имеют низкую обрабатываемость традиционными методами резания.

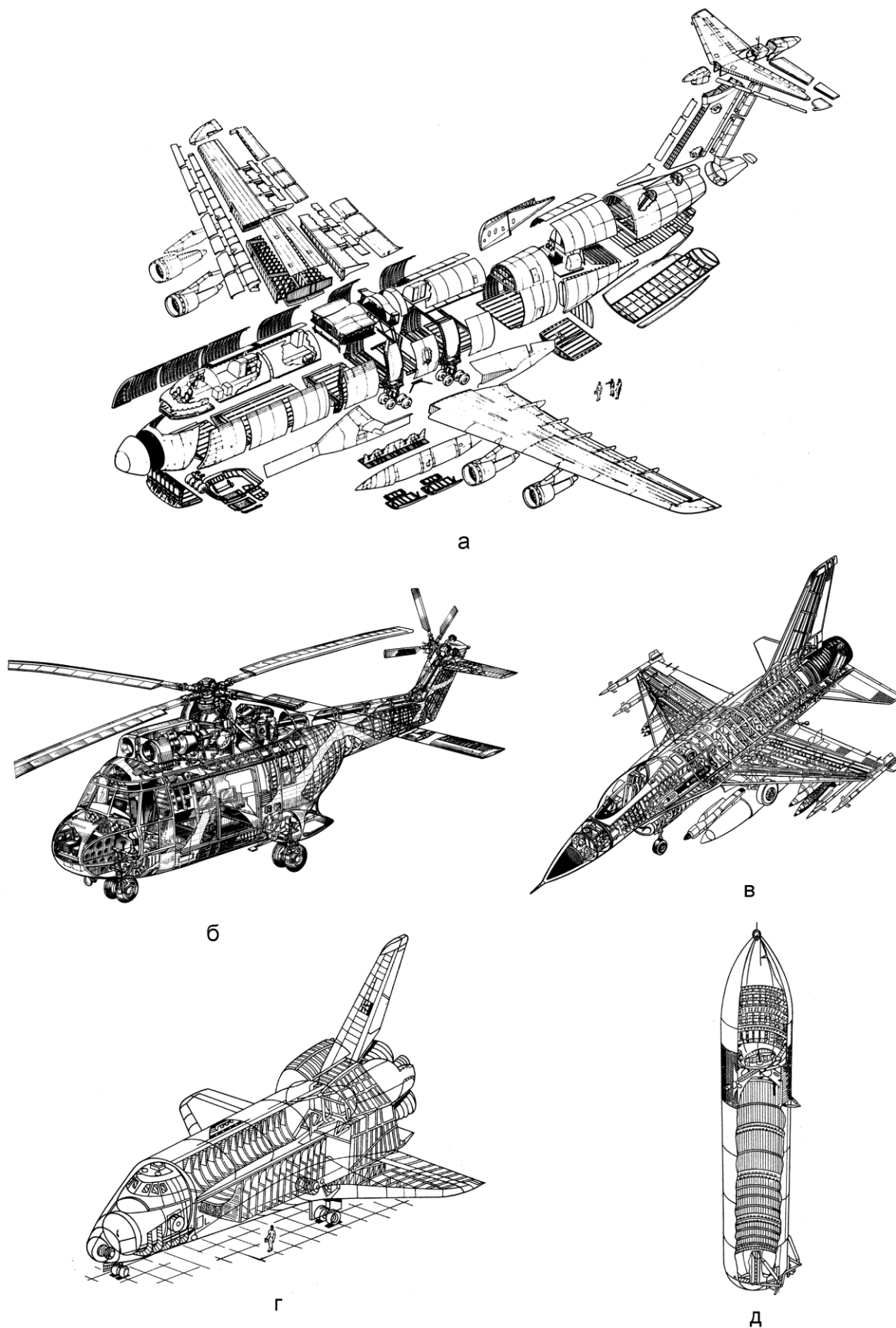


Рисунок 1.1 – Компонувочные схемы некоторых современных ЛА: а – тяжелый транспортный самолет; б – многоцелевой вертолет; в – сверхзвуковой истребитель; г – воздушно-космический самолет; д – разгонный блок ракетно-космической системы

Сложность форм, большие размеры и высокая точность обводообразующих поверхностей деталей. Типовые детали планера ЛА и элементы технологической оснастки имеют поверхности двойной кривизны с переменной малкой и значительной кривизной (каркасы фонарей, шпангоуты, нервюры, сотовые блоки узлов механизации крыла, контрольно-эталонная и выклеечная оснастка, рубильники и т.п.). Размеры деталей планера ЛА (например, панели крыла) достигают в длину 30 м и более, а отклонения обводообразующих аэродинамических поверхностей от заданных уменьшились до $\pm 0,5$ мм. Конструкция и технология изготовления крупногабаритных деталей сложной пространственной формы требуют применения специализированных станков с ЧПУ, контрольно-измерительных машин, специальных средств технологического оснащения.

Высокая эксплуатационная надежность деталей. Все детали ЛА должны обеспечивать безотказную работу в течение гарантийного срока при соблюдении условий эксплуатации. Детали, узлы, отсеки, агрегаты (особенно лопасть вертолета) работают в условиях знакопеременных циклических нагрузок. Повышение ресурса деталей обеспечивается технологическими методами поверхностного упрочнения, а высокая надежность ЛА на стадии производства – путем контроля ответственных деталей и узлов неразрушающими методами, а также проведением комплексных имитационных испытаний агрегатов и изделий на специальных стендах.

Высокое качество изготовления деталей. Каждая деталь ЛА или его систем должна быть изготовлена с обязательным соблюдением всех технических требований и условий, указанных в конструкторской и технологической документации.

Эти и другие конструктивно-технологические особенности современных ЛА обусловили выделение аэрокосмического производства в отдельную отрасль машиностроения.

1.1.1. Типовые классы деталей планера ЛА, обрабатываемых с удалением излишнего материала

Объединение деталей в классы осуществляется по признаку общности процессов их изготовления, однотипности применяемого оборудования и возможности использования унифицированной оснастки.

Детали планера ЛА, обрабатываемые с удалением излишнего материала, объединяют в следующие типовые классы:

– крупногабаритные детали одинарной и двойной кривизны, входящие в аэродинамические обводы агрегатов – каркасы фонарей, окантовки люков, иллюминаторов (материал заготовок – алюминиевые и магниевые сплавы);

– плоские детали с криволинейными образующими – рамы, шпангоуты, нервюры (материал заготовок – алюминиевые, стальные и титановые сплавы);

- крупногабаритные оболочковые детали – панели и обшивки переменного сечения одинарной и двойной кривизны из алюминиевых сплавов;
- прямолинейные детали большой длины – стрингеры, лонжероны с постоянными и переменными сечениями по длине (материал заготовок – алюминиевые, стальные и титановые сплавы);
- объемные детали средних габаритов – качалки, кронштейны, рычаги (материал заготовок – алюминиевые, магниевые, стальные и титановые сплавы);
- крупногабаритные детали цилиндрической формы – цилиндры и штоки шасси из высокопрочных сталей и титановых сплавов;
- арматура – крестовины, тройники, штуцеры гидравлических и газовых систем (материал заготовок – алюминиевые, стальные и титановые сплавы);
- крепежные детали – болты, винты, гайки, шайбы, заклепки (материал заготовок – высокопрочные стальные, титановые и алюминиевые сплавы).

1.1.2. Полуфабрикаты и заготовки монолитных деталей ЛА

Детали современных ЛА изготавливаются в основном из алюминиевых, титановых сплавов и сталей. Например, для изготовления деталей планера широкофюзеляжного самолета Ил-96 используются сплавы 51 марки, причем 74% деталей изготавливают из алюминиевых сплавов, 16% – из высокопрочных легированных сталей, 7% – из титановых сплавов, 2% – из магниевых сплавов, 1% – из других материалов [3].

Основными видами исходных заготовок деталей планера современных тяжелых транспортных и широкофюзеляжных самолетов являются следующие: пресованный профиль – 52,3%, плита – 7,5%, штамповки – 31,4%, литье – 2,1%, труба – 3,0%, прутки – 2,6%, лист – 1,1% [3, 11, 21].

Горячештампованные заготовки имеют наиболее высокие механические свойства и поэтому широко используются для изготовления высоконагруженных деталей. Для данного вида заготовок коэффициент использования материала – отношение массы детали к массе заготовки:

$$K_{и.м} = m_d / m_z = 0,7...0,8.$$

Отливки применяют в случаях, когда детали из литых заготовок удовлетворяют расчетным нагрузкам и условиям эксплуатации, при этом затраты на изготовление литейной оснастки должны быть экономически оправданы. Для литых заготовок $K_{и.м} = 0,8...0,9$.

Наиболее эффективно используется материал заготовок, поступающих на предприятия отрасли в виде труб ($K_{и.м} = 0,8...0,9$) и в виде пресованных профилей ($K_{и.м} = 0,7...0,8$). Листовые полуфабрикаты используются менее рационально – около 40% уходит в отходы. Наиболь-

шим оказывается отход материала в стружку при изготовлении монолитных панелей из плит, силовых деталей ЛА из поковок.

Алюминиевые сплавы – наиболее распространенные авиационные материалы. Подразделяются на термоупрочняемые и нетермообрабатываемые. Большинство деталей конструкции планера ЛА из алюминиевых сплавов обрабатывается термически. К этой группе относят деформируемые сплавы, к нетермообрабатываемым – литейные, штамповочные, а также свариваемые сплавы.

Согласно информации НИЦ «Авиационные материалы» (г. Киев), аэрокосмическая промышленность потребляет до 40% высоколегированных алюминиевых сплавов и их полуфабрикатов от общего количества потребления машиностроительным комплексом Украины.

Годовая потребность отрасли составляет от 16 до 19 тыс. тонн полуфабрикатов, в том числе: прессованные профили – 42%, поковки и штамповки – 40%, плиты – 9%, листы – 6%, прутки и трубы – 3%. Основную массу составляют полуфабрикаты из алюминиевых высокопрочных сплавов Д16, В95, 1161, 1143, 2618, 1163, 1424, 1460, 1933. Предел прочности конструкционных алюминиевых сплавов в настоящее время увеличился с 420 до 600 мПа, изыскиваются возможности дальнейшего его увеличения до 700 – 750 мПа [11, 21].

Из алюминиевых сплавов *методом плоской прокатки* изготавливают следующие полуфабрикаты:

- Плиты толщиной от 12 до 80 мм, шириной от 1000 до 2000 мм, длиной от 6000 до 30000 мм, массой до 10 т. Плиты поставляются в горячекатаном, закаленном и состаренном (естественно или искусственно) состоянии. Марки сплавов: Д16АТ, В95АТ, АК4-1АТ и др.

- Листы горячекатаные толщиной от 5 до 10,5 мм, шириной до 2000 мм; отожженные толщиной от 0,5 до 10 мм с различной степенью нагартовки; закаленные повышенного качества толщиной от 0,5 до 3,4 мм, шириной до 2000 мм. Длина листов – от 2000 до 7000 мм в зависимости от условий поставки. Марки сплавов: АМг2М, АМцМ, АМг2Н, АМцН, АВТ, Д16АТ, В95АТ1 и др.

- Ленты для производства гнутых профилей из алюминия марок А0, АД00, АД0, АД, АД1 и алюминиевых сплавов АМц и АМг толщиной от 0,25 до 2 мм и шириной от 150 до 400 мм. По состоянию поставки они могут быть отожженные или нагартованные.

Методом прессования в широком ассортименте изготавливаются следующие полуфабрикаты:

- прутки диаметром от 5 до 300 мм повышенной прочности из сплавов В95, АК8, АК6, Д16 и нормальной прочности из сплавов Д16, АВ, АК4-1;

- профили законцовочные и петельно-шарнирные длиной до 15 м, а также крупногабаритные профили длиной до 30 м с площадью поперечного сечения от 0,5 до 150 см²;

– панели среднегабаритные шириной от 960 до 2100 мм, толщиной полотна от 2 до 15 мм, длиной до 12 м из сплавов Д16, Д19, АК4, АМг-6, В95Апч и крупногабаритные шириной от 350 до 1100 мм с толщиной полотна от 5 до 50 мм, длиной до 30 м из сплавов Д16, Д16ч, В95, В95Апч и АК-1;

– трубы из алюминиевых сплавов горячепрессованные круглого и фасонного сечения; холоднодеформированные 800 типоразмеров из 12 марок алюминиевых сплавов, в том числе диаметром от 12 до 120 мм с внутренней плакировкой.

В номенклатуру крупногабаритных *штамповок* из сплавов Д16АТ, В95, АК4-1 с площадью проекции в плане до 28000 см², толщиной полотна от 5 до 10 мм входят детали типа лонжеронов, балок, кронштейнов, подмоторных рам.

Высокопрочные литейные сплавы ВАЛ8, ВАЛ10, ВАЛ14 используются для заготовок кронштейнов, шпангоутов, корпусов.

Деформируемые **магниевые сплавы** МА2, МА8, МА14 в виде штамповок, поковок, профилей, листов, труб используют для малонагруженных деталей, например топливных баков, трубопроводов, литейные магниевые сплавы МЛ6, МЛ10, МЛ14 – для деталей, работающих в условиях малых статических и циклических нагрузок.

Титановые сплавы представляют для производства ЛА большой интерес благодаря высоким механическим характеристикам и жаропрочности. В период освоения титановых сплавов их прочность была увеличена с 400 до 1200 – 1300 МПа [11].

Методом прессования из сплавов ВТ3, ОТ4, ВТ8, ВТ16, ВТ18 изготавливают прутки для штампуемых и крепежных деталей, холоднодеформированные и горячедеформированные трубы, штамповки.

Из титановых сплавов марок ВТ-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1, ВТ6, ВТ14, ВТ20 *методом плоского проката* изготавливают:

– плиты толщиной от 11 до 150 мм, шириной от 400 до 1700 мм, длиной от 1500 до 7000 мм;

– листы толщиной от 0,3 до 10 мм, шириной от 400 до 1200 мм, длиной от 1500 до 5000 мм;

– ленты толщиной от 0,3 до 1,5 мм, шириной до 600 мм в рулоне;

– фольгу толщиной от 0,05 до 0,08 мм, шириной до 300 мм в рулоне;

– прутки горячекатаные из титановых сплавов ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ОТ4, ВТ16, ВТ18 для штампуемых методами горячей и холодной высадки заготовок; сортамент прутков: диаметр – от 5 до 55 мм, длина – от 1,6 до 3 м, форма сечения – шестигранная, квадратная, круглая;

– трубы холоднодеформируемые из сплавов ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4, ОТ4-1, ОТ4-0 с наружными диаметрами от 6 до 130 мм и толщиной стенки от 0,8 до 10 мм; горячедеформированные из сплавов ВТ6, ВТ3-1, ВТ14, ВТ22 с наружными диаметрами от 32 до 325 мм с толщиной стенки от 2,5 до 30 мм; сварные из сплавов ВТ1-0, ОТ4-0 диаметром от 25 до 100 мм с толщиной стенки 1,5 и 2 мм.

Штамповки изготавливают из титановых сплавов ОТ4, ВТ3-1, ВТ6, ВТ8, ВТ9, ВТ20, ВТ22 длиной до 800 мм, площадью проекции до 15000 см², толщиной полотна от 6 до 24 мм и массой до 2500 кг.

Литье из титановых сплавов ВТ5Л, ВТ9Л, ВТ21Л используют в качестве заготовок для деталей типа балок, фитингов, кронштейнов.

Конструкционные стали применяют при изготовлении силовых узлов и деталей планера: лонжеронов, шпангоутов, стоек шасси, болтов, шпилек и других крепежных изделий. Прочность конструкционных сталей увеличилась с 1200 до 1800 – 2000 мПа.

Деформируемые стали 30ХГСА, 12ХНЗА, 18Х2Н4ВА, 38Х2МЮА, 38ХА, нержавеющие стали 4Х13, ВНС-2, ВНС-5 поступают в виде листов, профилей, лент, проволоки, прутков, штамповки и труб.

Отливки заготовок из конструкционных легированных и высоколегированных сталей 35ХГСЛ, 27СНМЛ, ВНЛ-3, ВНЛ-5 используют для изготовления шпангоутов, кронштейнов, деталей шасси.

При изготовлении деталей из горячештампованных заготовок широко применяют конструкционные стали 30ХГСА, 12ХНЗА, 38Х2МЮА, 38ХА, нержавеющие стали 18ХГТ, 4Х13, ВНС-2, ВНС-5.

1.2. Классификация заготовительно-обработочных процессов

В основном производстве предприятий аэрокосмической отрасли независимо от объема производства для изготовления ЛА применяют весьма большое количество разнообразных процессов. Все эти процессы делят на три взаимосвязанных класса: заготовительно-обработочные, монтажно-сборочные и регулировочно-испытательные процессы (рис. 1.2). Классификация базируется на делении процессов каждого класса на подклассы, группы, подгруппы и первичные процессы, состоящие из действий (механических, физических, химических или комбинированных), независимо от того, производятся эти действия с участием человека или без него.

Класс заготовительно-обработочных процессов в зависимости от результатов воздействия на исходные материалы разделен на два взаимосвязанных подкласса: процессы формообразования и процессы придания деталям требуемых физико-механических свойств.

Группа процессов для разделения полуфабрикатов и удаления излишнего материала подкласса формообразования включает в себя многочисленные процессы, которые по виду энергии, подводимой в зону обработки, можно подразделить на следующие подгруппы: механические, электрические, электрохимические, химические, акустические, тепловые, лучевые.

Каждую подгруппу по физико-химической однородности можно разделить на частные процессы (см. рис. 1.2), которые, в свою очередь, состоят из разнообразных видов обработки. *Частный процесс* представляет собой комплекс однородных по физико-химической сущности взаимодействий оборудования и исполнителей.

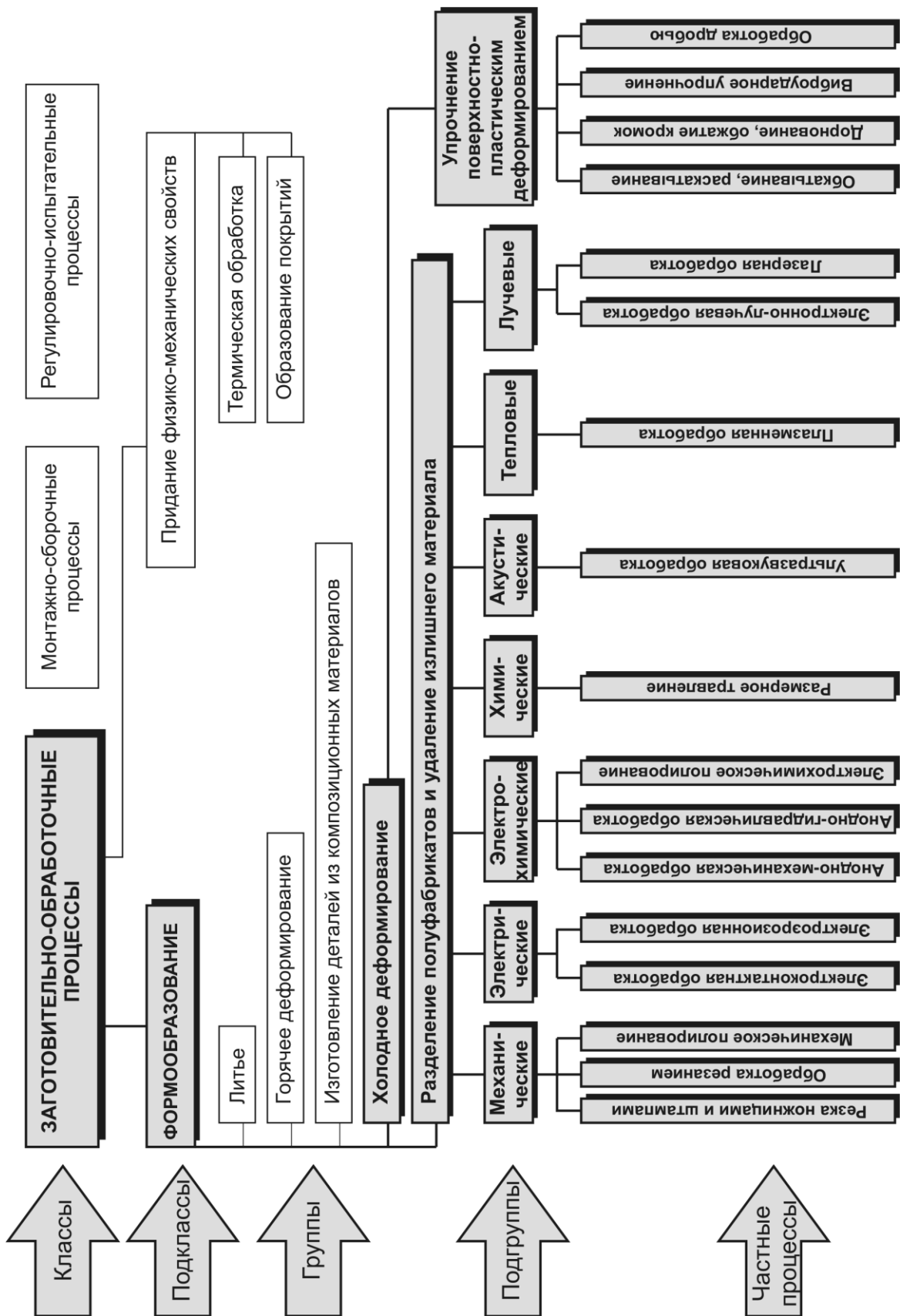


Рисунок 1.2 – Классификация процессов разделения полуфабрикатов и удаления излишнего материала

В основе каждого частного процесса лежит определенная физическая теория. Примерами частных процессов могут служить такие процессы, как обработка резанием, холодное и горячее деформирование, электрофизическая и электрохимическая обработка и др.

Ниже приведены термины и определения основных понятий, которые изложены в ГОСТ 3.1109–82.

Технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. К предметам труда относятся заготовки и изделия.

Технологический метод – совокупность правил, определяющих последовательность и содержание действий при выполнении формообразования, обработки или сборки, перемещения, включая технический контроль, испытания в ТП изготовления или ремонта, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру или исполнению изделия.

Технологический режим представляет собой совокупность значений параметров ТП в определенном интервале времени.

Обработка – это действие, направленное на изменение свойств предмета труда при выполнении ТП. В результате *черновой* обработки снимается основная часть припуска, *чистой* – достигается заданная точность размеров и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Обрабатываемая поверхность – поверхность, подлежащая воздействию в процессе обработки.

Механическая обработка – обработка давлением или резанием.

Обработка давлением – обработка, заключающаяся в пластическом деформировании или разделении материала. Разделение материала происходит давлением без образования стружки.

Обработка резанием – обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки. Образование поверхностей сопровождается деформированием и разрушением поверхностных слоев материала.

Электрофизическая обработка – обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров, шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, магнитострикционного эффекта, электронного или оптического излучения, плазменной струи.

Электрохимическая обработка – обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров, шероховатости поверхности заготовки вследствие растворения ее материала в электролите под действием электрического тока.

Нанесение покрытия – обработка, заключающаяся в образовании на заготовке поверхностного слоя из однородного материала.

Трудоемкость изготовления пассажирских самолетов по отдельным видам обработки и работ представлена на рис. 1.3 [11, 21], где:

1 – механическая обработка резанием; 2 – литейные работы; 3 – кузнечно-штамповочные работы; 4 – заготовительно-штамповочные и сварочные работы; 5 – механосборочные работы; 6 – термическая обработка; 7 – гальванические покрытия; 8 – лакокрасочные покрытия; 9 – обработка композиционных материалов; 10 – сборочно-монтажные работы; 11 – регулировочно-испытательные работы; 12 – прочие работы.

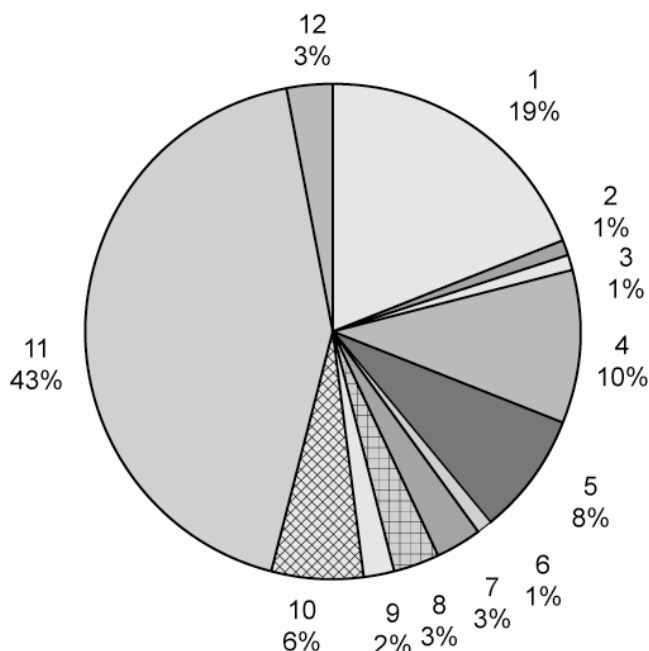


Рисунок 1.3 – Трудоемкость изготовления пассажирских самолетов

Наиболее универсальным в современной промышленности, в том числе аэрокосмической, является процесс формообразования деталей путем удаления поверхностных слоев заготовок – обработка материалов резанием. В этом случае происходит образование новых поверхностей деталей заданной формы, определенной точности и необходимого качества. Трудоемкость механической обработки резанием составляет около 20% от общей трудоемкости изготовления современных ЛА (см. рис. 1.3).

1.3. Структура ТП обработки резанием

Процесс изготовления ЛА представляет собой сложный комплекс взаимодействий оборудования и исполнителей по преобразованию исходных материалов, полуфабрикатов, заготовок в разнообразные по свойствам и назначению детали, образующие законченные в конструктивном и технологическом смысле части ЛА (рис. 1.4).

Изготовление деталей, сборка-монтаж и регулирование-испытание сборных единиц планера в целом диктуются рациональностью технологического членения ЛА.

ТП необходимо рассматривать в двух аспектах: физическом и функциональном.

В первом аспекте рассматривают физическую сущность процесса обработки – преобразование исходных материалов, полуфабрикатов, заготовок в изделие по отдельным, частным ТП.

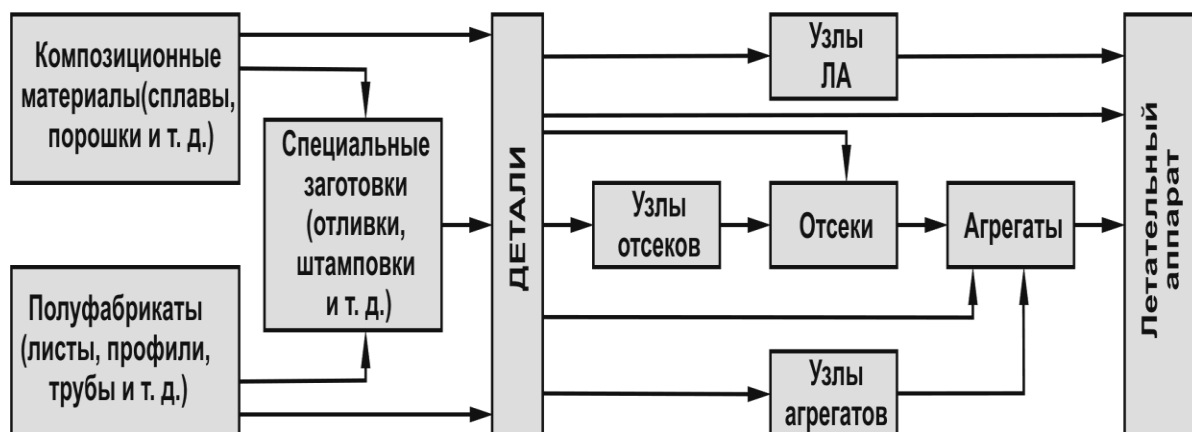


Рисунок 1.4 – Схема преобразования исходных материалов, полуфабрикатов, заготовок при изготовлении планера ЛА

В функциональном аспекте ТП рассматриваются структурные связи и зависимости частей, составляющих процесс изготовления изделия. Структурная схема ТП обработки заготовок резанием с удалением излишнего материала представлена на рис. 1.5.

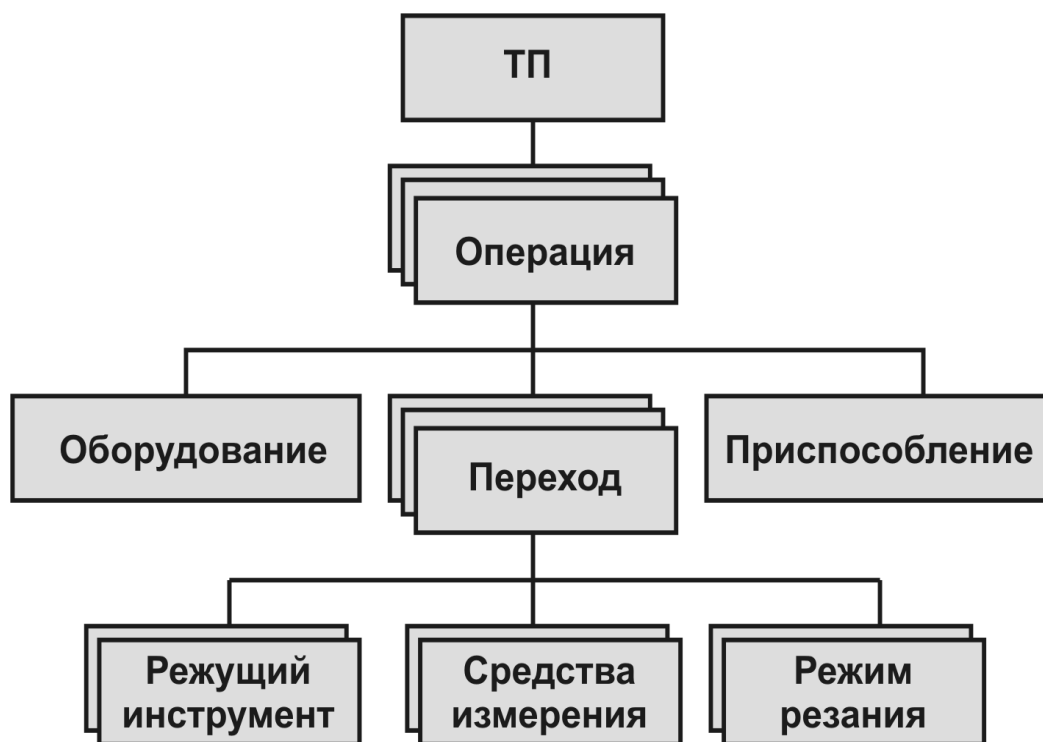


Рисунок 1.5 – Структурная схема ТП обработки резанием

ТП обработки резанием состоит из последовательности технологических и вспомогательных операций. Приведем термины и определения основных понятий, которые изложены в ГОСТ 3.1109–82.

Технологическая операция – это законченная часть ТП, выполняемая на одном рабочем месте.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяют трудоемкость изготовления изделий и устанавливают нормы времени и расценки; рассчитывают требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов; определяют себестоимость обработки; производят календарное планирование производства и осуществляют контроль качества и сроков выполнения работ.

Средства технологического оснащения – это совокупность орудий производства, необходимых для осуществления ТП: технологическое оборудование, технологическая оснастка (включая приспособления и инструмент), а также средства механизации и автоматизации производственных процессов.

Технологическое оборудование – это средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части ТП размещают материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическую оснастку.

Приспособления – это технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или рабочего инструмента при выполнении технологической операции.

Рабочий инструмент – это технологическая оснастка, предназначенная для непосредственного воздействия на предмет труда в целях изменения его состояния.

Средства механизации и автоматизации являются вспомогательным технологическим оборудованием, сочетают в себе признаки оборудования и оснастки.

К средствам механизации и автоматизации относятся различные манипуляторы, технологические роботы и транспортные системы, механизированные и автоматизированные оперативные склады.

Цикл технологической операции – это интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

Такт выпуска – это интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

Ритм выпуска определяется количеством изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

Кроме технологических операций в ряде случаев (например, в поточном производстве, особенно при обработке в гибких технологических комплексах) в состав ТП включают **вспомогательные операции** (транспортные, контрольные, маркировочные и т. п.), которые не сопровождаются изменением размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого изделия, но необходимы для осуществления технологических операций.

Установ представляет собой часть технологической операции, выполняемую при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования при выполнении определенной части операции.

Наладка – это подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции: установка приспособления, переключение скорости или подачи, настройка заданной температуры и т. д.

Подналадка – это дополнительная регулировка технологического оборудования или технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

1.3.1. Элементы технологического перехода

Приведем термины и определения основных понятий, которые изложены в ГОСТ 3.1109–82.

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

Применительно к условиям обработки резанием технологический переход представляет собой законченную часть технологической операции, выполняемую над одной или несколькими поверхностями заготовки одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или с автоматическим изменением режимов работы станка.

Автоматическое изменение режима работы станка внутри одного технологического перехода имеет место при обработке заготовок на станках с ЧПУ. В случае использования обычных металлорежущих станков технологические переходы, как правило, осуществляются при неизменных режимах их работы.

Элементарный переход – часть технологического перехода, выполняемая одним инструментом над одним участком поверхности обрабатываемой заготовки за один рабочий ход без изменения режима работы станка.

Величина элементарного перехода определяется длиной участков поверхности, обрабатываемой с неизменной подачей, и соответствующим основным временем ее обработки.

Понятием элементарного перехода удобно пользоваться при проектировании технологической операции и расчете основного времени обработки заготовок на станках с ЧПУ, когда внутри технологического перехода изменяются режимы работы станка.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предмета труда, но необходимы для выполнения технологического перехода. Примерами вспомогательных переходов являются установка заготовки, смена инструмента.

Рабочий ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая в однократном перемещении инструмента относительно заготовки, которое сопровождается изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Вспомогательный ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая в однократном перемещении инструмента относительно заготовки, которое не сопровождается изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимо для подготовки рабочего хода.

Прием – это законченная совокупность действий человека при выполнении технологического перехода или его части, объединенных одним целевым назначением.

Условие законченности технологической операции означает выполнение части ТП без перехода к обработке другого изделия.

Например, обработка ступенчатого валика (рис. 1.6, а) на токарном станке представляет собой одну технологическую операцию, если ее выполняют в такой последовательности:

- устанавливают заготовку, подрезают торец резцом 2, протачивают наибольший диаметр валика резцом 1 (рис. 1.6, б);
- снимают, переворачивают и вторично устанавливают заготовку, сверлят центральное отверстие сверлом 3, обрабатывают валик с другого конца резцом 4, прорезают канавку резцом 5, снимают фаску резцом 6 (рис. 1.6, в).

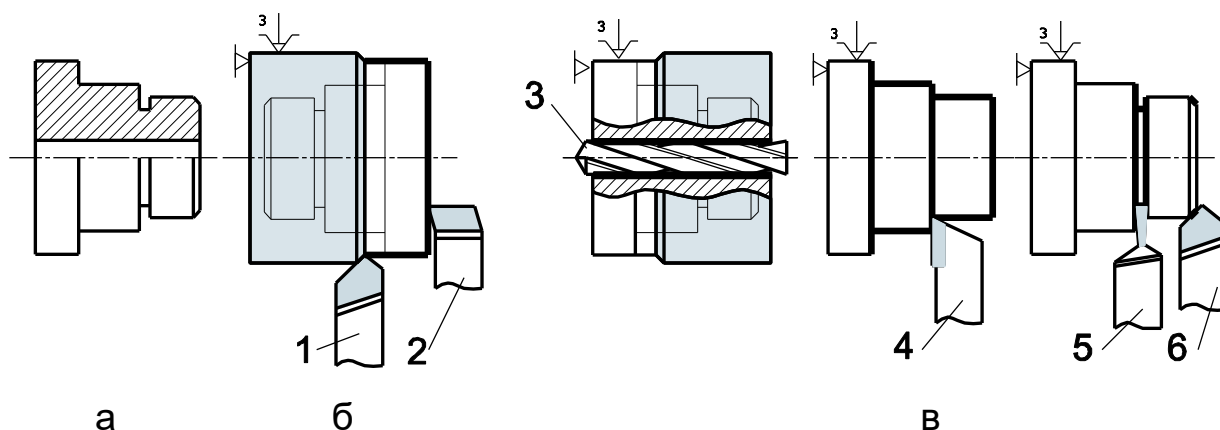


Рисунок 1.6 – Обработка ступенчатого валика:
а – валик; б – первый установ, число переходов – 2;
в – второй установ, число переходов – 4

Аналогичную по содержанию обработку валика можно выполнить и за две однотипные токарные операции, если вторичная установка и об-

работка второго конца валика последует не сразу после обработки первого конца, а с перерывом для обработки других заготовок партии (т. е. сначала все заготовки обработают с одного конца, а потом все – с другого).

Приведенный пример показывает, что состав операции устанавливают не только на основе чисто технологических соображений, но и с учетом организационной целесообразности.

1.4. Технологическая характеристика типов производства

Одним из основных принципов построения ТП является *принцип совмещения технических, экономических и организационных задач*, решаемых в данных производственных условиях.

Проектируемый ТП должен обеспечить выполнение всех требований к точности и качеству изделия, предусмотренных чертежом и техническими условиями, при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости, а также при изготовлении изделий в количествах и в сроки, которые установлены программой выпуска продукции (производственной программой).

Приведем термины и определения основных понятий, которые изложены в ГОСТ 14.004–83.

Программа выпуска продукции – это установленный для данного предприятия перечень изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска по каждому наименованию на планируемый период времени.

Наименьшие затраты при изготовлении изделий могут быть достигнуты в случае построения ТП процесса в полном соответствии с типом данного производства и его условиями.

Тип производства – это классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий.

Объем выпуска – это количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого интервала времени.

Коэффициент закрепления операций ($K_{з.о}$) в соответствии с ГОСТ 3.1108–74 определяется отношением числа всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

Различают следующие типы машиностроительного производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий. Используется универсальное оборудование, которое расставляют в цехах по технологическим группам. Специальные приспособления и инструменты, как правило, не применяются; требуемая точность

достигается методом пробных ходов с использованием разметки и промежуточных измерений. Квалификация рабочих – высокая, технологическая документация – сокращенная и упрощенная; нормирование труда – опытно-статистическое.

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени. Для массового типа производства $K_{з,о} = 1$, т. е. на большинстве рабочих мест выполняется одна постоянно повторяющаяся операция.

При этом используется специальное высокопроизводительное оборудование, которое расставляют по поточному принципу (т. е. по ходу выполнения ТП). Во многих случаях оборудование связывают транспортирующими устройствами и конвейерами с постами промежуточного автоматического контроля, а также промежуточными складами-накопителями заготовок.

В массовом производстве широко применяются:

– высокопроизводительные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы, многооперационные станки с ЧПУ, автоматические линии и автоматизированные производственные системы, управляемые от ЭВМ;

– высокопроизводительная технологическая оснастка, инструменты из синтетических сверхтвердых материалов и алмазов и фасонные инструменты всех видов;

– точные индивидуальные исходные заготовки с минимальными припусками на механическую обработку (точность достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках).

Средняя квалификация рабочих в массовом производстве ниже, чем в единичном, вместе с тем, в цехах работают высококвалифицированные наладчики станков. Технологическая документация массового производства разрабатывается самым детальным образом, технические нормы тщательно рассчитываются и подвергаются экспериментальной проверке.

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

Производственная партия – это группа заготовок одного наименования и типоразмера, запускаемых в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

Объем серии – это общее количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых по неизменной конструкторской документации.

В зависимости от количества изделий в партии или серии различают мелкосерийное ($K_{з,о}$ – от 20 до 40 включительно), среднесерий-

ное ($K_{з.о}$ – от 10 до 20 включительно) и крупносерийное производство ($K_{з.о}$ – от 1 до 10 включительно).

Серийное производство является основным типом современного машиностроения, и предприятия этого типа выпускают в настоящее время от 75 до 80 % всей продукции. Здесь используется универсальное, специализированное и частично специальное оборудование. Широко применяются станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, гибкие автоматизированные линии с ЧПУ.

Оборудование в цехах размещают по технологическим группам с учетом направления основных грузопотоков по предметно-замкнутым участкам. Одновременно используются групповые поточные и переменнo-поточные автоматические линии.

Большое распространение имеет универсально-сборная, перенастраиваемая технологическая оснастка, позволяющая существенно повысить коэффициент оснащенности серийного производства. В качестве исходных заготовок используются горячий и холодный прокат, точное литье, поковки и точные штамповки. Требуемая точность достигается как методами автоматического получения размеров, так и методами пробных ходов.

Средняя квалификация рабочих выше, чем в массовом производстве, но ниже, чем в единичном. Наряду с трудом рабочих и наладчиков высокой квалификации, работающих на сложных универсальных станках, используется труд рабочих-операторов более низкой квалификации, обслуживающих настроенные станки. Технологическая документация и техническое нормирование подробно разрабатываются для наиболее сложных и ответственных заготовок.

В зависимости от размеров партий заготовок и организации производства характер ТП серийного производства может изменяться в широких пределах, приближаясь к процессам массового (в крупносерийном) или единичного (в мелкосерийном) типа производства.

1.5. Точность процессов размерной обработки заготовок

При решении проблемы точности технолог должен обеспечить требуемую конструктором точность деталей при одновременном достижении высокой производительности и экономичности их изготовления. Кроме того, технолог должен исследовать фактическую точность назначенного ТП и проанализировать причины возникновения погрешностей обработки.

Точность детали – степень соответствия детали требованиям чертежа и технических условий по размерам, геометрической форме, шероховатости, взаимному расположению обрабатываемых поверхностей.

В производственных условиях решают ряд технологических задач, связанных с различными **категориями точности**:

– *заданная (нормативная, конструкторская) точность* назначается конструктором при разработке чертежей исходя из условий функционирования изделий и может быть достигнута одним из двух принципиально различных методов обработки: методом пробных ходов и промеров или методом автоматического получения размеров на настроенных станках;

– *действительная (производственная, полученная, реальная) точность* определяется измерением геометрических параметров детали после обработки;

– *ожидаемая точность* находится расчетным путем для оценки точности разрабатываемой технологии и проектируемого или выбираемого станочного приспособления.

Предельным возможностям данной операции соответствует *достижимая точность* обработки, которая может быть получена рабочим высокой квалификации на исправном станке при неограниченных затратах труда и времени.

Экономическая точность технологической операции – это точность, при которой затраты на обработку поверхности данным способом будут ниже, чем затраты на обработку той же поверхности любым другим способом.

При проектировании ТП используют справочные данные [15, 22], в которых приведены классы точности и шероховатости, экономически целесообразные для различных методов обработки.

1.5.1. Виды погрешностей обработки с удалением припуска

При оценке точности обычно говорят не о соответствии параметров реальной и заданной деталей, а об их различии.

Численным выражением точности является **погрешность** обработки по данному параметру $\Delta = A_{\partial} - A_H$, где A_{∂} – действительное значение параметра; A_H – заданное номинальное значение параметра.

Одним из основных в технологии машиностроения является положение о том, что выбранная для изготовления детали технология должна обеспечивать только ту степень точности, которая задана конструктором.

Сущность и цель обработки каждой поверхности заключаются в последовательном уточнении параметров заготовки до достижения заданной для детали точности.

Уточнением называется отношение погрешности заготовки $\Delta_{заг}$ к погрешности детали $\Delta_{дет}$: $\varepsilon = \Delta_{заг} / \Delta_{дет}$.

Каждая операция обработки данной поверхности должна иметь уточнение больше единицы, т. е. последующая операция ТП должна обеспечивать более высокую точность обработки, чем предыдущая. Если уточнение равно или меньше единицы, то такая операция является излишней.

Операционные погрешности могут быть систематическими и случайными.

Систематические погрешности бывают двух видов:

– *постоянные*, величина которых сохраняет свое значение в процессе обработки;

– *переменные*, величина которых в процессе обработки изменяется по определенному закону, связанному с механизмом действия рассматриваемого фактора.

В первом случае погрешность принято называть постоянной систематической погрешностью, во втором – функциональной.

Основные первичные систематические погрешности обработки:

- *Погрешность станка*. Зависит от точности изготовления станка, проявляется в процессе работы станка под нагрузкой.

- *Погрешность инструмента*. Влияет на точность обработки мерным инструментом (сверлом, разверткой, метчиком) и фасонным профильным инструментом (фасонным резцом, фрезой, шлифовальным кругом), так как погрешности их размеров непосредственно переносятся на деталь.

- *Погрешность приспособления*. Определяет точность установки обрабатываемых деталей и влияет на точность обработки как геометрическая первичная погрешность. При проектировании приспособлений необходимо предусматривать более высокую их точность, чем точность выполняемой операции.

- *Износ инструмента*. В процессе резания определяется в зависимости от пути резания и имеет три характерные зоны: приработки (до 3% пути), нормального износа (от 95 до 99% пути) и катастрофического износа (менее 1% пути). Темп нормального износа до заданного критерия стойкости инструмента определяет *удельный износ инструмента* (износ, отнесенный к пути в 1000 м), который является справочной величиной [23].

- *Погрешность настройки станка на размер*. Оказывает существенное влияние на точность обработки. Погрешность настройки методом *пробных проходов* определяется как систематическая погрешность при обработке одной детали, методом *автоматического получения размера* – как систематическая погрешность при обработке партии деталей.

- *Упругие деформации системы СПИД*. Система СПИД в целом характеризуется *жесткостью* – отношением составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно детали в том же направлении. Жесткость системы СПИД оказывает влияние на точность обработки, с одной стороны, через деформации системы, с другой – через возникающие вибрации системы. Для уменьшения влияния жесткости системы СПИД на точность устанавливаются дополнительные опоры –

люнеты, виброгасители, изменяют геометрию режущего инструмента и режим резания.

- *Тепловые деформации инструмента.* Оказывают существенное влияние на точность обработки, зависят в первую очередь от режимов резания и условий обработки и для данных условий обработки учитываются как постоянные систематические погрешности.

- *Погрешности базирования и закрепления.* Возникают при установке детали на станке или в станочном приспособлении. Погрешность базирования возникает при автоматическом получении размеров вследствие несовпадения установочной и измерительной (конструкторской) баз, погрешность закрепления – вследствие деформации детали при закреплении.

Рассмотренные систематические погрешности при определении операционной погрешности суммируются геометрически и приводятся к направлению, нормальному к обрабатываемой поверхности.

Систематические погрешности лежат в основе расчетно-аналитического подхода к прогнозированию точности, когда изучается механизм действия данного фактора в целях получения аналитических зависимостей для расчета погрешностей.

Случайные погрешности, являющиеся результатом действия большого числа трудно учитываемых случайных факторов, лежат в основе вероятностного подхода к расчету ожидаемой точности.

1.6. Операционный припуск и методика расчета размеров заготовки

Приведем термины и определения основных понятий для данного подраздела, которые изложены в ГОСТ 3.1109–82.

Припуск – это слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности (размера, формы, шероховатости). Общий припуск определяют как разность соответствующих размеров заготовки и детали.

Допуск припуска – разность между наибольшим и наименьшим значениями размера припуска.

Операционный припуск – это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции. Выдерживаемый при этом размер называется *операционным размером*.

Промежуточный припуск – это припуск на отдельный технологический переход.

Операционный припуск равняется сумме промежуточных припусков на входящие в данную операцию технологические переходы.

Как показывает схема расположения припусков и допусков на обработку вала за две операции – точение и шлифование (рис. 1.7), общий номинальный припуск на обработку равняется сумме номинальных припусков на отдельные операции:

$$Z_{\text{ном}} = D_{\text{заг}}^{\text{ном}} - D_{\text{дет}}^{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n Z_{i \text{ ном}}, \quad (1.1)$$

где n – общее количество операций обработки детали.

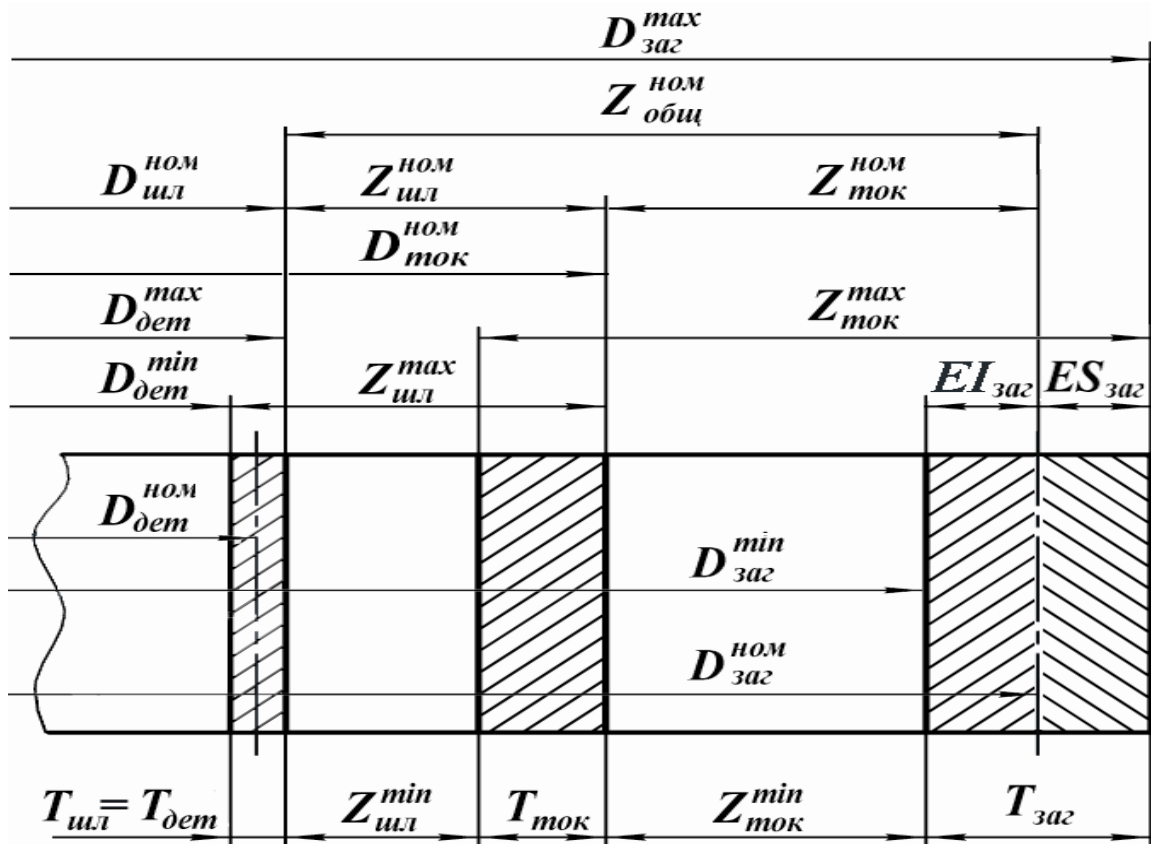


Рисунок 1.7 – Схема расположения припусков и допусков на операции точения и шлифования вала

Из схемы видно, что следует различать следующие припуски:

- минимальный операционный $Z_{i \text{ min}}$ – разность наименьшего предельного размера до обработки и наибольшего предельного размера после обработки на данной операции;
- максимальный операционный $Z_{i \text{ max}}$ – разность наибольшего предельного размера до обработки и наименьшего предельного размера после обработки на данной операции.

Минимальный операционный односторонний припуск на выполняемый технологический переход при последовательной обработке противоположащих поверхностей вычисляют по формуле

$$Z_{i \text{ min}} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma(i-1)} + \varepsilon_i, \quad (1.2)$$

где Rz_{i-1} – высота неровностей на предыдущем технологическом переходе; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предыдущем переходе; $\Delta_{\Sigma(i-1)}$ – суммарное отклонение расположения поверхности и формы поверхности на предыдущем переходе; ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Максимальный припуск на обработку поверхности заготовки рассчитывают по формуле

$$Z_{i \max} = Z_{i \min} + T_i + T_{i-1}, \quad (1.3)$$

где T_i , T_{i-1} – допуски на операционные размеры выполняемого и предыдущего технологических переходов обработки.

Допуск припуска T_z согласно данному выше определению рассчитывают как разность между максимальным и минимальным значениями размера припуска:

$$T_z = Z_{i \max} - Z_{i \min} = T_i + T_{i-1}. \quad (1.4)$$

Номинальный (расчетный) операционный припуск $Z_{i \text{ ном}}$, как разность номинальных размеров заготовки до и после обработки на данной операции, рассчитывают по формуле

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \min} + T_{i-1}. \quad (1.5)$$

При определении номинального припуска на первую операцию обработки заготовки, имеющей симметричное расположение поля допуска, в формулу (1.5) вводят значение не всего поля допуска, а только величину его нижнего отклонения (см. рис. 1.7).

В этом случае номинальный операционный припуск на обработку соответственно наружных и внутренних поверхностей заготовки рассчитывают по формулам

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \min} + EI_{i-1} + EI_i; \quad (1.6)$$

$$Z_{i \text{ ном}} = Z_{i \min} + ES_{i-1} + ES_i, \quad (1.7)$$

где EI_{i-1} , EI_i – нижние отклонения размеров соответственно на предыдущем и выполняемом переходах; ES_{i-1} , ES_i – верхние отклонения размеров соответственно на предыдущем и выполняемом переходах.

Приведенные формулы для расчета припусков показывают, что припуск по существу является компенсатором всех погрешностей предыдущей обработки и погрешностей, связанных с выполнением данной операции.

Назначение чрезмерно больших припусков приводит к непроизводительным потерям материала, превращаемого в стружку, и увеличению трудоемкости обработки резанием.

Малый припуск не обеспечивает удаления дефектных слоев материала и достижения требуемых параметров точности и шероховатости обрабатываемой поверхности детали.

1.6.1. Методика расчета размеров заготовки

Назначение операционных припусков на обработку поверхности начинают с выбора окончательной операции обработки этой поверхности в соответствии с экономической точностью данной операции.

Расчет размеров заготовки выполняют по следующим формулам:

– для наружных поверхностей

$$a_{\min i-1} = a_{\min i} + Z_{\min i}, \quad (1.8)$$

$$a_{\max i-1} = a_{\min i-1} + T_{i-1}; \quad (1.9)$$

– для внутренних поверхностей

$$a_{\max i-1} = a_{\max i} - Z_{\min i}, \quad (1.10)$$

$$a_{\min i-1} = a_{\max i-1} - T_{i-1}, \quad (1.11)$$

где $a_{\min i-1}$, $a_{\max i-1}$ – соответственно наименьший и наибольший предельные размеры заготовки, полученные на предыдущем технологическом переходе; $a_{\min i}$, $a_{\max i}$ – соответственно наименьший и наибольший предельные размеры заготовки, полученные на выполняемом технологическом переходе.

Для технологических переходов обработки наружных поверхностей наименьший размер получают прибавлением к наименьшему предельному размеру по чертежу припуска Z_{\min} .

При обработке внутренних поверхностей расчетным является наибольший размер. Размер на предыдущем технологическом переходе определяют путем вычитания Z_{\min} .

Изложенный расчетно-аналитический метод определения припусков применяют при проектировании исходных заготовок и отдельных операций крупносерийного и массового производства, а также процессов обработки крупных и особенно ответственных деталей серийного и даже единичного производства. В условиях единичного и серийного типов производства для определения общих и операционных припусков часто используют нормативные таблицы припусков, разработанные на основе изучения обширного практического опыта в промышленности [15, 20, 22].

1.7. Режим резания и нормирование операций обработки с удалением припуска

1.7.1. Режим резания операций обработки с удалением припуска

Термины, определения и обозначения общих понятий обработки резанием приведены по ГОСТ 25762–83.

Режим резания – совокупность значений скорости резания, подачи или скорости движения подачи и глубины резания. Эти факторы зависят от материала заготовки и его свойств на данной операции обработки, материала и геометрии режущего инструмента, вида и характера обработки.

Скорость резания v рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_{mv} K_{nv} K_{uv}. \quad (1.12)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени, содержащихся в этих формулах, а также периода стойкости T инструмента, применяе-

мого для данного вида обработки, приведены в справочной литературе [22]. Поправочные коэффициенты являются общими для различных видов обработки: K_{mv} учитывает качество обрабатываемого материала, K_{nv} – состояние поверхности заготовки, K_{uv} – качество материала инструмента.

Подача S – отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи, к соответствующему числу циклов другого движения во время резания. Под *циклом движения* понимают полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента.

Различают следующие виды подач:

– **подача на оборот S_0** , мм – подача, соответствующая одному обороту инструмента или заготовки;

– **подача на зуб S_z** , мм – подача, соответствующая повороту инструмента или заготовки на один угловой шаг зубьев инструмента;

– **минутная подача S_m** , мм/мин – величина перемещения инструмента за единицу времени, является производной величиной.

Минутную подачу для многолезвийного инструмента вычисляют по формуле

$$S_m = S_z z n, \quad (1.13)$$

где z – число зубьев инструмента; n – частота вращения, мин⁻¹.

Глубина резания t , мм – толщина слоя припуска, снимаемого за один рабочий ход инструмента, измеренная перпендикулярно оси или поверхности заготовки.

Характеристики режима резания определяются обрабатываемостью данного конструкционного материала.

1.7.2. Нормирование операций обработки с удалением припуска

Норма времени по ГОСТ 3.1109–82 – это регламентированное время выполнения некоторого объема работ в определенных производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации. В машиностроении норму времени обычно устанавливают на технологическую операцию.

Нормируемыми затратами рабочего времени являются: оперативное время, время обслуживания рабочего места, время перерывов на отдых и подготовительно-заключительное время.

Норма оперативного времени T_{on} – это норма времени на выполнение технологической операции, состоящая из суммы норм основного времени T_o и неперекрываемого им вспомогательного времени T_e :

$$T_{on} = T_o + T_e. \quad (1.14)$$

Основное время T_o представляет собой время, в течение которого осуществляется изменение размеров и формы заготовки, шероховатости поверхности.

Для всех станочных работ основное время T_o , мин, определяется отношением величины пути, пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче:

$$T_o = \frac{Li}{S_m} = \frac{Li}{nS_0} = \frac{LZ}{nS_0t}, \quad (1.15)$$

где L – длина пути инструмента с учетом величины врезания и перебега, мм; i – число рабочих ходов; S_m – минутная подача, мм/мин; n – частота вращения шпинделя или инструмента, мин⁻¹; S_0 – подача на один оборот шпинделя или инструмента, мм/об; t – глубина резания на сторону, мм; Z – припуск на сторону, мм.

При расчете основного времени по формуле (1.15) элементы режимов резания v , n , S_0 , t определяют по соответствующим формулам теории резания или по таблицам нормативов, приведенным в справочной технической литературе [22, 15].

Норма вспомогательного времени T_e представляет собой норму времени на осуществление действий, создающих возможность выполнения технологической операции или перехода и повторяющихся с каждым изделием или через определенное их число.

В состав вспомогательного времени включают:

- время на установку и снятие заготовки;
- время на подвод инструмента к заготовке, включение и выключение подачи, отвод инструмента в исходное положение;
- время на перемещение и изменение режима работы механизмов станка, смену инструмента, на контрольные измерения.

Время обслуживания рабочего места $T_{обс}$ представляет собой часть штучного времени, затрачиваемую исполнителем на поддержание оборудования в работоспособном состоянии и уход за рабочим местом. Время обслуживания рабочего места подразделяют на время технического и время организационного обслуживания.

Время технического обслуживания $T_{тех}$ – это время, затрачиваемое на уход за оборудованием в течение конкретной работы (смену затупившихся инструментов, регулировку инструментов и подналадку оборудования в процессе работы, сметание стружки и т. п.). Время технического обслуживания определяют в процентах к T_o .

Время организационного обслуживания $T_{орг}$ – это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом в течение рабочей смены (раскладку и уборку инструмента в начале и конце смены, осмотр и опробование оборудования, его смазку и чистку и т. п.). Время организационного обслуживания определяют в процентах к $T_{он}$.

Время на личные потребности $T_{омд}$ – это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и (при утомительных работах) на дополнительный отдых. Время на личные потреб-

ности предусматривают для всех видов работ, кроме непрерывных, и определяют в процентах к $T_{он}$.

Норма штучного времени – это норма времени на выполнение объема работы, равного единице нормирования.

Штучное время $T_{шт}$ – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий.

Норму штучного времени $T_{шт}$, мин, подсчитывают по формуле

$$T_{шт} = T_o + T_e + T_{обс} + T_{од} = T_{он} \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100} \right), \quad (1.16)$$

где α – отношение времени на техническое обслуживание рабочего места к оперативному времени, %; β – отношение времени организационного обслуживания рабочего места к оперативному времени, %; γ – отношение времени на отдых и личные надобности к оперативному времени, %.

В единичном и серийном типах машиностроительного производства время на обслуживание рабочего места не подразделяют на организационное и техническое, формула для подсчета штучного времени упрощается и приобретает вид

$$T_{шт} = (T_o + T_e) \left(1 + \frac{K}{100} \right), \quad (1.17)$$

где K – процент оперативного времени на техническое и организационное обслуживание рабочего места, отдых и личные потребности.

Значения коэффициентов α , β , γ , K принимают согласно нормативам [23].

Норма подготовительно-заключительного времени $T_{п.з}$ – это норма времени на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение средств производства в первоначальное состояние после ее окончания.

Норма $T_{п.з}$ предусматривает затраты времени на следующие действия:

- получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации и наряда на работу;
- ознакомление с технологической документацией, получение необходимого инструктажа;
- установка инструментов, приспособлений, наладка станка на соответствующий режим работы, снятие приспособлений и инструмента;
- сдача готовой продукции, остатков материала, приспособлений, инструмента, технологической документации и наряда.

Подготовительно-заключительное время рассчитывают один раз на всю партию изделий, обрабатываемых без перерыва по данному рабочему наряду, независимо от числа изделий в этой партии. Величину

$T_{н.з}$ определяют по нормативам с учетом типоразмеров станочного оборудования и приспособлений, размеров и массы заготовки.

Норма штучно-калькуляционного времени $T_{ш.к}$ состоит из подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых изделий $T_{п.з}$ и штучного времени $T_{ш}$:

$$T_{ш.к} = T_{ш} + \frac{T_{п.з}}{n}, \quad (1.18)$$

где n – количество заготовок в обрабатываемой партии.

Норму времени на партию заготовок $T_{пар}$ рассчитывают по формуле

$$T_{пар} = T_{п.з} + T_{ш}n. \quad (1.19)$$

Контрольные вопросы к разделу

1. Назовите конструктивно-технические особенности ЛА как объектов машиностроительного производства.
2. Укажите типовые классы деталей планера ЛА, обрабатываемых с удалением излишнего материала.
3. Приведите принципиальную схему преобразования исходных компонентов в планер ЛА.
5. Приведите структуру группы процессов разделения полуфабрикатов и удаления излишнего материала.
7. Дайте характеристику составляющим элементам ТП.
8. Какие элементы входят в структуру технологического перехода?
9. Укажите технологические особенности, характерные для каждого из типов машиностроительного производства.
10. Дайте определения общего и операционного припусков.
11. Приведите выражения для вычисления минимального и максимального операционных припусков.
12. Запишите выражения для расчета размеров заготовки на наружных и внутренних поверхностях.
13. Изобразите схему расположения припусков и допусков на точение и шлифование вала.
14. Перечислите категории точности детали.
15. Дайте определения достижимой и экономической точности.
16. Укажите виды погрешностей при обработке деталей.
17. Перечислите основные систематические погрешности обработки с удалением излишнего материала.
18. Назовите параметры режима резания.
19. Перечислите составляющие нормы штучного времени.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Геометрические параметры процесса обработки резанием

Формообразование детали в процессе обработки резанием происходит путем удаления поверхностных слоев материала заготовки.

Рассмотрим основные понятия и термины, применяемые в процессе обработки резанием при условии, что инструмент и заготовка находятся в мгновенном статическом положении (рис. 2.1).

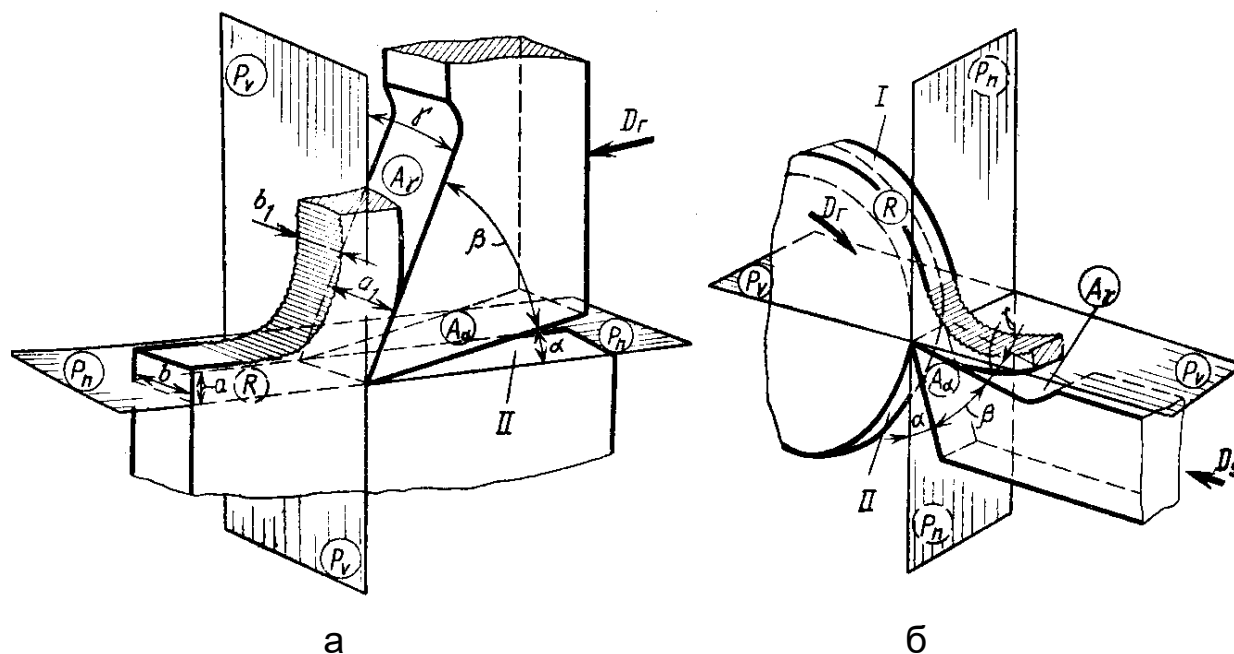


Рисунок 2.1 – Геометрические параметры системы резания:
а – обработка плоскостей; б – обработка тел вращения

По ГОСТ 25751–83 режущий инструмент имеет следующие общие конструктивные элементы:

- *лезвие инструмента* – это клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала;

- *передняя поверхность* режущего лезвия (A_γ на рис. 2.1) – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;

- *задняя поверхность* (A_α на рис. 2.1) – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями обрабатываемой заготовки;

- *режущая кромка* – кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия; если инструмент имеет несколько режущих кромок, то наиболее нагруженная называется *главной режущей кромкой*.

Обрабатываемая поверхность (I на рис. 2.1) – поверхность срезаемого слоя заготовки, которая частично или полностью удаляется при обработке (a и b – толщина и ширина срезаемого слоя).

Обработанная поверхность (II на рис. 2.1) – это новая поверхность, которая образуется на заготовке в результате резания после снятия стружки (a_1 и b_1 – толщина и ширина стружки).

Поверхность резания (R на рис. 2.1) – это поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении резания. Она может быть плоской, спиральной, винтовой.

В процессах обработки рассматривают статические и кинематические углы режущего лезвия, определяющие положение передней и задней поверхностей инструмента относительно взаимно перпендикулярных плоскостей – основной плоскости и плоскости резания.

Основная плоскость (P_v на рис. 2.1) – это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению вектора скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

Плоскость резания (P_n на рис. 2.1) – это координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости. На рис. 2.1, а плоскость резания проходит через режущую кромку и совпадает с поверхностью резания, а на рис. 2.1, б – она касательная к спиральной поверхности резания.

Кинематические углы зависят от положения плоскости резания и могут отличаться по своей величине от статических углов заточки инструмента. Эти углы рассматривают в *главной секущей плоскости*, перпендикулярной линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

Передний угол γ – угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью. Угол γ влияет на процесс стружкообразования и на прочность режущего лезвия.

Задний угол α – угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания. Задний угол для уменьшения трения должен быть больше нуля.

Угол заострения β – угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

При взаимодействии режущего инструмента с обрабатываемым материалом рассматривают следующие схемы резания:

- *Свободное ортогональное резание* (рис. 2.2, а). В работе участвует только одна прямолинейная режущая кромка, перпендикулярная направлению вектора скорости движения инструмента D_r . Направление траекторий перемещения частиц материала, обтекающего режущее лезвие, во всех точках одинаково.

- *Косоугольное резание* (рис. 2.2, б). В этом случае вектор скорости движения инструмента D_r не перпендикулярен режущей кромке.

- *Несвободное (стесненное) резание* (рис. 2.2, в). В работе одновременно участвует несколько сопряженных режущих кромок лезвия, имеющих разное направление.

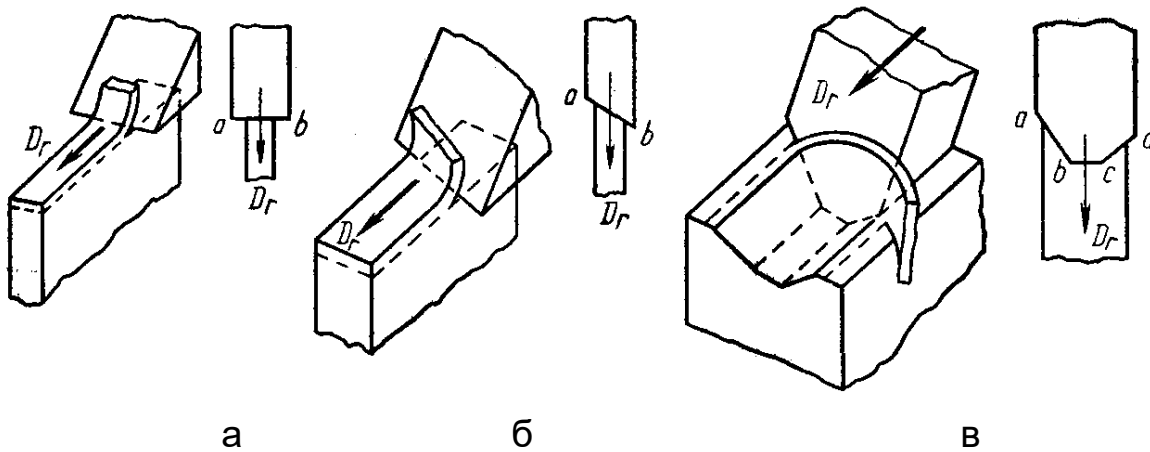


Рисунок 2.2 – Основные схемы резания:

а – свободного ортогонального; б – косоугольного; в – несвободного

Как правило, отдельные движения инструмента или детали чаще всего простые, но результирующее движение почти всегда сложное (винтовые, спиральные, циклоидальные и другие поверхности).

По характеру движений инструмента и детали все кинематические схемы резания могут быть разделены на несколько групп в зависимости от сочетаний вращательных и поступательных движений.

2.2. Кинематические элементы обработки резанием

Обработка резанием по ГОСТ 25762–83 имеет общие кинематические элементы и характеристики (рис. 2.3):

- **Главное движение резания D_r** – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. Обеспечивает определенную скорость отделения стружки от заготовки.

- **Скорость главного движения резания v** – скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания. Рассматривается в главном движении и является отношением пути, пройденного точкой режущей кромки, к единице времени (м/мин, м/с).

- **Движение подачи D_s** – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность. Движение подачи может быть непрерывным или прерывистым, а в зависимости от направления – продольным, поперечным и сложным.

- **Скорость движения подачи v_s** – скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи.

Скорости главного движения резания и движения подачи располагаются в *рабочей плоскости P_s* .

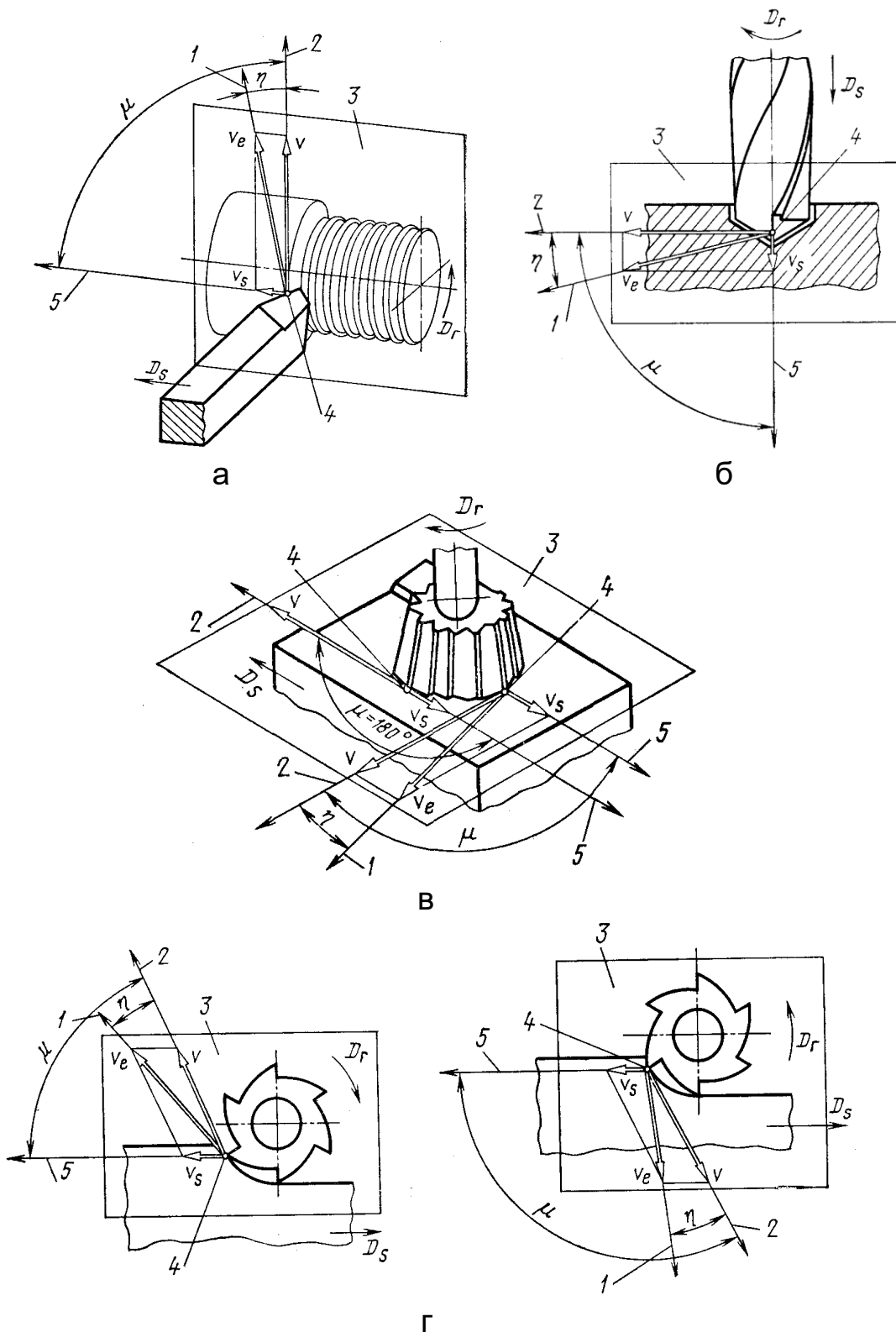


Рисунок 2.3 – Элементы движений в процессе резания:

а – точение; б – сверление; в – фрезерование концевой фрезой; г – периферийное встречное и попутное фрезерование; 1 – направление скорости результирующего движения резания; 2 – направление скорости главного движения резания; 3 – рабочая плоскость P_s ; 4 – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи; η – угол скорости резания; μ – угол подачи

Для осуществления резания к инструменту должны быть приложены силы, которые определяются сопротивлением металла стружкообразованию.

Сила резания P – равнодействующая трех сил, действующих на режущий инструмент при обработке резанием.

Для удобства технологических расчетов вектор P раскладывают на составляющие в пространственной системе координат XYZ , причем направление осей координат выбирают с учетом технологических особенностей конкретного вида обработки (рис. 2.4).

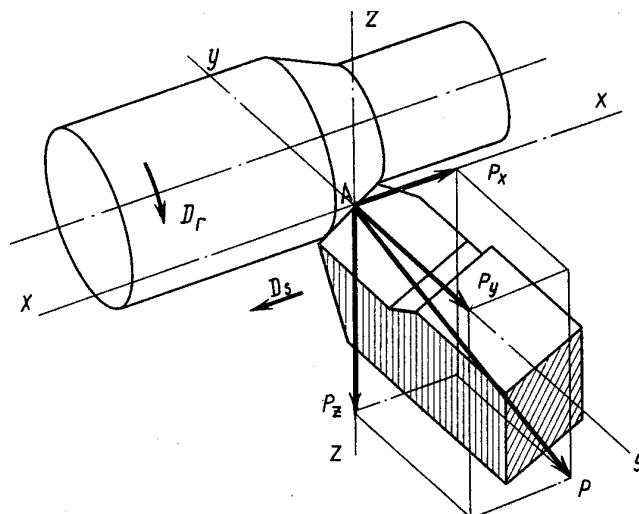


Рисунок 2.4 – Схема сил, действующих на резец и заготовку

Каждая из составляющих имеет определенную величину и технологическое значение:

– *главная (тангенциальная) составляющая силы резания P_z* направлена по касательной к поверхности резания и совпадает по направлению с вектором скорости главного движения; учитывается при расчетах мощности станка, работы резания и сопротивления изгибу резца в плоскости YZ ;

– *осевая составляющая силы резания P_x* параллельна оси главного вращательного движения резания; учитывается при расчетах прочности механизма продольной подачи станка и сопротивления изгибу резца в плоскости XY ;

– *радиальная составляющая силы резания P_y* направлена по радиусу главного вращательного движения резания в вершине лезвия (перпендикулярно оси заготовки); учитывается при расчетах прочности механизма поперечной подачи станка и сопротивления отжиму резца или изгибу детали.

2.3. Процесс стружкообразования

Резание является сложным физическим процессом, при котором возникают упругие и пластические деформации. Этот процесс сопровождается трением, тепловыделением, наростообразованием, усадкой

стружки, наклепом обработанной поверхности и изнашиванием инструмента. Знание физической сущности резания и закономерностей явлений, которыми он сопровождается, позволяет рационально управлять этим процессом и качеством обрабатываемой поверхности.

Первые научные исследования процесса резания были проведены профессором Санкт-Петербургского политехнического института И.А. Тиме. Он предложил схему стружкообразования, основанную на визуальном наблюдении за процессом резания (рис. 2.5).

В начальный момент, когда движущийся резец под действием силы резания соприкасается с металлом, в материале возникают упругие деформации (рис. 2.5, а). При дальнейшем движении резец своей кромкой вдавливаются в металл, вызывая его пластическое деформирование (рис. 2.5, б).

По мере перемещения резца объем пластически деформированного металла возрастает и внутренние напряжения достигают значений, которые превышают временное сопротивление металла.

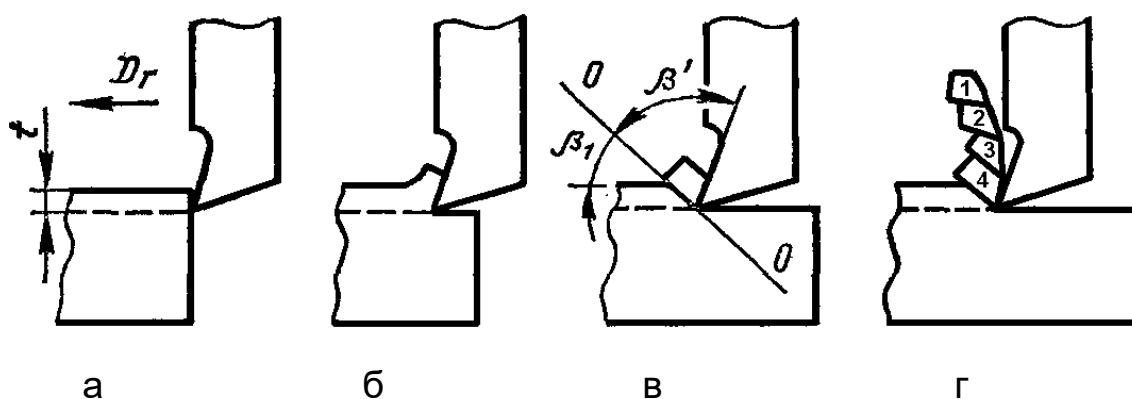


Рисунок 2.5 – Последовательность образования элементов стружки

В этот момент весь пластически деформированный материал под действием сил сдвигается резцом в виде окончательно сформировавшегося элемента стружки (рис. 2.5, в). Далее процесс деформирования повторяется, образуются новые элементы 1, 2, 3 и т. д. стружки (рис. 2.5, г).

Объем металла, подвергающийся пластическому деформированию, ограничен с одной стороны передней поверхностью лезвия резца, с другой – плоскостью $O-O$, по которой периодически сдвигаются или скалываются сформировавшиеся элементы стружки. Эту плоскость называют плоскостью сдвига. Угол β_1 , определяющий положение плоскости сдвига относительно направления движения инструмента, называют углом сдвига, угол β' – углом действия.

В более поздних исследованиях было установлено, что наибольшие деформации зерен возникают не в направлении плоскости $O-O$, а в другом направлении, определяемом углом θ (рис. 2.6). Срезаемый слой подвергается дополнительному деформированию вследствие трения

стружки о переднюю поверхность инструмента, и окончательная его структура формируется в виде вытянутых зерен.

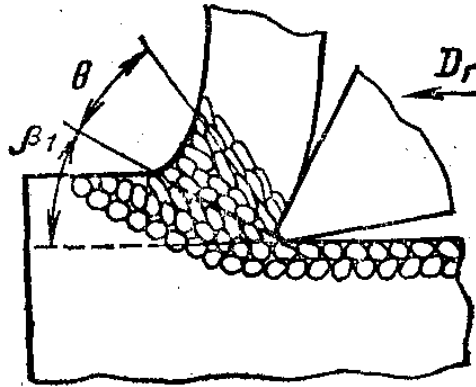


Рисунок 2.6 – Схема пластически деформированной зоны при резании

Упорядоченную ориентацию деформированных кристаллических зерен называют текстурой, а угол θ – углом текстуры.

Характер деформирования зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, режимов резания и условий обработки. Для сталей средней твердости положение плоскости сдвига О–О практически постоянно ($\beta' = 30^\circ$). Угол θ зависит от свойств обрабатываемого материала и геометрических параметров инструмента. При обработке хрупких материалов угол θ близок к нулю, при обработке пластичных материалов достигает 30° .

По действующей и поныне классификации, предложенной профессором И. А. Тиме, при обработке различных материалов могут образовываться следующие виды стружки: сливная, скалывания и надлома (рис. 2.7). Вид стружки в основном определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, режимом резания и геометрическими параметрами инструмента.

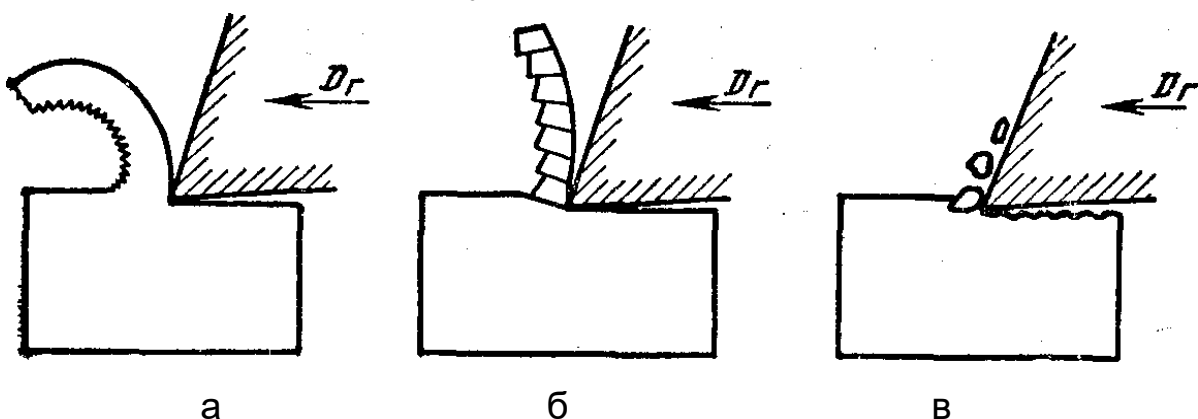


Рисунок 2.7 – Виды стружки: а – сливная; б – скалывания; в – надлома

Сливная стружка (рис. 2.7, а) представляет собой сплошную ленту с гладкой блестящей наружной стороной и внутренней матовой стороной со слабо выраженными пилообразными зазубринами. Она образу-

ется в процессе резания пластичных материалов при больших скоростях резания, малой толщине срезаемого слоя и больших передних углах инструмента.

Стружка *скалывания* (рис. 2.7, б) с наружной стороны гладкая, а на внутренней имеет ярко выраженные зазубрины – отдельные элементы (элементная стружка) или элементы, соединенные между собой в ленту (суставчатая стружка). Такая стружка характерна для обработки материалов средней твердости при малых скоростях резания, большой толщине срезаемого слоя и небольших передних углах инструмента.

Стружка *надлома* (рис. 2.7, в) образуется при обработке хрупких материалов. Под действием силы, приложенной к инструменту, происходит надлом и разрушение материала. Обработанная поверхность при образовании такой стружки получается шероховатой, с зазубринами и вырывами.

Изменяя условия и режим резания, можно получить различные виды стружки. Например, по мере увеличения скорости резания большинства углеродистых и легированных конструкционных сталей стружка скалывания превращается в сливную.

Образующаяся при обработке большинства сталей сливная стружка сходит в виде длинных полос или спирали. Она наматывается на механизмы станка, инструмент и обрабатываемую заготовку. Это затрудняет эксплуатацию станка, может вызвать травмирование рабочего и повреждение обрабатываемой поверхности. Особенно недопустима такая стружка в условиях автоматизированного производства. В массовом производстве оптимальной считается стружка в форме спирали длиной от 30 до 80 мм.

Разработан ряд способов дробления стружки: регулирование режима резания и геометрических параметров режущего инструмента; искусственное дробление с помощью различных приспособлений.

Чтобы получить устойчивое стружкодробление, на передней поверхности резца затачивают специальные фаски (рис. 2.8, а) и канавки вдоль главной режущей кромки (рис. 2.8, б). Наличие фаски или канавки увеличивает передний угол γ в месте схода стружки, что облегчает резание. Стружка сходит крутой спиралью или ломается отдельными кольцами. Возможно также использование накладных стружколомов, устанавливаемых на резце (рис. 2.8, в).

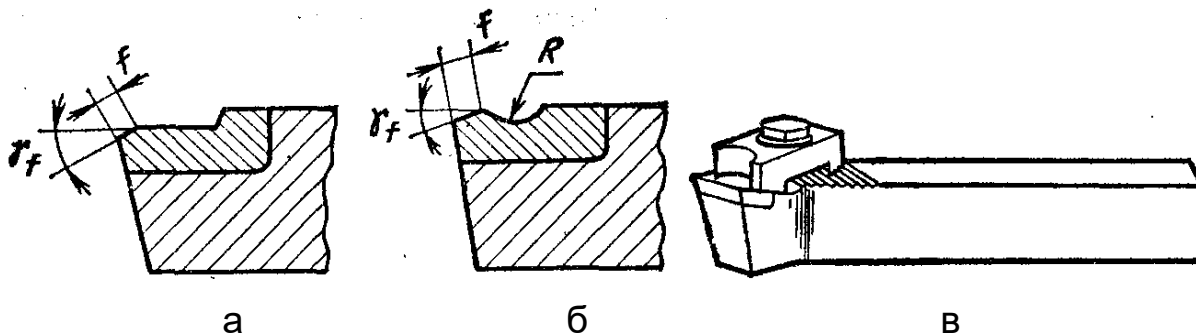


Рисунок 2.8 – Варианты дробления стружки:

а – с помощью фаски; б – канавки; в – накладного стружколома

Искусственное дробление стружки можно осуществлять и изменением кинематики процесса резания – наложением на равномерное движение подачи осевых вибраций. Сливная стружка, получающаяся при обычной резании, превращается в стружку с переменной толщиной, дробится на части и легко удаляется.

2.4. Явление наклепа при резании

При обработке резанием на инструменте всегда образуется радиус кривизны вершины лезвия r_ϕ . Поэтому в стружку переходит лишь часть металла, подвергающаяся упругопластическому деформированию.

Другая часть, толщина которой соизмерима с радиусом r_ϕ , образует обработанную поверхность. После прохождения резца относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя на величину h_y – упругое последствие (рис. 2.9). В результате упругопластического деформирования обработанной поверхности повышаются ее прочностные характеристики (временное сопротивление, предел текучести, твердость), снижается пластичность.

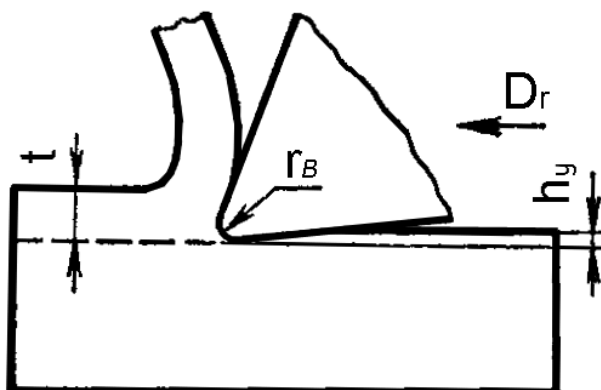


Рисунок 2.9 – Схема образования поверхностного слоя заготовки

Совокупность изменения указанных свойств материала называют упрочнением, или наклепом. Наклеп характеризуется глубиной h_n и степенью $i_n = HV_{нов} / HV_{исх}$, где $HV_{нов}$ и $HV_{исх}$ – микротвердость соответственно поверхностного упрочненного и исходного материала.

Глубина и степень наклепа зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, радиуса кривизны вершины лезвия, режима резания.

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый материал, тем большему наклепу он подвергается.

Результатом упругопластического деформирования металла являются также взаимно уравновешивающие остаточные напряжения, возникающие вследствие неравномерности пластического деформиро-

вания и значительного нагрева поверхностных слоев. Они могут быть растягивающими и сжимающими.

Если остаточные напряжения по величине превосходят временное сопротивление обрабатываемого материала, то это может привести к образованию поверхностных трещин.

Упрочнение обработанной поверхности полезно при чистовой обработке, если остаточные напряжения будут сжимающими. Однако упрочнение оказывает и отрицательное влияние: повышение твердости поверхностного слоя в результате черновой обработки затрудняет чистовую обработку, так как повышается износ инструмента и увеличивается шероховатость поверхности. Уменьшить глубину и степень наклепа можно путем применения смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ), увеличением скорости резания и за счет термообработки.

2.5. Изнашивание и стойкость инструмента

Изнашивание инструмента при резании происходит в результате трения стружки о переднюю поверхность лезвия инструмента и задних поверхностей лезвия о поверхности заготовки. Трение происходит при больших контактных давлениях и высоких температурах.

Абразивное изнашивание происходит вследствие царапания и истирания отдельных участков поверхностей инструмента твердыми включениями, находящимися в обрабатываемом материале.

Адгезионное изнашивание происходит в результате действия сил молекулярного сцепления – адгезии, выражающейся в схватывании поверхностных слоев режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Частицы материала вырываются с поверхности инструмента и уносятся со стружкой.

Диффузионное изнашивание – результат растворения инструментального материала в обрабатываемом. Взаимному диффузионному растворению металла инструмента и заготовки способствуют высокая температура, большие пластические деформации и схватывание в контакте. Наиболее активно диффузионному изнашиванию подвергаются твердые сплавы, работающие при высоких скоростях резания.

Окислительное изнашивание происходит вследствие коррозии металлов в условиях активного охлаждения зоны резания и газонасыщения; происходит разрушение поверхностных слоев путем образования оксидов и растравливания зерен в сочетании с истиранием.

Все эти виды изнашивания тесно связаны между собой и влияют в целом на суммарный износ инструмента. Удельный вес каждого из этих видов изнашивания зависит от свойств контактирующих материалов и условий взаимодействия (прежде всего от скорости резания).

В результате изнашивания (рис. 2.10) на передней поверхности лезвия инструмента образуется лунка глубиной $h_{л}$, а на задней поверх-

ности – площадка высотой h_3 , радиальный износ лезвия инструмента определяется величиной h_p .

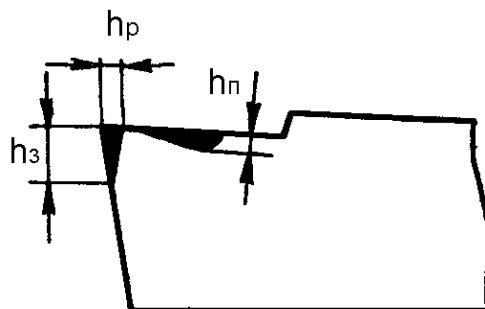


Рисунок 2.10 – Общий характер износа режущего инструмента

Износ по задним поверхностям преобладает при обработке твердых хрупких материалов, а также пластичных материалов с толщиной срезаемого слоя менее 0,1 мм и при низких скоростях резания.

Износ по передней поверхности преобладает при обработке пластичных материалов с толщиной срезаемого слоя более 0,5 мм и при высоких скоростях резания без охлаждения.

Износ по задней поверхности токарного резца h_3 происходит в определенной закономерности (рис. 2.11).

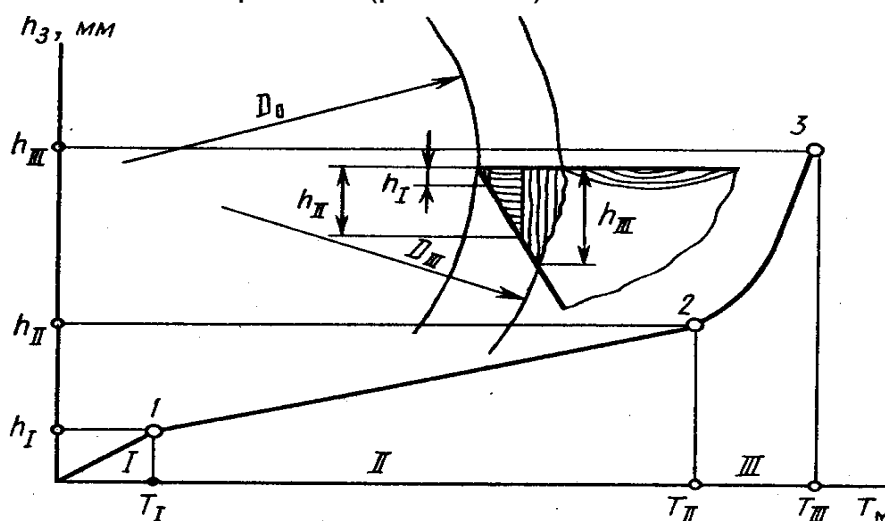


Рисунок 2.11 – Закономерность износа токарного резца

В начале работы режущая кромка инструмента прирабатывается и несколько скругляется (*I – зона начального износа, $h_3 = 0,05...0,1$ мм*). Постепенно величина износа достигает определенного допустимого значения без ухудшения чистоты и точности обработки (*II – зона нормального износа, $h_3 = 0,3...0,5$ мм*).

Дальнейшая работа приводит к резкому возрастанию величины износа по задней и передней поверхностям и разрушению режущего лезвия (*III – зона «катастрофического» износа*).

Износостойкость инструмента зависит от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрии

ческих параметров инструмента, режима резания. Наибольшее влияние на интенсивность изнашивания оказывает скорость резания.

ГОСТ 25751–83 устанавливает следующие понятия и определения, связанные с надежностью режущих инструментов:

– критерий затупления – это критерий отказа, характеризующийся максимально допустимым значением износа режущего инструмента, после достижения которого наступает его отказ;

– стойкостью отказ – это постепенный отказ режущего инструмента, наступающий после достижения им критерия затупления;

– точностной отказ – это постепенный отказ режущего инструмента, наступающий после достижения размером, формой или расположением обработанной поверхности предела поля допуска;

– период стойкости – это время резания новым или восстановленным режущим инструментом от начала резания до отказа.

Износостойкость инструмента характеризуется периодом стойкости T , мин, в течение которого износ достигает максимального допустимого значения, определяемого как критерий затупления. Если износ инструмента по значению равен критерию затупления, необходима переточка инструмента.

За критерий затупления принимают: при точении и фрезеровании заготовок – износ по задней поверхности режущего лезвия резца или фрезы; при отрезке и прорезке канавок – износ по уголкам резца; при обработке отверстий и нарезании резьбы – износы режущей части инструмента по перемычке, уголкам, задней поверхности и ленточке.

При чистовой обработке установлен так называемый *технологический критерий затупления*. Инструмент считают изношенным, когда шероховатость обработанной поверхности и точность ее размеров перестают отвечать заданным техническим условиям.

Контрольные вопросы к разделу

1. Назовите конструктивные элементы режущего инструмента.
2. Какие поверхности характеризуют процесс обработки режущим инструментом?
3. Какие углы инструмента рассматривают в главной секущей плоскости?
4. Назовите кинематические элементы инструмента при обработке резанием.
5. Какие составляющие имеет сила резания?
6. Назовите основные виды стружки и способы, которые обеспечивают устойчивое дробление стружки?
7. От чего зависит глубина и степень наклепа при резании?
8. Какие виды изнашивания инструмента имеют место при обработке резанием?
9. Какой параметр принимают за критерий износа инструмента?

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ

В заготовительном отделении или цехе прокат в виде прутков подвергается правке, обдирке, разрезанию, центрованию. Поковки и штамповки также проходят подготовительные операции: фрезерование и центрование торцов, обдирку и предварительное обтачивание отверстий. Подготовительные операции обработки для прутков обычно выполняются в следующем порядке: правка; бесцентровая обдирка; разрезание; центрование.

3.1. Правка монолитных заготовок

Монолитные заготовки в виде поковки и штамповки при значительных их размерах правят в нагретом состоянии под молотами, прутки – в холодном состоянии на прессах с помощью призм. Предварительно заготовки проверяют в центрах и определяют места, подлежащие правке.

Прутки круглого сечения правят на специальных правильных станках (рис. 3.1).

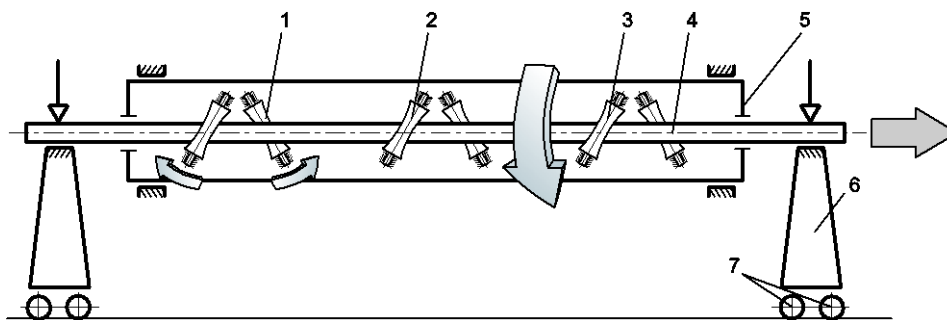


Рисунок 3.1 – Схема правильного станка

Правка осуществляется тремя парами роликов 1, 2, 3 с вогнутой поверхностью. Ролики 1 подают пруток 4, закрепленный в специальных стойках 6 на роликах 7. Все три пары роликов расположены в барабане 5 под углом 70° к оси барабана. При вращении барабана ролики обкатываются вокруг прутка и осуществляют процесс его правки. Скорость подачи прутка составляет от 5 до 30 м/мин в зависимости от скорости вращения барабана. Точность правки составляет от 0,1 до 0,2 мм на 1 м длины прутка.

3.2. Обдирка прутков

Для обдирки прутков диаметром от 15 до 80 мм, длиной до 7 м применяют бесцентрово-обдирочные станки. Процесс обработки на таких станках протекает следующим образом. Центральное зубчатое колесо, приводимое в движение электродвигателем, вращает две резцовые головки. Одна головка с резцом производит черновую обдирку, другая – получистовую. Подача прутка осуществляется двумя роликами, имеющими крупную насечку. В зависимости от частоты вращения роликов скорость движения подачи прутка составляет от 175 до 600 мм/мин.

3.3. Разрезание прутков, валов, труб

Прутки и валы разрезают на приводных ножовках, пилах (дисковых, ленточных, фрикционных), токарно-отрезных станках или абразивным кругом.

На **приводных ножовках** прутковый материал разрезается ножовочным полотном, которое совершает под некоторым давлением возвратно-поступательное движение от механического привода.

Режущие кромки зубьев ножовочного полотна направлены в сторону разрезания; полотно прижимается к разрезаемому материалу только во время рабочего хода, а при обратном ходе приподнимается гидравлическим механизмом. Вследствие этого трение зубьев о материал при обратном ходе исключается, износ полотна уменьшается, а производительность ножовки увеличивается.

Дисковые пилы изготавливают сборными – конструктивно это диск из углеродистой стали со вставными зубьями или приклепанными зубчатыми сегментами из быстрорежущей стали. Дисковой пилой прутки разрезают по одному или пакетом.

По мере внедрения пилы в материал площадь сечения заготовки постоянно изменяется, вследствие чего при равномерной подаче пилы происходит изменение силы резания. Переменное значение величины подачи в каждый момент соответствует величине площади разрезаемого сечения, так что станок всегда работает при одинаковой силе резания.

Ленточные пилы имеют форму ленты толщиной 1,0...1,5 мм. Ленточные пилы применяют главным образом для разрезания пруткового материала из цветных металлов.

Фрикционная пила представляет собой тонкий стальной диск, который при подаче и вращении вследствие возникающего трения нагревает частицы металла в прорезе до температуры плавления. Расплавленный металл удаляется из прореза самим же диском, который охлаждается воздухом и водой. Для увеличения трения поверхность диска снабжена частой насечкой.

Электрическая фрикционная пила разрезает материал путем совместной работы фрикционной пилы с вольтовой дугой. Вращающийся диск соединен с одним полюсом генератора, а разрезаемый материал – с другим, при этом образуется вольтова дуга. Металл в прорезе плавится, а вращающийся диск только удаляет расплавленный металл.

Отрезные станки служат для разрезания по длине круглых и шестигранных прутков, а также труб.

Серийно выпускаются отрезные станки, снабженные двумя суппортами – передним и задним. В этих станках работают одновременно два резца, благодаря чему их производительность повышается.

Рост производительности отрезных станков достигается также благодаря устройству, которое регулирует и поддерживает постоянную ско-

рость резания. В станках с постоянной скоростью резания по мере приближения резцов к оси прутка частота вращения шпинделя станка увеличивается, что ускоряет выполнение операции.

3.3.1. Разрезание заготовок абразивными кругами

Разрезание заготовок абразивными кругами целесообразно при разделении материалов из труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов, дисперсионно-твердеющих сталей, когда использование ленточных или дисковых пил невозможно.

Различают следующие схемы работы абразивно-отрезных станков (рис. 3.2):

- *Маятниковая* (рис. 3.2, а). Шпиндель с кругом устанавливают на одном конце рычага (качалки), а двигатель с приводом шпинделя – на другом. Рычаг поворачивают относительно неподвижной оси на угол, необходимый для резки прутка, профиля или трубы. Максимальный диаметр заготовки – до 100 мм.

- *С осциллирующим движением круга* (рис. 3.2, б). Отрезной круг, кроме вращения и поступательного движения подачи нарезаемого материала, совершает возвратно-поступательное движение. За счет уменьшения длины дуги контакта круга с нарезаемой заготовкой снижается температура в зоне резания, и качество торцов отрезаемых заготовок повышается.

- *С вращением круга и отрезаемой заготовки* (рис. 3.2, в). Отрезной круг подается только до центра заготовки из проката и на толщину стенки при отрезке заготовки из трубы, поэтому максимальный диаметр заготовки увеличивается до 700 мм.

- *С вращением и продольным перемещением круга* (рис. 3.2, г).

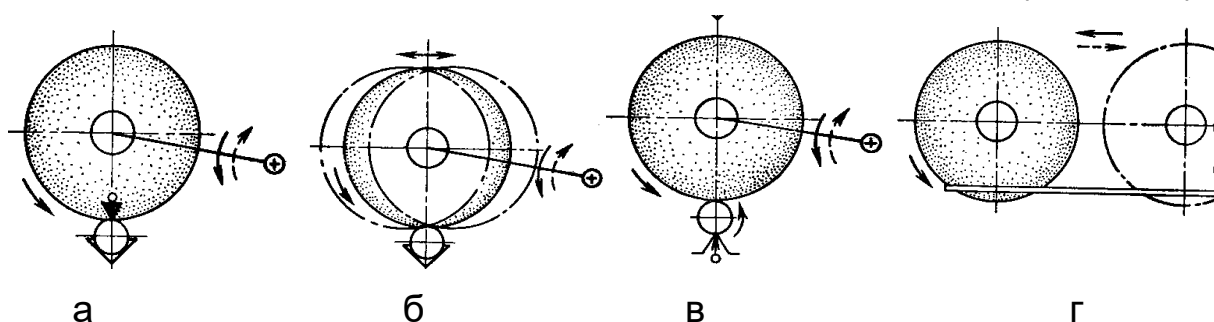


Рисунок 3.2 – Схемы работы абразивно-отрезных станков

Тонкие листы и плиты отрезают за один рабочий ход, толстые – за несколько рабочих ходов с глубиной резания от 3 до 6 мм. Длина нарезаемых плит – до 6000 мм, толщина – до 200 мм. Отрезка заготовок возможна как поштучно, так и пакетом. Производительность абразивной отрезки составляет от 0,8 до 15 см²/с. Режим резания: скорость резания кругов – от 50 до 80 м/с, скорость подачи – от 60 до 2500 мм/мин.

Круги из электрокорунда применяют для отрезки стальных заготовок, круги из карбида кремния – для отрезки заготовок из титановых сплавов и неметаллических материалов.

Разрезание листов, плит, прутков, труб и других заготовок из высокопрочных сплавов производится электрофизическими методами – анодно-механическим, лазерным и плазменным.

3.4. Центрование заготовок

Центровые отверстия в деталях типа валов являются базой для ряда операций: обтачивания, нарезания резьбы, шлифования, нарезания шлицев, а также для проверки изготавливаемых деталей.

Для центрования заготовок применяют специальные комбинированные (сверление и зенкование) центровочные сверла диаметром от 1 до 10 мм с углом конуса 60° , а также сверла, имеющие двойной конус (сверление, зенкование и образование фаски) с углами 60° и 120° .

Центрование заготовок производят на сверлильных, токарных и револьверных станках, а в серийном и массовом производстве – на специальных двухсторонних центровальных станках, а также на фрезерно-центровальных станках (рис. 3.3). Центрование крупных заготовок осуществляют на горизонтально-сверлильных станках.

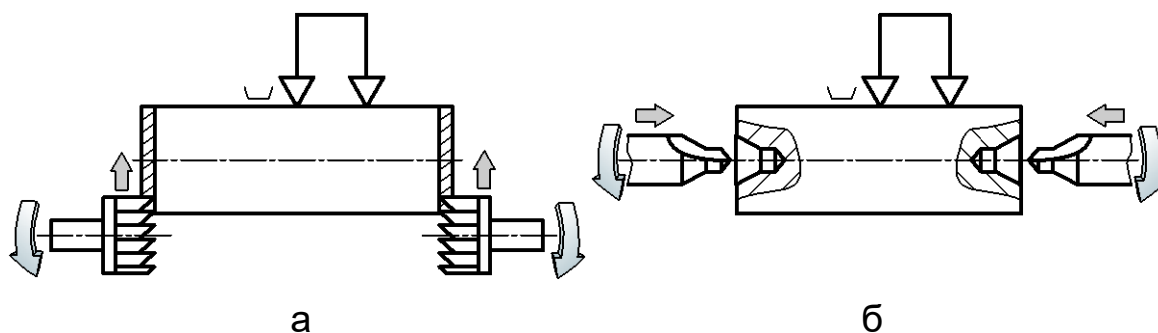


Рисунок 3.3 – Схема работы фрезерно-центровального станка

Фрезерно-центровальные станки работают по следующей схеме:

- на позиции «загрузка – выгрузка» заготовку устанавливают в тиски с самоцентрирующимися призматическими губками;
- на первой позиции фрезеруют одновременно оба торца заготовки (рис. 3.3, а);
- на второй позиции сверлят центровые отверстия (рис. 3.3, б).

Контрольные вопросы к разделу

1. Перечислите виды подготовительных операций.
2. Укажите методы разрезания прутков, валов, труб.
3. Приведите схемы разрезания заготовок абразивными кругами.
4. На каком оборудовании производят центрование заготовок?
5. По какой схеме работают фрезерно-центровальные станки?

3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ

В заготовительном отделении или цехе прокат в виде прутков подвергается правке, обдирке, разрезанию, центрованию. Поковки и штамповки также проходят подготовительные операции: фрезерование и центрование торцов, обдирку и предварительное обтачивание отверстий. Подготовительные операции обработки для прутков обычно выполняются в следующем порядке: правка; бесцентровая обдирка; разрезание; центрование.

3.1. Правка монолитных заготовок

Монолитные заготовки в виде поковки и штамповки при значительных их размерах правят в нагретом состоянии под молотами, прутки – в холодном состоянии на прессах с помощью призм. Предварительно заготовки проверяют в центрах и определяют места, подлежащие правке.

Прутки круглого сечения правят на специальных правильных станках (рис. 3.1).

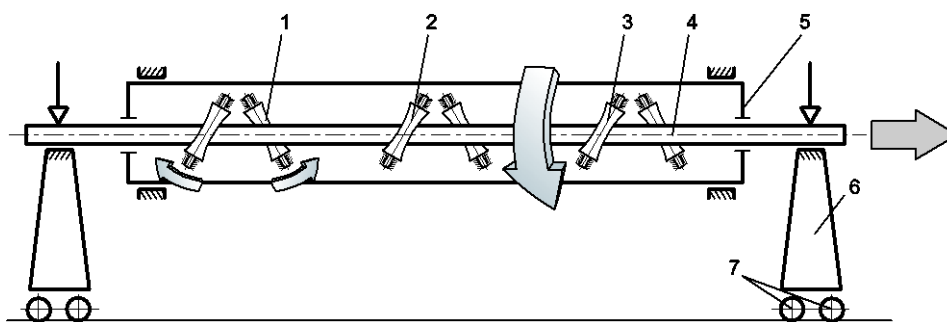


Рисунок 3.1 – Схема правильного станка

Правка осуществляется тремя парами роликов 1, 2, 3 с вогнутой поверхностью. Ролики 1 подают пруток 4, закрепленный в специальных стойках 6 на роликах 7. Все три пары роликов расположены в барабане 5 под углом 70° к оси барабана. При вращении барабана ролики обкатываются вокруг прутка и осуществляют процесс его правки. Скорость подачи прутка составляет от 5 до 30 м/мин в зависимости от скорости вращения барабана. Точность правки составляет от 0,1 до 0,2 мм на 1 м длины прутка.

3.2. Обдирка прутков

Для обдирки прутков диаметром от 15 до 80 мм, длиной до 7 м применяют бесцентрово-обдирочные станки. Процесс обработки на таких станках протекает следующим образом. Центральное зубчатое колесо, приводимое в движение электродвигателем, вращает две резцовые головки. Одна головка с резцом производит черновую обдирку, другая – получистовую. Подача прутка осуществляется двумя роликами, имеющими крупную насечку. В зависимости от частоты вращения роликов скорость движения подачи прутка составляет от 175 до 600 мм/мин.

3.3. Разрезание прутков, валов, труб

Прутки и валы разрезают на приводных ножовках, пилах (дисковых, ленточных, фрикционных), токарно-отрезных станках или абразивным кругом.

На **приводных ножовках** прутковый материал разрезается ножовочным полотном, которое совершает под некоторым давлением возвратно-поступательное движение от механического привода.

Режущие кромки зубьев ножовочного полотна направлены в сторону разрезания; полотно прижимается к разрезаемому материалу только во время рабочего хода, а при обратном ходе приподнимается гидравлическим механизмом. Вследствие этого трение зубьев о материал при обратном ходе исключается, износ полотна уменьшается, а производительность ножовки увеличивается.

Дисковые пилы изготавливают сборными – конструктивно это диск из углеродистой стали со вставными зубьями или приклепанными зубчатыми сегментами из быстрорежущей стали. Дисковой пилой прутки разрезают по одному или пакетом.

По мере внедрения пилы в материал площадь сечения заготовки постоянно изменяется, вследствие чего при равномерной подаче пилы происходит изменение силы резания. Переменное значение величины подачи в каждый момент соответствует величине площади разрезаемого сечения, так что станок всегда работает при одинаковой силе резания.

Ленточные пилы имеют форму ленты толщиной 1,0...1,5 мм. Ленточные пилы применяют главным образом для разрезания пруткового материала из цветных металлов.

Фрикционная пила представляет собой тонкий стальной диск, который при подаче и вращении вследствие возникающего трения нагревает частицы металла в прорезе до температуры плавления. Расплавленный металл удаляется из прореза самим же диском, который охлаждается воздухом и водой. Для увеличения трения поверхность диска снабжена частой насечкой.

Электрическая фрикционная пила разрезает материал путем совместной работы фрикционной пилы с вольтовой дугой. Вращающийся диск соединен с одним полюсом генератора, а разрезаемый материал – с другим, при этом образуется вольтова дуга. Металл в прорезе плавится, а вращающийся диск только удаляет расплавленный металл.

Отрезные станки служат для разрезания по длине круглых и шестигранных прутков, а также труб.

Серийно выпускаются отрезные станки, снабженные двумя суппортами – передним и задним. В этих станках работают одновременно два резца, благодаря чему их производительность повышается.

Рост производительности отрезных станков достигается также благодаря устройству, которое регулирует и поддерживает постоянную ско-

рость резания. В станках с постоянной скоростью резания по мере приближения резцов к оси прутка частота вращения шпинделя станка увеличивается, что ускоряет выполнение операции.

3.3.1. Разрезание заготовок абразивными кругами

Разрезание заготовок абразивными кругами целесообразно при разделении материалов из труднообрабатываемых жаропрочных и титановых сплавов, дисперсионно-твердеющих сталей, когда использование ленточных или дисковых пил невозможно.

Различают следующие схемы работы абразивно-отрезных станков (рис. 3.2):

- *Маятниковая* (рис. 3.2, а). Шпиндель с кругом устанавливают на одном конце рычага (качалки), а двигатель с приводом шпинделя – на другом. Рычаг поворачивают относительно неподвижной оси на угол, необходимый для резки прутка, профиля или трубы. Максимальный диаметр заготовки – до 100 мм.

- *С осциллирующим движением круга* (рис. 3.2, б). Отрезной круг, кроме вращения и поступательного движения подачи нарезаемый материал, совершает возвратно-поступательное движение. За счет уменьшения длины дуги контакта круга с нарезаемой заготовкой снижается температура в зоне резания, и качество торцов отрезаемых заготовок повышается.

- *С вращением круга и отрезаемой заготовки* (рис. 3.2, в). Отрезной круг подается только до центра заготовки из проката и на толщину стенки при отрезке заготовки из трубы, поэтому максимальный диаметр заготовки увеличивается до 700 мм.

- *С вращением и продольным перемещением круга* (рис. 3.2, г).

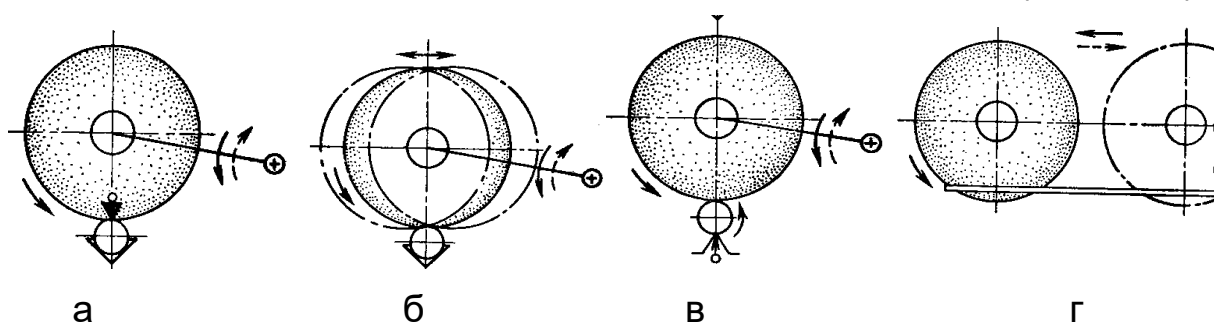


Рисунок 3.2 – Схемы работы абразивно-отрезных станков

Тонкие листы и плиты отрезают за один рабочий ход, толстые – за несколько рабочих ходов с глубиной резания от 3 до 6 мм. Длина нарезаемых плит – до 6000 мм, толщина – до 200 мм. Отрезка заготовок возможна как поштучно, так и пакетом. Производительность абразивной отрезки составляет от 0,8 до 15 см²/с. Режим резания: скорость резания кругов – от 50 до 80 м/с, скорость подачи – от 60 до 2500 мм/мин.

Круги из электрокорунда применяют для отрезки стальных заготовок, круги из карбида кремния – для отрезки заготовок из титановых сплавов и неметаллических материалов.

Разрезание листов, плит, прутков, труб и других заготовок из высокопрочных сплавов производится электрофизическими методами – анодно-механическим, лазерным и плазменным.

3.4. Центрование заготовок

Центровые отверстия в деталях типа валов являются базой для ряда операций: обтачивания, нарезания резьбы, шлифования, нарезания шлицев, а также для проверки изготавливаемых деталей.

Для центрования заготовок применяют специальные комбинированные (сверление и зенкование) центровочные сверла диаметром от 1 до 10 мм с углом конуса 60° , а также сверла, имеющие двойной конус (сверление, зенкование и образование фаски) с углами 60° и 120° .

Центрование заготовок производят на сверлильных, токарных и револьверных станках, а в серийном и массовом производстве – на специальных двухсторонних центровальных станках, а также на фрезерно-центровальных станках (рис. 3.3). Центрование крупных заготовок осуществляют на горизонтально-сверлильных станках.

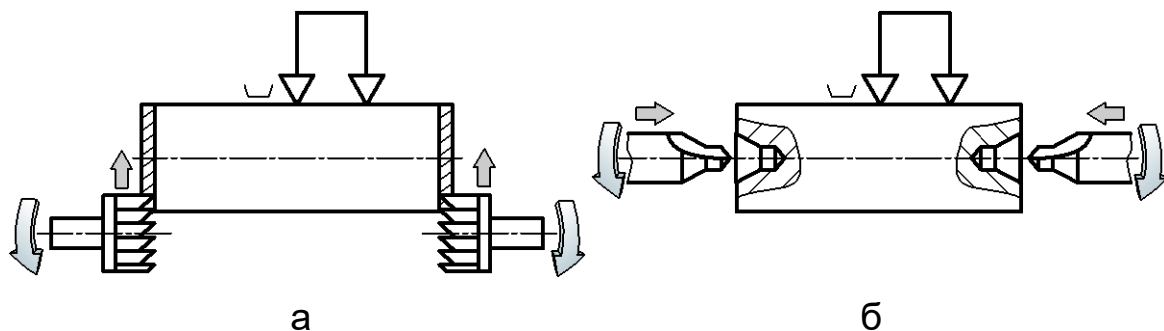


Рисунок 3.3 – Схема работы фрезерно-центровального станка

Фрезерно-центровальные станки работают по следующей схеме:

- на позиции «загрузка – выгрузка» заготовку устанавливают в тиски с самоцентрирующимися призматическими губками;
- на первой позиции фрезеруют одновременно оба торца заготовки (рис. 3.3, а);
- на второй позиции сверлят центровые отверстия (рис. 3.3, б).

Контрольные вопросы к разделу

1. Перечислите виды подготовительных операций.
2. Укажите методы разрезания прутков, валов, труб.
3. Приведите схемы разрезания заготовок абразивными кругами.
4. На каком оборудовании производят центрование заготовок?
5. По какой схеме работают фрезерно-центровальные станки?

4. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ТОЧЕНИЕМ

4.1. Назначение и основные виды точения

Токарная обработка находит широкое применение при изготовлении тел вращения сложной формы и повышенной точности из различных конструкционных материалов.

По характеру обработки различают следующие *виды точения*:

– черновое – удаление дефектных слоев заготовок, разрезание, отрезка и подрезка торцов заготовок, срезание поверхностной «корки» и основной (до 70%) части припуска на обработку;

– получистовое – снятие от 20 до 25% припуска; шероховатость $R_z = 40 \dots 20$, точность 10 – 11-го квалитетов; заготовка получает форму, близкую к форме детали;

– чистовое – шероховатость $R_z = 20 \dots 12,5$, точность 7 – 9-го квалитетов; деталь получает окончательную форму и размеры;

– тонкое (алмазное) – срезание очень тонкой стружки; шероховатость $R_z = 0,65 \dots 0,32$, точность 5 – 7-го квалитетов.

Точение может осуществляться по различным схемам резания (см. рис. 2.2): свободное ортогональное – например, при обточке заготовок типа дисков с поперечной подачей; косоугольное – наиболее распространенная схема точения; несвободное – отрезка, проточка канавок, фасонное точение.

При точении труднообрабатываемых материалов применяют *специальные технологические методы*: точение с искусственным подогревом или глубоким охлаждением заготовки; виброточение с наведением высокочастотных или ультразвуковых колебаний на резец; точение в различных технологических средах и вакууме.

4.1.1. Способы токарной обработки

Процесс точения осуществляется токарными резцами на различных токарных станках.

Резец по ГОСТ 25751–83 – это однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в любом направлении.

Основные операции токарной обработки: обточка, отрезка, подрезка торцов, проточка наружных канавок, фасонная обточка, расточка внутренних поверхностей и проточка канавок, снятие фасок, нарезание наружной и внутренней резьбы резцом и др.

Схема точения цилиндрических поверхностей и основные элементы движений при токарной обработке показаны на рис. 2.3, а.

Способы точения конических поверхностей. Для образования конической поверхности резец перемещают под заданным углом к оси вращения заготовки. Небольшой угол конусности α можно получить за счет смещения центра 3 закрепления заднего конца заготовки 1 на токар-

ном станке (рис. 4.1, а). Величина смещения Δ определяется расчетным путем.

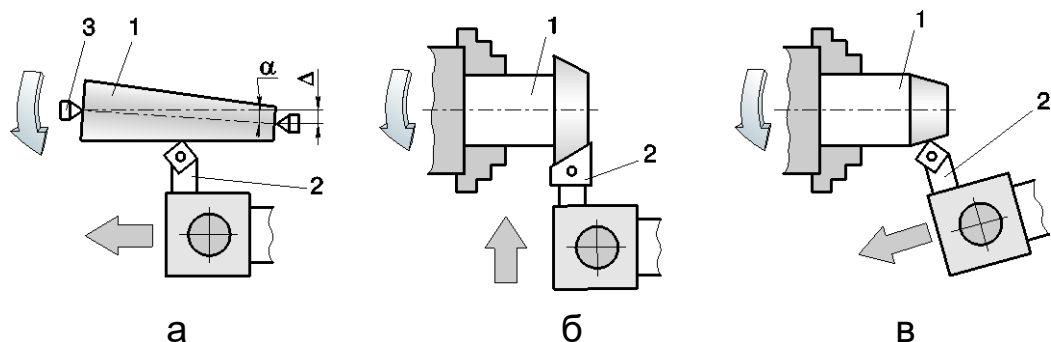


Рисунок 4.1 – Способы точения конических поверхностей

Короткие конические поверхности можно обработать широким резцом с поперечной подачей (рис. 4.1, б).

При обработке конических поверхностей с большим углом направление движения резца 2 изменяют путем поворота верхней части суппорта (рис. 4.1, в).

Способы точения фасонных поверхностей. Один из распространенных способов – точение с поперечной подачей фасонного резца 2, имеющего профиль контура детали 1 (рис. 4.2, а).

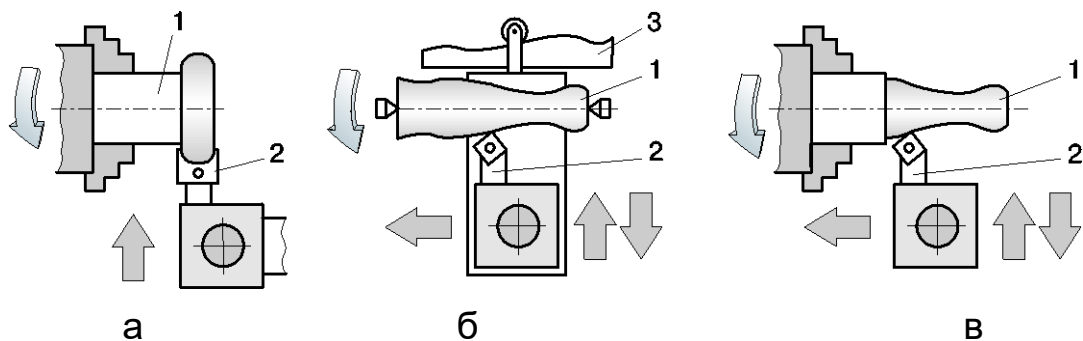


Рисунок 4.2 – Способы точения фасонных поверхностей

Фасонные поверхности большой длины обрабатывают с помощью копира 3, который при постоянной продольной подаче инструмента 2 перемещается в поперечном направлении в соответствии с профилем копира (рис. 4.2, б). Станки с ЧПУ позволяют задавать траекторию инструмента путем изменения величины подач по двум осям – продольной и поперечной одновременно (рис. 4.2, в).

Способы токарной обработки внутренних поверхностей показаны на рис. 4.3:

- растачивание цилиндрической поверхности 1 с продольной подачей резца 2 (рис. 4.3, а);
- прорезание канавки 1 прямоугольного или фасонного профиля с поперечной подачей резца (рис. 4.3, б);
- сверление отверстия 1 инструментом 2 с продольной подачей (рис. 4.3, в);
- нарезание резьбы 1 резцом 2 (рис. 4.3, г) и метчиком 2 (рис. 4.3, д).

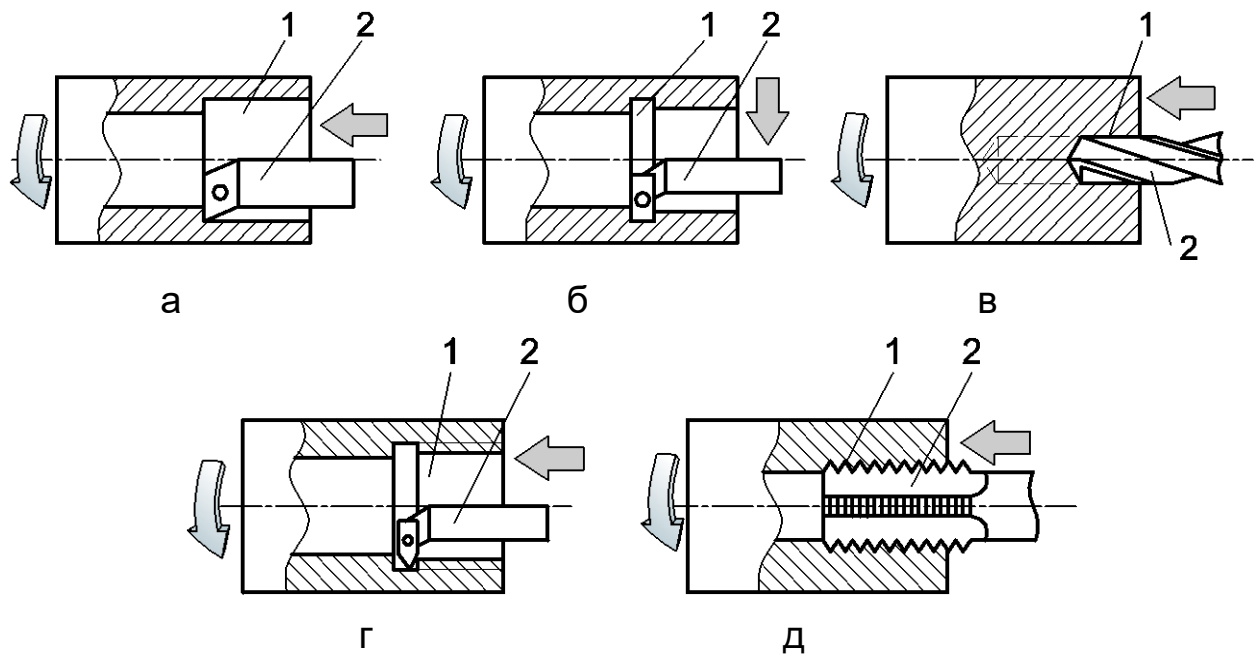


Рисунок 4.3 – Способы токарной обработки внутренних поверхностей

Чтобы получить заданную точность резьбы, необходима жесткая кинематическая связь шпинделя с резцом. Чтобы прорезать впадину резьбы на полную глубину, нужно выполнить несколько рабочих ходов, углубляя с каждым ходом резец в заготовку.

Другие виды токарной обработки. Применяются следующие виды токарной обработки за счет пластического деформирования поверхностных слоев заготовки: *накатывание* рифлений специальным роликом (рис. 4.4, а) и *обкатывание* поверхности детали гладким роликом (рис. 4.4, б) для ее упрочнения и уменьшения шероховатости.

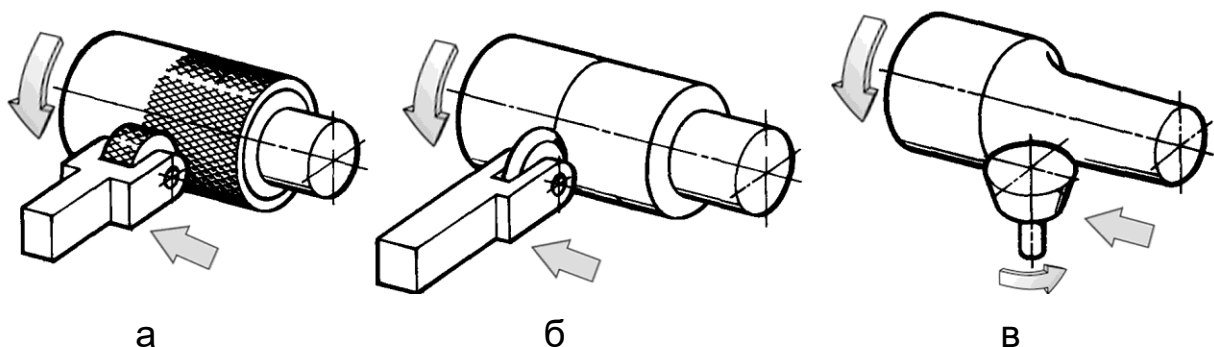


Рисунок 4.4 – Токарная обработка: а, б – поверхностным пластическим деформированием; в – вращающимся инструментом

На токарных станках возможна также обработка поверхностей за счет сложных кинематических связей рабочих органов станка.

Точение *вращающимся инструментом* (рис. 4.4, в) осуществляется путем трех согласованных между собой движений: вращения шпинделя с заготовкой, продольного перемещения суппорта с инструментом и вращения инструмента. В процессе вращения фасонный инструмент как бы катится по обрабатываемой поверхности.

4.2. Типы токарных резцов

Большое количество различных технологических операций, выполняемых на токарных станках, обуславливает многообразие конструкций применяемых резцов.

По конструктивно-технологическим признакам токарные резцы подразделяют на следующие типы (рис. 4.5):

– по назначению – проходные 6, 8 и проходные упорные 4, подрезные 1, отрезные и прорезные 5, расточные 10, 9, фасонные 2, резьбовые 7, резцы для чистовой обработки 3;

– по направлению движения – правые 6 и левые, радиальные и тангенциальные;

– по форме режущей части – прямые 6, 3, отогнутые 1, 4, 8, 9, 10, оттянутые 5, 7;

– по конструкции – цельные, сборные с различными способами крепления режущих пластин и резцовые блоки.

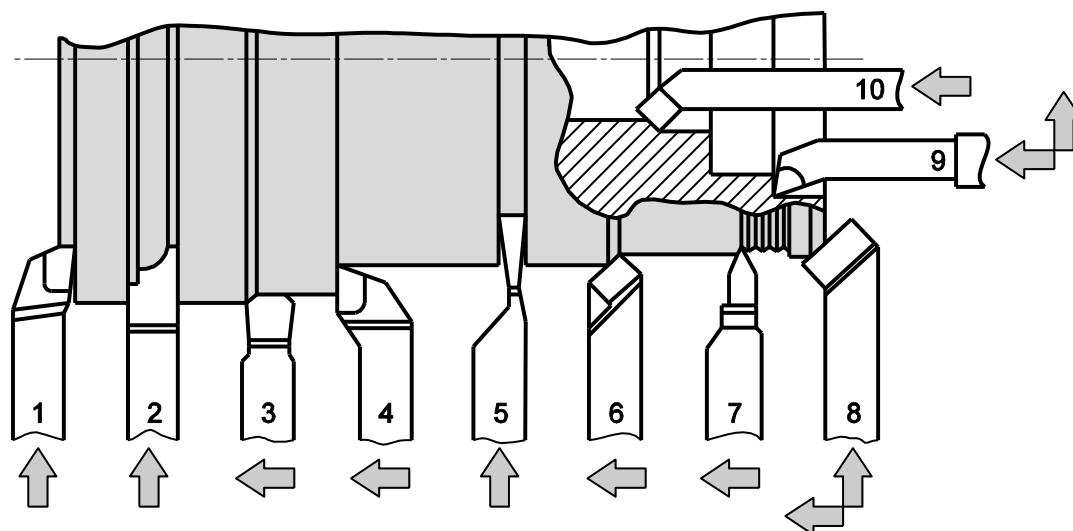


Рисунок 4.5 – Основные типы токарных резцов

Типы конструкции резцов выбирают с учетом комплекса технологических и экономических показателей (характера операции, свойств материалов, геометрических параметров инструмента).

4.2.1. Геометрические параметры токарного резца

Токарный резец (рис. 4.6, а) состоит из рабочей части Γ и корпуса K (стержень, державка, хвостовик) для закрепления на станке и имеет следующие типовые геометрические параметры: ab – вспомогательная режущая кромка; bc – главная режущая кромка; b – вершина резца; A_γ – передняя поверхность; $A_{\alpha I}$ – задняя вспомогательная поверхность; A_α – главная задняя поверхность.

Главная режущая кромка, выполняющая основную работу резания, образуется пересечением передней и главной задней поверхностей резца. Пересечение передней и задней вспомогательной поверхностей образует вспомогательную режущую кромку.

Место пересечения главной и вспомогательной режущих кромок является вершиной резца.

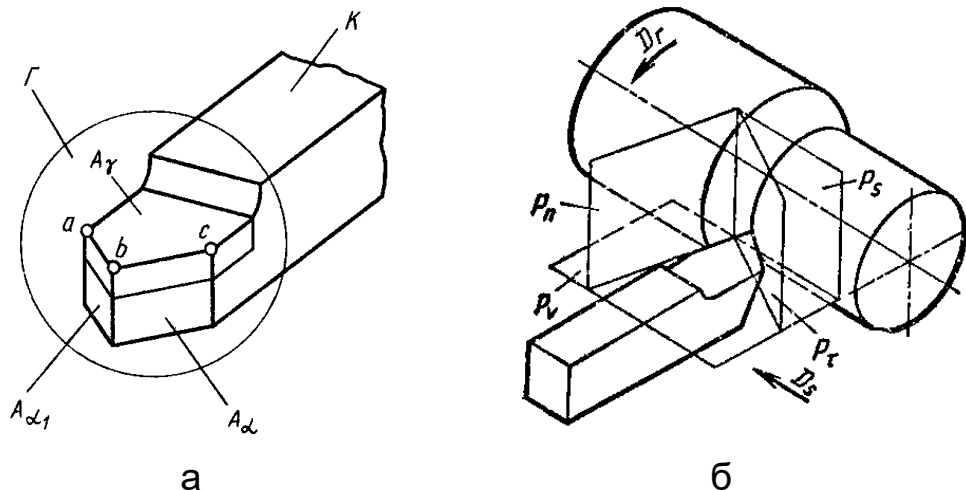


Рисунок 4.6 – Элементы и координатные плоскости токарного резца

Совокупность углов, определяющих положение граней резца относительно координатных плоскостей, называется *геометрией инструмента*. Величину углов выбирают в зависимости от типа резца, материалов резца и обрабатываемой заготовки с учетом условий работы инструмента.

Для отсчета углов токарного резца используют следующие исходные плоскости (рис. 4.6, б): основная плоскость P_v , плоскость резания P_n (определения для которых даны в подразд. 2.1), а также главная P_s и вспомогательная P_t секущие плоскости.

Основная плоскость P_v параллельна векторам продольной и поперечной подачи. У токарных резцов основная плоскость P_v совпадает с опорной плоскостью корпуса резца.

Плоскость резания P_n является касательной к поверхности резания и проходит через главную режущую кромку резца перпендикулярно основной плоскости.

Главная секущая плоскость P_s перпендикулярна проекции главной режущей кромки на основную плоскость, а вспомогательная секущая плоскость P_t перпендикулярна проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

На рис. 4.7 показаны токарный резец и заготовка в проекции на основную плоскость: P_n – след плоскости резания; P_v – след плоскости, параллельной основной плоскости; I – обрабатываемая поверхность; II – обработанная поверхность; R – поверхность резания.

Главные углы резца (γ , α , β) рассматривают в главной секущей плоскости (на рис. 4.7 плоскость $N-N$), а вспомогательные углы (γ_1 , α_1 , β_1) – во вспомогательной секущей плоскости (на рис. 4.7 плоскость N_1-N_1).

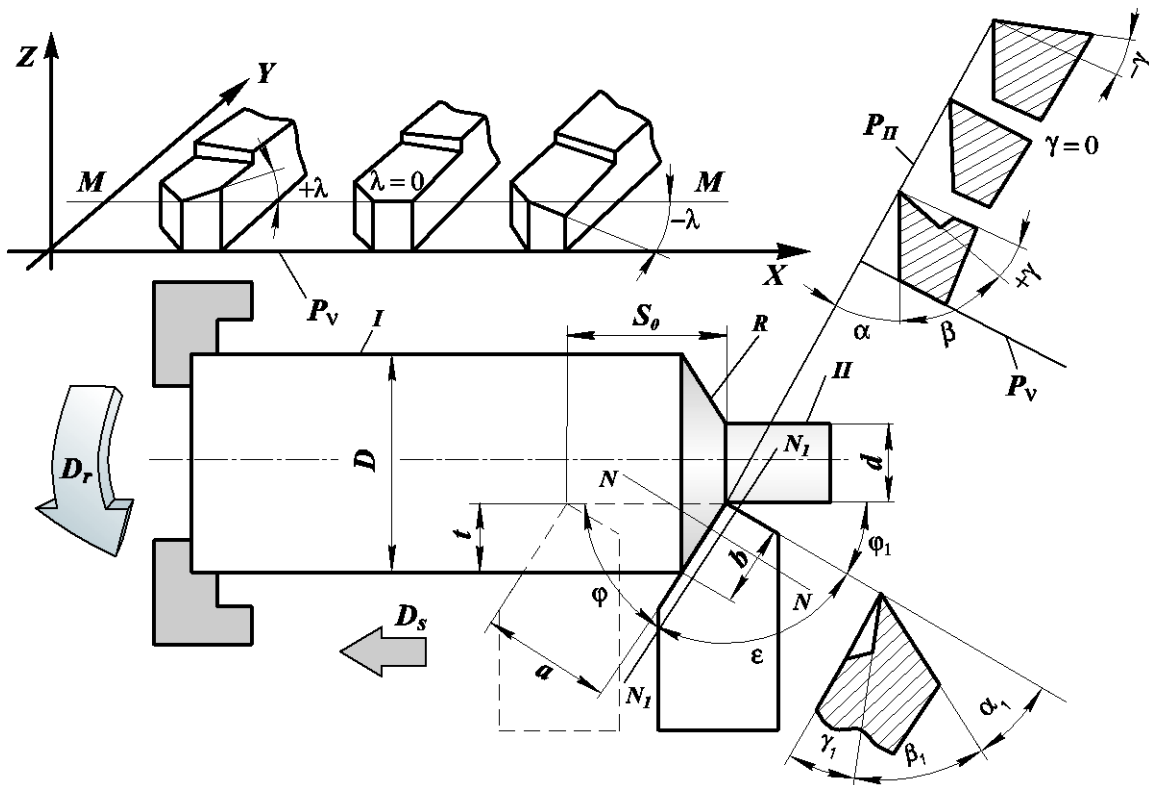


Рисунок 4.7 – Геометрические параметры токарного резца

Для определения положения граней токарного резца относительно координатных плоскостей используют шесть углов:

– *передний угол* γ – угол между передней гранью и основной плоскостью P_v ;

– *главный задний угол* α – угол между главной задней гранью и плоскостью резания (его измеряют в главной секущей плоскости, на рис. 4.7 – это плоскость $N - N$);

– *вспомогательный задний угол* α_1 – угол между вспомогательной задней гранью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости P_v (его измеряют во вспомогательной секущей плоскости, на рис. 4.7 – это плоскость $N_1 - N_1$);

– *угол наклона главной режущей кромки* λ – угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью P_v (этот угол измеряют в плоскости резания P_n);

– *главный угол в плане* φ – угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением движения подачи;

– *вспомогательный угол в плане* φ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением, противоположным движению подачи (эти углы измеряют в основной плоскости P_v).

Производные углы резца от перечисленных выше: угол заострения $\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha)$, угол при вершине резца $\epsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$.

Наиболее существенно на процесс резания влияет передний угол γ . При положительном переднем угле резец имеет острый угол резания. При этом пластическая деформация металла и силы резания уменьшаются, но затрудняется теплоотвод и снижается прочность режущей части, так как она работает на изгиб и вероятность ее излома возрастает. При отрицательных значениях γ угол резания становится тупым, пластическая деформация и силы резания увеличиваются, но улучшается теплоотвод и возрастает прочность режущей части, так как она работает на сжатие, что является более благоприятным видом нагружения. При обработке цветных металлов и сплавов принимают $\gamma = 15...30^\circ$; при точении труднообрабатываемых материалов и закаленных углеродистых сталей, а также при наличии литевой корки на поверхности заготовки – $\gamma = 0...10^\circ$.

Задний угол α служит для уменьшения трения между задними гранями резца и обработанной поверхностью, его выбирают в пределах от 6 до 10° .

Значительное влияние на процесс точения оказывает угол наклона главной режущей кромки λ (на рис. 4.7 – угол между главной режущей кромкой и плоскостью $M - M$, проведенной через вершину режущей части резца параллельно основной плоскости P_v). Принято считать угол λ положительным, если вершина резца – самая низкая точка режущей кромки. Величина и знак угла λ влияют на направление схода стружки и распределение нагрузки по длине режущей кромки. Для обдирочных работ применяются положительные углы λ . При этом стружка направляется к обработанной поверхности, возможно наматывание ее на деталь и царапание поверхности детали. Поэтому для чистовой обработки применяют резцы с отрицательными углами λ (до -5°), когда стружка направлена к обрабатываемой поверхности.

Главный угол в плане φ существенно влияет на стойкость резца и шероховатость обработанной поверхности. С уменьшением главного угла в плане шероховатость обработанной поверхности уменьшается. Однако при малых значениях угла φ возможно возникновение вибраций, в результате чего ухудшается качество обработанной поверхности и увеличивается износ инструмента. Угол φ имеет диапазон значений от 30 до 90° в зависимости от вида обработки, типа резца, жесткости заготовки и инструмента.

Толщина срезаемого слоя a измеряется в направлении, нормальном к режущей кромке между положениями плоскости резания за один оборот заготовки (см. рис. 4.7): $a = S_0 \sin \varphi$.

Ширина срезаемого слоя b – расстояние между точками на поверхности заготовки, измеренное вдоль режущей кромки (по ширине поверхности резания): $b = t / \sin \varphi$.

4.3. Элементы контура токарной обработки

Поверхности деталей, обрабатываемых на токарных станках, подразделяют на торцовые плоскости, перпендикулярные к оси вращения, соосные цилиндры, конусы, сферы, торы и поверхности вращения с произвольной криволинейной образующей, а также винтовые поверхности, формирующие резьбы. Образующими этих поверхностей являются прямые, окружности и линии.

С технологической точки зрения эти геометрические элементы и соответствующие им поверхности принято делить на основные и дополнительные (рис. 4.8).

Основными элементами контура детали являются образующие поверхностей, которые могут быть обработаны резцом для контурной обработки с главным углом в плане $\varphi = 95^\circ$ и вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 30^\circ$.

Для наружных и торцовых поверхностей такой резец принадлежит к типу проходных, а для внутренних – расточных.

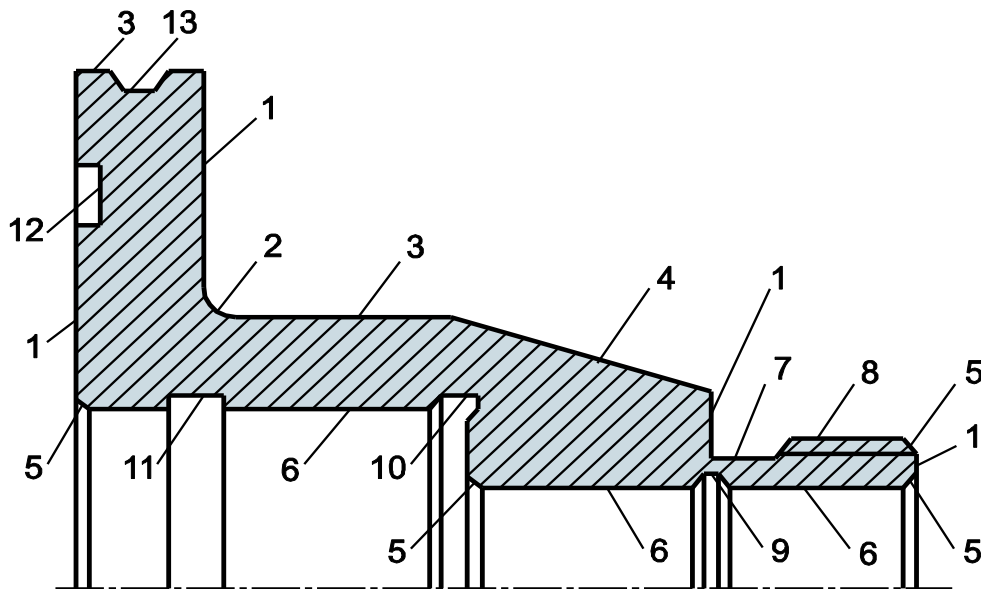


Рисунок 4.8 – Поверхности, образующие контур детали:

основные: 1 – торцовая, 2 – радиусная торцовая, 3 – цилиндрическая наружная, 4 – конусная, 5 – фаска, 6 – цилиндрическое отверстие; **дополнительные:** 7 – зарезьбовая канавка, 8 – резьбовая поверхность, 9 – внутренняя трапецеидальная канавка, 10 – угловая канавка, 11 – внутренняя прямоугольная канавка, 12 – торцовая канавка, 13 – желоб

Дополнительными элементами контура детали являются образующие поверхностей, формообразование которых не может быть выполнено указанным резцом. К дополнительным элементам контура относятся торцовые и угловые канавки для выхода шлифовального круга, канавки на наружной, внутренней и торцовой поверхностях, резьбовые поверхности, желоба под ремни и т. п.

4.3.1. Зоны токарной обработки

Каждая зона токарной обработки на станках с ЧПУ соответствует одному технологическому переходу и формируется в зависимости от конфигурации чернового или чистового контура детали и технологических возможностей режущего инструмента, выполняющего данный переход. Для токарных резцов эти технологические возможности определяются основным и вспомогательным углами в плане.

Зоны токарной обработки подразделяются на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 4.9).

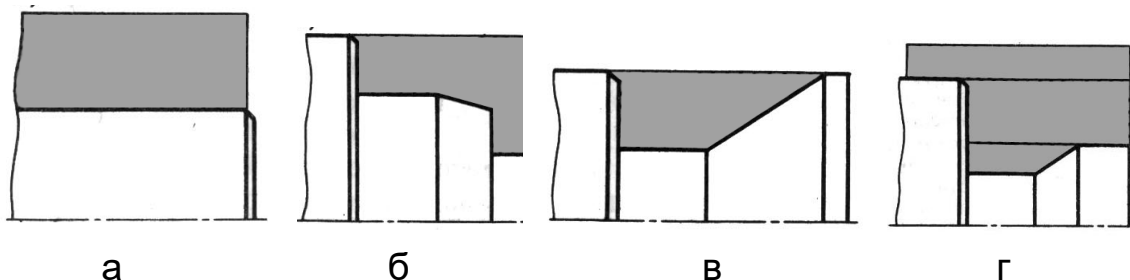


Рисунок 4.9 – Зоны токарной обработки:

а – открытая; б – полуоткрытая; в – закрытая; г – комбинированная

Открытая зона (рис. 4.9, а) формируется при снятии припуска с цилиндрической, а в некоторых случаях конической поверхности. При выборе резца для обработки этой зоны ограничения на главный и вспомогательный углы в плане не накладываются.

Наиболее типичной является **полуоткрытая зона** (рис. 4.9, б), конфигурация которой накладывает ограничения на величину главного угла резца в плане.

Закрытая зона (рис. 4.9, в) встречается преимущественно при обработке дополнительных поверхностей и ее конфигурация накладывает ограничения на величину как главного, так и вспомогательного углов резца в плане.

Комбинированная зона (рис. 4.8, г) представляет собой объединение двух или трех зон, описанных выше.

Согласно ГОСТ 25762–83 под **ходом** понимают движение в одну сторону при возвратно-поступательном движении. Типовые схемы ходов при черновой токарной обработке для удаления припуска из полуоткрытых зон показаны на рис. 4.10.

Эквидистантная схема ходов точения (рис. 4.10, а) используется при обработке фасонных деталей. Инструмент после завершения каждого рабочего хода выводится из зоны и подается на глубину следующего хода (вспомогательный ход).

Контурная схема (рис. 4.10, б) формируется путем повторения рабочих ходов инструмента вдоль контура обрабатываемой детали. Каждый рабочий ход совместно со вспомогательным образует траекторию в виде замкнутого цикла, начальная точка которого смещается вдоль некоторой прямой, приближаясь к контуру заготовки.

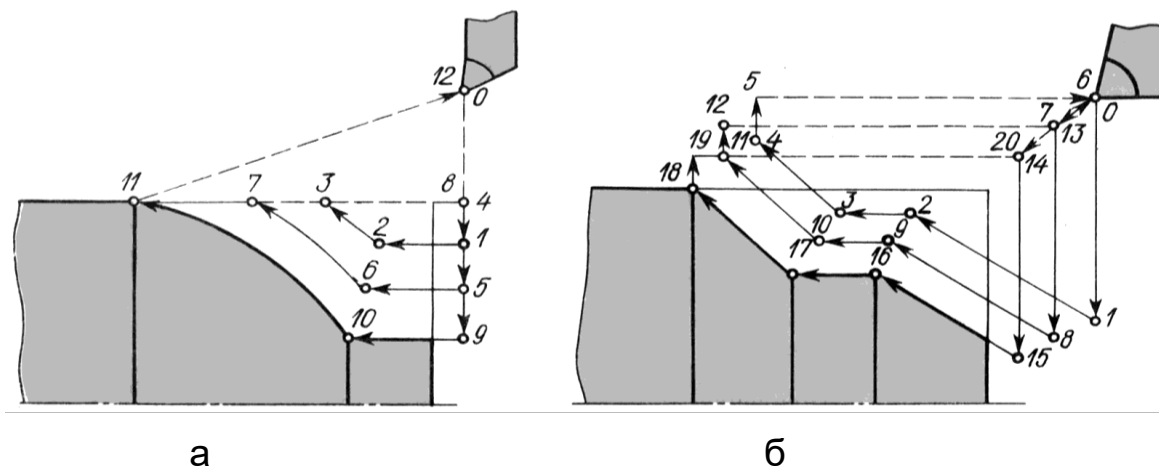


Рисунок 4.10 – Типовые схемы ходов точения полуоткрытых зон:
а – эквидистантная; б – контурная

Наиболее эффективны траектории токарной обработки с наименьшим числом рабочих ходов инструмента. Стандартному циклу программной обработки наиболее соответствует контурная схема ходов точения.

4.3.2. Последовательность переходов токарной обработки

После назначения припусков на чистовую обработку основных поверхностей детали общий припуск на токарную обработку разбивают на несколько промежуточных.

При обработке с закреплением заготовки **в центрах** рекомендуется такая общая последовательность переходов:

- черновая обработка основных поверхностей, причем первыми обрабатываются поверхности, требующие рабочих перемещений режущего инструмента по направлению к передней бабке;
- черновая (при необходимости) и чистовая обработка дополнительных элементов, кроме канавок для выхода резьбы и шлифовально-го круга;
- чистовая обработка основных поверхностей, в том числе подрезка торца и обработка наружных поверхностей;
- обработка дополнительных элементов.

Переходы при обработке с закреплением заготовок **в патроне** выполняют в указанной ниже последовательности:

- центрование (при сверлении отверстий диаметром до 20 мм);
- сверление;
- черновая обработка основных поверхностей – подрезание внешнего торца (для штампованных заготовок – срезание припуска на всех торцах), обтачивание наружных поверхностей, растачивание внутренних поверхностей;
- черновая и чистовая обработка дополнительных поверхностей (в тех случаях, когда черновая и чистовая обработка основных поверхностей выполняется одним резцом, все дополнительные поверхности формируют после чистовой обработки);

– чистовая токарная обработка внутренних и наружных основных поверхностей;

– обработка внутренних и наружных, в том числе торцовых дополнительных поверхностей, не требующих черновой обработки.

Надежность работы инструмента снижается при врезании его режущей кромки в необработанную поверхность заготовки. Поэтому рекомендуется сначала сделать один рабочий ход резцом по торцовой поверхности в направлении коси вращения заготовки и один рабочий ход по цилиндрической поверхности параллельно оси вращения. Дальнейшее направление перемещения резца выбирают, исходя из условий минимального числа рабочих ходов, если возможно движение резца в указанных направлениях при одинаковом режиме резания.

При обработке узких заготовок большого диаметра (рис. 4.11, а) резец следует перемещать перпендикулярно к оси вращения заготовки, а при обработке широких заготовок (рис. 4.11, б) – целесообразно перемещать резец параллельно оси вращения.

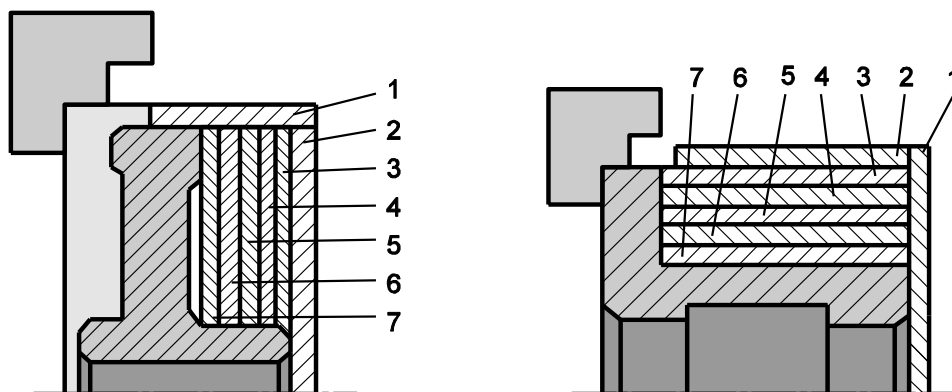


Рисунок 4.11 – Обработка в патроне заготовок из проката:
а – узких большого диаметра; б – широких;
1 – 7 – последовательность обработки

Примеры последовательности перемещения инструмента при обработке в патроне ступенчатых штамповок показаны на рис. 4.12.

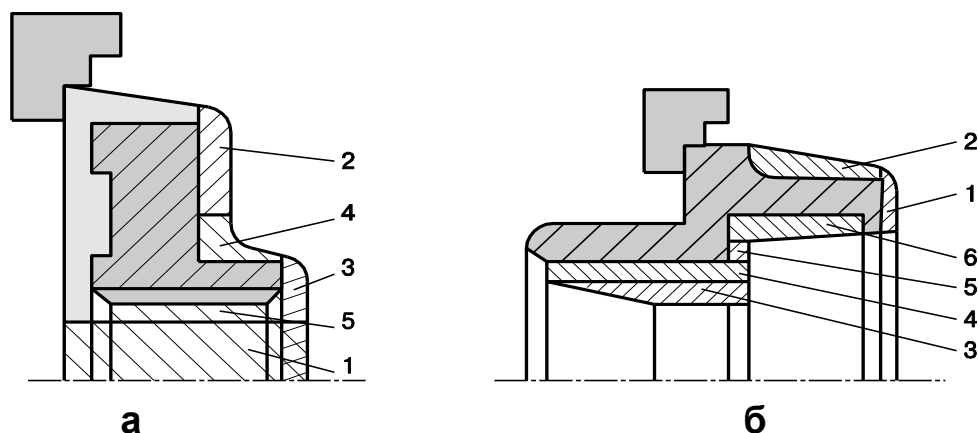


Рисунок 4.12 – Обработка штампованных заготовок:
а – с напуском под отверстие; б – с технологическим отверстием;
1 – 6 – последовательность обработки

В зависимости от значений припусков выбирают нужное число рабочих ходов для обработки наружных поверхностей, в том числе торцовых и внутренних поверхностей.

При черновом растачивании заготовок припуск удаляют резцом, перемещаемым параллельно оси вращения заготовки. В штампованных заготовках припуск на черновую обработку срезают за один рабочий ход.

При черновой обработке штамповок ступенчатой формы вначале удаляют припуск на всех торцах заготовки, затем точат наружные поверхности заготовки. Обработку внутренних основных поверхностей при отсутствии отверстия в заготовке начинают со сверления.

4.4. Характеристики режима резания при точении

В процессе точения осуществляются вращательное движение заготовки и поступательное движение подачи резца. Каждое движение совершается с определенной скоростью (см. рис. 1.7, а).

Скорость резания v при токарной обработке является окружной скоростью точки, взятой на наибольшем диаметре заготовки, м/мин:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (4.1)$$

где D – диаметр заготовки, мм; n – частота вращения, мин⁻¹.

При продольном точении заготовок скорость резания постоянна, а при поперечной подаче (подрезка торца, отрезка) окружная скорость уменьшается к центру детали. При растачивании скорость резания также выбирают по наибольшему внутреннему диаметру.

Подача S – величина перемещения режущей кромки резца в направлении движения подачи D_s в единицу времени или за один оборот заготовки. При точении различают подачи: продольную, поперечную и наклонную – под углом к оси заготовки (применяют при обточке конических поверхностей). Численно подачу можно выразить в мм/мин (минутная S_m) и мм/об (оборотная S_o).

Глубина резания t при обточке (см. рис. 4.7) – размер срезаемого слоя, определяемый в направлении радиуса заготовки как полуразность диаметра заготовки D и диаметра обработанной поверхности d . Глубину резания выбирают в зависимости от вида токарной обработки (черновой, получистовой, чистовой).

При назначении режима резания для токарной обработки скорость резания рассчитывают по следующей формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} k_v, \quad (4.2)$$

где C_v , x , y , k_v , m – коэффициенты, учитывающие свойства материалов и условия обработки в конкретных случаях точения при определенном периоде стойкости инструмента T , мин.

4.4.1. Последовательность выбора режима резания при точении

При точении за исходные данные принимают физико-механические свойства обрабатываемого материала, припуск и характер обработки (черновая или чистовая).

Далее выбор режима резания при точении выполняют в такой последовательности:

- назначают вид инструментального материала и его марку;
- выбирают геометрические элементы режущей части инструмента с учетом формы обрабатываемой поверхности;
- назначают глубину резания t ;
- рассчитывают по эмпирическим формулам оборотную подачу S_o ;
- назначают период стойкости T токарного инструмента;
- рассчитывают скорость резания v по формуле (4.2);
- рассчитывают номинальную частоту вращения n шпинделя станка $n = 1000v/\pi D$ и уточняют частоту вращения по паспорту станка;
- по принятой частоте вращения шпинделя уточняют скорость резания и проверяют выбранный режим по мощности резания;
- рассчитывают технологическое время обработки детали.

Контрольные вопросы к разделу

1. Перечислите основные виды токарной обработки.
2. Опишите способы точения наружных поверхностей.
3. Укажите способы точения внутренних поверхностей.
4. Изобразите основные типы токарных резцов.
5. Перечислите геометрические параметры токарного резца.
6. Укажите основные и дополнительные элементы контуров детали при точении.
7. Опишите открытые, закрытые и полуоткрытые зоны при токарной обработке.
8. Что такое эквидистантная и контурная схемы ходов точения?
9. Опишите последовательность технологических переходов токарной обработки.
10. Укажите параметры режима резания при точении.
11. Укажите последовательность выбора режима резания при токарной обработке.

5. СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ

Сверление, зенкерование и развертывание – распространенные процессы обработки глухих и сквозных отверстий в широком диапазоне диаметров. Эти процессы выполняются при двух совместных движениях: вращательном движении инструмента или детали (главном движении) и поступательном движении вдоль оси (движении подачи). Инструменты для этих процессов по ГОСТ 25781–83 называют осевыми.

Сверление – один из распространенных способов образования отверстий в сплошном материале с помощью сверл. Сверление обеспечивает экономическую точность обработки в пределах 11 – 13-го квалитетов и параметр шероховатости $R_a = 5...10$ мкм (рис. 5.1, а).

Рассверливание – процессувеличения сверлом диаметра имеющих отверстий.

Зенкерование – обработка цилиндрических литых, штампованных или предварительно просверленных отверстий зенкером для придания им правильной геометрической формы, необходимых размеров и шероховатости поверхности. Обеспечивает экономическую точность в пределах 8 – 9-го квалитетов и параметр шероховатости $R_a = 3,2...6,4$ мкм (рис. 5.1, б).

Развертывание – чистовая обработка отверстий для получения точных размеров в пределах 5 – 7-го квалитетов и параметра шероховатости $R_a = 0,5...1,6$ мкм (рис. 5.1, в).

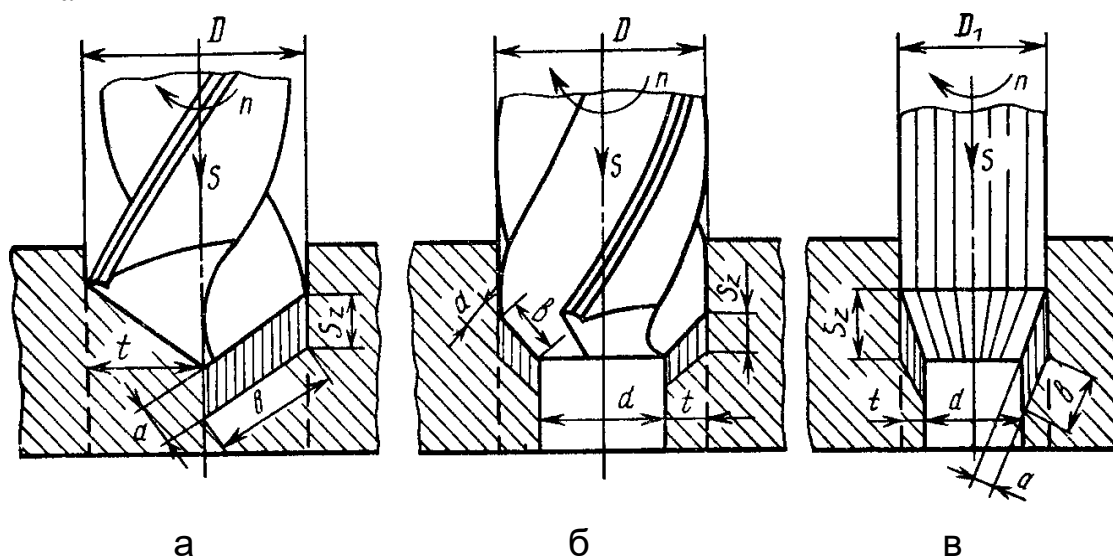


Рисунок 5.1 – Схемы сверления (а), зенкерования (б) и развертывания (в)

Глубина резания t , мм, при сверлении равна $D/2$, а при рассверливании заготовки диаметром d до диаметра $D - t = (D - d)/2$; при зенкеровании $t = (0,05...0,1)D$, где D – диаметр отверстия, обработанного зенкерованием; при развертывании $t = 0,05...0,5$ мм.

Подача на оборот S_0 , мм/об, при обработке отверстий равна перемещению инструмента или детали в направлении оси вращения за один оборот.

Зубовая подача на одну режущую кромку осевого инструмента $S_z = S_0 / z$, мм/зуб, а минутная подача $S_m = S_0 n = S_z z n$, где z – число зубьев инструмента (сверла имеют два зуба, зенкеры – три–четыре, развертки – до восьми зубьев).

5.1. Назначение и основные типы сверл

В технологии изготовления деталей ЛА обработка отверстий производится в широком диапазоне диаметров D (от 0,1 до 100 мм) и глубин t (до $100 D$).

Существует около 30 типов сверл различных конструкций и назначения: спиральные (с винтовыми канавками), перовые (с прямыми канавками), центровочные для обработки центровых отверстий, кольцевые для глубокого сверления, специальные.

Наиболее распространены спиральные (или винтовые) сверла. Они применяются для обработки отверстий глубиной до $(5...10) D$.

5.1.1. Конструкции и геометрия спиральных сверл

Спиральные сверла (рис. 5.2) применяют при сверлении и рас-сверливании отверстий диаметром до 80 мм: с цилиндрическим хвостовиком $D = 0,10...20$ мм и коническим хвостовиком $D = 6...80$ мм. Рабочая часть сверла состоит из режущей и направляющей частей.

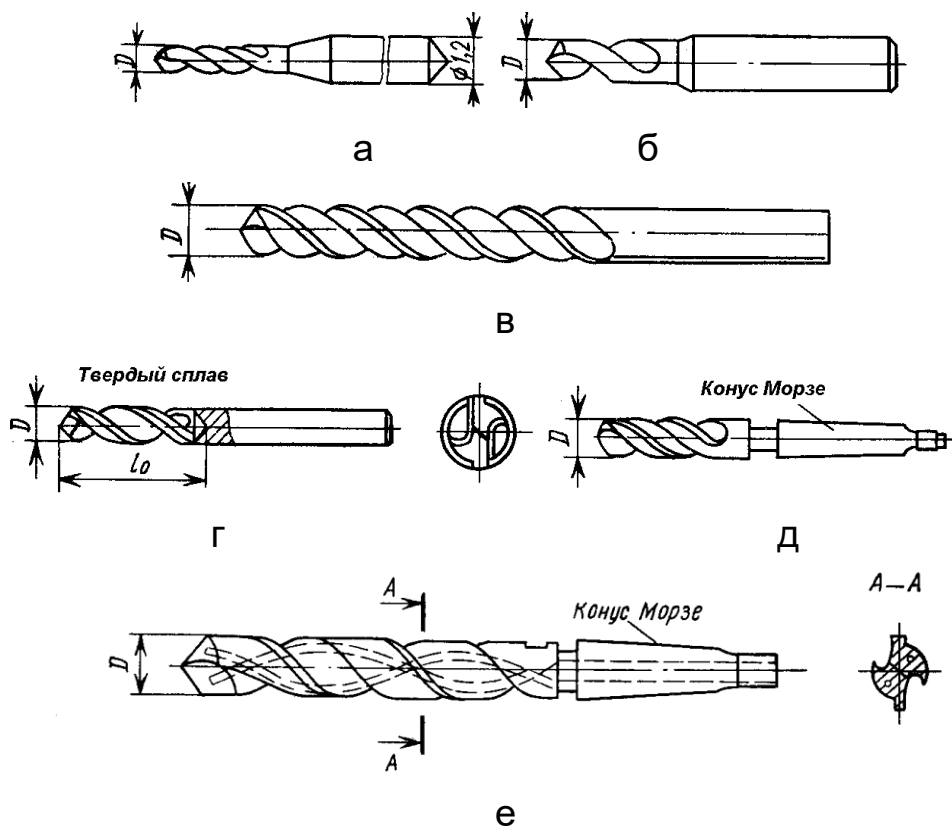


Рисунок 5.2 – Спиральные сверла

Малоразмерные сверла с диаметрами $D = 0,1...1,0$ мм (рис. 5.2, а) изготавливают из инструментальных сталей марок Р6М3 и Р6М5К5, с диаметрами $D = 0,6...1,0$ мм – из твердых сплавов марок ВК10М и

ВК15М (рис. 5.2, б). Для диаметров $D > 1,5...10,0$ мм выпускают сверла цельные (рис. 5.2, в) и составные – с твердосплавной винтовой рабочей частью длиной l_0 и стальной хвостовой частью (рис. 5.2, г). Сверла диаметром $D = 6...80$ мм изготавливают с коническим хвостовиком (рис. 5.2, д). Для сверления труднообрабатываемых материалов используют спиральные сверла диаметрами от 18 до 32 мм с внутренней подачей СОЖ (рис. 5.2, е).

В отличие от резца передние поверхности сверла винтовые, главные задние поверхности обычно конические, а вспомогательные задние поверхности – винтовые ленточки, обеспечивающие направление сверла в процессе резания.

В результате сложения вращательного и поступательного движений сверла (см. рис. 1.7, б) траектория каждой точки режущей кромки – винтовая линия, а траектория кромки – винтовая поверхность с шагом, равным оборотной подаче S_0 .

Спиральное сверло имеет две главные режущие кромки 4 (рис. 5.3, а), образованные пересечением передних винтовых поверхностей 2 канавок, по которым сходит стружка, с задними поверхностями 6, обращенными к поверхности резания. Поперечная режущая кромка – перемычка 5 – расположена на пересечении обеих задних поверхностей. Две вспомогательные режущие кромки образованы пересечением передних поверхностей с поверхностью ленточки 3. Ленточка сверла обеспечивает направление сверла по обрабатываемому отверстию при резании и представляет собой узкую полоску на его цилиндрической поверхности, расположенную вдоль винтовой канавки.

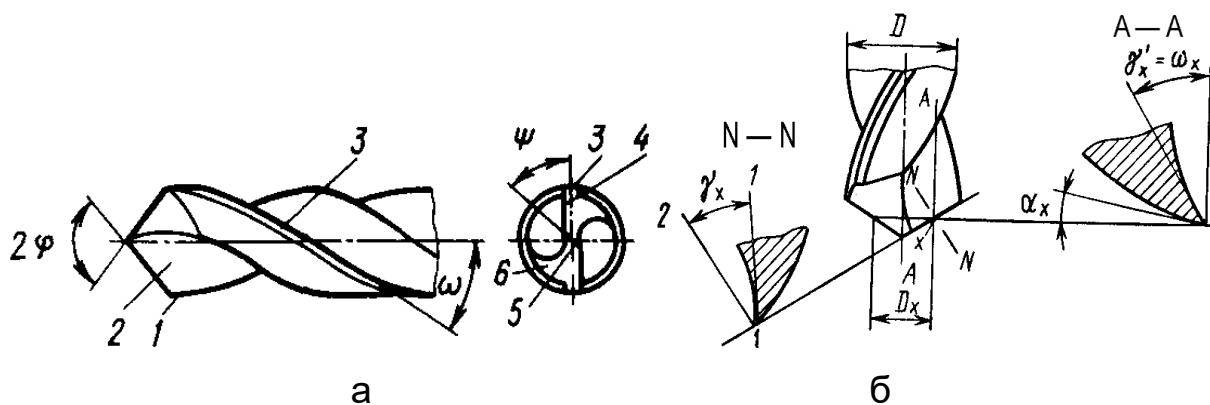


Рисунок 5.3 – Геометрия спирального сверла

Геометрия заточки сверл характеризуется двойным углом в плане 2φ , передним γ и задним α углами, а также углами наклона винтовой канавки ω и поперечной режущей кромки-перемычки ψ . Стандартные сверла имеют угол 2φ величиной от 116 до 118° .

Для сверления высокопрочных материалов угол сверла 2φ рекомендуется увеличивать до 140° .

Передний угол γ измеряют в главной секущей плоскости $N - N$, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную (диаметральную) плоскость, проходящую через вершину и ось сверла (рис. 5.3, б). Угол γ в рассматриваемой точке образуется касательной $1 - 1$ к передней поверхности режущей кромки и нормалью $1 - 2$ в той же точке к поверхности, образованной вращением режущей кромки вокруг оси сверла.

Угол γ зависит от угла наклона винтовой канавки ω . Точки режущей кромки лежат на винтовых линиях передней поверхности сверла, имеющих различные углы ω , поэтому углы γ в различных точках кромки переменный и изменяется аналогично углу ω .

Задний угол α_x в рассматриваемой точке – угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности, образованной режущей кромкой при ее вращении вокруг оси сверла. Задние углы сверла также переменные: на периферии $\alpha = 8...14^\circ$, вблизи поперечной кромки $\alpha = 20...25^\circ$.

Чтобы уменьшить трение ленточек о стенки отверстия, диаметр сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т. е. формируют обратную конусность. Обратная конусность ϕ_1 определяется разностью Δ диаметров сверла на расстоянии $l_0 = 100$ мм длины рабочей части ($\phi_1 = \arctg \Delta / 2l_0$). Величина обратной конусности при обработке отверстий в конструкционных сталях сверлами с диаметрами от 1,0 до 20 мм имеет диапазон от 0,03 до 0,1 мм. При сверлении нержавеющей и жаропрочных материалов обратную конусность сверл рекомендуется увеличивать до 0,1 – 0,15 мм.

Угол ω – это угол между осью сверла и касательной к винтовой линии ленточки. Вдоль режущих кромок угол наклона винтовой линии переменный и уменьшается к оси сверла. Угол ω выбирают в зависимости от диаметра сверла D и свойств обрабатываемого материала: чем меньше D , тем меньше ω . Для стандартных сверл $\omega = 18...30^\circ$. При сверлении вязких материалов (алюминиевых сплавов, малоуглеродистых сталей, меди) применяют сверла с углом $\omega = 35...45^\circ$.

Для обработки отверстий в высокопрочных материалах сверла подвергают специальной заточке, целью которой является укорочение поперечной кромки и создание более благоприятных углов вблизи нее (рис. 5.4). Двойная заточка, подточка перемычки и ленточек применяется для быстрорежущих сверл диаметром более 12 мм и твердосплавных диаметром более 5 мм.

Применяют различные формы заточки режущих кромок сверла при обработке обычных (рис. 5.4, а) и труднообрабатываемых материалов (рис. 5.4, б – д).

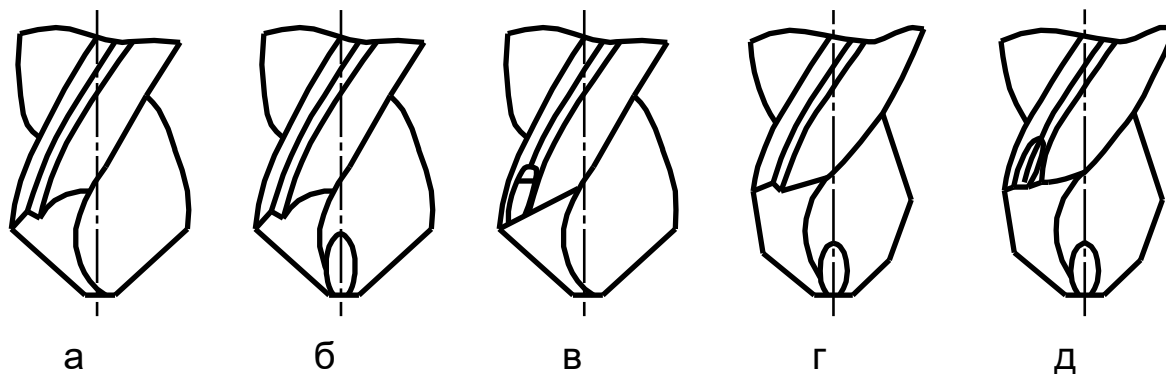


Рисунок 5.4 – Формы заточки режущей части сверла:
 а – одинарная нормальная (Н); б – одинарная нормальная с подточкой перемычки (НП); в – одинарная нормальная с подточкой перемычки и ленточки (НПЛ); г – двойная с подточкой перемычки (ДП); д – двойная с подточкой перемычки и ленточки (ДПЛ)

При сверлении заготовок из высокопрочных материалов ($\sigma_v \geq 1200$ МПа) необходимо применять цельные твердосплавные сверла марок ВК6М, ВК10М, ВК60М. Повышение жесткости сверл достигается уменьшением длины рабочей части, увеличением толщины сердцевины до $0,4D$, изготовлением четырех направляющих ленточек, выбором рациональной формы стружечных канавок.

Для обработки отверстий в высокопрочных материалах целесообразно использовать спиральные сверла повышенной жесткости – с утолщенной до $(0,3...0,35)D$ сердцевиной и подточкой перемычек.

Спиральные сверла изготавливают главным образом с правым направлением винтовой канавки для правого резания.

В качестве СОЖ при сверлении отверстий малых диаметров ($D < 3$ мм) применяют жидкости на масляной основе, при сверлении отверстий больших диаметров – водные эмульсии.

5.1.2. Конструкции и геометрия специальных сверл

Перовые или плоские сверла просты по конструкции, но из-за плохих условий отвода стружки и тяжелых условий резания применяются в основном для обработки отверстий глубиной $l \leq D$.

Центровочные комбинированные сверла предназначены для обработки центровых отверстий диаметром от 1 до 10 мм. Бывают двух видов: с углом конуса 60° и с углами конусов 60 и 120° (рис. 5.5, а).

Кольцевыми сверлами обрабатывают сквозные отверстия больших диаметров. Кольцевое сверло (рис. 5.5, б) представляет собой трубчатый корпус 3 с закрепленными на торце ножами 1 и кулачками 2 для направления сверла.

Сверла для глубокого сверления. Обработка глубоких отверстий ($l > 10D$) обычно ведется по 6 – 8-му квалитетам точности с жесткими требованиями к прямолинейности оси отверстия, соосности отверстия и наружной поверхности.

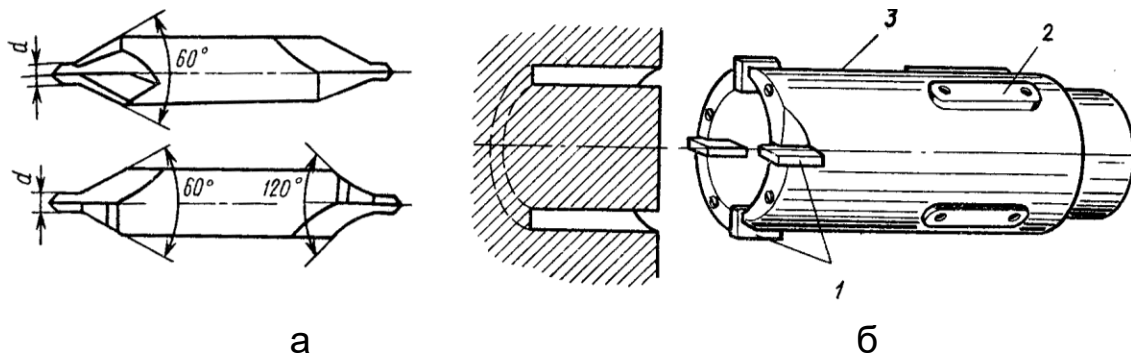


Рисунок 5.5 – Сверла: а – центровочные; б – кольцевое

Обработка вызывает большие затруднения и требует применения специальных сверл и станков. Обрабатываемая деталь вращается, а сверло совершает только поступательное движение.

Для глубокого сверления применяют обычные винтовые сверла двустороннего резания и специальные сверла одностороннего резания. Конструкция сверла должна обеспечить принудительную подачу охлаждающей жидкости (СОЖ) к режущим кромкам, свободный отвод стружки, достаточную жесткость, хорошее базирование по стенкам отверстия.

Обычные сверла двустороннего резания представляют собой удлиненные винтовые сверла с двумя канавками (см. рис. 5.2, е), соединенными с центральным каналом в хвостовой части сверла. СОЖ под высоким давлением поступает в центральный канал и затем вместе со стружкой отводится по винтовым канавкам сверла.

Для глубокого сверления чаще применяют специальные сверла:

- двустороннего резания (двухкромочные) – шнековые и эжекторные;
- одностороннего резания (однокромочные) – ружейные и пушечные.

Шнековые сверла (рис. 5.6) применяют при обработке отверстий диаметром от 3 до 30 мм длиной более $10D$ без периодического вывода инструмента из заготовки. Они имеют большие углы наклона винтовых канавок ($\omega = 60^\circ$), что облегчает отвод стружки из зоны резания. Канавки в осевом сечении А – А имеют треугольный профиль.

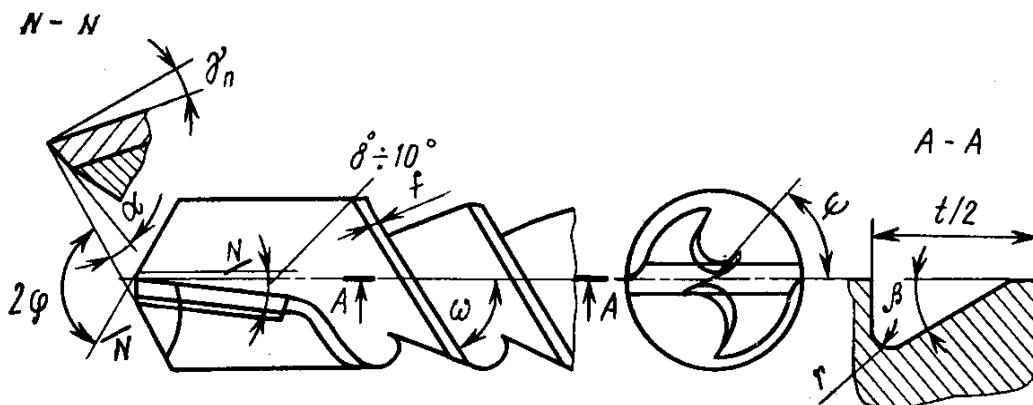


Рисунок 5.6 – Шнековое сверло

В целях повышения жесткости шнековые сверла изготавливают с утолщенной до $(0,3...0,35)D$ сердцевиной и подточкой поперечной кромки до $0,1 D$.

Эжекторные сверла (рис. 5.7) предназначены для глубокого сверления отверстий диаметром $D = 20...65$ мм. Головка 2 навинчена на наружную трубку 3, являющуюся несущим корпусом. Режущая часть 1 оснащена твердосплавными пластинами, расположенными в шахматном порядке, поэтому стружка срезается в виде отдельных лент, дробится стружколомающими уступами и легко удаляется.

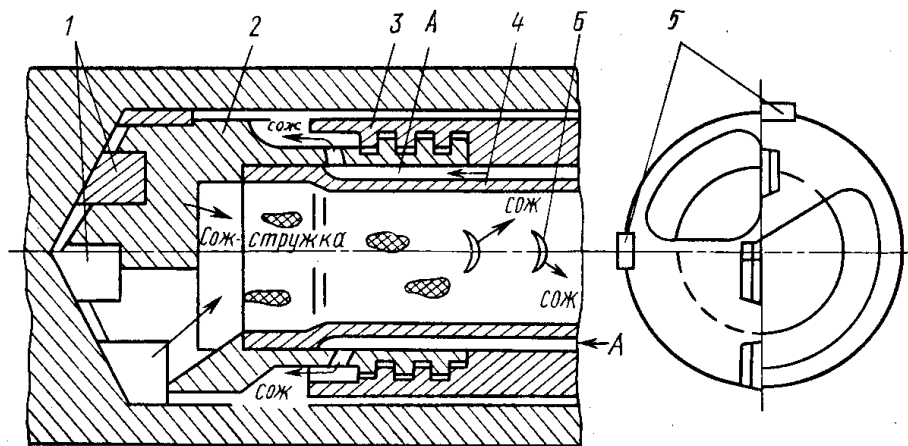


Рисунок 5.7 – Эжекторное сверло

Особенностью эжекторных сверл является эффект подсоса СОЖ, уходящей вместе со стружкой в результате разрежения внутри сверла. Разрежение возникает из-за разделения прямого потока **A** жидкости под давлением от 2 до 3 МПа на два: основная часть жидкости направляется в зону резания, а до 30% – обратно через прорези **B** во внутренний канал трубы 4. Это разрежение, возникающее между потоком жидкости со стружкой и потоком через щели **B**, улучшает условия отвода стружки. Для повышения точности обработки служат твердосплавные направляющие 5.

Эжекторные сверла работают на скоростях резания v от 25 до 200 м/мин и при подачах S_0 от 0,15 до 0,7 мм/об. Обеспечиваются экономическая точность 9 – 11-го квалитетов и параметр шероховатости $R_a = 1,25...0,63$ мкм.

Ружейные сверла (рис. 5.8) диаметром $D = 8...30$ мм состоят из рабочей части 1 и трубчатого корпуса – стебля 2.

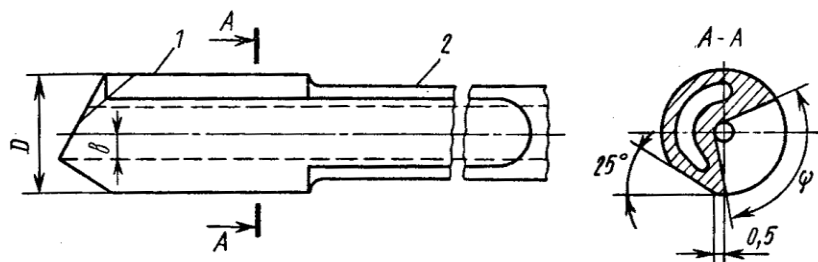


Рисунок 5.8 – Ружейное сверло

Для создания благоприятных условий резания главная режущая кромка смещена на $0,2D$ от оси сверла. Сверло имеет внутренний канал круглого или серпообразного поперечного сечения для подвода СОЖ под давлением от 2 до 4 МПа. СОЖ вместе со стружкой вымывается по наружной прямой канавке.

Сверла для вибрационного сверления. Обработка отверстий в жаропрочных и титановых сплавах вызывает большие трудности из-за недостаточной жесткости инструмента, высоких значений сил резания, плохих условий отвода стружки и подвода СОЖ в зону резания.

Для глубокого сверления отверстий диаметром от 2 до 10 мм в жаропрочных и титановых сплавах эффективно вибрационное сверление. Инструмент – твердосплавные сверла с прямыми канавками и внутренним подводом СОЖ под давлением около 10 МПа (рис. 5.9).

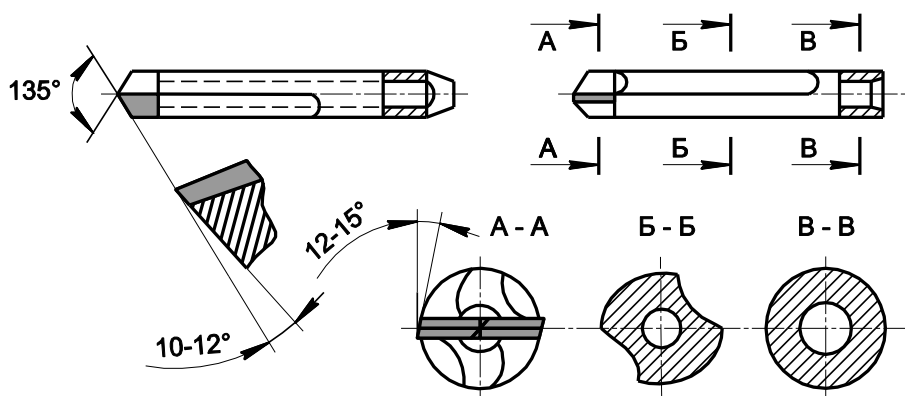


Рисунок 5.9 – Сверло для вибрационного сверления

Обработка производится на вибросверлильных станках, инструмент наряду с вращательным движением и движением подачи совершает колебательное движение вдоль оси с амплитудой от 0,01 до 0,04 мм и частотой от 100 до 200 Гц. При этом происходит надежное дробление стружки и повышается эффективность действия СОЖ.

5.1.3. Износ сверл

Износ сверл происходит в результате трения задних поверхностей о поверхность резания, стружки о переднюю поверхность, направляющих ленточек об обрабатываемую поверхность.

Сверла изнашиваются (рис. 5.10):

- одновременно по задней *A* и передней *Г* поверхностям при обработке сталей;
- по уголкам *B* при сверлении хрупких материалов;
- по ленточке *Б* при сверлении вязких материалов;
- по лезвию перемычки *Д* в случае неправильной заточки сверла.

При сверлении жаропрочных сплавов износу в основном подвергаются задняя поверхность и ленточка. В этом случае характерным признаком износа является скругление лезвий по уголкам и появление кольцевых рисок на ленточках вследствие налипания на них обрабатываемого материала.

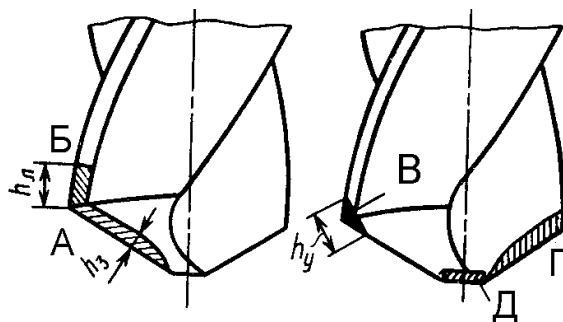


Рисунок 5.10 – Характерные участки износа сверл

Наиболее опасный износ – по уголкам и ленточке, так как при большом износе для восстановления сверла требуется стачивать значительную его часть. Большой износ на перемычке приводит к интенсивному росту осевой силы P_0 , а износ по ленточке вызывает значительное увеличение крутящего момента $M_{кр}$. При износе по уголкам одновременно растут $M_{кр}$ и P_0 .

На величину фаски износа по задней грани h_z больше влияет скорость резания и значительно меньше – подача, поэтому выгоднее производить сверление с большей подачей и меньшей скоростью резания.

Допустимые значения износа зависят от свойств обрабатываемых материалов, материала сверла и его диаметра: при обработке конструкционных сталей быстрорежущими сверлами $h_z = 1...1,5$ мм, жаропрочных и титановых сплавов – $h_z = 0,4...0,8$ мм. Для твердосплавных сверл $h_z = 0,4...0,8$ мм. Большие значения износа относятся к большим диаметрам сверл.

При достижении установленной величины износа инструменты затачивают для восстановления их режущих свойств. Заточка сверл, зенкеров и режущей части разверток производится по главным задним поверхностям на специальных заточных станках.

5.1.4. Выбор режима резания при сверлении

Процесс резания при сверлении происходит в более тяжелых условиях, чем при точении. Это объясняется следующими причинами: переменная деформация срезаемого слоя вдоль режущих кромок вследствие переменных передних углов γ и скоростей резания v , очень большая деформация материала возле поперечной режущей кромки.

Исходя из проверки на продольную устойчивость сверла как сжатого стержня, максимально допустимой длиной рабочей части сверла является длина в десять диаметров, при большей длине рабочей части стойкость сверла резко падает.

Осевая сила P_0 определяет мощность подачи. При больших значениях силы P_0 и большом вылете сверла может наблюдаться продольный изгиб инструмента и потеря его устойчивости.

Основная доля силы P_0 (до 60%) приходится на перемычку. Подточка перемычки (см. рис. 5.4) позволяет значительно снизить осевую силу P_0 .

По максимальной величине крутящего момента $M_{кр}$ рассчитывают на прочность и жесткость шпиндель и детали механизма главного движения сверлильного станка.

Величины P_0 и $M_{кр}$ зависят от прочности обрабатываемых материалов, условий обработки, диаметра инструмента D , параметров режима резания (v , S , t), геометрии инструмента (ω , ϕ , α), глубины обработки и износа инструмента.

Для определения $M_{кр}$ и P_0 применяют расчет по эмпирическим формулам:

$$M_{кр} = c_m D^{x_m} S_0^{y_m} k_m; P_0 = c_p D^{x_p} S_0^{y_p} k_p, \quad (5.1)$$

Значения постоянных c_m , c_p , k_m , k_p и показателей степени находят по справочникам [23].

При обработке осевым инструментом величину подачи рассчитывают по формуле $S_0 = c_x D^q$, где c_x – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, q – показатель степени.

Наибольшие подачи (*I* группа) назначают в случаях сверления отверстий в жестких заготовках, средние (*II* группа) – при сверлении отверстий в заготовках малой жесткости или под последующее нарезание резьбы метчиками, наименьшие (*III* группа) – при сверлении точных отверстий с последующей обработкой зенкером и разверткой.

Допускаемую скорость резания рассчитывают по формуле

$$v = \frac{C_v D^{x_v}}{T^m S_0^{y_v}} k_v, \quad (5.2)$$

где $k_v = k_m k_0 k_u k_l$; k_m, k_0, k_u, k_l – коэффициенты, учитывающие соответственно свойства обрабатываемого материала, состав СОЖ, износ сверла и глубину сверления.

Порядок расчета режима резания при сверлении:

– выбор по глубине и диаметру обрабатываемого отверстия серии сверла, формы и геометрических параметров заточки режущей части сверла, марки инструментального материала в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала;

– определение максимально допустимой подачи по ряду лимитирующих факторов, а именно: по прочности механизма подачи станка, по прочности сверла, по устойчивости сверла на сжатие;

– расчет по формуле (5.2) скорости резания v и частоты вращения n в соответствии с принятым периодом стойкости инструмента T ($T = 10 \dots 40$ мин);

- корректировка выбранных значений S_0 и n по паспортным данным станка;
- расчет крутящего момента $M_{кр}$ и осевой силы P_0 по формулам (5.1), проверка режима резания по паспортной мощности станка;
- расчет машинного времени сверления, мин: $T_{маш} = L/nS_0$, где $L = l + l_1 + l_2$; l – глубина отверстия; l_1 – длина участка врезания; l_2 – перебега (обычно $l_1 + l_2 \approx 0,3D$, в случае обработки глухих отверстий $l_2 = 0$).

При обработке отверстий в высокопрочных материалах на станках с ЧПУ предусматривают периодические выводы сверла из отверстия, а значения скоростей резания и минутных подач уменьшают на 12...15% в целях обеспечения надежного удаления стружки и предохранения сверл от поломок.

5.2. Зенкерование

Зенкерование является промежуточной операцией перед развертыванием и окончательной – при обработке конусных и цилиндрических углублений с плоским дном, а также торцовых поверхностей бобышек.

По сравнению со сверлением зенкерование обеспечивает более высокую точность обработки отверстий. Это объясняется большим числом одновременно работающих зубьев (три или четыре), меньшими углами в плане ($\varphi = 45...60^\circ$), меньшими припусками на обработку (см. рис. 5.1, б), большей жесткостью инструмента. В отличие от сверла зенкер имеет большое число зубьев и увеличенный диаметр сердцевины, благодаря чему повышается жесткость инструмента и обеспечивается лучшее направление его в отверстиях.

5.2.1. Конструкции и геометрия зенкеров

Зенкеры можно классифицировать следующим образом:

- по назначению: *цилиндрические* (см. рис. 5.1, б) – для получистовой обработки цилиндрических отверстий; *цековки* (рис. 5.11, а) – для обработки цилиндрических отверстий с плоским дном; *зенковки* (рис. 5.11, б) – для обработки конического участка отверстий; *цековки торцовые* (рис. 5.11, в, г) – для обработки торцовых поверхностей, прилегающих к отверстию; *ступенчатые* – для обработки цилиндрических отверстий нескольких диаметров; *комбинированные* – сверла-зенкеры, зенкеры-зенковки и др.;
- по способу крепления: *хвостовые* диаметром от 12 до 35 мм и *насадные* диаметром от 25 до 80 мм;
- по конструкции: *цельные*, *насадные*, *сборные* – со вставными зубьями, в том числе и с многогранными пластинами.

Рабочую часть зенкеров изготавливают из быстрорежущих сталей и твердых сплавов.

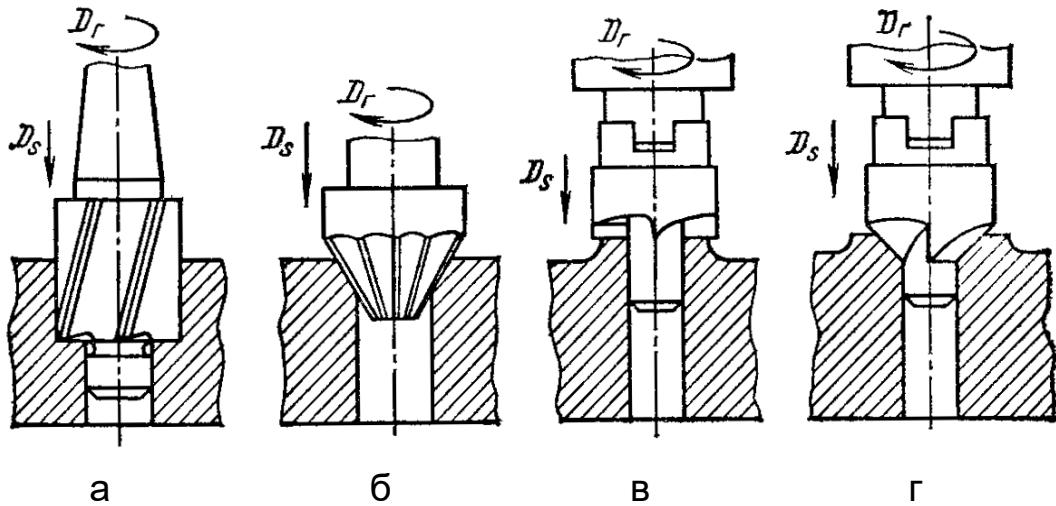


Рисунок 5.11 – Разновидности зенкеров

При обработке обычных конструкционных сталей и титановых сплавов применяют зенкеры, оснащенные твердым сплавом. Быстрорежущая сталь используется только для изготовления зенкеров небольших размеров. Аналогично выбирают материал режущей части зенкера при обработке титановых сплавов. Зенкеры диаметром более 10 мм оснащают твердым сплавом марки ВК8, зенкеры меньших диаметров изготавливают из быстрорежущих сталей.

Зенкерование длинных сквозных отверстий ведут по схеме растяжения, т. е. зенкер протягивают через отверстие. Это резко уменьшает увод оси обрабатываемого отверстия, снижает вибрации, дает возможность снятия больших припусков. Конструкции зенкеров позволяют обрабатывать торцовые, конические и фасонные поверхности.

Цилиндрические зенкеры диаметром от 10 до 40 мм наиболее широко распространены в промышленности. Цельный цилиндрический зенкер (рис. 5.12) состоит из режущей части 1, направляющей 2, шейки 3 и хвостовика 4 с конусом Морзе.

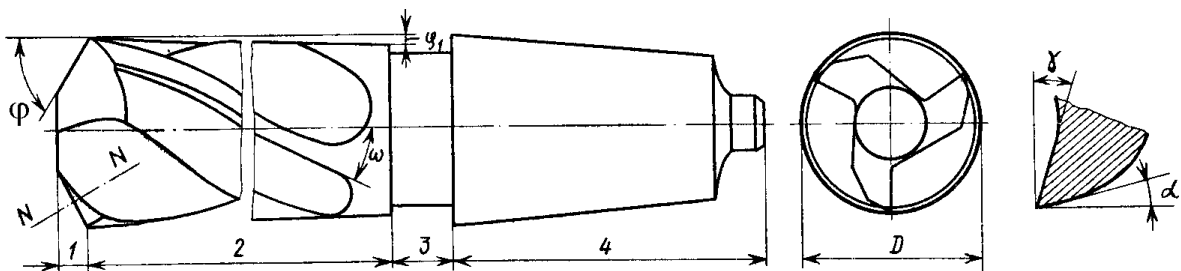


Рисунок 5.12 – Цельный цилиндрический зенкер

Геометрические параметры режущей части зенкера выбирают в зависимости от вида обрабатываемого материала и назначения обработки, они определяются прежде всего углами заточки главных режущих кромок.

Зенкеры из быстрорежущих сталей имеют главный угол в плане φ , равный $45...60^\circ$, а твердосплавные – $60...75^\circ$.

Зенкеры из быстрорежущих сталей с передним углом $\gamma = 0...8^\circ$ применяются при обработке высокопрочных материалов, с $\gamma = 25...30^\circ$ – при обработке цветных сплавов.

Задний угол составляет $\alpha = 8...10^\circ$, а угол наклона винтовой канавки – $\omega = 10...25^\circ$.

Цековка (рис. 5.13) – разновидность зенкера – предназначена для обработки цилиндрических отверстий с плоским дном.

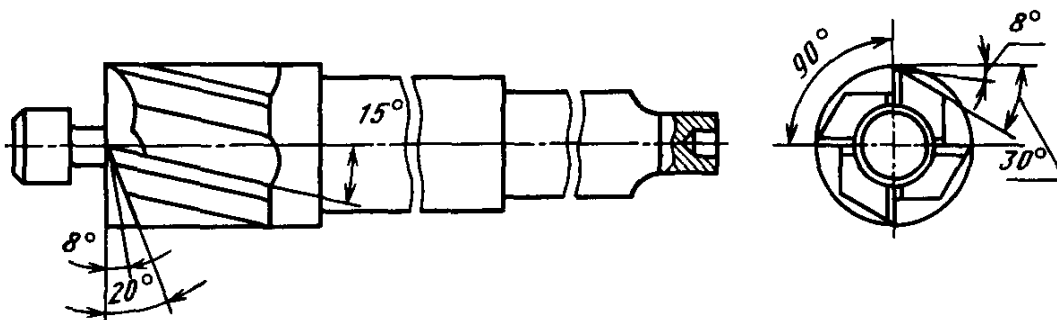


Рисунок 5.13 – Цековка

Насадные зенкеры, как цельные, так и сборные (рис. 5.14), имеют четыре режущие кромки. Используются для полустойковой обработки отверстий больших диаметров $D = 32...100$ мм.

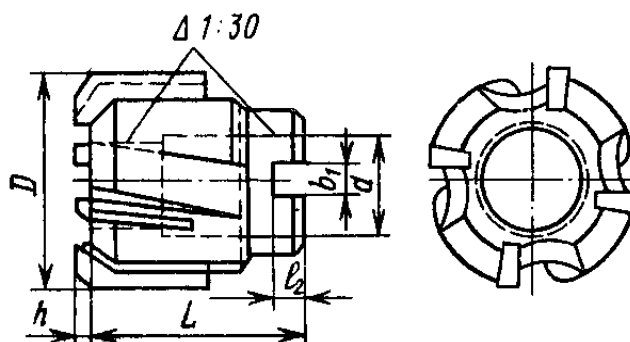


Рисунок 5.14 – Насадной зенкер сборной конструкции

На зенкер, как и на сверло, действуют крутящий момент $M_{кр}$ и осевая сила P_0 . Определяют их по формулам

$$M_{кр} = c_m D^{x_m} S_0^{y_m} t^{z_m} k_m; P_0 = c_p D^{x_p} S_0^{y_p} t^{z_p} k_p. \quad (5.3)$$

Постоянные величины c_m, c_p, k_m, k_p и показатели степени находят по справочникам [23].

Допустимую скорость резания при зенкерообразовании рассчитывают по формуле

$$v = \frac{C_v D^{x_v}}{T^m t^{z_v} S_0^{y_v}} k_v. \quad (5.4)$$

Значения постоянных C_v, k_v и показателей степени x_v, z_v, y_v, m находят по справочникам в зависимости от периода стойкости инструмента T (для зенкеров период стойкости от 15 до 80 мин).

Порядок расчета режима резания при зенкеровании:

- выбор материала зенкера и его геометрических параметров с учетом конкретных условий обработки;
- установление группы подач, расчет или выбор по нормативам величины оборотной подачи S_0 , мм/об;
- расчет по формуле (5.4) скорости резания v и частоты вращения n в соответствии с принятым периодом стойкости T ;
- корректировка значений подачи S_0 и частоты вращения n по паспортным данным станка;
- расчет осевой силы P_0 и крутящего момента $M_{кр}$ по формулам (5.3), проверка режима резания по паспортной мощности станка;
- расчет машинного (основного) времени зенкерования, мин: $T_{маш} = L/nS_0$, где $L = l + l_1 + l_2$; l – глубина отверстия; l_1 – длина участка врезания; l_2 – перебега (при обработке глухих отверстий $l_2 = 0$).

5.3. Развертывание

Развертывание отличается от зенкерования сравнительно малой глубиной резания t и особой конструкцией инструмента – наличие цилиндрической калибрующей части, большое число зубьев z (не менее шести), высокая точность изготовления. Поэтому развертывание обеспечивает высокую точность обработки отверстий.

По *форме обрабатываемых отверстий* различают цилиндрические, конические и ступенчатые развертки, по *способу применения* – машинные и ручные.

Рабочий участок 5 цилиндрических ручных разверток (рис. 5.15) состоит из направляющего конуса 1, режущей 2 и калибрующей 3 частей и участка обратной конусности 4.

Угол заборного конуса 2φ ручных разверток ($\varphi = 0,5...1,5^\circ$) значительно меньше, чем машинных ($\varphi = 15...30^\circ$).

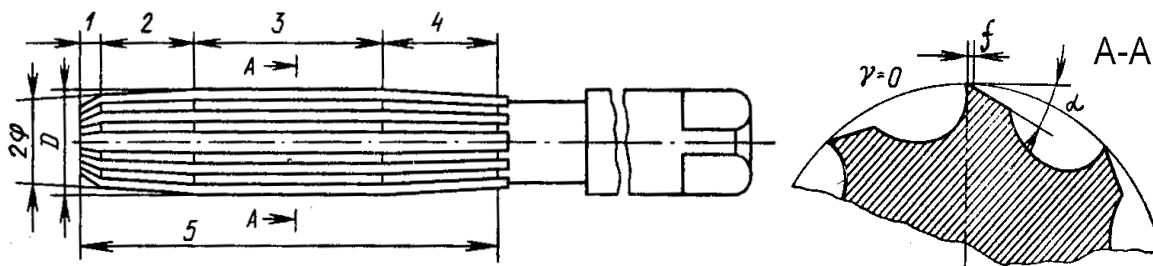


Рисунок 5.15 – Цилиндрическая ручная развертка

На задней поверхности калибрующих зубьев находится цилиндрическая ленточка шириной $f = 0,03...0,25$ мм, что позволяет при заточке по передней поверхности сохранить постоянным диаметр калибрующей части.

Обратная конусность составляет около 0,01 мм для ручных и около 0,07 мм для машинных разверток.

Как и зенкеры, по способу крепления развертки делят на хвостовые и насадные. Последние бывают цельными и сборными – со вставными зубьями (рис. 5.16, а).

Для повышения качества процесса развертывания труднообрабатываемых материалов применяют развертки с неравномерным шагом и спиральным расположением зубьев.

Неравномерный шаг расположения зубьев (рис. 5.16, б) уменьшает вибрации и снижает шероховатость обрабатываемой поверхности. Угловой шаг зубьев ω выбирают так, чтобы каждая пара режущих кромок лежала на одном диаметре. Например, если число зубьев развертки $z = 8$, то при среднем значении углового шага $\omega = 45^\circ$ принимают: $\omega_1 = 42^\circ$, $\omega_2 = 44^\circ$, $\omega_3 = 46^\circ$, $\omega_4 = 48^\circ$, $\omega_5 = 42^\circ$, $\omega_6 = 44^\circ$, $\omega_7 = 46^\circ$, $\omega_8 = 48^\circ$.

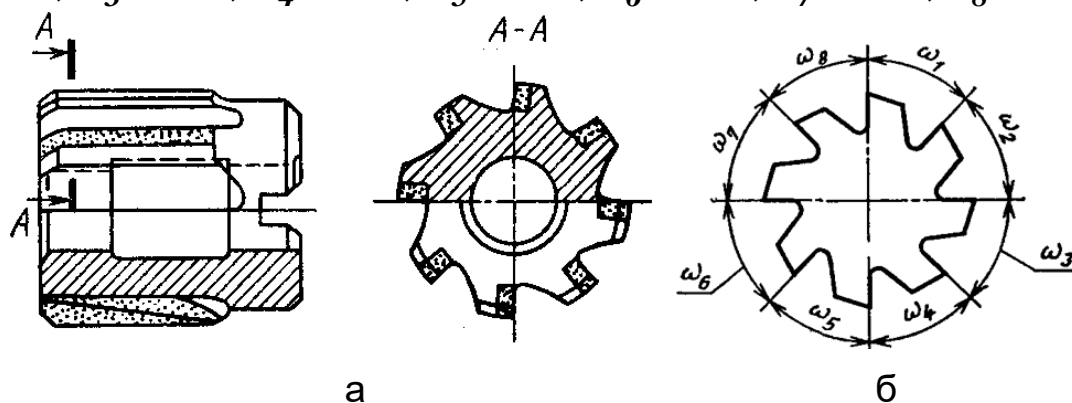


Рисунок 5.16 – Насадная развертка сборной конструкции

Развертка срезает слои очень малой толщины, поэтому она изнашивается в основном по задней поверхности.

При развертывании применяется *технологический критерий* износа: такая величина износа h_3 , когда развертка перестает обеспечивать требуемый квалитет точности и необходимое качество поверхностного слоя. Для разных условий резания h_3 соответствует фаске по задней грани заборной части от 0,3 до 0,8 мм.

Средний период стойкости разверток T , соответствующий технологическому износу, находится в пределах от 20 до 90 мин, причем развертки больших диаметров имеют больший период стойкости, чем развертки малых диаметров.

Развертывание осуществляют в два перехода, припуск на черновое развертывание составляет от 0,15 до 0,5 мм, чистовое – от 0,05 до 0,2 мм в зависимости от диаметра отверстия и материала заготовки. Перед развертыванием отверстие зенкуют.

Лучшее центрирование и уменьшение величины разбивания отверстия достигаются при развертывании на вытяжку, когда стержень развертки работает на растяжение.

Для развертывания установлены две группы подач: первая – для чернового развертывания под последующее чистовое, вторая – для чи-

стового развертывания после чернового или однократного развертывания.

Порядок расчета режима резания при развертывании, структурный вид эмпирических формул для определения подачи, скорости резания, осевой силы и крутящего момента такие же, как и для сверления или зенкерования. Отличие заключается только в значениях констант и степенных показателях.

5.4. Комбинированные инструменты

Комбинированные инструменты используют для совмещения нескольких операций или технологических переходов. Такие инструменты предназначены либо для обработки однотипными инструментами, различающимися только размерами (ступенчатые сверла или зенкеры), либо для обработки инструментами разных типов (сверло-зенкер, зенкер-развертка, сверло-метчик и т. п.).

В зависимости от условий обработки и конструкции комбинированных инструментов обработка ведется по параллельной или последовательной схеме.

При обработке по *параллельной* схеме (рис. 5.17, в) все режущие лезвия комбинированного инструмента одновременно участвуют в резании, а при обработке по *последовательной* схеме режущие лезвия инструмента участвуют в работе последовательно группами (рис. 5.17, а, б, г).

Например, при обработке сверлом-метчиком (рис. 5.17, г) сначала работают режущие лезвия сверла, а затем – метчик. Инструменты, работающие по параллельной схеме (см. рис. 5.17, в), обеспечивают меньшее отклонение взаимного положения обрабатываемых поверхностей и более высокую производительность обработки.

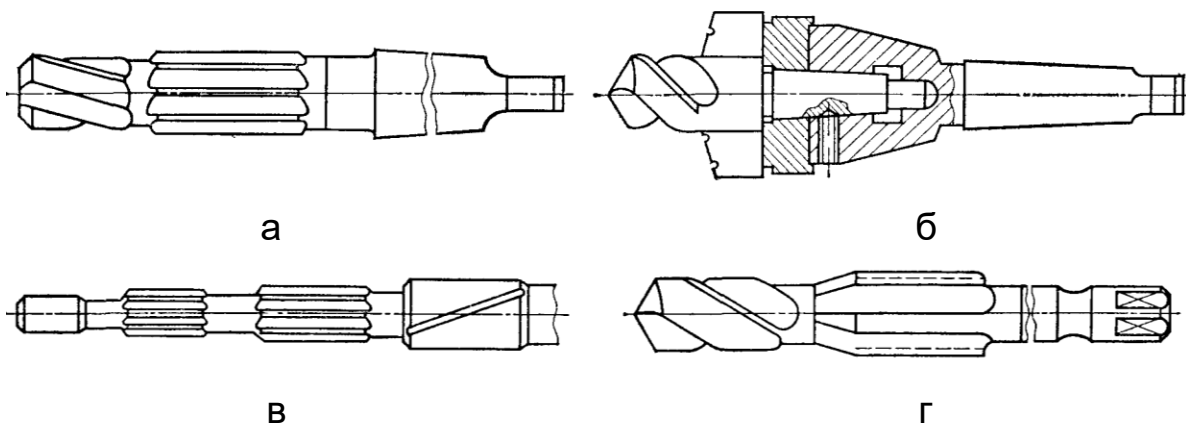


Рисунок 5.17 – Комбинированные инструменты: а – зенкер-развертка; б – сверло-сверло; в – развертка-развертка; г – сверло-метчик

В зависимости от конкретных условий (типа инструмента, особенностей заточки, расположения режущих лезвий в пространстве) комбинированные инструменты изготавливают цельными либо сборными (см. рис. 5.17, б).

Как цельные, так и сборные инструменты изготавливают на базе стандартных инструментов либо оснащают сменными неперетачиваемыми пластинами, что значительно удешевляет комбинированные инструменты и расширяет область их использования.

Основное внимание при эксплуатации комбинированных инструментов уделяют их правильной заточке, сборке, эффективному отводу стружки и рациональному охлаждению. При заточке и сборке инструментов необходимо следить за тем, чтобы режущие кромки перекрывали друг друга в местах стыка, в противном случае возможно защемление стружки или некачественная обработка поверхности.

Эффективному отводу стружки способствуют стружкоразделительные канавки на режущих лезвиях (см. рис. 5.17, б). Во всех случаях при организации отвода стружки необходимо избегать появления встречных и сталкивающихся потоков стружки.

Конструктивная сложность и высокая стоимость комбинированных инструментов делают оправданным их применение только в крупносерийном и массовом производстве.

Контрольные вопросы к разделу

1. Какие показатели экономической точности имеют сверление, зенкерование, развертывание как процессы обработки отверстий?

2. Приведите основные геометрические параметры спирального сверла.

3. Какие формы заточки режущей части сверла применяют при сверлении высокопрочных материалов?

4. Назовите основные виды специальных сверл и их геометрические параметры.

5. Какие характерные участки сверла изнашиваются, от чего зависит допустимый износ?

6. Укажите порядок расчета режима резания при сверлении.

7. Какие разновидности зенкеров применяют при обработке отверстий?

8. Какие геометрические параметры имеет режущая часть зенкера?

9. Каков порядок расчета режима резания при зенкеровании?

10. Укажите составляющие рабочего участка цилиндрической развертки.

11. За счет чего повышают качество процесса развертывания труднообрабатываемых материалов?

12. В чем сущность технологического критерия износа разверток?

13. Приведите примеры комбинированных инструментов для параллельной и последовательной схем обработки отверстий.

6. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

6.1. Назначение и основные виды фрезерования

Фрезерование – широко распространенный в технологии производства деталей ЛА процесс обработки плоских и фасонных поверхностей многозубым режущим инструментом – фрезой.

Как показывает практика, 55 – 60% от объема фрезерных работ целесообразно выполнять на станках с ЧПУ. Для улучшения обслуживания и повышения эффективности эти станки обычно группируют в специализированные цеха.

Кинематика процесса фрезерования характеризуется двумя движениями (см. рис. 2.3, в): быстрое вращение инструмента вокруг своей оси – резание; поступательное перемещение заготовки, закрепленной на столе станка, – подача. При вращении фрезы зубья последовательно врезаются в заготовку и удаляют припуск обрабатываемого материала.

При фрезеровании различают следующие виды обработки:

– *грубая* – обработка с большим и неравномерным припуском более 8 мм, а также обработка по корке горячештампованных заготовок и поковок;

– *черновая* – обработка с относительно равномерным припуском, без корки, с глубиной резания от 3 до 8 мм;

– *получистовая* – обработка с равномерным припуском и глубиной резания от 1,5 до 3 мм, высотой микронеровностей обработанной поверхности не более $R_z = 40$ мкм;

– *чистовая* – обработка с равномерным припуском и глубиной резания до 1,5 мм, высотой микронеровностей обработанной поверхности не более $R_z = 20$ мкм.

С точки зрения специфики программирования фрезерные операции принято классифицировать по числу осей станка с ЧПУ, одновременно используемых для выполнения данной операции.

При так называемой **2,5-координатной (2,5 D)**, или плоской, обработке одновременно используются не более двух осей. Третья ось служит как установочная для подвода и отвода инструмента. 2,5-координатное фрезерование предназначено для обработки цилиндрических и плоских поверхностей (контуров), направляющие и образующие которых параллельны оси инструмента. В этом случае обработка осуществляется боковой поверхностью цилиндрических или конических фрез. Другое назначение 2,5-координатного фрезерования – обработка плоскостей, перпендикулярных к оси инструмента.

3-координатное (3D) фрезерование с использованием одновременно трех осей станка предназначено для объемной обработки поверхностей при неизменном направлении оси инструмента в пространстве. Остальные разновидности многокоординатной фрезерной обработки принято относить к специализированным.

6.2. Разновидности фрезы и их геометрия

Лезвийным инструментом по ГОСТ 25751–83 называется режущий инструмент с заданным числом лезвий установленной формы. Режущие зубья лезвийного инструмента предназначены для удаления с заготовки заданного слоя припуска. Среди всех видов лезвийного инструмента фрезы выделяются наибольшим разнообразием.

По форме режущих зубьев фрезы бывают двух типов:

- незатылованные (острозаточенные) – фрезы с зубьями, в которых образующая задней поверхности – прямая линия (рис. 6.1, а);
- затылованные – фрезы с зубьями, в которых форма задней поверхности лезвия обеспечивает постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности; образующая задней поверхности – спираль Архимеда (рис. 6.1, б).

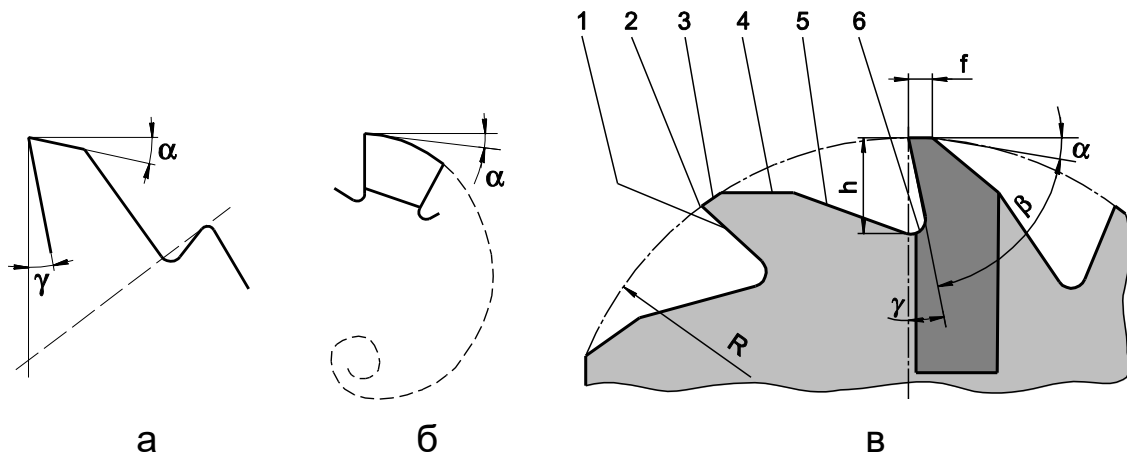


Рисунок 6.1 – Элементы зуба фрезы: а, б – формы зубьев; в – сравнение элементов токарного резца и зуба фрезы

Фрезы первого типа проще в изготовлении, дают более высокую стойкость и меньшую высоту микронеровностей. Однако при заточке таких фрез по передней поверхности изменяется профиль режущей кромки зуба. Поэтому их применяют при фрезеровании плоскостей.

В затылованных фрезах при заточке зубьев по передней поверхности сохраняется профиль режущей кромки зуба. Они применяются при фрезеровании фасонных криволинейных поверхностей.

Поверхности и режущие кромки зубьев фрезы (рис. 6.1, в) имеют следующие названия по аналогии с токарными резцами: 1 – передняя поверхность лезвия A_γ , 2 – главная режущая кромка, 3 – главная задняя поверхность лезвия A_α , 4 – вспомогательная задняя поверхность A'_α , 5 – спинка зуба, 6 – радиус закругления дна канавки.

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы. Диаметр фрезы для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала выбирают по возможности наименьшей величины, учитывая

при этом жесткость технологической системы, схему резания, форму и размеры обрабатываемой заготовки.

Фрезы имеют следующие разновидности, которые определяют отдельные элементы их наименования:

– по месту расположения режущих зубьев на корпусе – цилиндрические (рис. 6.2, а), дисковые – односторонние (отрезные), двух- и трехсторонние (рис. 6.2, б), концевые (рис. 6.2, в), торцовые (рис. 6.2, г, д), фасонные с выпуклым и вогнутым профилями (рис. 6.2, е);

– по направлению режущих зубьев относительно оси – прямозубые (рис. 6.2, б, д), со спиральным расположением зубьев $\omega > 0$ (рис. 6.2, а, в, г);

– по способу установки на станке – насадные (рис. 6.2, а, б, е), хвостовые (рис. 6.2, в, г, д) – с коническим или цилиндрическим хвостовиком, закрепляемые непосредственно в шпинделе станка или с помощью цанги;

– по виду инструментального материала – быстрорежущие, твердосплавные, алмазные, эльборовые;

– по конструкции – цельные (обычно из быстрорежущих сталей), с напайными пластинами (твердосплавные), с круглыми и многогранными неперетачиваемыми пластинами, со вставными (см. рис. 6.2, г, д) зубьями.

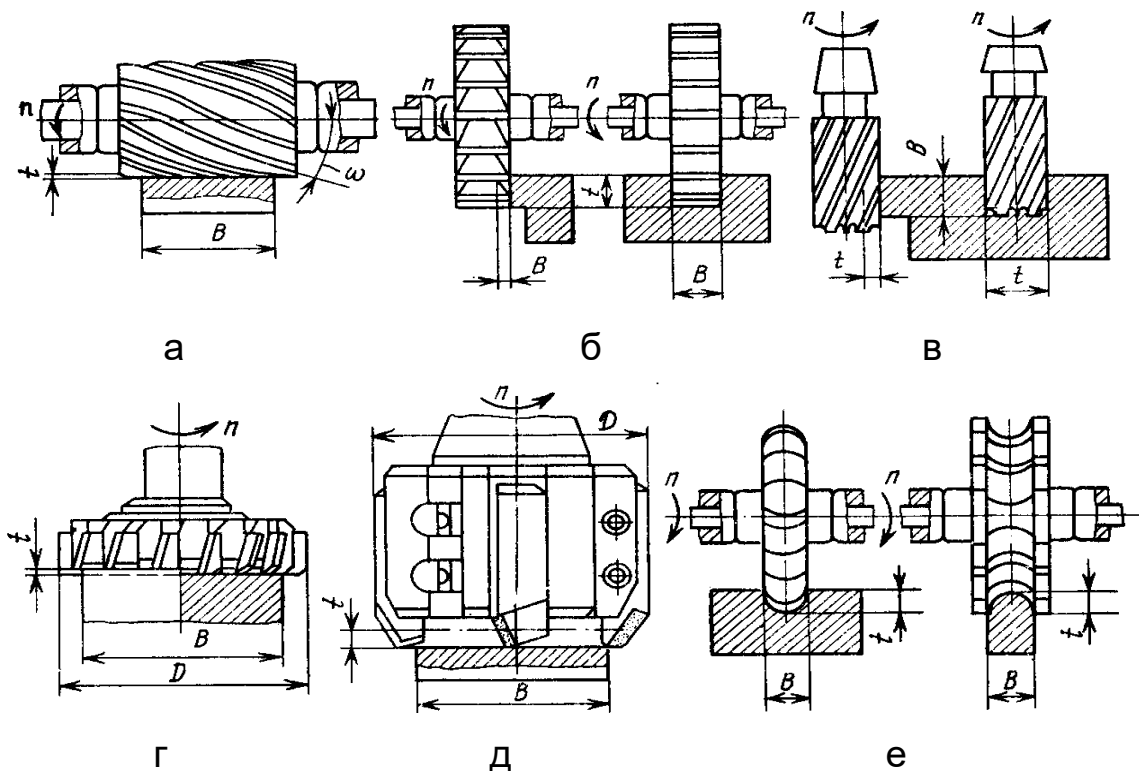


Рисунок 6.2 – Разновидности фрез: а – цилиндрическая; б – дисковые; в – концевые; г, д – торцовые, е – фасонные

Насадные фрезы (см. рис. 6.2, а, б, е) устанавливают на оправку, причем для обработки нескольких поверхностей на одной оправке может быть закреплен набор фрез.

Для всех видов фрезерования (см. рис. 6.2) различают глубину и ширину фрезерования. Глубина фрезерования t – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями. Ширина фрезерования B – размер обработанной за один рабочий ход поверхности.

При обработке цилиндрическими, торцовыми, дисковыми, концевыми, фасонными и фрезами других типов параметр, измеряемый в направлении, параллельном оси фрезы, является *шириной* фрезерования B . Параметр, измеряемый в направлении, перпендикулярном оси, является *глубиной* фрезерования t .

Фрезы изготовляют с мелкими (тип *I*) и крупными (тип *II*) зубьями. При мелких зубьях уменьшается объем стружечной канавки и снижается допустимая нагрузка на зуб. Поэтому при черновой обработке применяют фрезы с зубьями типа *II*, а фрезы с зубьями типа *I* – для чистовой и получистовой обработки.

Согласно ГОСТ 25751–83 фрезы по направлению вращения делят на право- и леворезущие. *Праворезущие* – такие фрезы, которые при обработке вращаются по часовой стрелке, если на фрезу смотреть со стороны крепежной части. *Леворезущие* фрезы при обработке вращаются против часовой стрелки, если смотреть со стороны крепежной части. Выбор типа и размера фрезы зависит от конкретных условий обработки (размера обрабатываемой заготовки, марки обрабатываемого материала, величины припуска на обработку и др.).

6.2.1. Типы и зоны фрезерной обработки

Все многочисленные операции фрезерования можно разделить на два основных типа обработки:

- *торцовое фрезерование*, осуществляемое зубьями, которые находятся на торцовой части фрезы (рис. 6.3, а);
- *цилиндрическое фрезерование*, когда резание производится зубьями, расположенными на цилиндрической образующей (рис. 6.3, б).

Другие разновидности фрезерования являются комбинациями этих двух типов.

Торцовые фрезы. Торцовые фрезы применяют для обработки плоских поверхностей на вертикальных и горизонтально-фрезерных станках. Они обеспечивают более высокую производительность, чем цилиндрические. Диаметр фрезы D должен быть примерно на 20% больше ширины фрезерования B (см. рис. 6.2, г, д). Каждый зуб торцовой фрезы (рис. 6.3, а) можно рассматривать как проходной токарный резец, имеющий главную режущую кромку с главным углом в плане $\varphi = 30 \dots 90^\circ$ и вспомогательную режущую кромку с углом φ_1 . Сопряжение главной и вспомогательной кромок выполняют в виде переходной режущей кромки под углом $\varphi_0 = 0,5\varphi$.

Цельные торцовые фрезы изготовляют диаметром $D = 40 \dots 100$ мм, а сборные – диаметром $D = 80 \dots 630$ мм с зубьями из быстрорежущих сталей или твердых сплавов.

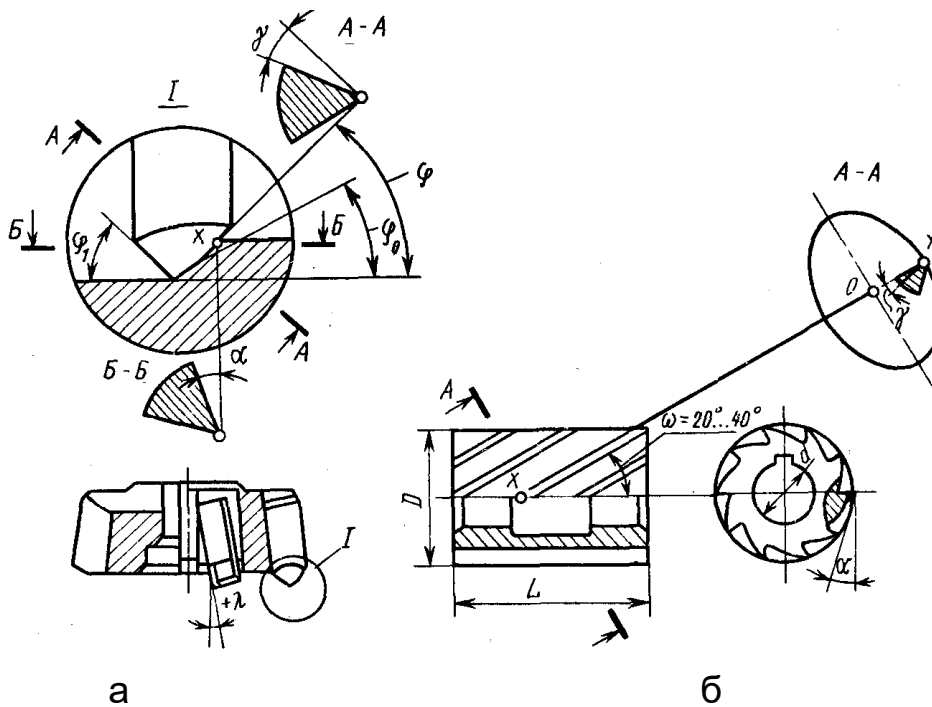


Рисунок 6.3 – Геометрия торцовой (а) и цилиндрической (б) фрез

В промышленности широко применяются торцовые фрезы с многогранными твердосплавными пластинами, а также с зубьями из сверхтвердых материалов (СТМ).

Зубья фрез изготовляют из быстрорежущих сталей марок Р6М3, Р6М5К5, Р9К10, Р14К5Ф5, а также из твердых сплавов марок ВК8, ВК10, Т14К8.

Для повышения износостойкости фрез на рабочие поверхности зубьев наносят многослойные износостойкие покрытия. Освоен серийный выпуск торцовых фрез диаметром от 125 до 800 мм с механическим креплением круглых и многогранных пластин из СТМ на основе нитрида бора и уменьшенным торцовым биением зубьев – от 0,002 до 0,012 мм.

Цилиндрические фрезы. Цилиндрические фрезы применяют для обработки плоскостей на горизонтально-фрезерных станках и изготовляют диаметром от 40 до 250 мм, длиной до 160 мм цельной или сборной конструкции.

Геометрические параметры режущего клина цилиндрической фрезы (рис. 6.3, б) характеризуют:

- *передний угол* γ , находящийся в главной секущей плоскости $A-A$ между касательной к передней поверхности в текущей точке x лезвия и радиусом фрезы в той же точке;
- *угол наклона винтовой линии* $\omega = 20 \dots 45^\circ$;
- *задний угол* α , измеряемый в торцовой плоскости – угол между касательной к задней поверхности и касательной к окружности, образо-

ванной вращением точки x вокруг оси фрезы (угол α назначают в пределах от 15 до 25°).

У цилиндрических фрез главная режущая кромка может быть прямой (по образующей цилиндра), наклонной к образующей цилиндра или винтовой. Вспомогательной режущей кромки у цилиндрических фрез нет.

При фрезеровании выделяют определенные *зоны обработки* (рис. 6.4) – открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные.

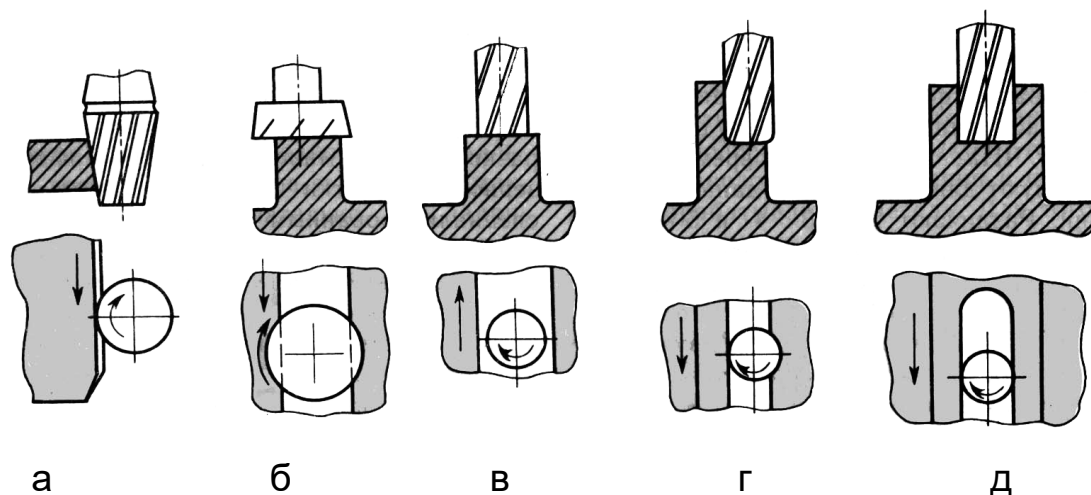


Рисунок 6.4 – Зоны обработки при фрезеровании:
а – в – открытые; г – полуоткрытая; д – закрытая

К числу *открытых* зон (рис. 6.4, а – в) относят участки обработки, не налагающие ограничений на перемещения фрезерного инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной к этой оси. В *полуоткрытых* зонах (рис. 6.4, г) перемещения фрезерного инструмента ограничены как вдоль оси инструмента, так и в плоскости, ей перпендикулярной. В *закрытых* зонах (рис. 6.4, д) перемещение фрезерного инструмента ограничено по всем направлениям. *Комбинированные* зоны формируют из числа описанных выше в результате объединения нескольких обрабатываемых поверхностей различных типов.

При плоской обработке внутренние сопряжения постоянного радиуса формируются за счет соответствующей конфигурации фрезерного инструмента. Для обеспечения технологичности при изготовлении детали такие сопряжения должны выполняться с одинаковым, типовым для данного контура или заготовки радиусом.

6.2.2. Схемы формирования траектории фрезы

При программировании фрезерной обработки используют типовые схемы формирования траектории фрезы.

Существуют две основные схемы формирования траектории фрезы: зигзагообразная и спиралевидная [4].

При *зигзагообразной* схеме инструмент в процессе обработки совершает движения в противоположных направлениях вдоль параллельных строк.

Зигзагообразная схема имеет несколько разновидностей, связанных с порядком обхода границ обработки:

- без обхода границ обработки (рис. 6.5, а);
- с проходом вдоль границ в конце обработки (рис. 6.5, б);
- с предварительным проходом вдоль границ (рис. 6.5, в).

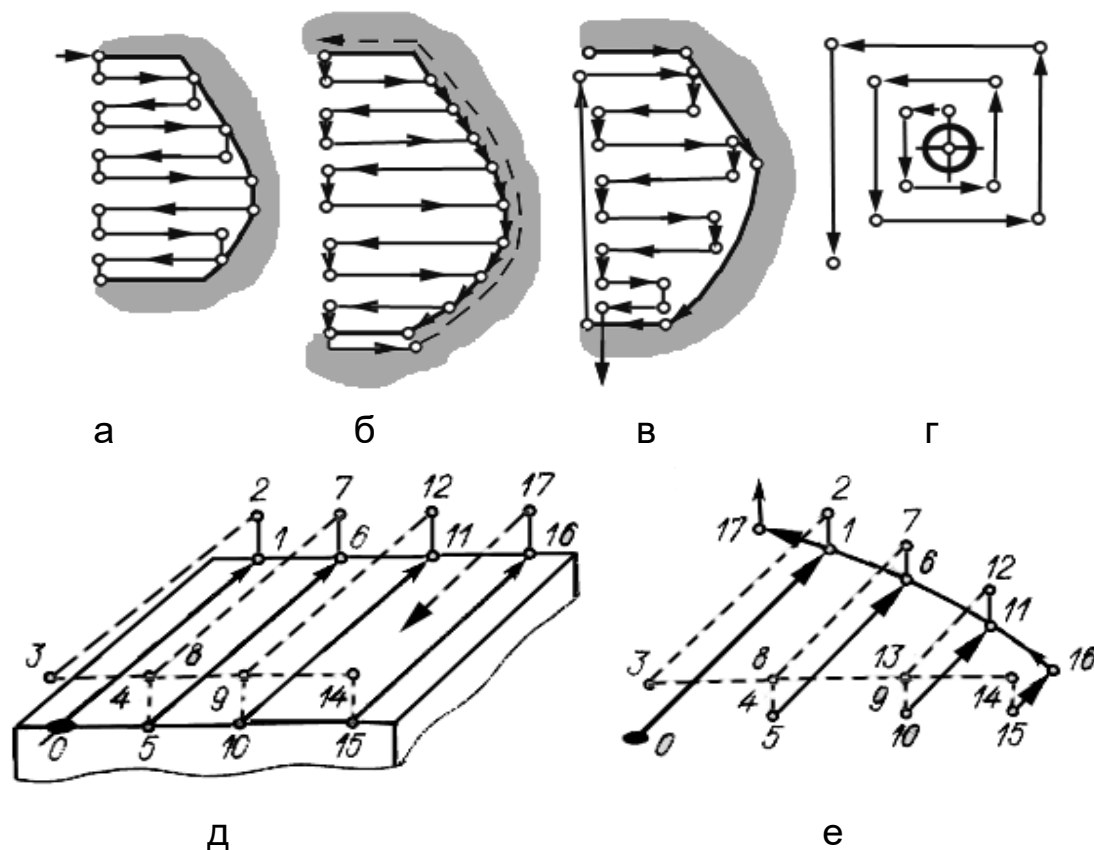


Рисунок 6.5 – Типовые схемы формирования траектории:

а, б, в – зигзагообразные; г – спиралевидная; д, е – **Ш**-образного типа

Предварительная прорезка границ (см. рис. 6.5, в) обеспечивает симметрию резания для инструмента в процессе выполнения этого рабочего хода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки.

Основной недостаток зигзагообразной схемы – переменный характер фрезерования: вдоль одной строки обработка выполняется в направлении подачи, вдоль следующей – в противоположном направлении, что отрицательно сказывается на точности и качестве обработки.

При *спиралевидной* схеме обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы области на разных расстояниях от нее.

Спиралевидная схема обеспечивает лучшее качество обработки за счет неизменного направления фрезерования.

Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (см. рис. 6.5, г), а другая, наоборот, от границы области к ее центру. При использовании этих разновидностей следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном на деталях из алюминиевых сплавов возможен подрыв дна в конце обработки по схеме от периферии к центру.

Выдержать одинаковый характер фрезерования можно также с помощью схем **Ш**-образного типа. Инструмент после выполнения рабочего хода вдоль строки отводится на небольшое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренной подаче вспомогательного хода возвращается назад. **Ш**-образная схема может иметь такие же разновидности, как и зигзагообразная: без обхода границ (рис. 6.5, д); с проходом вдоль границ в конце обработки области (рис. 6.5, е). Существенный недостаток этой схемы – большое число вспомогательных ходов.

6.2.3. Схемы резания при фрезеровании

При фрезеровании цилиндрическими, дисковыми, угловыми и фасонными фрезами применяют две схемы резания при снятии припуска: встречное (рис. 6.6, а) и попутное (рис. 6.6, б) фрезерование.

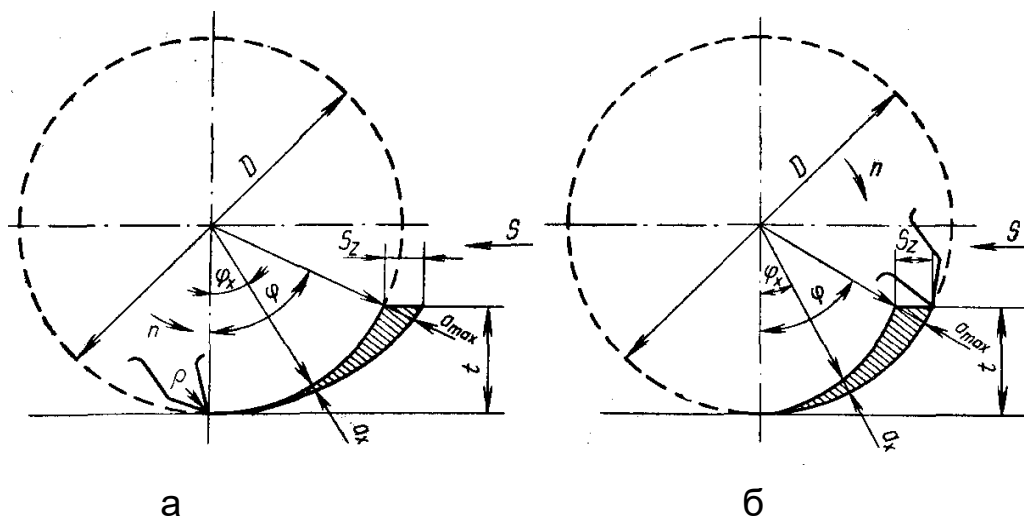


Рисунок 6.6 – Схемы резания при встречном (а) и попутном (б) цилиндрическом фрезеровании

Фрезерование, при котором фреза и заготовка движутся навстречу друг другу, называют *встречным*.

Фрезерование называют *попутным*, если направления движения фрезы и заготовки совпадают.

Из схем резания при фрезеровании видно, что толщина среза a переменная: при встречной схеме она возрастает от нуля до a_{max} , а при попутной схеме, наоборот, уменьшается от a_{max} до нуля.

Максимальная толщина среза для каждой из двух схем резания $a_{max} = S_z \sin \varphi$, где угол φ – угол контакта зуба фрезы. Максимальная

толщина среза зависит не только от подачи на зуб S_z , но и от соотношения t/D : $a_{max} = 2S_z \sqrt{t/D - (t/D)^2}$.

При работе по *встречной* схеме резания нагрузка на зубья возрастает постепенно. Эту схему целесообразно применять при черновых операциях, т.к. припуск снимается из-под корки. Недостаток данной схемы заключается в том, что в начале работы из-за наличия скругления лезвия зуба фрезы радиусом ρ каждый зуб не режет, а скользит по обрабатываемой поверхности, упрочняя (наклепывая) ее. Особенно интенсивный наклеп наблюдается при резании вязких нержавеющей и других труднообрабатываемых материалов.

Поэтому при чистовом и получистовом фрезеровании таких материалов более эффективно *попутное* фрезерование, при котором проскальзывание зубьев на выходе значительно меньше и стойкость фрез увеличивается в 2-3 раза. При *торцовом* фрезеровании независимо от направления вращения фрезы присутствуют обе схемы резания – встречная и попутная (рис. 6.7).

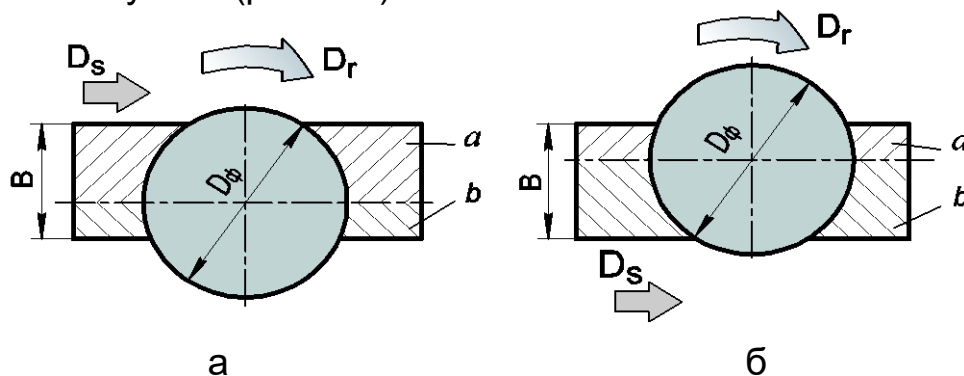


Рисунок 6.7 – Схемы резания при попутном (а) и встречном (б) торцовом фрезеровании

В той части заготовки **a** (рис. 6.7, а), где вектор главного движения (вращения фрезы) D_r совпадает с направлением движения подачи заготовки D_s , фрезерование происходит как попутное. Соответственно, в части заготовки **b**, где векторы главного движения и движение подачи направлены навстречу, – фрезерование происходит по схеме встречного резания.

Следует избегать опасности «подрыва» заготовки, для чего при перемещении торцевой фрезы участок заготовки **b** должен быть шире участка **a** (рис. 6.7, б).

В зависимости от установки фрезы относительно заготовки торцовое фрезерование может быть симметричным (рис. 6.8, а) и несимметричным (рис. 6.8, б).

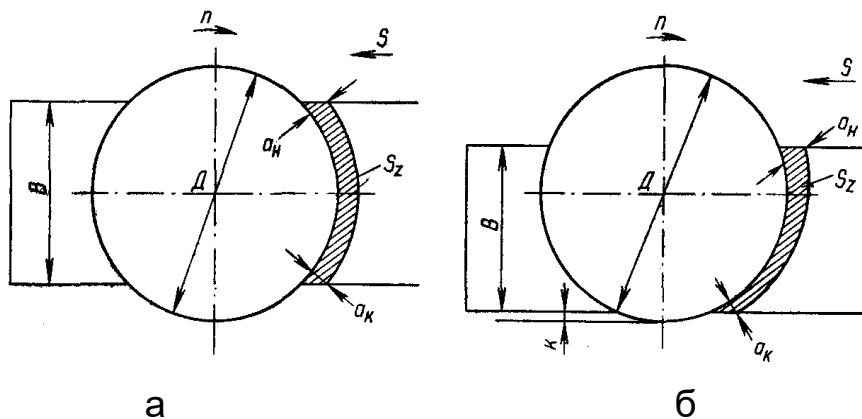


Рисунок 6.8 – Схемы симметричного (а) и несимметричного (б) торцового фрезерования

При *симметричном* торцовом фрезеровании начальная a_H и конечная a_K толщины среза одинаковые и их величина зависит от соотношения B/D (оптимальный диапазон составляет $B/D = 0,7...0,8$).

Несимметричное фрезерование позволяет значительно уменьшить толщину среза a_K и, следовательно, снизить нормальные и касательные напряжения на зубьях в момент выхода.

При малых значениях K существенно уменьшается адгезионный износ фрез и повышается их стойкость. Например, при фрезеровании труднообрабатываемых материалов при $K \leq 5...8$ мм и отношении $K/D \leq 0,05$ стойкость инструмента возрастает до шести раз.

6.2.4. Износ и стойкость фрез

Специфика конструкции фрез и сложное относительное движение зубьев определяют ряд особенностей процесса резания. При фрезеровании по сравнению с точением наблюдается циклическое изменение тепловой и механической нагрузок на зубья.

Кроме переменной толщины и ширины среза, фрезерование отличается прерывистым характером работы зубьев. Во время контакта с заготовкой каждый зуб подвергается периодическому динамическому и термическому воздействию, после чего следует период разгрузки и охлаждения.

Время резания составляет сотые и тысячные доли секунды и повторяется несколько раз в секунду, что может стать причиной механической и термической усталости инструмента.

Периодическое врезание зубьев фрезы в обрабатываемый материал приводит к ударным нагрузкам и может вызвать появление вынужденных вибраций.

В результате периодических динамических и тепловых нагрузок происходит износ зубьев фрез. Характер износа фрез несколько отличается от износа резцов в силу того, что толщина срезаемого слоя при фрезеровании небольшая.

В связи с этим износ происходит в основном по задним поверхностям h_z и является лимитирующим.

Для всех типов фрез критерием износа служит величина фаски износа h_z , находящаяся в пределах 0,3...1,2 мм в зависимости от условий резания и свойств материалов.

При отсутствии корки оксидов на поверхности заготовки попутное фрезерование сопровождается менее интенсивным износом, чем встречное, и поэтому стойкость фрез в два – четыре раза выше.

Кроме постепенного изнашивания зубья фрезы могут выходить из строя из-за их хрупкого и пластического разрушения.

Хрупкое разрушение происходит под действием наибольших растягивающих напряжений и является следствием зарождения и развития трещин. Наиболее часто хрупкое разрушение бывает у твердосплавных фрез и фрез с зубьями из СТМ. При этом различают разрушение в виде выкрашивания и скалывания.

Выкрашивание проявляется в отделении мелких частиц вблизи режущей кромки и обычно связано с поверхностными дефектами инструментального материала, неоднородностью микроструктуры и остаточными напряжениями. Оно мало зависит от угла заострения β и может происходить даже при малых значениях зубовой подачи S_z . Режущая способность фрезы с выкрошенными зубьями восстанавливается после ее заточки.

Скалывание – отделение крупных объемов зуба, превышающих объем клина в месте контакта передней поверхности зуба со стружкой, которое происходит при резании с чрезмерно большими значениями S_z и недостаточными углами β , а также малыми пределами выносливости и вязкости материала зубьев. При возникновении сколов режущая способность фрез не восстанавливается.

Пластическое разрушение характеризуется течением тонких слоев инструментального материала вдоль задней поверхности и опусканием вершины зуба. Оно возникает при чрезмерно высоких скоростях резания и очень высоких температурах.

Допустимая величина износа h_z зависит от свойств материалов заготовки и фрезы, требований к точности обработки и качеству поверхности слоя и находится в пределах $h_z = 0,3...1,2$ мм. При фрезеровании жаропрочных и титановых сплавов $h_z = 0,5$ мм.

Износостойкость фрез изменяется в широких пределах и зависит от свойств обрабатываемого материала, скорости резания, типа и диаметра фрезы, вида обработки (черновая, чистовая). Например, период стойкости торцовых твердосплавных фрез $T = 90...240$ мин.

При фрезеровании жаропрочных и титановых сплавов период стойкости фрез T можно повысить в три – пять раз путем применения промежуточной разупрочняющей термообработки заготовок.

6.3. Режим резания при фрезеровании

Режим резания при фрезеровании определяют параметры:

- скорость движения резания v , м/мин;
- скорость движения подачи S , в том числе S_z – подача на зуб, мм/зуб; S_o – подача на оборот, мм/об; S_m – минутная подача, мм/мин;
- глубина резания t , мм;
- ширина фрезерования B , мм.

Подача на зуб S_z – величина перемещения обрабатываемой заготовки или фрезы за время ее поворота на один зуб.

Подача на один оборот S_o – подача, соответствующая одному обороту инструмента или заготовки, т. е. величина перемещения обрабатываемой заготовки или фрезы за один ее оборот.

Минутная подача S_m – величина перемещения обрабатываемой заготовки или фрезы за одну минуту.

Взаимосвязь отдельных видов подач определяется следующим образом:

$$S_z = S_o n = S_z z n, \quad (6.1)$$

где n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ; z – число зубьев фрезы.

Допускаемая скорость резания v зависит от многочисленных факторов и определяется формулой

$$v = \frac{c_v D^z k_u k_m k_\phi k}{T^m t^x S_z^y B^q z^\eta}, \quad (6.2)$$

где c_v – коэффициент, характеризующий условия обработки (материалы заготовки и фрезы);

k_u – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности инструмента, k_m – состояние материала заготовки, k_ϕ – влияние главного угла режущего клина в плане; k – состояние поверхностного слоя заготовки (окалина, наклеп).

Значения постоянных и показателей степени находят по технологическим справочникам [23].

Скорость резания v и период стойкости T так же, как и при точении, связаны зависимостью $v = AT^{-m}$, где m – показатель относительной стойкости.

Зависимость (6.2) позволяет оптимизировать элементы режима резания и оценить их взаимное влияние. Например, при увеличении диаметра фрезы D уменьшается сила резания P_z , снижается тепловая напряженность процесса и поэтому допускаемая скорость резания v увеличивается.

Минимальное влияние на скорость резания v оказывает ширина фрезерования B . Лишь в условиях затрудненного отвода тепла и малой

жесткости системы, например, при обработке дисковыми фрезами, интенсивность износа растёт.

При попутном фрезеровании заготовок, не имеющих поверхностной корки оксидов, скорость резания, полученная по формуле (6.2), может быть увеличена на 30...50%.

Большая эффективность попутного фрезерования наблюдается для более вязких материалов, сильно упрочняющихся в процессе стружкообразования. При фрезеровании жаропрочных и титановых сплавов быстрорежущими инструментами необходимо применять обильную подачу СОЖ.

Производительность процесса фрезерования жаропрочных и титановых сплавов, высокопрочных сталей часто снижается из-за возникновения вибраций.

Причинами вибраций могут быть: чрезмерно большие площади среза – ширина фрезерования B , подача S_z и особенно глубина резания t ; изменение сечения среза в процессе работы; радиальное и торцовое биение зубьев фрезы, вызванное низким качеством заточки, а также прогибом оправки; периодические возмущения при врезании и выходе из контакта отдельных зубьев фрезы; недостаточная жесткость технологической системы.

Для повышения виброустойчивости процесса при получистой и чистовой обработке целесообразно применять схему попутного фрезерования, фрезы с неравномерным шагом и минимальным биением зубьев, увеличивать жесткость системы путем использования фрез с небольшим вылетом зубьев, коротких оправок и жесткого крепления заготовок.

6.3.1. Методика назначения режима резания

Основные положения выбора рационального режима резания для фрезерования такие же, как и для других видов обработки: максимально возможные глубина и ширина резания, технологически допустимая подача и соответствующая скоростью резания.

Последовательность назначения режима резания при обработке фрезерованием:

1. Выбор конструкции и геометрии фрезы и марки инструментального материала. При фрезеровании сталей с $\sigma_s \leq 1400$ МПа применяют фрезы с зубьями из быстрорежущих сталей марок P9M4K8 или P6M5K5, а также твердые сплавы марок BK8 при черновой обработке и BK3M, BK6M при чистовых операциях. При обработке высокопрочных материалов, имеющих $\sigma_s > 1400$ МПа, фрезы следует оснащать пластинами из твердых сплавов группы BK.

2. Выбор глубины резания t . Величина t выбирается в зависимости от припуска на обработку, мощности привода и жесткости станка, способа закрепления заготовки.

3. Выбор подачи на зуб S_z . Основными факторами, ограничивающими величину S_z , являются свойства обрабатываемого материала, прочность материала и биение зубьев, жесткость оправки фрезы и технологической системы, требования к точности обработки и качеству поверхностного слоя.

4. Выбор периода стойкости T . Эта величина обычно находится в пределах от 60 до 180 мин. Например, при обработке жаропрочных и нержавеющей сталей принимают: для концевых фрез $T = 60$ мин, для цилиндрических и дисковых $T = 90$ мин, для торцовых фрез со вставными зубьями $T = 120$ мин.

5. Расчет допустимой скорости резания v по формуле (6.2) или выбор v по справочной литературе [23].

6. Расчет частоты вращения фрезы, мин^{-1} : $n = 1000v / \pi D$.

7. Корректировка значений n и S_m по паспортным данным станка в сторону уменьшения.

8. Расчет мощности резания N_p и сравнение с мощностью станка (должно выполняться условие $N_p < N_{cm}$).

9. Расчет машинного времени фрезерования: $T_{\text{маш}} = Li / S_m$, где $L = l + y + \Delta$; l – длина рабочего хода; $y = \sqrt{t(D-t)}$ – длина участка врезания; Δ – длина участка перебега (до 5 мм); i – число рабочих ходов инструмента. **Контрольные вопросы к разделу**

1. Какие виды обработки различают при фрезеровании?

2. Назовите классы фрезерной обработки в зависимости от числа осей координатных перемещений.

3. Приведите основные геометрические элементы режущей кромки фрезы.

4. Как определяют ширину и глубину для основных видов фрезерования?

5. Какие зоны обработки выделяют при фрезеровании?

6. Приведите две типовые схемы резания при фрезеровании.

7. Какие особенности износа характерны для фрезерования?

8. От чего зависит стойкость фрез?

9. Какие параметры определяют режим резания при фрезерной обработке?

10. Укажите последовательность назначения режима резания при фрезеровании.

7. АБРАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Абразивные методы обработки, основанные на использовании абразивных инструментов, находят широкое применение в авиационной технологии. Область их применения широка: в литейных, сварочных и заготовительных цехах – отрезка литников, очистка отливок, зачистка сварных швов, разрезка высокопрочных материалов; в механических цехах – заточка лезвийных режущих инструментов, шлифование, хонингование, суперфиниширование, полирование.

Существуют специальные методы абразивной обработки – жидкостно-абразивная, виброабразивная.

Абразивы – зерна материала в виде монокристаллов, поликристаллов или их осколков, которые имеют острые грани, обладают высокой твердостью и способностью резания. Абразивные инструменты бывают со связанными зернами (шлифовальные круги, головки, бруски, сегменты, ленты) и в виде свободных зерен (пасты, суспензии, порошки).

7.1. Шлифование и абразивный инструмент

Шлифование является одним из производительных методов чистовой и отделочной обработки различных поверхностей. Особенностью шлифования является одновременное микрорезание несколькими зернами, каждое из которых имеет несколько режущих лезвий. Радиус скругления режущих кромок абразивных зерен в отличие от лезвийного инструмента близок к нулю.

Абразивные инструменты характеризуются материалом зерен и их величиной, видом связки, твердостью, структурой, формой и размерами (рис. 7.1).

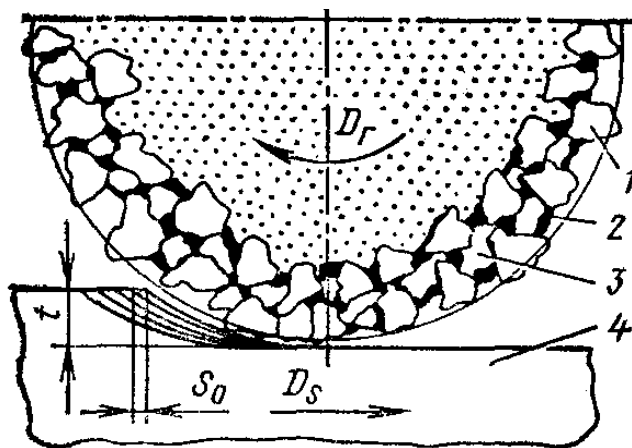


Рисунок 7.1 – Конструкция шлифовального круга и схема срезания припуска: 1 – зерна; 2 – связка; 3 – поры; 4 – заготовка

Абразивные материалы. Абразивные материалы подразделяют на искусственные (синтетические) и естественные (природные). Для изготовления абразивных инструментов используют главным образом искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбиды кремния и бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора.

Более 70% абразивных инструментов изготавливают из *электрокорунда*, который получают путем плавки глинозема в электрических печах. Основная составляющая электрокорунда – кристаллический оксид алюминия. В зависимости от его содержания и примесей электрокорунд имеет различные цвет, структуру и свойства. Существует несколько разновидностей электрокорунда: нормальный – марки от 12А до 16А; белый – марки от 22А до 25А, хромистый – марки от 32А до 34А, титанистый – марки 37А. Зерна монокорунда – марки от 43А до 45А – представляют собой отдельные кристаллы и имеют большое число режущих граней. Более прочные зерна хромистого и титанистого электрокорунда, а также монокорунда имеют высокие режущие свойства и применяются для шлифования высокопрочных сплавов.

Карбид кремния – химическое соединение кремния с углеродом, получаемое при плавке кварцевого песка и кокса. Зерна карбида кремния имеют более высокую твердость, чем зерна электрокорунда. Применяют две разновидности карбида кремния: черный и зеленый. Недостаток карбида кремния – высокая хрупкость и малая прочность. Для обработки сталей карбид кремния непригоден, его применяют при абразивной обработке чугунов, бронзы, титановых и тугоплавких сплавов, при заточке твердосплавных инструментов.

Карбид бора – химическое соединение бора с углеродом, получаемое плавлением борного ангидрида с нефтяным коксом. Карбид бора имеет высокую твердость, большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов и при ультразвуковой обработке хрупких материалов.

Синтетические алмазы получают в виде мелких кристаллов размером обычно не более 1 мм. Синтез алмазов происходит при воздействии на графит высоких давлений и температур. Синтетические алмазы в зависимости от прочности делят на пять марок: обычной прочности – АС2, повышенной прочности – АС4, высокой прочности – АС6, монокристалльные – АС15 и АС20.

Кубический нитрид бора (КНБ) или эльбор – абразивный материал, твердость которого близка к твердости алмаза, а теплостойкость в два раза выше – до 1600 °С. Эльбор бывает обычной (ЛО) и повышенной (ЛП) прочности. Эльбор, как и алмаз, обладает исключительно высокими абразивными свойствами и по износостойкости намного превосходит все известные абразивные материалы.

Зернистость абразивов. Абразивные зерна делят на четыре группы: *шлифзерна* – номера от 200 до 16 (имеют зерна основной фракции размером от 2000 до 160 мкм); *шлифпорошки* – номера от 12 до 3 (зерна размером от 125 до 28 мкм); *микрпорошки* – от М63 до М14 (зерна от 63 до 10 мкм); *тонкие микрпорошки* – от М10 до М1 (зерна менее 10 мкм). Зернистость алмазов и эльбора обозначают дробью, в числителе которой наибольший, а в знаменателе – наименьший размеры зерен основной фракции в микрометрах.

Алмазные зерна делят на две группы: шлифпорошки – от 630/500 до 50/40 и микропорошки – от 60/40 до 1/0. Порошки эльбора в зависимости от размера зерен, методов их контроля и получения делят на три группы: шлифзерна зернистостью от ЛО 315/250 до ЛО 200/160, шлифпорошки – от ЛО 160/125 до ЛО 50/40; микропорошки – от ЛМ 40/28 до ЛМ 5/3.

Связующие вещества (связки). Связка оказывает большое влияние на эффективность работы абразивных зерен. Применяют связки трех типов: неорганические, органические и металлические.

Неорганические связки – керамическая, магнезиальная, силикатная. Наиболее распространена керамическая связка – из нее изготавливают около 60% всех абразивных инструментов. В ее состав входят огнеупорная глина, полевой шпат, тальк. Инструменты, изготовленные на керамической связке, теплостойки, прочны, обладают химической стойкостью и не боятся влаги.

Органические связки – бакелитовая (Б), глифталевая (Г) и вулканитовая (В). Бакелитовую связку изготавливают из фенолформальдегидной смолы. Шлифовальные инструменты на данной связке прочны, эластичны и могут работать на больших окружных скоростях, однако их химическая и тепловая стойкости невысокие.

Круги на глифталевой связке имеют повышенную упругость, применяются при чистовых операциях. Вулканитовая связка обладает высокой прочностью и эластичностью, применяется при изготовлении тонких отрезных кругов.

Металлические связки МИ и МК, состоящие из металлической основы (порошков меди, олова, алюминия) и наполнителя, применяют в алмазных кругах. Эти связки обеспечивают высокую производительность и эффективное использование алмазных кругов.

Структура абразивного инструмента характеризует процентное содержание абразивных зерен и определяет соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в нем.

Различают четыре группы структур абразивных инструментов: плотные структуры – номера от 0 до 3, средние – от 4 до 6, открытые – от 7 до 12, высокопористые – от 13 до 18. Нулевая структура имеет наибольший объем зерен. Выбор структуры зависит от назначения инструмента, свойств обрабатываемого материала и других условий обработки. Наиболее часто применяются инструменты среднеплотной структуры.

Твердость абразивных инструментов является их важной характеристикой. Под твердостью абразивного инструмента понимают свойство связки оказывать сопротивление проникновению в него другого тела. Установлено семь классов твердости, которые приведены в табл. 7.1. При выборе твердости абразивных инструментов учитывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, требования к точности и качеству поверхности.

Таблица 7.1 – Классы твердости абразивного инструмента

Класс твердости	Обозначение	Степень твердости
Мягкий	М	М1, М2, М3
Среднемягкий	СМ	СМ1, СМ2
Средний	С	С1, С2
Среднетвердый	СТ	СТ1, СТ2, СТ3
Твердый	Т	Т1, Т2
Весьма твердый	ВТ	ВТ1, ВТ2
Чрезвычайно твердый	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2

Классы точности и неуравновешенности кругов. При изготовлении абразивных инструментов неизбежны отклонения различных параметров: размеров, формы, расположения поверхностей и т. п.

В зависимости от этих отклонений установлены три класса точности абразивных инструментов: АА, А, Б.

Для абразивных кругов предусмотрены четыре класса неуравновешенности: 1, 2, 3, 4. В маркировке инструмента класс неуравновешенности кругов указывают после класса точности.

Типаж абразивных инструментов. Применяемые для абразивной обработки цельные и составные инструменты подразделяют в зависимости от формы на шлифовальные круги – плоские прямого профиля (ПП) и с выточкой (ПВ), диски (Д), тарелки (Т), чашки конические (ЧК), головки цилиндрические (ГЦ), бруски хонинговальные (БХ), формы которых представлены на рис. 7.2, и абразивные ленты.

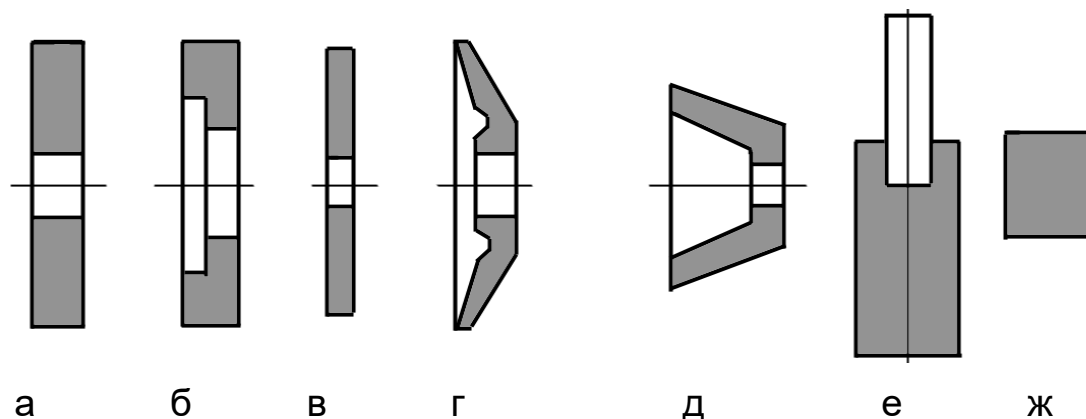


Рисунок 7.2 – Формы абразивных инструментов:
а – ПП; б – ПВ; в – Д; г – Т; д – ЧК; е – ГЦ; ж – БХ

Приведем конкретный пример маркировки шлифовального круга: **ПП 500х60х305 34А 40 СТ2 6 К5 35 м/с А 1 кл.** В маркировке инструмента указаны тип круга и его размеры (ПП 500х60х305), марка абразивного материала (34А), зернистость и индекс зернистости (40), твердость (СТ2), структура (6), связка (К5), допустимая окружная скорость (35 м/с), класс точности (А), класс неуравновешенности (1 кл).

Маркировка алмазных и эльборовых кругов отличается от маркировки абразивных. После обозначения геометрических размеров круга следует его характеристика, например **АС4 100/80 150 М15**, где АС4 – материал зерен (алмаз синтетический); 100/80 – интервал зернистости, мкм; 150 – условная концентрация алмазов; М15 – материал связки (М – металлическая).

7.2. Виды шлифования

При *обдирочном* шлифовании экономическая точность обработки соответствует 6 – 9-му квалитетам, шероховатость $R_a = 1,2 \dots 2,5$ мкм.

Чистовое шлифование обеспечивает экономическую точность по 5 – 6-му квалитетам и шероховатость $R_a = 0,2 \dots 1,2$ мкм.

В зависимости от вида обрабатываемой поверхности (наружная или внутренняя) и ее формы различают кинематические схемы шлифования – обработка тел вращения, плоских, резьбовых, зубчатых, шлицевых и фасонных поверхностей.

Главное движение при шлифовании – вращение шлифовального круга с окружной скоростью v_k , м/с:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{6 \cdot 10^4}. \quad (7.1)$$

По технологическим условиям различают виды шлифования: обычное ($v_k \leq 35$ м/с), скоростное ($v_k = 40 \dots 55$ м/с), высокоскоростное ($v_k \geq 60$ м/с).

Непрерывность процесса резания и многоходовую обработку при шлифовании обеспечивают главное движение резания, обусловленное вращением круга, и движение подачи.

Существует три вида подач при шлифовании:

- Подача в тангенциальном направлении по отношению к окружности круга. При круглом шлифовании этот вид подачи определяется окружной скоростью вращения детали v_d , м/мин.

- Подача в направлении, совпадающем с осью вращения шлифовального круга. При круглом шлифовании эта подача называется продольной S_{np} и измеряется в долях ширины B шлифовального круга на один оборот детали, мм/об.

- Подача в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности. Она называется поперечной S_{nn} (S_t) и задается величиной перемещения на один ход круга (мм/ход) или двойной ход стола (мм/дв. х). Для круглого шлифования при отсутствии продольной подачи эта подача задается на один оборот детали (мм/об).

Основные виды шлифования абразивными кругами: наружное и внутреннее круглое; бесцентровое; плоское; специальные виды шлифования – зубошлифование, резьбошлифование, шлицешлифование, шли-

фовании рабочих частей режущего инструмента. Шлифование в центрах применяют при обработке наружных цилиндрических, конических и фасонных поверхностей.

Наружное круглое шлифование имеет три разновидности:

- продольное (или многоходовое) плоским кругом (рис. 7.3, а, б);
- глубинное плоским кругом с конической фаской (рис. 7.3, в);
- врезное (рис. 7.3, г, д) плоским или фасонным кругом для деталей с прямолинейной или криволинейной образующей.

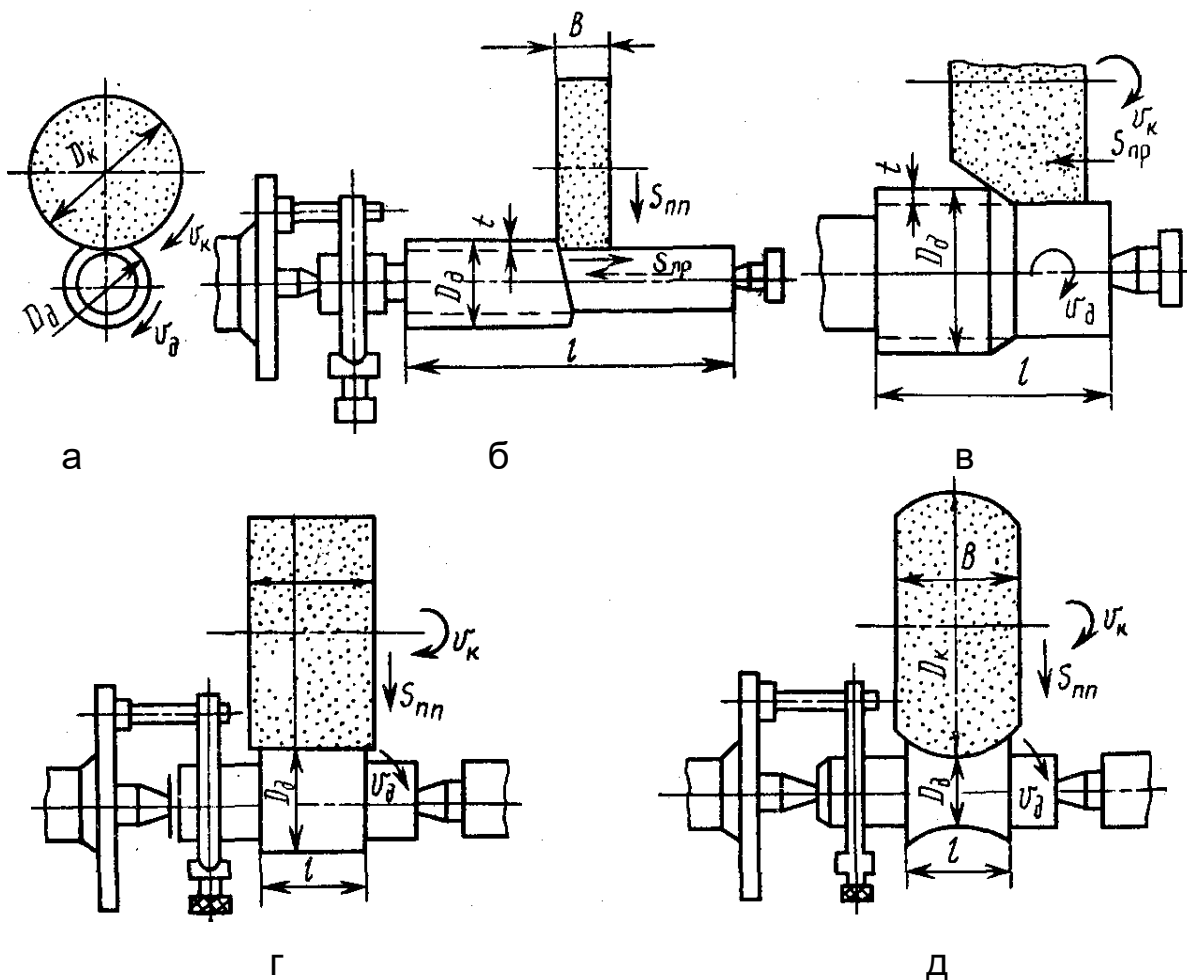


Рисунок 7.3 – Схемы наружного круглого шлифования в центрах

Внутреннее круглое шлифование имеет две разновидности – патронное (рис. 7.4, а) и планетарное (рис. 7.4, б).

Внутреннее круглое патронное шлифование применяют при обработке небольших заготовок, а внутреннее круглое планетарное – при обработке тяжелых и громоздких заготовок.

В обоих случаях осуществляется продольная подача шлифовального круга вдоль оси шлифуемого отверстия: в первом случае – движением шпиндельной головки, во втором – движением стола. Обычно диаметр круга при внутреннем шлифовании составляет от 0,7 до 0,9 диаметра отверстия заготовки. Глубина резания в зависимости от диаметра отверстия при предварительном шлифовании составляет от 0,005 до 0,02 мм, при чистовом – от 0,002 до 0,01 мм.

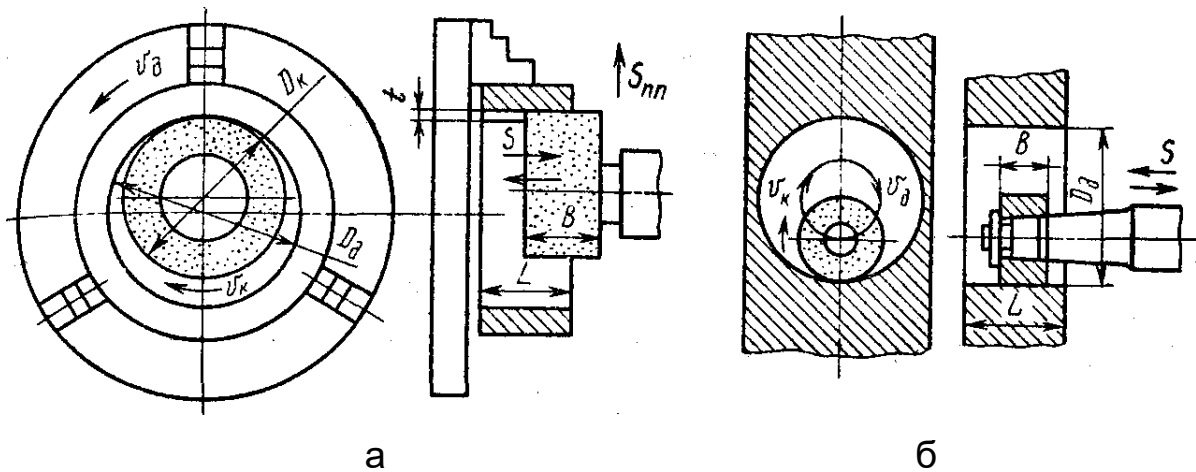


Рисунок 7.4 – Схемы внутреннего круглого шлифования:
а – патронного; б – планетарного

При *бесцентровом наружном шлифовании* (рис. 7.5) заготовку 1 устанавливают между шлифующим 3 и ведущим 4 кругами, а снизу она поддерживается упором (ножом) 2. Продольное перемещение заготовки обеспечивается таким расположением кругов, когда их оси образуют небольшой угол γ .

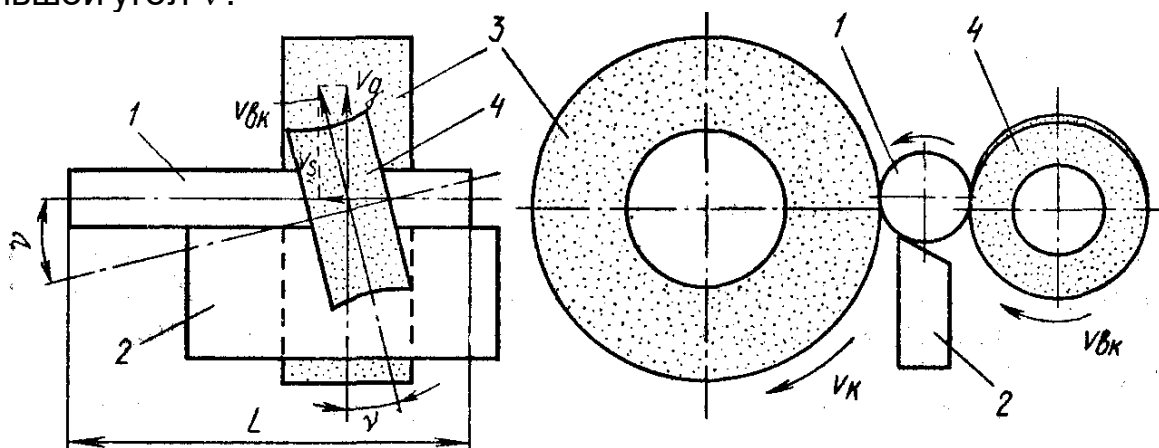


Рисунок 7.5 – Схема бесцентрового наружного шлифования

При *плоском шлифовании* (рис. 7.6) обрабатываются обычно плоские поверхности. Заготовки устанавливают и закрепляют чаще всего на магнитной плите. При шлифовании немагнитных заготовок применяют также вакуумные столы.

Процесс плоского шлифования может быть осуществлен как периферией (рис. 7.6, а), так и торцом круга (рис. 7.6, б). Шлифование периферией круга имеет такие преимущества: более точная обработка, лучшие показатели качества обработанной поверхности, возможность обработки заготовок малой жесткости.

При плоском шлифовании возвратно-поступательное движение продольной подачи и прерывистое движение поперечной подачи S_{np} совершает или заготовка, или шлифовальный круг. Движение подачи круга на глубину резания S_t осуществляется в крайнем положении стола по мере обработки всей плоскости.

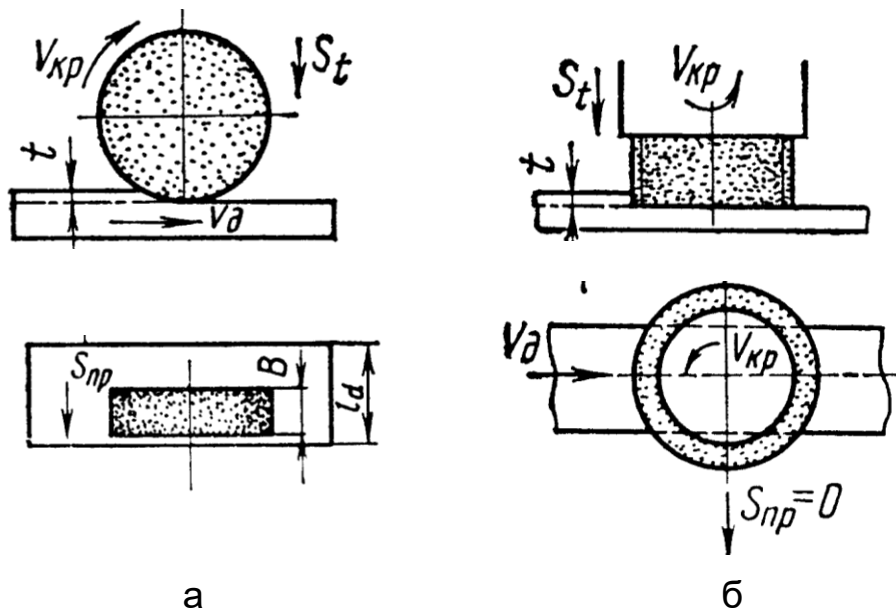


Рисунок 7.6 – Схемы плоского шлифования:
а – периферией круга; б – торцом круга

Если заготовка уже круга, то вертикальное движение подачи осуществляется на каждый двойной ход заготовки.

Профильное шлифование фасонных поверхностей. Существует большая группа деталей, имеющих фасонные поверхности, к параметрам шероховатости и точности которых предъявляются высокие требования. Это зубчатые колеса, шлицевые валы, кулачки, фасонные резцы и т. п. Все эти поверхности обрабатывают на специальных шлифовальных станках специальными кругами, имеющими сложный профиль (рис. 7.7).

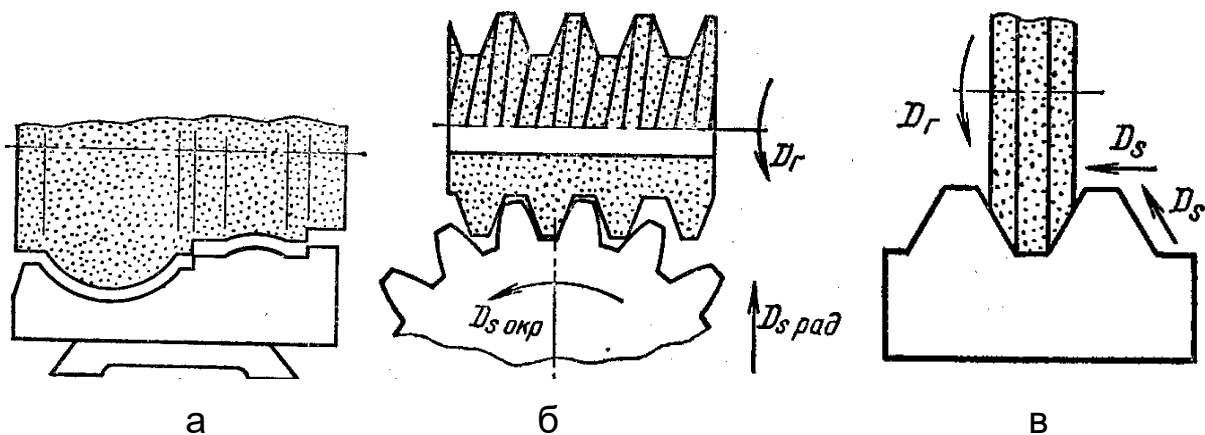


Рисунок 7.7 – Методы профильного шлифования:
а – копирование; б – огибание профиля; в – метод эквидистанты

Профильное шлифование фасонных поверхностей осуществляют чаще всего следующими технологическими методами:

- *копирование*, когда профиль шлифовального круга соответствует профилю детали (рис. 7.7, а);
- *огибание профиля* на заготовке за счет относительного движения обкатки рабочей поверхностью круга (рис. 7.7, б);

– метод эквидистанты, при котором движение подачи круга совершается по траектории, отстоящей на одинаковом расстоянии от образующей шлифуемого профиля (рис. 7.7, в).

7.2.1. Ленточное шлифование

Ленточное шлифование обеспечивает высокие параметры качества и точности обработки фасонных поверхностей детали благодаря хорошему контакту гибкой абразивной ленты с обрабатываемой поверхностью. В качестве опор используются контактные круги или плиты с рифлениями, покрытыми резиной, а также фасонные ложементы.

При ленточном шлифовании (рис. 7.8) обработка детали 5 осуществляется движущейся с большой скоростью (от 30 до 50 м/с) абразивной лентой 2, натянутой на круги – ведущий 1, натяжной 3 и ведомый 4.

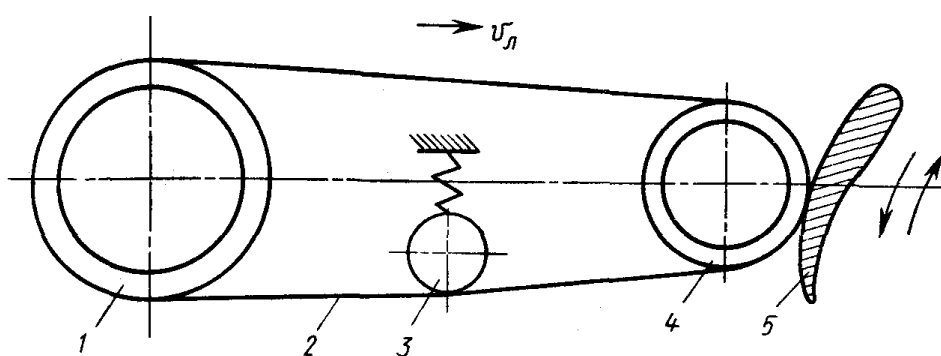


Рисунок 7.8 – Схема ленточного шлифования на контактном круге

При снятии небольших припусков (чистовые операции) деталь с небольшим усилием прижимается к абразивному слою ленты на свободном участке между натяжным роликом и контактном диском. Такое шлифование наиболее производительное, так как в этом случае увеличивается поверхность контакта абразивной ленты и детали.

Процесс ленточного шлифования можно регулировать изменением натяжения ленты, режима шлифования – скорости, подачи, характеристик ленты (типа основы, клея, зернистости абразива). Давление обрабатываемой поверхности на абразивную ленту при обработке заготовок из стальных сплавов рекомендуется устанавливать в пределах от 0,05 до 0,2 МПа, из алюминиевых сплавов – не более 0,04 МПа. Скорость резания при обработке абразивными лентами выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, характера обработки (черновой или чистовой) и других факторов. При черновом шлифовании наружных поверхностей из стали при $\sigma_b > 1000$ МПа рекомендуется скорость резания от 25 до 30 м/с, при шлифовании алюминиевых сплавов – от 45 до 50 м/с.

Абразивная лента состоит из основы, слоя абразивных зерен и клеевой связки. Основой ленты являются прочные сорта бумаги и ткани хлопчатобумажные и синтетические. Абразивные ленты изготавливают шириной от 6 до 2200 мм и длиной до 15000 мм.

Рабочая поверхность ленты в несколько раз больше рабочей поверхности шлифовального круга, что обеспечивает лучшее рассеивание тепла, уменьшает вероятность появления прижогов, позволяет механизировать и автоматизировать процессы чистовой обработки сложных поверхностей, обрабатывать труднодоступные места. Исключение балансировки инструмента, а также простота смены ленты сокращает время наладки станка.

При ленточном шлифовании, в отличие от шлифования кругами, в поверхностном слое образуются остаточные напряжения сжатия. Важным фактором, оказывающим влияние на эффективность процесса, является натяжение ленты. Оптимальное значение силы натяжения составляет от 10 до 60 Н на 10 мм ширины ленты. В качестве СОЖ при шлифовании абразивной лентой применяют минеральные масла, керосин, эмульсии, жировые пасты.

7.3. Процесс резания при шлифовании

Механизм образования стружки при шлифовании принципиально не отличается от процессов обработки лезвийными инструментами, но имеет свои особенности, вызванные большими скоростями деформирования, большими отрицательными передними углами, малыми толщинами срезов и кратковременностью контактов вершин зерен и заготовки. Для съема единицы объема затрачивается примерно в 20 раз больше энергии, чем при точении и фрезеровании.

При шлифовании образуется большое количество мельчайшей стружки, размеры которой изменяются от десятых долей микрометра до десятых долей миллиметра. Размер и форма стружки зависят от формы и расположения вершин зерен на рабочей поверхности круга и кинематики процесса. Резание осуществляется только вершинами зерен, наиболее выступающими над связкой.

На эффективность шлифования большое влияние оказывают толщина срезаемого слоя и площадь среза. Они определяют величину нагрузок на зерна, что в конечном итоге определяет силы резания, стойкость круга и качество поверхностного слоя. Основная часть энергии шлифования идет на преодоление сил трения, возникающих между обрабатываемой поверхностью и зернами, а также связкой.

В зависимости от соотношения толщины среза a и радиуса ρ при вершине зерна абразива при движении относительно обрабатываемой поверхности могут производиться: скольжение зерна по обрабатываемой поверхности (при $a \leq \rho$) (рис. 7.9, а); пластическое оттеснение ($a < \rho$) (рис. 7.9, б) и резание ($a \geq \rho$) (рис. 7.9, в). Особенности шлифования являются большая удельная работа резания и локальный нагрев металла в зоне резания. Происходит значительное пластическое деформирование поверхностного слоя: разогретые и сильно нагруженные поверхностные слои металла вытягиваются в направлении резания.

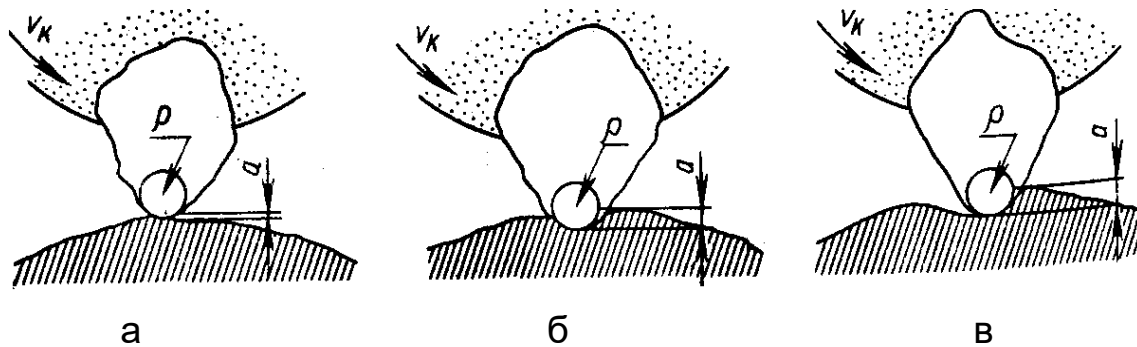


Рисунок 7.9 – Взаимодействие абразивных зерен и заготовки:
 а – скольжение зерна; б – пластическое оттеснение; в – резание

Как и при точении, равнодействующая P нормальных и касательных сил, действующих на рабочей поверхности круга, является суммой трех сил P_z , P_y , P_x (рис. 7.10).

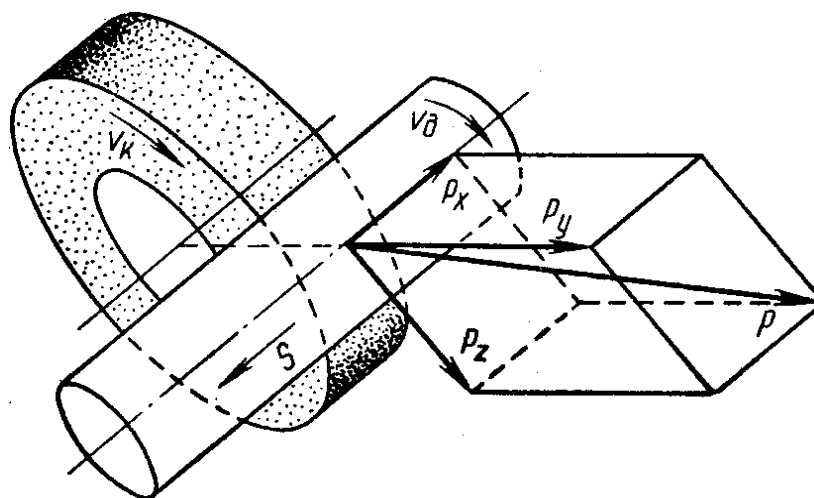


Рисунок 7.10 – Силы резания при шлифовании

Тангенциальная сила P_z определяет мощность резания. Радиальная сила P_y , вызывая упругие деформации технологической системы, оказывает значительное влияние на точность обработки и виброустойчивость процесса. Осевая сила P_x определяет мощность привода подачи.

Значительные радиусы скругления ρ на зернах, большие отрицательные передние углы γ и малые толщины среза являются причиной того, что сила P_y в 1,5 – 3 раза больше силы P_z .

При недостаточной жесткости технологической системы могут возникать вибрации, увеличивающие шероховатость шлифуемой поверхности и вызывающие ее волнистость (огранку деталей). При наличии вынужденных вибраций из-за дисбаланса круга шероховатость поверхности увеличивается в несколько раз. Для предотвращения огранки деталей, вызванной волнистостью поверхности круга и изменением мест соударения круга с изделием, рекомендуется периодически изменять частоту вращения круга или детали.

При увеличении скорости вращения детали и продольной подачи сокращается длительность теплового воздействия круга на деталь и происходит изменение соотношения теплового фактора и пластической деформации сжатия в пользу последней.

Поэтому после обработки величина растягивающих остаточных напряжений в детали уменьшается, а сжимающих остаточных напряжений – повышается.

7.3.1. Износ и стойкость абразивных инструментов

При работе абразивных инструментов за счет износа изменяется геометрия их поверхностей. Общий расход абразивного инструмента состоит из износа в процессе работы и объема удаленной части при его периодической правке для восстановления режущей способности и геометрической формы.

Частота правки зависит от периода стойкости круга T – времени его работы между двумя правками. Значение T для различных условий шлифования изменяется в пределах от 5 до 60 мин. Меньшие значения T относятся к внутреннему и профильному шлифованию и обработке высокопрочных материалов.

В зависимости от условий шлифования круг может работать как в режиме самозатачивания, так и в режиме затупления.

Самозатачиваемость – свойство круга сохранять работоспособное состояние путем образования новых режущих кромок. Если поры круга в процесса шлифования забиваются стружкой и продуктами износа, то круг теряет свои режущие свойства еще до того, как его зерна затупятся. Пределом стойкости круга в этом случае является время «засаливания» круга, т. е. время забивания пор стружкой.

Характерные виды износа круга: истирание вершин зерен; скалывание и выкрашивание зерен; истирание связки; вырывание зерен; забивание пор и пространства между зернами частицами шлифуемого материала («засаливание» круга). В зависимости от конкретных условий шлифования могут наблюдаться все виды износа или один вид будет преобладающим.

Для мягких кругов характерно скалывание выступающих вершин зерен и выламывание зерен, недостаточно прочно удерживаемых связкой или неудачно ориентированных к действующим силам, для твердых кругов – в основном притупление вершин абразивных зерен и частичное скалывание зерен, получивших трещины при правке.

Отношение износа абразивного инструмента ко времени резания называется *скоростью изнашивания*. Наибольшие значения относительного расхода и максимальные скорости изнашивания наблюдаются при шлифовании труднообрабатываемых материалов.

За критерий износа круга принимают косвенные признаки снижения режущих свойств: повышение мощности, возникновение вибраций, появление прижогов, изменение блеска поверхности детали.

Стойкость круга зависит от свойств обрабатываемого материала, жесткости технологической системы, степени дисбаланса круга, режима резания, диаметра детали, твердости и зернистости круга.

При увеличении степени дисбаланса круга, скорости детали v_d , продольной подачи S_{np} и глубины резания t возрастают нагрузки на абразивные зерна и стойкость круга уменьшается.

Шлифование жаропрочных и титановых сплавов связано с большими трудностями, вызванными адгезией, диффузией и химическими взаимодействиями этих материалов, а также истиранием зерен карбидными включениями, входящими в состав данных сплавов.

При шлифовании жаропрочных и титановых сплавов стойкость круга часто ограничивается налипанием частиц сплава на контактные площадки зерен в результате адгезионного взаимодействия металла с зернами. Это снижает стойкость кругов в 10 – 15 раз по сравнению со шлифованием конструкционных сталей.

Очень важную роль при шлифовании играет СОЖ (ее состав и метод подвода). СОЖ при шлифовании выполняет несколько функций: отводит тепло из зоны резания, снижает трение, очищает рабочую поверхность круга, поверхностно-активные добавки облегчают процесс стружкообразования. Обычный метод подвода СОЖ – полив сверху – не всегда оказывается эффективным. Лучшие результаты дает подача струи СОЖ под давлением от 1 до 1,5 МПа на рабочую поверхность круга.

7.3.2. Выбор инструмента и назначение режима резания

Правильный выбор характеристик абразивного инструмента в значительной степени определяет производительность шлифования, износ инструмента, экономичность процесса и качество обработки.

Производительность шлифования оценивается объемом материала заготовки V_m , снятого в единицу времени ($\text{мм}^3/\text{мин}$), а при отделочных абразивных процессах – площадью поверхности, обработанной в единицу времени до достижения требуемых параметров шероховатости и точности обработки поверхности.

Эффективность процесса абразивной обработки определяется удельной производительностью $q = V_m/V_a$, где V_a – объем износа круга в единицу времени.

При шлифовании углеродистых сталей кругами из электрокорунда величину q выдерживают в диапазоне от 50 до 80, быстрорежущих сталей – от 6 до 12, титановых сплавов – от 0,5 до 5.

Для предварительного шлифования используют круги с номерами зернистости от 50 до 40, при чистовом – от 25 до 12.

При шлифовании нержавеющей и жаропрочных сталей применяют круги с высокими режущими свойствами из монокорунда твердостью МЗ – СМ2, с номерами зернистости от 16 до 25, открытой структуры, с при-

менением СОЖ из сульфофреззола и керосина. При шлифовании титановых сплавов применяют круги из карбида кремния средней твердости.

При выборе твердости кругов руководствуются *правилом самозатачивания круга*: для твердых материалов следует применять мягкие и среднемягкие круги, для вязких материалов и сплавов – круги средней твердости.

Порядок назначения режима резания при шлифовании:

1. В зависимости от свойств обрабатываемого материала и технических требований выбирают характеристики круга и устанавливают его окружную скорость V_k . При назначении режимов чистового шлифования вначале выбирают зернистость круга, затем параметры режима, обеспечивающие получение необходимого качества шлифования поверхности.

2. Выбирают глубину резания t (поперечную подачу S_t): для чистового шлифования $t = 0,05...0,10$ мм/дв. ход, для чистового $t = 0,005...0,02$ мм/дв. ход.

3. Определяют продольную подачу S_{np} , мм/об, которую выражают в долях ширины шлифовального круга B : при получистовом шлифовании $S_{np} = (0,4...0,8) B$, при чистовом $S_{np} = (0,1...0,3) B$.

4. Определяют окружную скорость детали v_d (или скорость стола при плоском шлифовании) и корректируют это значение по кинематическим характеристикам шлифовального станка.

5. Подбирают марку охлаждающей жидкости.

6. Вычисляют силу P_z и мощность, потребную на шлифование.

7. Определяют машинное время шлифования $T_{маш}$, мин. При наружном круглом шлифовании методом продольной подачи

$$T_{маш} = \frac{LZ}{S_{np} n_d B t},$$

где L – длина хода стола, на несколько миллиметров превышающая длину обрабатываемой заготовки; Z – припуск на обработку, мм; n_d – частота вращения детали, мин⁻¹.

7.4. Отделочные методы абразивной обработки

Отделочные методы абразивной обработки делят на две группы:

– обработка свободным абразивом – притирка, полирование, гидроабразивная, виброабразивная и ультразвуковая обработка;

– обработка инструментом со связанным абразивом – хонингование, суперфиниширование, притирка абразивными брусками.

Притирка обеспечивает наиболее высокие показатели точности и качества поверхностного слоя. Процесс обычно состоит из нескольких переходов: предварительного, промежуточного и окончательного.

Притирочные смеси, наносимые на диск-притир, применяют в виде паст и суспензий с концентрацией абразивов (мелких шлифпорошков и

микрочастиц) от 3 до 30%. Давление на деталь небольшое – до 0,05 МПа. При относительном движении притира и детали происходит снятие тонких слоев материала. На предварительных операциях применяют мягкие пористые притиры, а на окончательных – твердые, обычно стеклянные. Для получения параметра шероховатости поверхности $R_a = 0,02...0,04$ мкм используют алмазную пасту в смеси с керосином, олеиновой и стеариновой кислотами.

7.4.1. Хонингование

Хонингование является отделочной операцией, которая позволяет получить высокую точность отверстий (до 7-го квалитета), малый параметр шероховатости поверхности $R_a = 0,3...0,08$ мкм, специальную сетку микропрофиля обрабатываемой поверхности для удержания смазочного материала. Хонингование применяют для отделки отверстий диаметром от 2 до 1000 мм.

Обработка производится мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке – хоне. Хонингование исправляет отклонения формы, появившиеся в результате предыдущей обработки в пределах снимаемого припуска, но отклонения расположения оси отверстия хонингованием не исправляются, так как инструмент установлен шарнирно.

В процессе обработки хону сообщаются движение вращения D_r , движение осевой подачи D_s , радиальное движение подачи брусков (рис. 7.11, а). Совокупность этих трех движений создает условия для резания и самозатачивания.

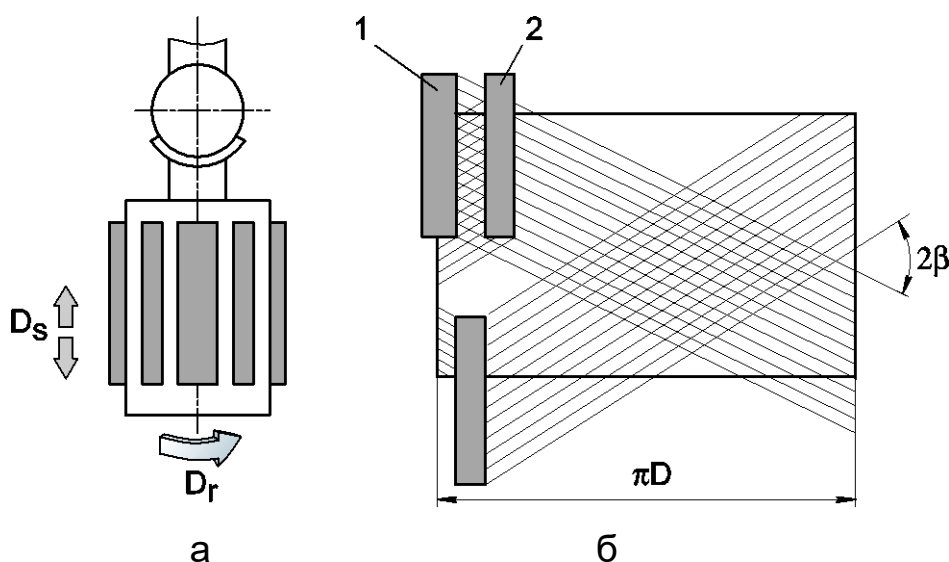


Рисунок 7.11 – Схема процесса хонингования:
а – хонинговальная головка; б – сетка, наносимая брусками;
1, 2 – положение бруска в начале и в конце двойного хода;
 β – угол траекторий движений бруска

На рис. 7.11, б показана развертка внутренней цилиндрической поверхности заготовки. Для обеспечения прямолинейности оси отверстия бруски устанавливают в крайние верхнее и нижнее положения с перебегом. Следы траектории обработки имеют характерный сетчатый рисунок. Абразивные бруски всегда работают со смещением, так как путь поворота образуется за время реверсирования осевого движения хонинговальной головки. Давление брусков на обрабатываемую поверхность создается гидравлическими, пневматическими или механическими устройствами.

Различают хонингование двух видов: предварительное и окончательное. Для окончательного хонингования оставляют 20 – 30 % общего припуска на обработку.

Скорость резания при хонинговании является геометрической суммой окружной скорости хона v и скорости его поступательного движения v_n :

$$v = \sqrt{v^2 + v_n^2} = v\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \beta)^2}, \quad (7.2)$$

где $\beta = \operatorname{arctg}(v_n/v)$ – угол наклона вектора скорости резания.

Производительность хонингования зависит от характеристик абразивных брусков и давления на бруски. Оптимальные режимы обработки: давление на бруски от 40 до 60 МПа, при обработке стали скорость резания $v = 45...60$ м/мин, для алюминиевых сплавов скорость резания в два раза больше. Следует также увеличивать скорость шлифования с увеличением твердости обрабатываемых заготовок.

Температура в зоне резания при хонинговании не превышает 150 °С и не влияет на структурные изменения обрабатываемой поверхности. Хонингование сопровождается охлаждением с большим расходом СОЖ (от 50 до 60 л/мин) для своевременного удаления шлама и стружки из зоны обработки. В качестве СОЖ наибольшее распространение получила смесь керосина и веретенного масла.

Наряду с абразивными брусками из электрокорунда и карбида кремния широкое распространение получили алмазные бруски, стойкость которых во много раз выше. При этом резко возрастает и производительность хонингования, так как давление на бруски при алмазном хонинговании выше (120...250 МПа).

7.4.2. Суперфиниширование

Суперфиниширование представляет собой процесс тонкой отделочной обработки поверхностей заготовок брусками из различных абразивных материалов.

При суперфинишировании заготовка совершает вращательное движение D_r , а бруски, закрепленные упруго, – возвратно-поступательное движение D_s вдоль образующей обрабатываемой поверхности (рис. 7.12). При этом бруски еще и вибрируют с частотой ко-

лебаний до 50 Гц и амплитудой L от 2 до 5 мм. На державку с брусками действует давление P от 50 до 300 МПа. Обработка производится с применением различных СОЖ малой вязкости для удаления продуктов обработки и получения тонкой масляной пленки.

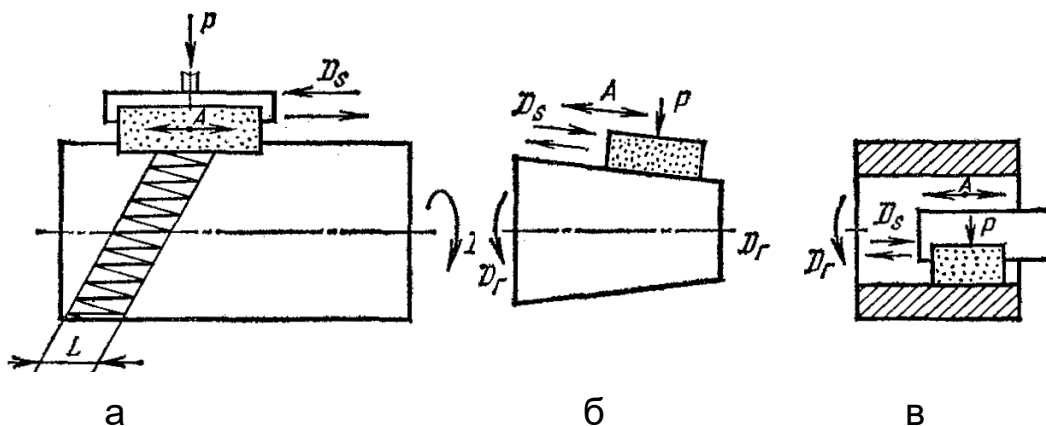


Рисунок 7.12 – Схемы суперфиниширования поверхностей:
 а – наружной цилиндрической; б – наружной конической;
 в – внутренней

Количество брусков при суперфинишировании составляет от одного до четырех в зависимости от диаметра обрабатываемой заготовки. Бруски имеют квадратное сечение, перед началом обработки им придают кривизну, соответствующую кривизне обрабатываемой поверхности. Принцип выбора характеристик абразивных брусков тот же, что и для шлифовальных кругов и брусков при хонинговании.

При обработке стальных и алюминиевых заготовок применяют следующий режим резания: скорость вращения заготовки v_3 – от 30 до 45 м/мин, скорость движения абразивных брусков вдоль образующей – до 0,5 м/мин, давление на бруски P – от 50 до 150 МПа, амплитуда колебаний L – до 5 мм.

При суперфинишировании снимается очень небольшой припуск (от 5 до 10 мкм) и при этом достигается параметр шероховатости $R_a = 0,16...0,02$ мкм. По мере срезания гребешков на поверхности наступает момент, когда давление становится недостаточным для того, чтобы бруски могли преодолеть тонкую масляную пленку, и обработка заканчивается.

7.4.3. Полирование

Одним из распространенных методов уменьшения шероховатости обработанной поверхности является полирование. Этот метод позволяет уменьшить шероховатость до минимума, т. е. отполировать поверхность до зеркального блеска. Полированию подвергают ответственные части деталей, оно применяется также в декоративных целях.

Детали полируются эластичными кругами (войлочными, фетровыми), абразивными лентами, абразивно-жидкостной суспензией.

Эластичные круги шаржируют абразивными зернами различной зернистости с применением клеящих веществ. Полирование выполняют в два – три перехода с последовательным применением более мелких зерен абразива.

Для полирования деталей из цветных металлов используют круги из мягкого войлока. Круги шаржируют пастами требуемой зернистости. Связующим материалом паст служат воск, парафин, жиры. В пасты добавляют активные кислоты для улучшения полирующих свойств. В пасты крупной и средней зернистости добавляют стеариновую кислоту, а в мелкозернистую пасту ГОИ – смесь стеариновой и олеиновой кислот.

При полировании эластичными кругами припуск составляет от 0,005 до 0,015 мм. Полирование кругами (рис. 7.13, а) происходит при скоростях до 50 м/с. Заготовка, прижатая силой P к полировальному кругу, совершает движение подачи D_s в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности.

В промышленности широко применяется полирование абразивными лентами (рис. 7.13, б, в). Абразивная лента движется со скоростью главного движения D_r . В месте контакта с заготовкой лента поддерживается специальной опорой, имеющей соответствующий профиль (рис. 7.13, в).

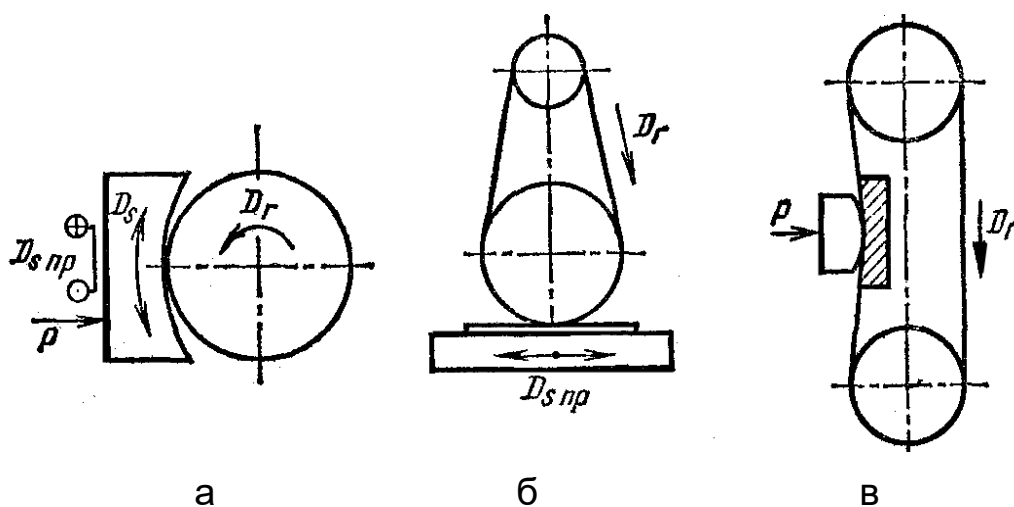


Рисунок 7.13 – Схемы полирования:
а – эластичным кругом; б, в – абразивной лентой

От конструкции и степени эластичности опор существенно зависит площадь контакта ленты с заготовкой, производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности. Скорость ленты зависит от обрабатываемого материала: при полировании деталей из цветных сплавов скорость ленты составляет от 40 до 50 м/с, из стальных сплавов – от 15 до 20 м/с, из труднообрабатываемых материалов – около 10 м/с.

Давление детали на ленту зависит от обрабатываемого материала и площади контакта и колеблется в пределах от 3 до 25 МПа. Полирование абразивными водостойкими лентами осуществляется с охлаждением различными видами эмульсий.

Абразивно-жидкостное полирование успешно используют для отделки заготовок, имеющих сложную конфигурацию (отделка профильных штампов, форм для литья под давлением, декоративное полирование). Абразивно-жидкостное полирование заготовок производят в специальных камерах струёй жидкости, насыщенной абразивом, со скоростью около 50 м/с под давлением от 10 до 100 МПа.

Виброабразивная обработка деталей осуществляется в контейнерах, заполненных абразивными зёрнами и жидкостью. Относительное перемещение зёрен абразива и обрабатываемых поверхностей происходит за счёт сообщения контейнеру колебаний в нескольких направлениях.

Контрольные вопросы к разделу

1. Какие основные абразивные материалы применяют при абразивных методах обработки?
2. На какие группы делят зернистость абразивных зёрен, алмазов и эльбора?
3. Какие показатели характеризуют твердость и структуру абразивных инструментов?
4. Приведите основные схемы наружного круглого шлифования в центрах.
5. Какие основные разновидности имеет внутреннее круглое шлифование?
6. За счёт чего осуществляется продольное перемещение заготовки при бесцентровом наружном шлифовании?
7. Какие технологические параметры определяют схему плоского шлифования?
8. Приведите схему ленточного шлифования на ведущем контактном круге и основные технологические параметры процесса.
9. Приведите схему сил резания при круглом шлифовании и укажите характеристику составляющих сил, действующих на рабочую поверхность круга.
10. Что такое самозатачиваемость шлифовального круга?
11. Какими параметрами оценивается производительность процесса шлифования?
12. Укажите порядок назначения режима резания при обработке шлифованием.
13. Какие конструктивно-технологические особенности имеет процесс хонингования?
14. Приведите основные схемы и технологические параметры суперфиниширования.
15. Какие основные схемы полирования применяют в качестве чистой и декоративно-отделочной обработки деталей?

8. ОБРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Композиционные материалы (КМ) – это конструкционные материалы, состоящие из матрицы (основы) и распределенного в ней армирующего материала. В качестве армирующего материала могут применяться волокна стекла, углерода, бора, органические волокна.

КМ обладают широким диапазоном свойств: по удельной прочности превосходят металлические конструкционные материалы, имеют низкую чувствительность к концентраторам напряжений, обладают хорошей коррозионной стойкостью, радиопрозрачностью.

Высокие показатели КМ по удельной прочности, жесткости и сопротивлению усталости в сочетании со специфическими свойствами – радиопрозрачностью, высокой демпфирующей способностью, низкой теплопроводностью – определяют широкое их применение в конструкциях современных ЛА.

В конструкции созданного в АНТК им. О.К. Антонова транспортного самолета Ан-124 было использовано рекордное число деталей, узлов, агрегатов из КМ – более 4000 единиц на одно изделие общей площадью около 1500 м² и массой 5600 кг (рис. 8.1) [11, 21]. Объем применения КМ в конструкции планера самолета непрерывно возрастает. Например, для самолета Ан-140 (год выпуска – 2000) этот объем составляет 13%.

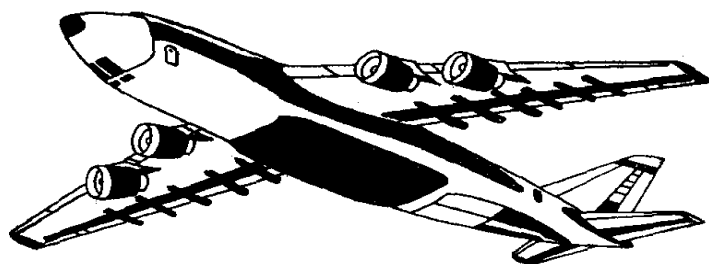


Рисунок 8.1 – Применение КМ в конструкции планера Ан-124

Обработка резанием КМ используется при изготовлении широкой номенклатуры традиционных деталей – оболочек, обшивок, стрингерных и гофрированных панелей, накладок, поясов, многослойных панелей с сотовым наполнителем.

Технологические узлы из КМ – балки, шпангоуты, лонжероны, отсеки агрегатов – имеют повышенный объем обработки с удалением лишнего материала.

При этом применяются практически все существующие виды обработки резанием: раскрой заготовок, точение, фрезерование, сверление, шлифование и др. Обработка резанием КМ имеет ряд специфических особенностей, которые обусловлены главным образом особенностями структуры и свойствами обрабатываемого материала – неоднородностью, низкой теплопроводностью, наличием волокон и т. п.

В то же время процессу резания КМ сопутствуют те же явления, что и процессу резания металлов: стружкообразование, силовые и тепловые явления, интенсивное изнашивание инструмента.

8.1. Особенности процесса обработки резанием КМ

8.1.1. Классификация конструкционных пластмасс

Конструкционные пластмассы, к которым по классификационным признакам относятся КМ, различаются как по своему составу, так и по физико-механическим свойствам. Анализ свойств и состава применяемых конструкционных пластмасс позволяет выделить основные характеристики, по которым их следует относить к той или иной группе обрабатываемости резанием. В первую очередь это изменение свойств связующего при нагреве, которое определяет различие в условиях резания этих типов материалов.

По отношению к нагреву связующего материала конструкционные пластмассы разделяют на два класса – термопластичные и термореактивные (рис. 8.2).

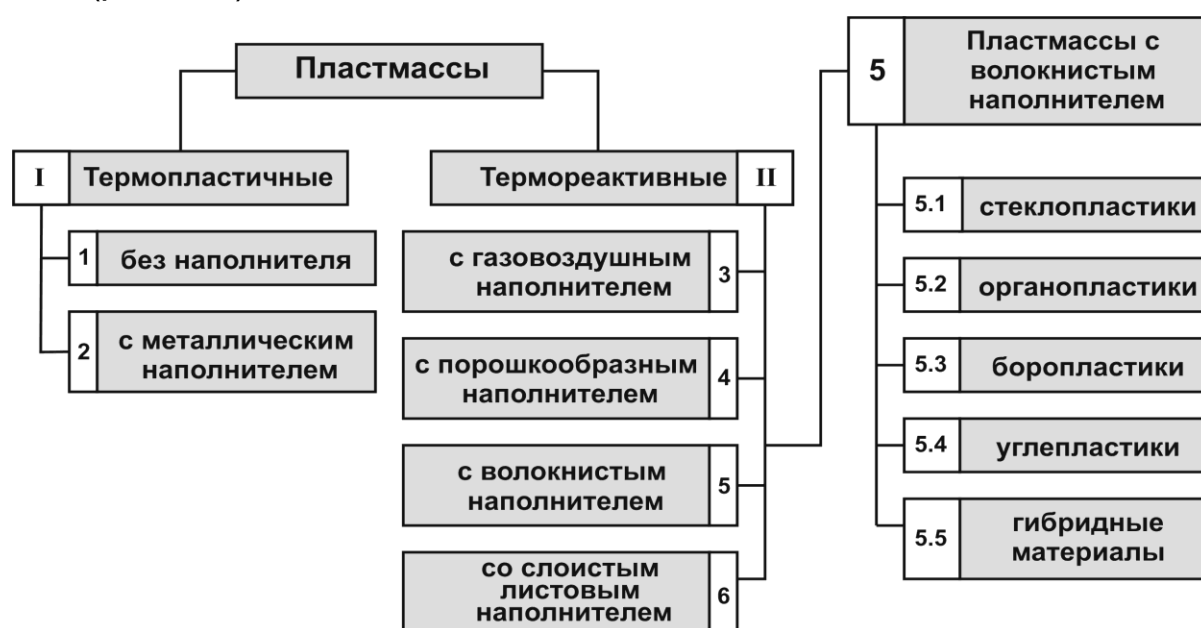


Рисунок 8.2 – Классификация пластмасс по отношению к нагреву

В состав *термореактивных* пластмасс в качестве связующего материала входят преимущественно фенолформальдегидные смолы. Эти виды смол при изготовлении деталей под действием тепла и давления переходят в необратимое состояние, т. е. при нагревании они не размягчаются.

Термопластичные пластмассы, в отличие от термореактивных, под действием повышенной температуры размягчаются.

Каждый класс конструкционных пластмасс, в свою очередь, делят на группы по обрабатываемости резанием.

Термопластичные пластмассы подразделяют на две группы обрабатываемости:

- без наполнителя (оргстекло, фторопласт, капрон, винипласт);
- с порошкообразным металлическим наполнителем (пластмассы на основе фторопласта или полистирола с добавлением порошков меди, свинца, дисульфида молибдена).

Термореактивные пластмассы подразделяют на четыре группы обрабатываемости:

- с газоздушным наполнителем (пенопласты, поропласты);
- с порошкообразным наполнителем (фенопласты);
- с волокнистым наполнителем (стеклопластики, органопластики, боропластики, углепластики, гибридные материалы);
- со слоистым и листовым наполнителями (гетинаксы, текстолиты).

Материалы, входящие в одну группу обрабатываемости, близки по своему составу, свойствам и агрегатному состоянию, поэтому закономерности их резания одинаковы. Это справедливо для всех групп, за исключением пятой группы материалов – пластмасс с волокнистым наполнителем, к которым по классификации и относятся КМ. Дело в том, что такие КМ, как высокопрочные стекло-, органо-, боро- и углепластики, имея одинаковую волокнистую структуру, весьма различаются по своим физико-механическим свойствам.

Пятую группу обрабатываемости материалов целесообразно разделить на ряд подгрупп. В каждой подгруппе обрабатываемости материалы различаются составом и свойствами наполнителя и связующего, схемой армирования материала. Эти особенности при расчете режима резания учитывают путем введения поправочных коэффициентов. Во всех случаях первостепенным показателем обрабатываемости является влияние обрабатываемого материала на интенсивность затупления инструмента.

8.1.2. Особенности процесса резания КМ

Характерными особенностями обработки резанием КМ являются:

- Склонность ряда КМ к скалыванию в процессе резания, приводящая к значительному увеличению шероховатости, а также выкрашиванию поверхностей обрабатываемой заготовки при входе и выходе инструмента. Затупление инструмента по мере обработки еще более увеличивает влияние этого фактора.
- Неоднородность строения материала и различная твердость ее составных частей, затрудняющие получение низкой шероховатости поверхности. Вследствие этого допускаемая степень износа инструмента определяется *технологическими критериями затупления*, прежде всего увеличением шероховатости поверхности.
- Сильное абразивное воздействие на инструмент вследствие наличия составляющих компонентов КМ с высокими абразивными свойствами.
- Плохой отвод тепла из зоны резания из-за пониженной теплопроводности КМ и, следовательно, перегрев режущих кромок инструмента. По этой причине критерием максимально допустимой скорости резания зачастую является появление обугливания поверхностного слоя обрабатываемой поверхности. Кроме того, повышение температуры в зоне резания вследствие пониженной теплопроводности КМ способствует размягчению, а в некоторых случаях и разрушению КМ.

- Интенсивное пылеобразование, особенно при обработке резанием термореактивных КМ, приводящее к необходимости принудительного удаления пыли и стружки из зоны резания с помощью специальных устройств.

- Трудность применения СОЖ из-за гигроскопичности обрабатываемого материала и его химического взаимодействия с СОЖ, приводящего к изменению физико-механических свойств КМ. При обработке термореактивных КМ охлаждение жидкостью применять нельзя, так как при этом образуется паста из пылевидной стружки и жидкости, которая налипает на рабочие поверхности инструмента и затрудняет обработку. Поэтому наиболее часто при обработке КМ резанием для охлаждения применяют сжатый воздух.

Перечисленные особенности обработки резанием КМ показывают, что простой перенос закономерностей процесса резания металлов на эти материалы недопустим.

При изготовлении изделий из КМ применяют следующие характерные виды обработки резанием: разрезание заготовок, точение, сверление, развертывание и нарезание резьбы, фрезерование, шлифование.

8.1.3. Разрезание листовых заготовок из КМ

Листовые заготовки из КМ разрезают на станках ленточными и дисковыми пилами, дисковыми фрезами, абразивными кругами.

Во избежание сильного перегрева не рекомендуется вести разрезание листов КМ в больших пакетах. Для исключения вибраций и растрескивания листов необходимо обеспечивать жесткое крепление их на станке с использованием деревянных подкладок. Особое внимание при разрезании КМ следует уделять остроте режущих кромок клинового инструмента.

Фасонное разрезание листов КМ производят ленточными мелкозубыми пилами (шаг зубьев до 5 мм) при скорости резания от 1000 до 1500 м/мин, скорости движения подачи до 1 м/мин.

Прямолинейную резку листов КМ выполняют также абразивными кругами зернистостью 24 – 46, диаметром 300...350 мм и толщиной 3...6 мм с охлаждением СОЖ при следующем режиме резания:

$v = 40...50$ м/с, $S_o = 0,3...0,6$ м/мин. Схема разрезания листов КМ аналогична схеме, приведенной на рис. 3.2, г для подготовительных операций.

8.1.4. Токарная обработка КМ

Точение КМ осуществляют быстрорежущими и твердосплавными резцами при тщательной доводке рабочих поверхностей инструмента пастой из карбида бора. Величины глубины резания и подачи при точении КМ выбирают, исходя из условий стабильного удаления стружки без наматывания на деталь. В противном случае происходит размягчение обрабатываемой поверхности и схватывание ее со стружкой.

При точении деталей из КМ (например из стеклопластиков), оказывающих интенсивное абразивное действие, применяют режущий инструмент, оснащенный пластинами из твердых сплавов марок ВКЗМ и ВК6М.

Для обработки особо прочных видов КМ типа углепластиков широкое применение находят алмазные инструменты (рис. 8.3).

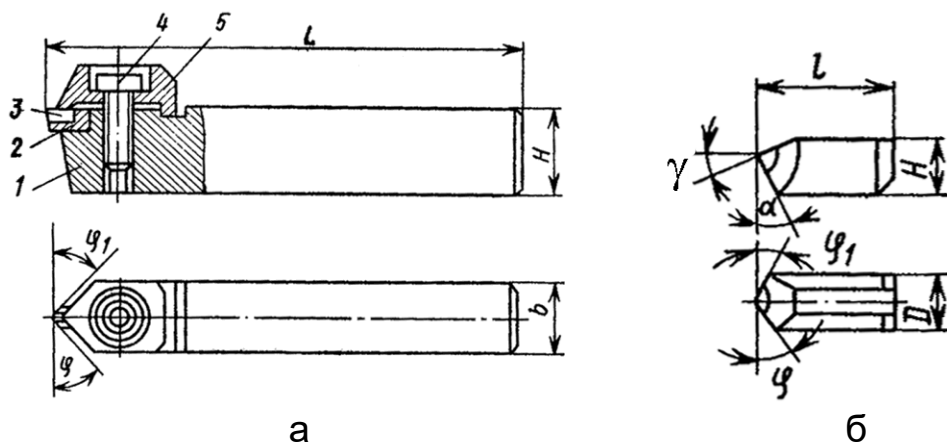


Рисунок 8.3 – Сборный резец, оснащенный вставкой из СТМ:
а – конструкция резца; б – параметры режущего элемента

Сборный резец (рис. 8.3, а) выполнен в виде корпуса 1, в котором с помощью винта 4 и специальной накладки 5 (играющей роль стружколома) крепится резцовая вставка 2 или непосредственно режущий элемент 3 из СТМ цилиндрической, призматической или пластинчатой формы.

Резцовая вставка представляет собой металлический корпус с впаянными в паз кристаллами синтетического алмаза марки АСПК или ПТНБ. Конструктивные размеры кристаллических вставок стандартизированы (рис. 8.3, б): $\gamma = -5...8^\circ$; $\alpha = 10...12^\circ$; $\phi = 15...45^\circ$; $\phi_1 = 15...45^\circ$; $l = 18...30$ мм; $D = 5...16$ мм; $H = 4...12$ мм.

Режим резания КМ типа углепластиков алмазным инструментом имеет следующие значения: $v = 800...1000$ м/мин, $S_o = 0,04$ мм/об.

8.1.5. Обработка отверстий в КМ

Сверление заготовок из КМ является одним из наиболее распространенных видов обработки. Сверление осуществляют сверлами из быстрорежущих сталей, а также сверлами, оснащенными пластинками из твердых сплавов.

На рис. 8.4 показаны рекомендуемые формы заточки режущей части и конструкции сверл из быстрорежущих сталей и твердых сплавов.

Сверла из *быстрорежущих сталей* (рис. 8.4, а) с формами заточки режущей части типа НПЛ (нормальная), ДПЛ (двойная) и ПРК (с подрезающими режущими кромками) применяют для сверления отверстий в стекло- и углепластике, сверла из *твердых сплавов* (рис. 8.4, б) с теми же формами заточки – в стекло-, угле- и боропластике.

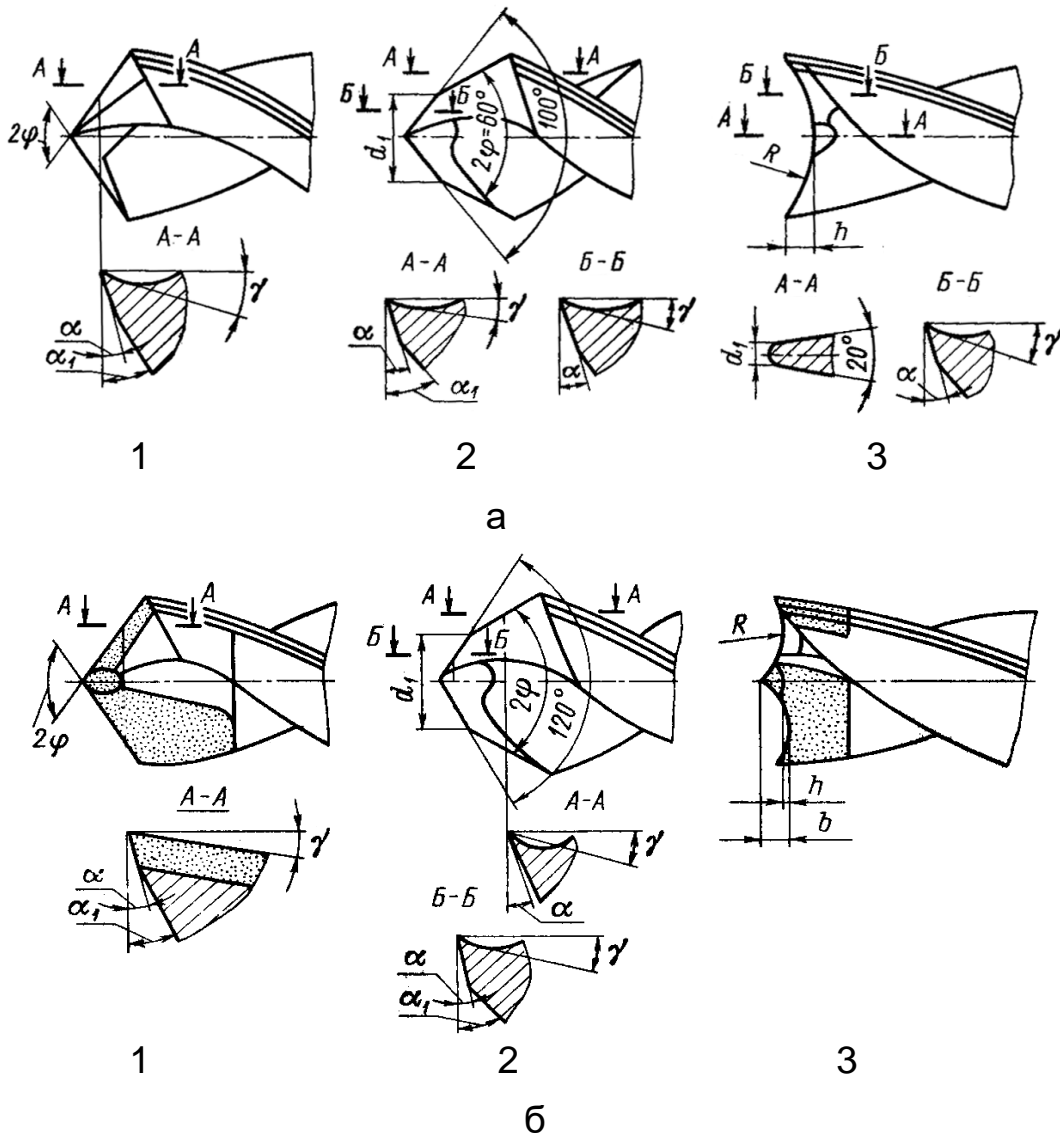


Рисунок 8.4 – Формы заточки режущей части сверл из быстрорежущих сталей (а) и твердых сплавов (б):
1 – НПЛ; 2 – ДПЛ; 3 – ПРК

Наибольшее влияние на качество обработки отверстий и износ сверл оказывает угол при вершине сверла 2φ . Следует учитывать, что при сверлении тонких пакетов сверлами с острой вершиной образуются отверстия типа “проткнутых”, поэтому принимать величину угла $2\varphi < 110^\circ$ нецелесообразно.

С увеличением заднего угла α происходит уменьшение сил трения по задней грани, что способствует меньшему выкрашиванию связующего, а следовательно, и уменьшению шероховатости поверхности отверстия.

С увеличением переднего угла γ шероховатость поверхности отверстия увеличивается, наблюдается разломачивание кромок отверстий, особенно в момент выхода уголков сверла из отверстий.

Уменьшение угла наклона канавок ω до $10 - 15^\circ$ и применение сверл с широкой полированной канавкой улучшает отвод стружки и по-

вышает качество обработки отверстий.

Для предотвращения налипания стружки на инструмент при сверлении рекомендуется наносить на поверхность канавок сверл дисульфид молибдена. Применять при сверлении охлаждающие жидкости не рекомендуется, так как последние смешиваются с пылью и образуют пасту, которая затрудняет сверление.

Важным критерием качества сверла является величина его износа. За критерий износа сверл обычно берут износ по задней поверхности заборного конуса сверла.

Так, например, износ сверла до 0,2 – 0,3 мм приводит к появлению на деталях из порошкообразных КМ трещин, из волокнистых КМ – бахромы и выпучивания. Поэтому допустимые величины износа инструмента при обработке резанием КМ намного ниже по сравнению с металлом и для сверл не превышают 0,1 – 0,15 мм.

Режим резания при сверлении КМ выбирают, исходя из обеспечения требуемых показателей шероховатости поверхности и периода стойкости инструмента. Чрезмерно интенсивный режим обработки затрудняет удаление пылевидной стружки, способствует нагреву инструмента и последующему схватыванию стружки с поверхностью канавок сверла. Поэтому в процессе обработки необходимо периодически выводить сверло из отверстий.

Сверление на больших подачах приводит к отслаиванию материала на входном и выходном торцах отверстия, на малых подачах – к ворсистости КМ. С увеличением подачи (более 0,3 мм/об) качество отверстий ухудшается, что приводит к снижению долговечности соединений. В диапазоне скоростей резания от 10 до 40 м/мин ворсистость отверстий уменьшается.

Зенкование гнезд в материале КМ под потайные заклепки и болты рекомендуется выполнять на сверлильно-зенковальных установках комбинированным инструментом – сверлом-зенковкой. Для зенкования гнезд используют четырех- и шестизубые зенковки. Увеличение количества зубьев зенковок до шести способствует уменьшению шероховатости поверхности обрабатываемых гнезд и увеличению стойкости инструмента. Режущие кромки зенковок должны быть остро заточены. Об износе зенковок свидетельствует появление ворсинок и огранки поверхности лунок.

Развертывание отверстий в КМ осуществляют машинными развертками стандартной конструкции, оснащенными вставками из твердых сплавов. Развертки имеют заднюю или заднюю и переднюю направляющие втулки, которые направляются по вращающимся кондукторным втулкам. Развертывание с малыми подачами не применяют, т. к. при этом снижается точность обработки отверстий, увеличиваются их овальность и конусность.

Рекомендуются следующие геометрические параметры рабочей части разверток: $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 8...10^\circ$, $2\phi = 15^\circ$ и режим резания с пара-

метрами: $v = 20 \dots 40$ м/мин; $S_0 = 0,1 \dots 0,6$ мм; $t = 0,2 \dots 0,3$ мм.

На точность отверстий влияет сочетание материалов в рассверливаемом пакете. Для однородных пакетов (КМ – КМ) точность несколько выше, чем для смешанных (КМ – металл).

Нарезание резьбы на деталях из КМ производят резцами, фрезами, плашками. Основным способом образования внутренней резьбы под детали крепежа в КМ является нарезание резьбы метчиками. Нарезание резьбы в деталях из КМ связано с рядом трудностей.

Высокая упругость КМ в процессе образования нитки резьбы вызывает защемление инструмента, что снижает точность обработки и приводит к браку вследствие получения рваного профиля.

Для ликвидации защемления инструмента передний угол метчиков делают отрицательным в диапазоне от 5 до 10° .

В целях снижения интенсивности трения перья метчика делают возможно узкими при минимальном их числе (2 или 3) с полированными канавками и шлифованным профилем. Хорошие результаты дает хромирование рабочих поверхностей метчиков.

Наружный диаметр метчиков следует увеличивать на величину от 0,05 до 0,15 мм ввиду усадки нарезаемых отверстий. Рекомендуется проводить химико-термическую обработку метчиков цианированием, при обработке применять охлаждение воздухом.

При нарезании резьбы метчиками из быстрорежущих сталей скорость не должна превышать 15 м/мин.

8.1.6. Обработка КМ фрезерованием

При обработке стекло-, угле-, органо- и боропластиков фрезерование не является определяющей операцией и встречается значительно реже, чем точение, сверление или разрезка.

Обработка КМ во избежание их расслаивания должна вестись по схеме попутного фрезерования, т. е. вращение фрезы должно совпадать с направлением движения подачи заготовки (см. рис. 6.6, б).

Стекло- и углепластики фрезеровать можно твердосплавными фрезами. Наиболее целесообразно применять инструмент из вольфрамокобальтовых твердых сплавов, причем сплавы с меньшим содержанием кобальта являются более стойкими. Фрезеровать боропластики твердосплавными фрезами практически невозможно из-за их катастрофически быстрого изнашивания.

Большое влияние на стойкость инструмента оказывают геометрические параметры его режущей части (рис. 8.5), поэтому они должны быть правильно выбраны. При фрезеровании КМ изменение главного заднего α и переднего γ углов зуба фрезы влияет на стойкость инструмента и стружкообразование таким же образом, как и при точении.

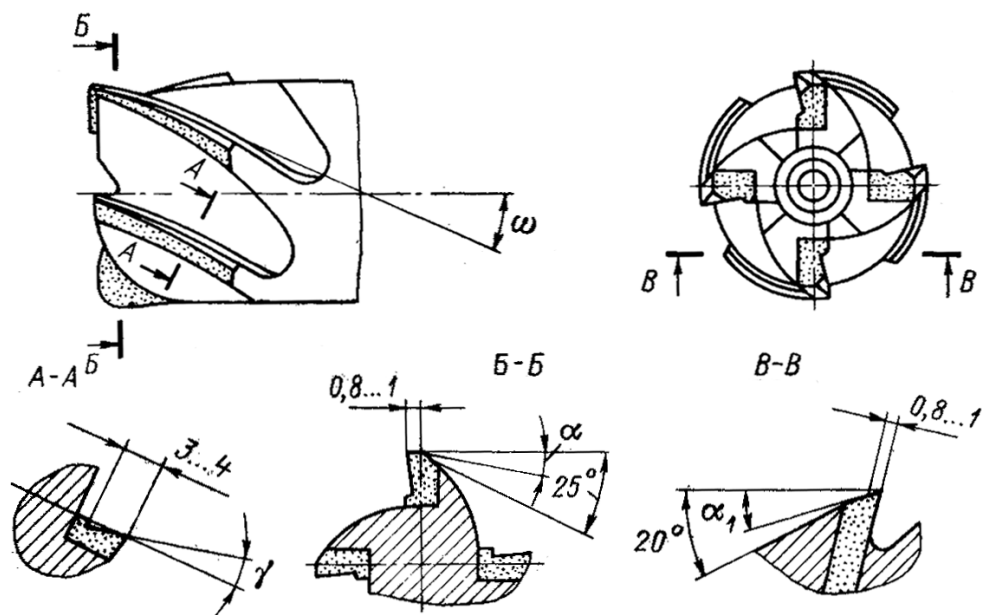


Рисунок 8.5 – Типовая конструкция твердосплавной концевой фрезы

Допустимая величина износа фрез не должна превышать 0,4 – 0,5 мм при черновой обработке и 0,2 – 0,3 мм при чистовой.

Объем стружки при фрезеровании КМ значительно больше, чем при обработке металлов, поэтому канавки между зубьями фрез делают более широкими и емкими. Это не снижает прочности инструмента, так как силы резания при обработке КМ относительно малы.

Весьма эффективно при фрезеровании КМ применение инструментов, оснащенных вставками из СТМ. В этом случае конструкция инструмента практически не отличается от конструкции фрез из твердых сплавов, сменные ножи (например, у торцовых фрез) представляют собой вставки из СТМ марки АСБ.

Для фрезерования пазов и сверления отверстий в боропластиках и гибридных материалах с добавлением волокон бора используют специальный инструмент, оснащенный слоем из синтетического алмаза марки АС15 зернистостью не менее 400/315 (рис. 8.6). Инструмент состоит из хвостовика 1 и режущей части 2. На торцовую и боковую стороны режущей части нанесен алмазный слой 3. Продольные канавки 4 на боковой поверхности и пазы 5 на торцовой поверхности 6 образуют режущие кромки инструмента.

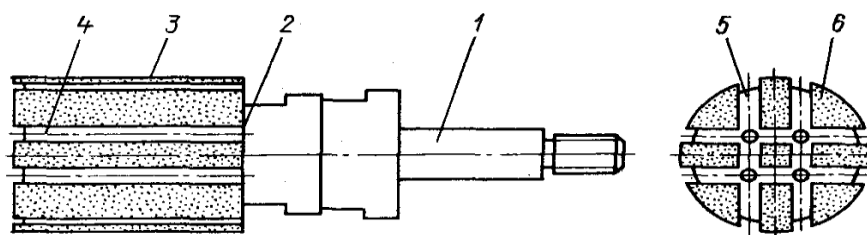


Рисунок 8.6 – Специальный инструмент с алмазным слоем

Охлаждающая жидкость подается в зону резания через внутреннюю полость и сквозные отверстия оправки. Рекомендуемая частота вращения инструмента – 9000 мин^{-1} , обратная подача при данной зернистости – не более $0,015 \text{ мм/об}$.

Абразивная обработка КМ имеет преимущества по сравнению с резанием клиновым инструментом: меньшую шероховатость поверхности, отсутствие сколов и трещин.

Высокой эффективности абразивной обработки можно достичь только при правильном подборе характеристик круга применительно к данному виду КМ. Чаще всего для этой цели используются карборундовые и корундовые круги. Например, круглое наружное шлифование КМ производят корундовыми кругами зернистостью 60, твердостью М1 на режиме резания: $t = 0,2 \dots 0,4 \text{ мм}$ при скорости движения подачи до $0,24 \text{ м/мин}$ и скорости резания круга $v = 30 \dots 35 \text{ м/с}$.

8.1.7. Обработка металлополимерных КМ

УкрНИИАТ совместно с АНТК им. О. К. Антонова разработана технология изготовления элементов конструкций из листовых металлополимерных КМ (МПКМ) трехслойной структуры [11].

Внешние металлические слои МПКМ выполнены из алюминиевого сплава Д16Т, внутренний – органополимерный на основе клея ВК-41, армированного двумя слоями стеклоткани.

Использование слоистых МПКМ в конструкциях ЛА обеспечивает снижение массы ЛА и увеличение их ресурса, а также значительное уменьшение вибрационных и акустических нагрузок.

По сравнению с алюминиевыми сплавами МПКМ имеют меньшую на $10 - 20\%$ плотность, более высокую (на $10 - 20\%$) удельную прочность при растяжении, меньшую в $10 - 15$ раз скорость роста усталостных трещин и высокую демпфирующую способность.

Механическая обработка МПКМ резанием включает в себя следующие типовые операции: раскрой и обрезка деталей по наружному контуру, фрезерование, обработка кромок и сверление отверстий. Для осуществления этих операций используются практически те же способы обработки, что и для КМ.

При фрезеровании режим резания может быть установлен как для соответствующего алюминиевого сплава (Д16Т) с коррекцией на склонность материала к расслоению. Фрезерование выполняют концевыми двузубыми фрезами из быстрорежущей стали марки Р9Ф5К5.

Для обработки фасок, зачистки поверхностей и притупления острых кромок используются ручные средства механизации с алмазными и абразивными головками, а также мелкозубыми фрезами из твердых сплавов с высокой частотой вращения – до $18\,000 \text{ мин}^{-1}$.

Сверление отверстий осуществляют алмазными перфорированными сверлами диаметром до 100 мм , твердосплавными – от 6 до 30 мм , а также сверлами из быстрорежущих сталей марок Р18, Р9Ф5К5.

8.2. Удаление стружки и пыли из зоны резания КМ

При обработке изделий из КМ алмазными кругами и сверлами, твердосплавным режущим инструментом, а также инструментом из СТМ образуется токсичная пыль и мелкодробленая стружка. Для удаления стружки и пыли из зоны резания предназначены вытяжная вентиляция и инструменты специальных конструкций

Чтобы вытяжная вентиляция эффективно работала, необходимо иметь соответствующую систему трубопроводов и правильно сконструированные приемники-уловители в рабочей зоне станка.

Такие приемники-уловители применяют при разрезке заготовок, нарезании резьбы алмазными кругами, шлифовании, когда стружка представляет собой дисперсные частицы, движущиеся с большой скоростью в достаточно узкой зоне. Охватив эту зону соответствующим приемником-уловителем, можно удалить образующиеся при резании отходы.

Специальная конструкция инструментов позволяет захватывать стружку и пыль в месте их возникновения, т. е. непосредственно в зоне резания инструмента (рис. 8.7). На рис. 8.7, а изображена конструкция специального самовращающегося резца из твердого сплава, применяемого для наружной обточки заготовок из КМ.

Оправку 1 крепят в резцедержателе станка. Твердосплавный самовращающийся резец 4 устанавливают во втулке 5, которая соединена с корпусом 2 через подшипники 6. К патрубку 7, соединенному с корпусом 2 винтами, неподвижно крепят шнек 3. Патрубок 7 соединен с системой вытяжной вентиляции. При обработке резец вращается, и по винтовым канавкам шнека стружка устремляется в канал, чему способствует также вытяжная вентиляция, подключенная к этому каналу.

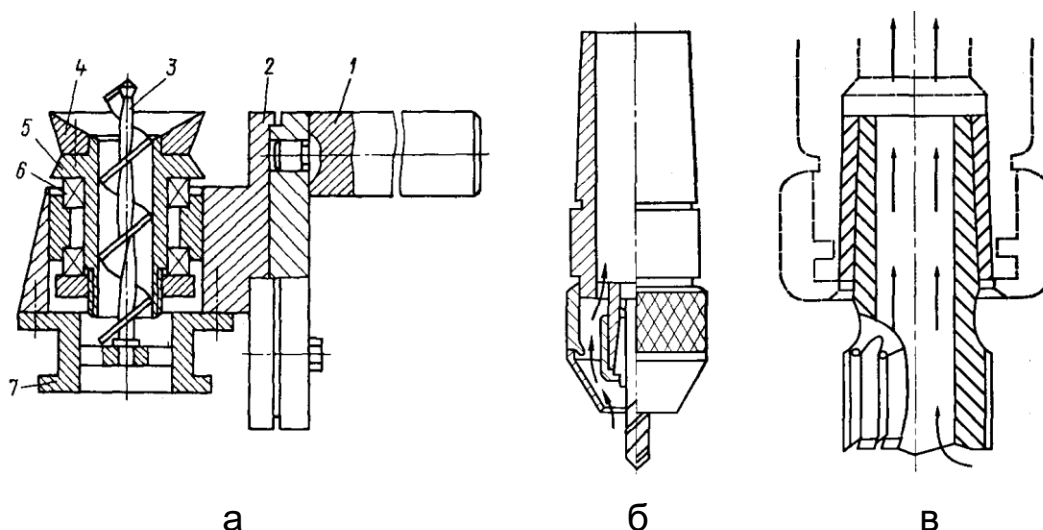


Рисунок 8.7 – Инструменты специальных конструкций для обработки КМ:

- а – токарный резец со стружкоотводящим устройством;
- б – цанговый патрон с кольцевой щелью; в – пустотелая фреза

При сверлении пыль и стружка отводятся через цанговый патрон

с кольцевой щелью (рис. 8.7, б), при фрезеровании – через центральное отверстие в инструменте (рис. 8.7, в).

При использовании ручных средств механизации рабочее место должно быть оборудовано индивидуальным переносным пылесосом типа ППВМ.

Рабочие, выполняющие операции механической обработки, должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты: респиратором, защитными очками, перчатками, халатом.

Контрольные вопросы к разделу

1. Чем обусловлено использование КМ в конструкции планера современных ЛА?

2. Приведите классификацию конструкционных пластмасс по отношению к нагреву и обрабатываемости резанием.

3. Какие характерные особенности обработки резанием присущи типовым представителям КМ?

4. Приведите типовую конструкцию алмазного инструмента для точения высокопрочных КМ типа углепластика.

5. Как влияют геометрические параметры режущей кромки сверла на качество обработки отверстий?

6. Какие формы заточки режущей части имеют сверла, применяемые для обработки отверстий в КМ?

7. Каковы особенности фрезерования заготовок из КМ?

8. Приведите конструкцию специального инструмента с алмазным слоем для фрезерования и сверления боропластиков.

9. Какие особенности обработки резанием характерны для металлополимерных КМ?

10. Какие методы удаления стружки и пыли из зоны резания применяются при обработке КМ?

9. УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

9.1. Влияние поверхностного упрочнения на ресурс деталей ЛА

В процессе эксплуатации конструкции планера ЛА испытывают многократно повторяющиеся высокие нагрузки. В этих условиях механизм влияния поверхностного упрочнения на конструкционную прочность материалов существенно отличается от того, который действует в области невысоких напряжений, характерных для условий обычной усталости.

Создание остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое имеет решающее значение для повышения сопротивления усталости деталей планера ЛА. В малоцикловой области при высоких повторных нагрузках наиболее важным фактором, обуславливающим повышение долговечности высокопрочных материалов, является радикальное улучшение микрорельефа поверхности.

Наклеп ликвидирует острые надрезы, обеспечивает наиболее благоприятный микрорельеф поверхности и этим повышает сопротивление усталости поверхностного слоя детали.

Для алюминиевых сплавов В93, В95 и Д16 эффект наклепа и при высоких повторных нагрузках весьма значителен. Для высокопрочных алюминиевых сплавов В93 и В95 из-за их большой чувствительности к состоянию поверхности эффект наклепа сильнее, чем для менее прочного сплава Д16.

Упрочняющей обработке методами поверхностно-пластического деформирования (ППД) могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных металлов.

Большую группу деталей составляют маложесткие детали типа панелей, стенок, дуг, профилей, выполненные из высокопрочных алюминиевых, стальных и титановых сплавов.

Силовые детали типа панелей, цилиндров, балок, стоек, валов, кронштейнов, выполненные из высокопрочных легированных сталей, а также титановых сплавов, можно упрочнять поверхностным наклепом как по всем, так и по отдельным поверхностям.

Форма упрочняемой поверхности влияет на выбор способа средств и режимов обработки ППД. Поэтому она может быть использована в качестве основного параметра для систематизации технологии местного упрочнения. От геометрии поверхности зависит также степень концентрации напряжений.

После упрочняющей обработки детали методами ППД изменяется микрогеометрия или шероховатость поверхности. При этом применение некоторых способов упрочнения уменьшает шероховатость обработанной поверхности (раскатка отверстий), применение других – увеличивает ее (дробеструйная обработка), но во всех случаях параметры исходной и конечной шероховатости взаимосвязаны.

Чем меньше шероховатость поверхности деталей перед упрочнением, тем эффективнее процесс упрочнения.

Места концентраторов напряжений должны иметь следующую шероховатость поверхности: для стальных деталей после механической обработки – не менее R_a 2,5, для деталей из алюминиевых сплавов – не менее R_z 40...20.

В зависимости от формы, размеров, материала детали, предъявляемых требований к геометрическим параметрам и качеству поверхности, производственных и других условий могут использоваться различные способы упрочняющей обработки ППД.

9.2. Ударные способы поверхностного упрочнения

Способ упрочнения выбирают в зависимости от формы и размеров детали, условий её работы и состояния поверхностного слоя, технологических возможностей (рис. 9.1), а также экономической целесообразности.

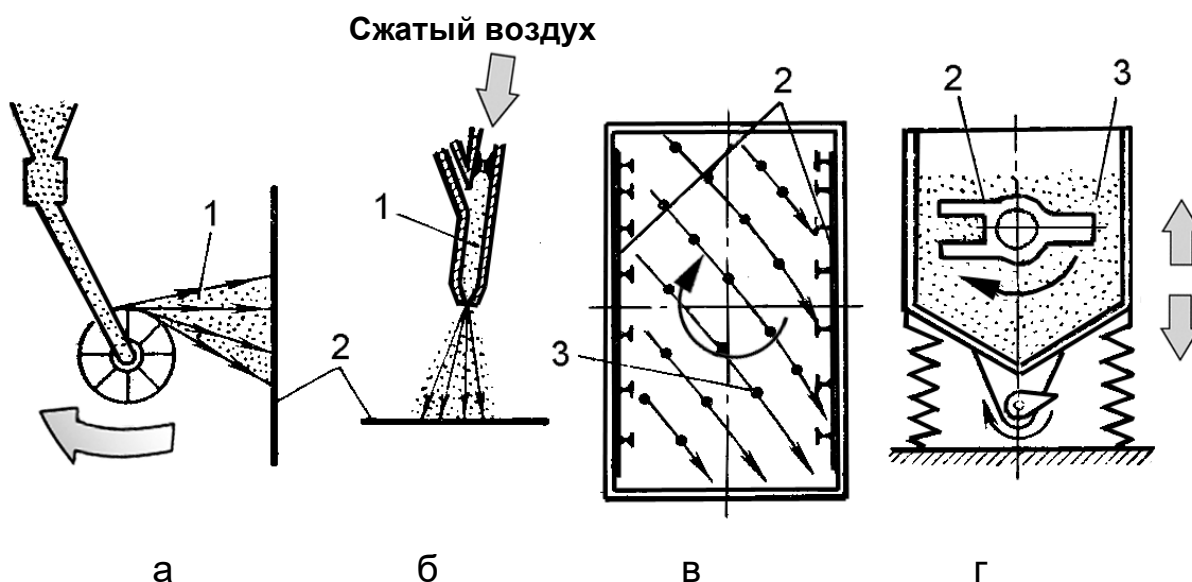


Рисунок 9.1 – Ударные способы упрочнения:
а – струйно-механический; б – струйно-пневматический;
в – барабанно-ударный; г – вибрационный;
1 – дробь; 2 – деталь; 3 – гранулы или шарики

Независимо от вариантов технологической схемы существуют два вида поверхностного упрочнения деталей:

– значительная пластическая деформация поверхностного слоя без съема металла (поверхностное упрочнение способами вибронаклепа, пневмодинамического, виброударного, дробеструйного или гидродробеструйного наклепа);

– небольшая пластическая деформация со съемом металла глубиной от 0,01 до 0,3 мм при малой глубине наклепанного слоя (поверхностное упрочнение способами виброшлифования или гидроабразивного шлифования и полирования).

9.2.1. Технологические особенности виброупрочнения

Сущность процесса виброупрочнения заключается в следующем. Рабочая среда, состоящая из абразивных или металлических частиц (гранул, шариков), и обрабатываемые детали, помещенные в контейнер виброустановки (рис. 9.2), совершают механические колебания с ускорениями (10...15)g. Под действием этих колебаний частицы рабочей среды приобретают энергию, достаточную для осуществления пластической деформации поверхностного слоя детали.

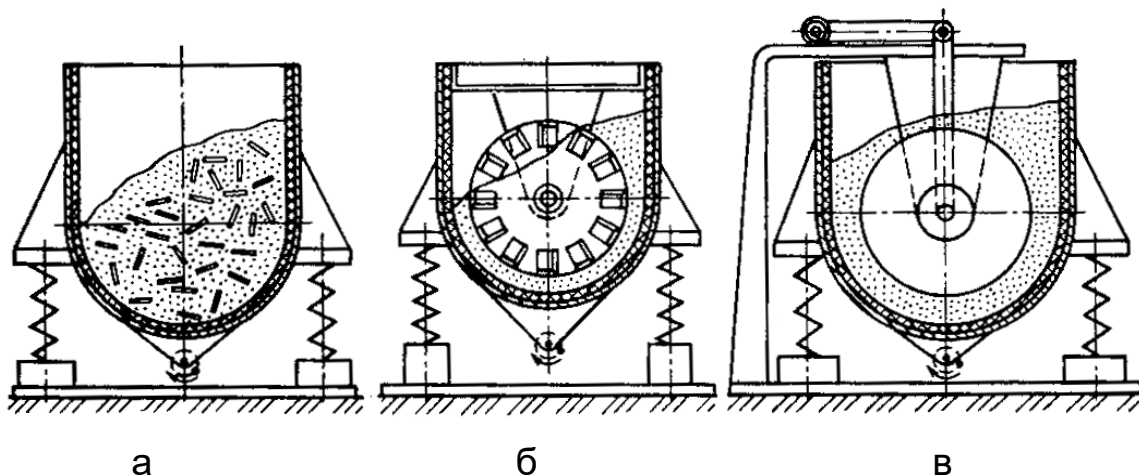


Рисунок 9.2 – Способы загрузки деталей при виброупрочнении:
а – свободное расположение; б – закрепление в резервуаре;
в – закрепление на изолированной опоре

Основные параметры процессов ППД, определяющие величины наклепа, остаточных напряжений и шероховатости поверхности:

- характеристики рабочей среды (материал, диаметр шариков; материал, зернистость и форма абразивного наполнителя);
- амплитуда и частота колебаний, задающие скорость и ускорение вибрирующим частицам;
- продолжительность процесса упрочнения.

Виброупрочнение в зависимости от применяемой рабочей среды может выполняться как операция виброшлифования или виброполирования.

Виброшлифование осуществляется абразивными гранулами с зерном размером более 50 мкм, предназначено для снятия с поверхности деталей дефектных слоев и обеспечения шероховатости R_z 1,25. В поверхностном слое деталей возникают высокие остаточные напряжения сжатия с незначительной глубиной распространения (до 80 мкм).

Виброполирование выполняется абразивными гранулами с зерном размером менее 50 мкм, предназначено для обеспечения шероховатости поверхности деталей с параметром R_z 0,65 и выше. В поверхностном слое деталей возникают остаточные напряжения сжатия с малой глубиной распространения (до 50 мкм).

Остаточные напряжения сжатия, возникающие при полировании стальными шариками, по сравнению с остаточными напряжениями, возникающими при виброшлифовании, несколько меньше по величине, но распространяются на значительно большую глубину (свыше 200 мкм). Размер частиц рабочей среды также оказывает существенное влияние на параметры наклепа и остаточные напряжения в поверхностном слое деталей. С уменьшением размера частиц уменьшаются наклеп и остаточные напряжения.

Виброупрочнение стальными шариками обеспечивает наиболее высокую пластическую деформацию, его называют *вибронаклепом* и обозначают *ВН*. Виброупрочнение в наполнителе из абразивных частиц обеспечивает большой съём металла при небольшом повышении его сопротивления усталости прочности, его называют *виброшлифованием* и обозначают *ВШ*.

Перед упрочнением шероховатость поверхностей деталей из стальных сплавов должна быть не выше R_z 20, из алюминиевых сплавов – не выше R_z 40. Поверхности деталей с шероховатостью R_z 40, изготовленные точным литьем, подвергаются вибронаклепу без предварительной их подготовки.

Вибронаклеп тонкостенных деталей, например цилиндров, стоек шасси, рекомендуется проводить перед окончательным шлифованием отверстий, которые в этом случае имеют припуск, позволяющий при шлифовании устранить коробление (эллипсность), если оно возникло при обработке методами ППД.

Вибронаклеп внутренних полостей деталей выполняется одновременно с обработкой внешних поверхностей или отдельно от нее. Для этого внутренняя полость на 70 – 80 % заполняется рабочей средой и закрывается заглушками. Виброупрочнение в одном контейнере деталей, резко различающихся по механическим свойствам материалов, форме и массе, недопустимо.

При вибронаклепе в качестве рабочей среды применяют стальные шарики диаметром от 4 до 6 мм, которые должны быть полированными, чистыми, без дефектов на поверхности. В процессе эксплуатации шарики необходимо регулярно промывать в керосине, сортировать через 150 – 200 ч и отбраковывать. Хранить их следует в бункерах в водном растворе триэтаноламина.

Интенсивность и качество процессов упрочнения контролируется определением деформации образцов-свидетелей. Образцы-свидетели для всех упрочняемых стальных деталей изготавливают из стали 30ХГСА или 30ХГСНА и обязательно шлифуют, для упрочняемых деталей из алюминиевых сплавов – из материала, аналогичного материалу деталей. Прогиб образцов-свидетелей при односторонней упрочняющей

обработке должен составлять: при упрочнении методом *ВШ* – не менее 0,4 мм, методом *ВН* – 1,6...3,0 мм.

Если принять производительность виброабразивной обработки стали 45 за единицу, то съем металла с поверхностей деталей из других материалов при прочих равных условиях примерно составляет [25]:

- из алюминиевых сплавов – 1,6;
- незакаленных углеродистых и легированных сталей – 1,0;
- закаленных легированных сталей – от 0,9 до 0,8;
- коррозионно-стойких и жаропрочных сплавов – от 0,8 до 0,7;
- титановых сплавов – 0,6.

9.2.2. Пневмодинамический способ упрочнения

Пневмодинамический способ упрочнения деталей основан на использовании кинетической энергии шариков или дроби, сообщаемой им струей воздуха, который подается в рабочую камеру под давлением от 0,3 до 0,6 МПа.

Основные параметры пневмодинамического способа упрочнения: давление воздуха; материал и диаметр шариков (дроби), их твердость; расстояние от щели сопла до обрабатываемой поверхности; длина рабочей зоны камеры; удельная загрузка шариков (дроби); время обработки.

Пневмодинамическому упрочнению подвергаются детали из алюминиевых сплавов с толщиной стенок не менее 4 мм и стальные – с толщиной стенок не менее 2,5 мм.

Для упрочняющей обработки пневмодинамическим способом широко применяют установки типа БДУ-Э2М (рис. 9.3).

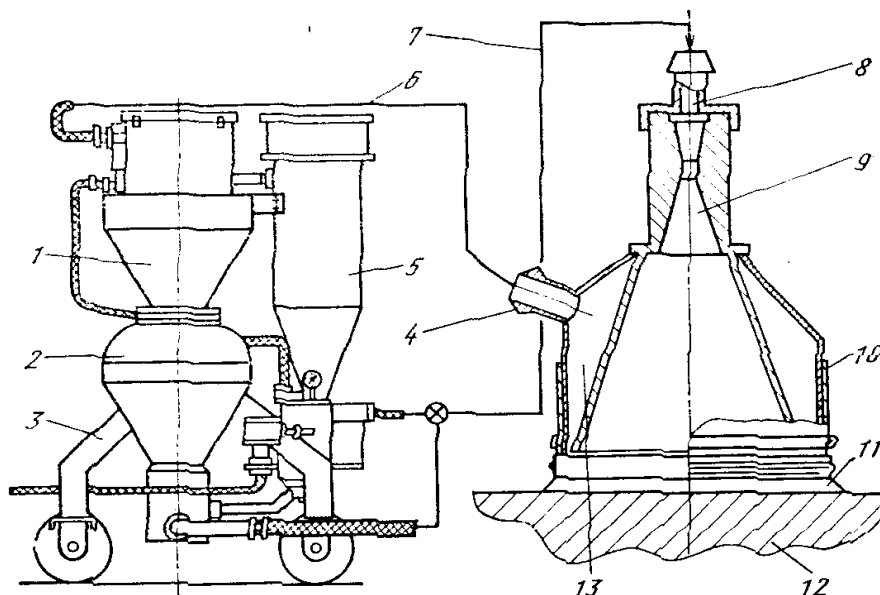


Рисунок 9.3 – Схема пневмодинамической установки БДУ-Э2М

Установка состоит из систем подачи 2, сбора 1 и очистки 5 дроби и рабочей камеры 10, соединенной с основными системами посредством

двух рукавов: подачи дробезовоздушной смеси 7 и отсоса дробы 6. Масса загружаемой дробы – до 100 кг.

Рабочая камера состоит из штуцера 8, сопла 9, подающего дробь на поверхность заготовки 12, и полости разрежения 13, через штуцер 4 которой дробь отводится из камеры. Во избежание вылета дробы из камеры предусмотрено щеточное уплотнение 11. Установка смонтирована на тележке 3 и может транспортироваться. Деформирующие тела – дробь диаметром до 2 мм.

Пневматическое *переносное* устройство (рис. 9.4) получило широкое применение в качестве средства местной упрочняющей обработки ППД.

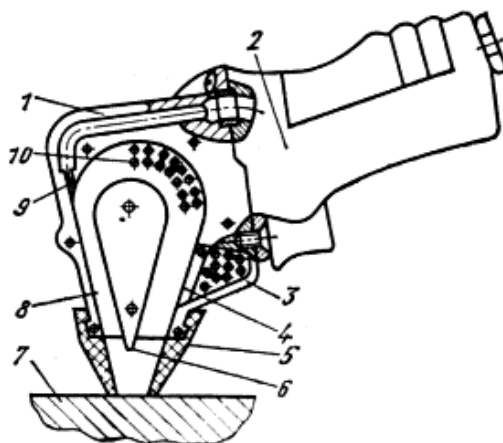


Рисунок 9.4 – Схема пневматического переносного устройства

Устройство состоит из корпуса 1 и ручки 2. Рабочая камера устройства представляет собой канал в корпусе между профилированным центральным телом 6 и боковой крышкой 8.

Для хранения шариков тел до включения устройства в работу и сбора их после работы в корпусе предусмотрена ловушка 3 с заслонкой 4. Устройство снабжено комплектом упругих резиновых насадок 5, конфигурация которых зависит от формы упрочняемых поверхностей 7.

Сжатый воздух подводится в рабочую камеру через сопло 9, отработанный воздух удаляется через отверстия 10 в боковых крышках. После работы устройства открывается заслонка 4, перекрывающая профилированный канал, шарики направляются в ловушку 3, при этом отработанный воздух выходит через боковые отверстия ловушки.

9.2.3. Барабанно-ударный способ упрочнения

Барабанно-ударный способ упрочнения (см. рис. 9.1, в) применяют для обработки алюминиевых, стальных и титановых деталей типа панелей, обшивок лонжеронов, поясов, нервюр, стрингеров, шпангоутов с гладкими и ребристыми поверхностями [21].

Ударно-барабанное упрочнение происходит в результате соударения гранул сыпучего рабочего тела с поверхностями обрабатываемых деталей. Детали закрепляются внутри барабана, вращающегося вокруг горизонтальной оси. Сыпучее рабочее тело получает энергию за счет

центробежных и гравитационных сил вследствие вращения барабана (рис. 9.5).

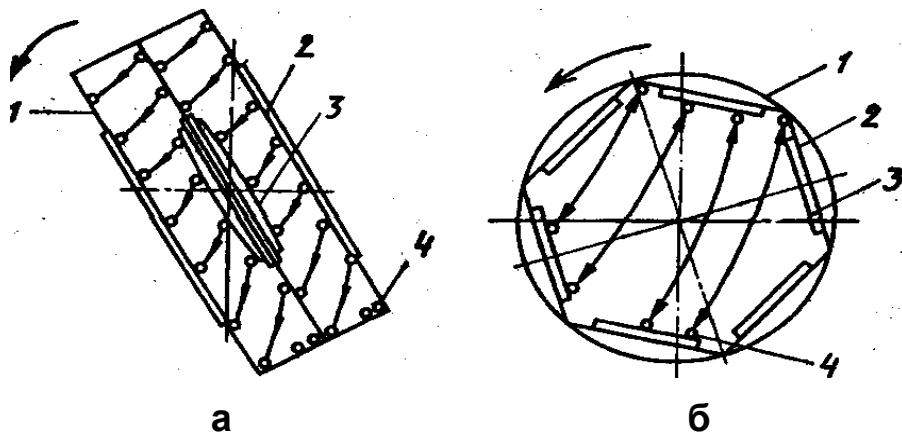


Рисунок 9.5 – Схемы размещения деталей в барабане:
а – двухкамерном; б – многогранном

Барабан 1 имеет прямоугольную (рис. 9.5, а) или шестигранную (рис. 9.5, б) форму. Пустота барабана прямоугольной формы разделена центральной перегородкой на две рабочие камеры. Обрабатываемые детали 3 закрепляют на съемных щитах 2, закрывающих проемы рабочих камер, и на центральной перегородке.

При вращении барабана гранулы сыпучего рабочего тела 4 падают на поверхности обрабатываемых деталей. При соударении поверхностный слой деталей пластически деформируется, в результате чего происходит упрочнение. Поверхности деталей упрочняются поочередно. Для повышения равномерности обработки деталей направление вращения барабана периодически реверсируют.

В качестве сыпучего рабочего тела применяют кубики из сплава В95-Т1 с размером стороны от 2 до 5 мм. Обработка производится всухую. В процессе работы рабочие камеры барабана вентилируются.

9.2.4. Виброударный способ упрочнения длинномерных деталей

Сущность способа виброударного упрочнения заключается в деформации поверхностного слоя металла в результате соударения детали с насыпанными на ее поверхность стальными шариками.

Этот способ упрочнения производится на специальной вибрационной установке (рис. 9.6), предназначенной для одновременной обработки наружных и внутренних поверхностей длинномерных деталей типа лонжеронов, лопастей винтов вертолетов и др.

К жесткой платформе 1 крепятся регулируемые направленные дебалансные вибраторы 2. Платформа 1 с помощью упругих подвесок 3, 5 установлена на раме 4, закрепленной на фундаменте.

Деталь помещают в специальный контейнер 8, на подлежащие обработке поверхности насыпают стальные шарики 6. Чтобы шарики не высыпались, торцы контейнера закрывают заглушками.

Контейнер с деталью и шариками прикрепляют к платформе специальными шпильками 9.

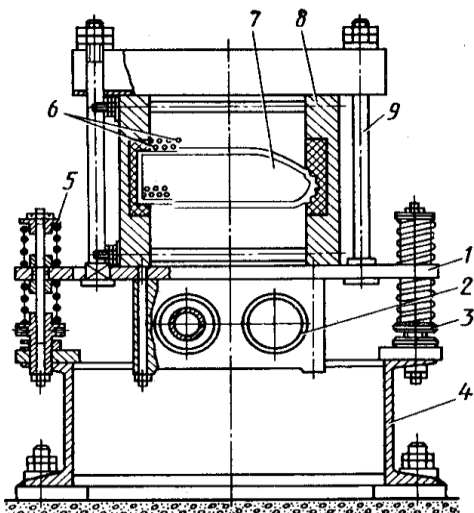


Рисунок 9.6 – Схема вибрационной установки

Вибраторы 2 синхронно приводятся во вращение электродвигателем постоянного тока с регулируемой частотой возбуждения 20...40 Гц. Процесс упрочнения осуществляют минимум за два технологических перехода. Виброударное упрочнение позволяет довести глубину слоя наклепа до 0,6 мм как по наружной, так и по внутренней поверхности.

9.2.5. Дробеструйный способ упрочнения

Дробеструйный способ упрочнения основан на использовании кинетической энергии металлических частиц (стальных или фарфоровых шариков, стеклосфер, дроби), которые под давлением сжатого воздуха подаются на поверхность обрабатываемой детали (рис. 9.7).

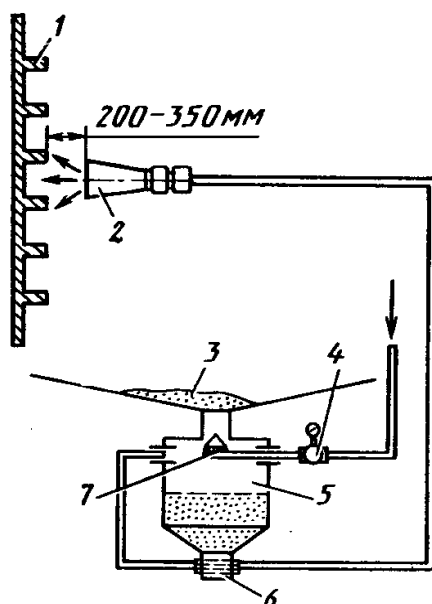


Рисунок 9.7 – Схема дробеструйной обработки в камере:
1 – деталь; 2 – сопло; 3 – сборник дроби; 4 – редуктор-манометр;
5 – рабочий бункер; 6 – приемный штуцер; 7 – перепускной клапан

Дробеструйная упрочняющая обработка длинномерных деталей типа монолитных ребристых панелей и лонжеронов без формообразования производится в специальных установках, имеющих вид больших камер, при вертикальном положении детали.

Расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности – от 200 до 250 мм, сопло перемещается поперек ребер жесткости со скоростью от 0,5 до 0,9 м/мин.

Обработка ведется по замкнутому циклу. В качестве обрабатывающей среды применяются стальная литая дробь марки ДСЛ диаметром от 0,8 до 1,2 мм, стальные шарики из конструкционной стали марки ШХ-15 диаметром от 0,8 до 3,0 мм.

9.3. Статические способы поверхностного упрочнения

9.3.1. Обкатывание роликовыми и шариковыми обкатниками

В результате обкатывания повышается не только прочность при динамических нагрузках, но также износостойкость и коррозионная стойкость таких деталей, как стойки шасси, оси и барабаны колес.

В зависимости от этих параметров глубина слоя с остаточной деформацией колеблется в пределах от 0,01 до 0,05 мм и выше.

Процесс обкатывания наружных поверхностей вращения целесообразно проводить на токарных станках, внутренних – на револьверных или сверлильных, а плоских – на фрезерных или строгальных.

Обкатывание производят со скоростью от 30 до 150 м/мин и подачей от 0,1 до 0,2 мм/об с применением обильной смазки для уменьшения шероховатости обрабатываемых поверхностей. Упрочнение поверхностного слоя в меньшей степени зависит от скорости обкатывания, в большей – от числа рабочих ходов.

Для уменьшения шероховатости и упрочнения деталей с относительно правильными формами поверхностей применяют обкатывание роликовыми и шариковыми обкатниками упругого действия (рис. 9.8, а – г).

Поверхности деталей большой жесткости обкатываются одно-роликовым приспособлением (рис. 9.8, а), а в других случаях — трехроликовыми обкатниками (рис. 9.8, в).

При обкатывании переходных и других подобных мест вместо роликов иногда применяют шарики (рис. 9.8, б, г). Усилие инструмента на обрабатываемую поверхность составляет от 1,47 до 4,9 кН, создается тарированными пружинами, пневматическими или гидравлическими устройствами.

Для калибрования, отделки и упрочнения используют жесткие как нерегулируемые (рис. 9.8, д), так и регулируемые (рис. 9.8, е) раскатники и обкатники, в которых ролики или шарики жестко прижаты с определенным усилием к обрабатываемой поверхности.

Жесткими раскатниками обрабатывают отверстия диаметром от 6 до 500 мм, длиной до 3 м в деталях из стальных и цветных сплавов.

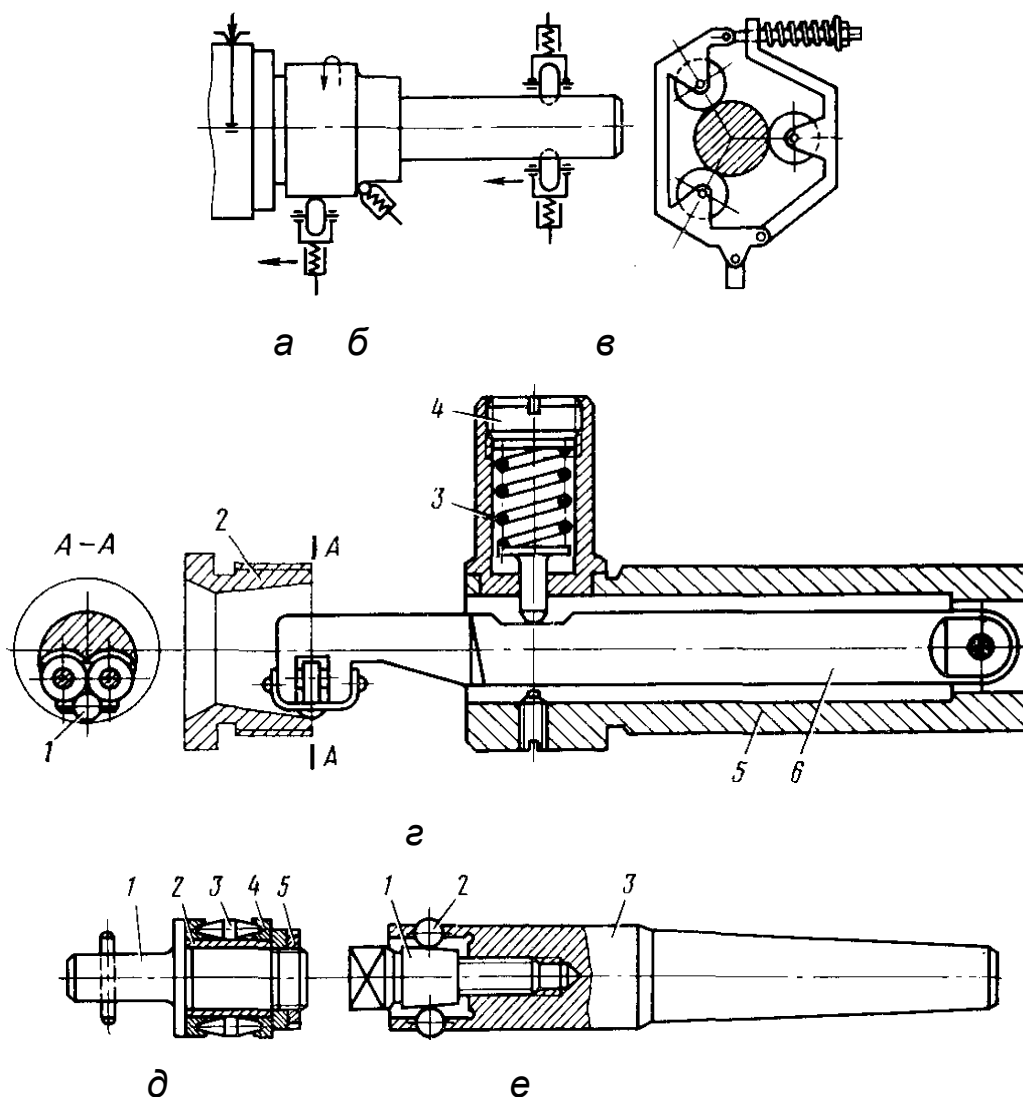


Рисунок 9.8 – Схемы процессов обкатывания и раскатывания:
 а – однороликовый, б – шариковый, в – трехроликовый обкатники;
 г – шариковый раскатник: 1 – шарик, 2 – заготовка, 3 – пружина,
 4 – винт, 5 – корпус, 6 – оправка; д – нерегулируемый роликовый
 раскатник: 1 – оправка, 2 – втулка, 3 – ролик, 4 – обойма с гнездами,
 5 – контргайка; е – регулируемый шариковый раскатник:
 1 – винт с конусом, 2 – шарик, 3 – корпус

При обкатке и раскатке изменяется диаметр обрабатываемой детали в пределах от 0,005 до 0,03 мм, но не устраняются неточности геометрической формы – овальность, конусность и волнистость поверхности.

Основными параметрами, характеризующими процесс обработки роликом, являются: радиальное усилие, продольная подача, окружная скорость, диаметр ролика и радиус его профиля. Число переходов при обработке роликами не должно быть больше двух. Необходимо учитывать, что несоблюдение оптимальных режимов обработки, превышение

оптимального числа переходов при обработке роликами могут привести к шелушению обрабатываемой поверхности, возникновению трещин на поверхностном слое.

9.3.2. Дорнование, обжатие кромок

Дорнование – эффективный процесс упрочнения отверстий под болтовые соединения, особенно в тех случаях, когда обработка выполняется в пакете деталей без последующей его разборки.

Дорнование отверстий диаметром до 40 мм выполняют путем проталкивания через них с натягом специального инструмента – дорна (рис. 9.9, а). Калибрование выполняют аналогично с помощью стальных полированных шариков (рис. 9.9, б). Дорнование и калибрование производят на прессах, протяжных и других станках.

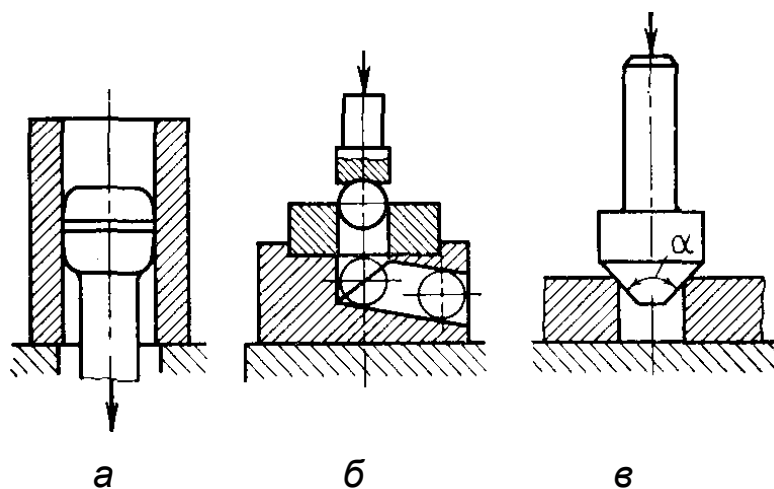


Рисунок 9.9 – Схемы процессов ППД отверстий:

а – дорнование; б – проталкивание шарика; в – обжатие кромок

Для уменьшения трения и шероховатости дорн и обрабатываемую поверхность перед калиброванием смазывают маслом. В результате дорнования точность обработки отверстия может быть повышена на один класс и улучшена шероховатость с R_z 40 до R_a 0,32.

Скорость калибрования не оказывает заметного влияния на точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей. Оптимальную величину натяга при дорновании в пределах до 0,2 мм определяют в зависимости от механических свойств материала, размера отверстий, исходной шероховатости, качества смазки.

Критерием для выбора оптимального режима дорнования или калибрования, как и при раскатывании, служит качество упрочнения – поверхность должна быть зеркальной, особенно вблизи кромок отверстий, где наблюдается наибольшая концентрация напряжений.

Обжатие кромок отверстий стальными полированными шариками (рис. 9.9, в) применяют для повышения прочности и выносливости

болтовых и заклепочных соединений, валов с отверстиями для подвода смазки, проушин шарнирных соединений.

Кромки отверстий обжимают статически или в случае необходимости сильными и редкими ударами пневматического молотка. Рабочую поверхность обжимок перед обжатием обильно смазывают машинным маслом.

После обжатия кромок отверстий поверхность должна быть блестящей, с шероховатостью от R_a 0,32 до R_a 0,16, без заметных следов сдвигов или отслаивания металла.

Для повышения выносливости особо ответственных деталей или упрочнения отверстий, расположенных в наиболее нагруженных местах, целесообразна комбинированная обработка дорнованием и обжатием кромок.

Эффект от упрочнения сохраняется при температуре до 200 °С для алюминиевых сплавов и до 400 °С для сталей.

Контрольные вопросы к разделу

1. Какое влияние оказывает поверхностное упрочнение на ресурс деталей планера ЛА?
2. Какие технологические схемы ударных способов упрочнения применяют на предприятиях отрасли?
3. Какие параметры определяют процесс виброупрочнения?
4. Какие параметры характеризуют пневмодинамический способ упрочнения?
5. Разработайте принципиальную схему пневматического переносного устройства для местной упрочняющей обработки.
6. По какой схеме выполняют виброударное упрочнение длинномерных деталей планера ЛА?
7. Приведите схему дробеструйной обработки деталей типа панелей.
8. Какие схемы применяют при обкатывании валов и раскатывании отверстий?
9. Приведите схемы дорнования и калибрования отверстий, обжатия кромок отверстий.

10. ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПЛАНЕРА ЛА

На современных машиностроительных предприятиях универсальным средством автоматизации управления технологическим оборудованием является ЧПУ.

Управляющая программа (УП), вводимая в устройство ЧПУ станка, задает траекторию движения инструмента, приводов подач главного движения и вспомогательных устройств, обеспечивающих изготовление заданной детали. При оснащении станков ЧПУ автоматизируется управление работой станка, а общие технологические возможности станков сохраняются или расширяются.

На станках с ЧПУ выполняют обработку резанием двух видов:

- *контурную* – для обработки поверхностей переменного профиля, что характерно для фрезерных и токарных операций;
- *позиционную* – для получения поверхностей с повторяющимися геометрическими параметрами, например отверстий (это главным образом сверлильные, резьбонарезные и расточные операции).

Применение ЧПУ привело к появлению новой группы станков – многооперационных. Зарубежные фирмы сокращенно обозначают многооперационные станки буквами *МС* (Machining Center).

Под *многооперационным станком* сейчас понимают сверлильно-фрезерно-расточный станок, оснащенный инструментальным магазином и устройствами для автоматической смены инструментов и позволяющий по УП производить комплексную позиционную и контурную обработку заготовки.

Многооперационные станки возникли на основе как фрезерных станков, которым присуща высокая мощность привода главного движения, так и сверлильно-расточных, которые характеризуются более высокой точностью обработки.

По технологическим возможностям все модели многооперационных станков с ЧПУ можно разделить на две группы:

- Станки, конструкция и компоновка которых определяются преобладающим значением одной из технологических операций обработки (наиболее распространено фрезерование). К этой группе относятся станки ФП-27С, ФП27-4С, ФП-17СМН, ФП-7СМН, МА-655А, МА-655В, МА-655СМ3ОА, ВФЗМ8 и др.

- Станки, имеющие одинаковые технологические возможности по выполнению широкого круга операций обработки. Характерной особенностью этих станков является то, что обработка в основном проводится осевым инструментом (сверлом, зенкером, разверткой и др.). Фрезерные операции на этих станках ведутся на более низких режимах резания, чем на станках первой группы. К этой группе относятся станки АПРС-11, СМ400Ф4.5, СМ630Ф4.4, АГП630-800-1.3, АГПН630-800-1.3 и др.

10.1. Компоновка фрезерных станков с ЧПУ

Под **компоновкой** понимают совокупность узлов станка, которая характеризует их тип, взаимное расположение, сопряжение и перемещение для обеспечения выполнения заданного ТП (рис. 10.1).

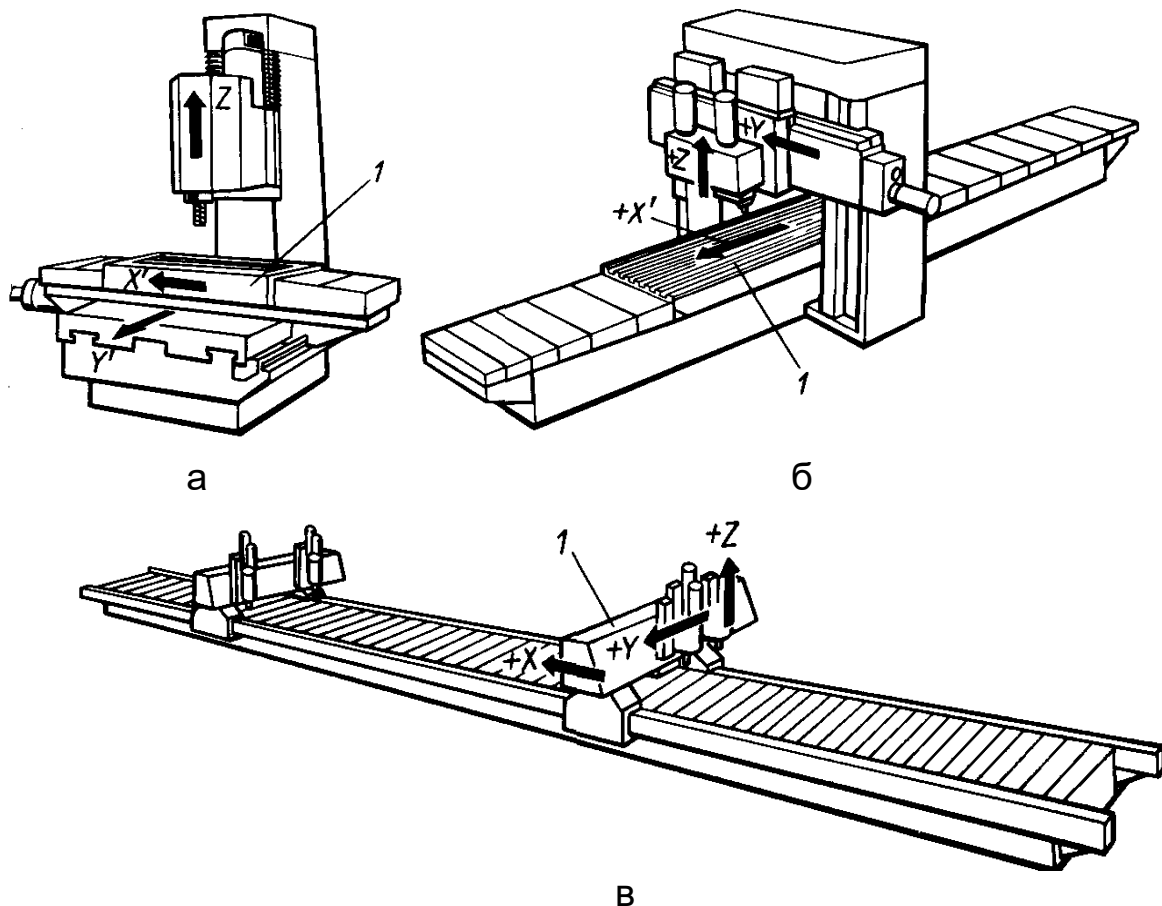


Рисунок 10.1 – Базовые компоновки фрезерных станков с ЧПУ с различными ходами перемещений

Для изготовления широкой номенклатуры деталей авиационного производства используются универсальные и специализированные фрезерные станки с ЧПУ следующих компоновок:

- С так называемым крестовым столом 1, который перемещается в горизонтальной плоскости по координатам X и Y , и неподвижной колонной, несущей шпиндельную головку, которая перемещается по координате Z (рис. 10.1, а). Данная компоновка характерна для вертикально-фрезерных станков с длиной перемещения в поперечном направлении Y до 600 мм и продольном направлении X – до 2000 мм, например, для станка модели МА-655.

- Портальная с подвижным столом 1, перемещающимся по координате X на расстояние до 10000 мм (рис. 10.1, б). Одна или две шпиндельные головки перемещаются по координатам Y и Z . Эта компоновка характерна для станков моделей ФП-9М, ВФ-3М8.

- Портальная с подвижным порталом 1 при длине хода по продольной координате X более 10000 мм (рис. 10, в). Здесь стол станка

неподвижен, а шпиндельные головки перемещаются по координатам X, Y, Z . Эта компоновка характерна для станков моделей ПФП-5, 2ФП-231, 2ФП-242В.

Под *специализированными* станками с ЧПУ понимают станки, параметры которых (длина хода, частота вращения шпинделя, компоновка, число координат рабочих перемещений) отличаются от параметров станков общего назначения [12].

Нормы точности, жесткости, условия эксплуатации, автоматизация управления, требования техники безопасности – общие для специализированных и универсальных станков с ЧПУ.

10.1.1. Вертикально-фрезерные станки с ЧПУ

В аэрокосмической промышленности наиболее широко применение нашли вертикально-фрезерные станки с ЧПУ моделей МА-655 и ФП-14.

Универсальный вертикально-фрезерный станок **МА-655** с крестовым столом (см. рис. 10.1, а) имеет три координаты перемещения инструмента: X – продольное на величину 1000 мм; Y – поперечное на 500 мм; Z – вертикальное перемещение фрезерной головки на 640 мм. Частота вращения шпинделя – от 20 до 2500 мин⁻¹. Скорость движения рабочих подач регулируется от 0 до 2400 мм/мин, скорость вспомогательного хода составляет 4800 мм/мин. Станок модели МА-655СМН оснащен устройством смены инструмента с помощью восьмипозиционной короны. Наиболее распространены следующие модификации станка модели МА-655: МА-655СМ3ОА – с магазином на 30 инструментов, МА-655С2 – двухшпиндельный, МА-655С5Н – пятикоординатный.

Специализированный станок **ФП-14** предназначен для пятикоординатной обработки заготовок деталей из легких сплавов и высокопрочных сталей с поверхностями одинарной и двойной кривизны типа кронштейнов, фитингов, нервюр, каркасов фонарей и люков, сопрягаемых с теоретическим контуром. Компоновка этого станка аналогична компоновке фрезерного станка с крестовым столом (см. рис. 10.1, а). Два угловых поворота в сочетании с тремя линейными перемещениями позволяют установить ось фрезы по нормали к обрабатываемой поверхности. Максимальный угол разворота фрезы относительно рабочей плоскости стола – $\pm 45^\circ$. На станке обрабатывают детали размером до 900×630×400 мм с точностью $\pm 0,03$ мм при частоте вращения шпинделя до 3000 мин⁻¹ со скоростями линейных подач от 2 до 2000 мм/мин и угловых подач – до 120° в минуту.

10.1.2. Портально-фрезерные станки с ЧПУ

Портально-фрезерные станки с ЧПУ благодаря жесткости конструкции обеспечивают обработку крупногабаритных объемных заготовок из алюминиевых сплавов и высокопрочных сталей, в которых много различ-

ных по контуру и глубине колодцев, окон и выемок. Программную обработку данных заготовок выполняют на специализированных станках с *неподвижными порталами* моделей ФП-2М и ВФ-3М8.

Станок **ФП-9М** – один из специализированных станков первого поколения, широко распространен на предприятиях отрасли. Его модификация – станок ПФ-9У с пониженной частотой вращения шпинделя для обработки заготовок из высокопрочных стальных и титановых сплавов.

Станок **ВФ-3М8** относится к продольно-фрезерным станкам современного поколения. В отличие от ФП-9М имеет неподвижную по высоте траверсу, автоматическую смену инструмента с помощью короны на восемь позиций, шнековый конвейер для отвода стружки, более широкий стол. Наряду с фрезерованием фасонных поверхностей, на этом станке можно выполнять сверление, зенкерование, развертывание и растачивание отверстий. На базе станка ВФ-3М8 созданы модификации – двухшпиндельный ВФ-32 (см. рис. 10.1, б) для обработки одновременно двух заготовок с габаритными размерами 4000×1100×650 мм, трехшпиндельный ВФ-33 для обработки трех заготовок с габаритными размерами 4000×650×650 мм, станок ВФ-3М8Д с удлинением до 6000 мм столом.

Длинномерные детали типа прессованных стрингерных панелей и лонжеронов обрабатывают на нижеследующих специализированных фрезерных станках с *подвижными порталами* моделей ПФП-5, 2ФП-231 и 2ФП-242В.

ПФП-5 – базовый станок для трехкоординатной обработки двумя порталами одновременно (см. рис. 10.1, в). На этом станке обрабатывают либо одну заготовку размерами до 20000×1400 мм при перемещении одного портала, либо две заготовки размерами до 10000×1400 мм каждая при перемещении двух порталов одновременно. Каждый портал несет на себе две фрезерные головки: одну – с частотой вращения шпинделя 1500 мин⁻¹, вторую – двухскоростную с частотой вращения шпинделя 1500 или 3000 мин⁻¹.

Станок **2ФП-231** – двухпортальный (см. рис. 10.1, в) повышенного технического уровня для трехкоординатной высокопроизводительной обработки заготовок из алюминиевых сплавов с габаритными размерами до 30000×1800 мм. На этом станке можно вести комплексную фрезерно-сверлильную обработку заготовок деталей с наружными и внутренними фасонными поверхностями, карманами, углублениями, подсеками. Станок имеет неподвижную секционную станину, на которой в Т-образных пазах закреплены блоки вакуумного стола для фиксации заготовок. Над столом перемещаются два портала продольной подачи (ось *X*), каждый с поперечной кареткой (ось *Y*), несущей фрезерную головку (ось *Z*). К порталу крепится инструментальный магазин на 16 позиций с устройством автоматической смены инструментов. На основе базового станка 2ФП-231 создана модель 2ФП-131 с уменьшенной до 1400 мм шириной стола.

2ФП-242В – четырехкоординатный станок для обработки заготовок деталей типа панелей, лонжеронов с переменными малками. На каждом из двух порталов установлено по две одинаковые фрезерные головки с силовыми приводами по линейным координатам X , Z и угловой A . На станке можно обрабатывать одну заготовку с габаритными размерами до 25000x2500 мм при работе одного портала, четыре одинаковые заготовки с размерами до 12000x1150 мм каждая или четыре заготовки зеркального отображения – две правые и две левые.

Характерным узлом указанных фрезерных станков с подвижными порталами является устройство коррекции саблевидности. Данное устройство необходимо для отслеживания в процессе обработки и стинного положения ножек стрингеров и внесения соответствующей коррекции в УП обработки.

10.1.3. Раскройно-фрезерные станки с ЧПУ

Раскройно-фрезерные станки предназначены для раскроя путем фрезерования концевой фрезой листовых заготовок пакетом толщиной до 15 мм с любым криволинейным наружным и внутренним контуром, а также для сверления отверстий диаметром до 8 мм.

Базовой моделью специализированных раскройно-фрезерных станков с ЧПУ является **РФП-1** с двумя подвижными порталами одинаковой конструкции (см. рис. 10.1, в). На основе базовой модели создан однопортальный станок **РФП-2** с укороченной станиной.

На станке РФП-1 при перемещении одного портала производится раскрой заготовки длиной до 11000 мм и шириной до 2000 мм, а при перемещении двух порталов одновременно – раскрой двух заготовок длиной до 5500 мм и шириной до 2000 мм каждая.

На станке РФП-2 аналогичные операции выполняются при длине заготовки до 5500 мм и ширине до 2000 мм. Обработка осуществляется концевыми фрезами диаметром от 8 до 12 мм с отклонением от заданного контура до $\pm 0,25$ мм.

Специализированный фрезерный станок с ЧПУ модели **РФП-6** создан на базе раскройно-фрезерных станков и предназначен для обработки торцов сотовых заполнителей пространственной формы продольными и поперечными строками, а также для фрезерования грибковыми фрезами подсечек по торцам сотового заполнителя.

Компоновка станка позволяет вести обработку одновременно по пяти координатам: X – продольное перемещение портала; Y – поперечное перемещение каретки относительно портала; Z – вертикальное перемещение каретки относительно портала; B – вращение каретки вокруг поперечной оси на угол $\pm 32^\circ$; A – поворот каретки с фрезерной головкой вокруг продольной оси на угол $\pm 135^\circ$.

Габаритные размеры заготовок, мм: длина 6300; ширина 1500; высота 350. Скорость рабочих подач по линейным координатам может изменяться бесступенчато до 3300 мм/мин, подача вспомогательного хода

составляет 4800 мм/мин. Двухскоростная фрезерная головка имеет мощность 6 или 3 кВт при частоте вращения, соответственно, 18000 или 9000 мин⁻¹.

Станокоснащен устройством ЧПУ модели Н55-2, управление осуществляется по всем пяти координатам одновременно через тиристорные преобразователи и электродвигатели постоянного тока.

Устройство ЧПУ модели Н55-2 обеспечивает автоматическую смену инструмента, коррекцию эквидистанты траектории, переключение частоты вращения шпинделя, в том числе правое и левое вращение инструмента, автоматический выход в нулевую точку станка по всем координатам.

10.1.4. Особенности применения концевых фрез

Наиболее распространенным инструментом при обработке широкой номенклатуры деталей средних габаритов на фрезерных станках (в том числе и с ЧПУ) являются стандартные концевые фрезы из быстрорежущих сталей диаметром от 14 до 30 мм, которые централизованно изготавливают инструментальные заводы.

Однако конструкция стандартных концевых фрез (рис. 10.2) имеет ряд недостатков, приводящих к плохому выходу стружки, недостаточной жесткости фрезы на изгиб и др.

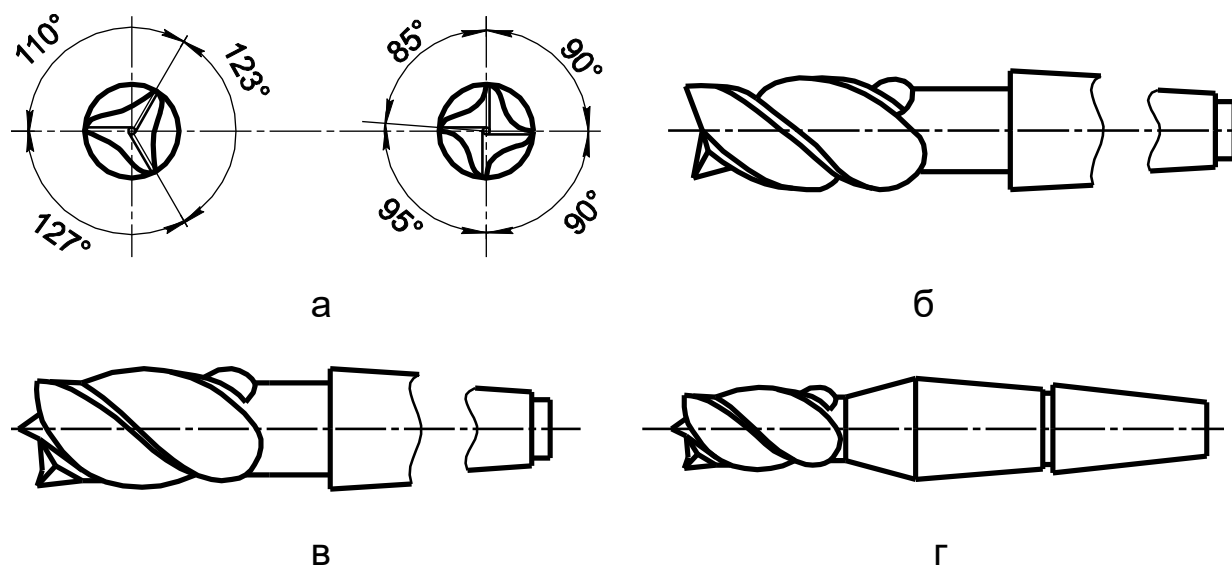


Рисунок 10.2 – Модификации стандартных концевых фрез

На предприятиях отрасли совершенствование конструкции стандартных фрез выполняют за счет следующих решений:

- увеличение выхода стружки путем изменения угла наклона винтовой канавки от 40 до 55°, расширение винтовой канавки и дополнительное полирование ее внутренней поверхности;
- уменьшение радиального биения зубьев с 0,2 до 0,05 мм;
- применение праворежущих фрез с левой спиралью и леворежущих с правой спиралью, благодаря чему осевая составляющая усилия резания прижимает заготовку к столу станка;

- уменьшение вибраций инструмента благодаря несимметричному расположению зубьев фрезы (рис. 10.2, а);
- заточка перемычки на торце фрезы, позволяющая осуществлять вертикальное врезание в металл (рис. 10.2, б);
- повышение жесткости режущей части инструмента путем применения резьбовой канавки переменной глубины (рис. 10.2, в);
- увеличение вылета инструмента за счет применения усилительного конуса (рис. 10.2, г).

Для обработки малкованных стенок на каркасных деталях используют также фасонные фрезы (рис. 10.3), форма образующей которых соответствует конфигурации обрабатываемой поверхности.

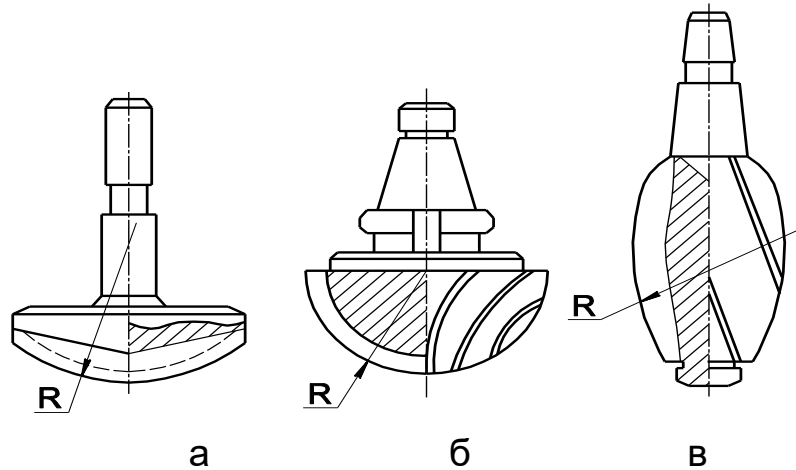


Рисунок 10.3 – Некоторые типы фасонных концевых фрез

С помощью фрез, показанных на рис. 10.3, а, б, можно производить строчную обработку вогнутых поверхностей. Фасонная фреза, изображенная на рис. 10, в, предназначена для обработки поверхностей с переменной малкой и выпуклых поверхностей.

При объемном трехкоординатном фрезеровании управление перемещением инструмента непрерывно осуществляется по трем координатам одновременно.

На рис. 10.4 показаны схемы трехкоординатного объемного фрезерования концевой фрезой вдоль и поперек наклонного участка поверхности с постоянным углом наклона.

В соответствии с принятой схемой траектории (зигзаг или спираль) рассчитывают шаг строки A инструмента при выполнении двух соседних рабочих ходов траектории. Величина шага определяется допуском на высоту гребешков оребрения Δ_{op} , остающихся на обрабатываемой поверхности между соседними рабочими ходами.

Шаг строк фрезерования вдоль наклонного участка плоскости (рис. 10.4, а) рассчитывают по формуле

$$A = \frac{2\Delta_{op}}{\sin\alpha} \sqrt{\frac{d_r \sin\alpha}{\Delta_{op}} - 1}. \quad (10.1)$$

Здесь d_r – диаметр траектории той точки режущей кромки фрезы, которая непосредственно образует форму обработанной поверхности: $d_r = d$ для фрез без скругления торца, $d_r = d - 2r(1 - \sin \alpha)$ для фрез с радиусом скругления торца $0 < r < R$, $d_r = d \sin \alpha$ для фрез со сферическим торцом $r = R$; $d = 2R$ – диаметр фрезы; α – угол наклона участка.

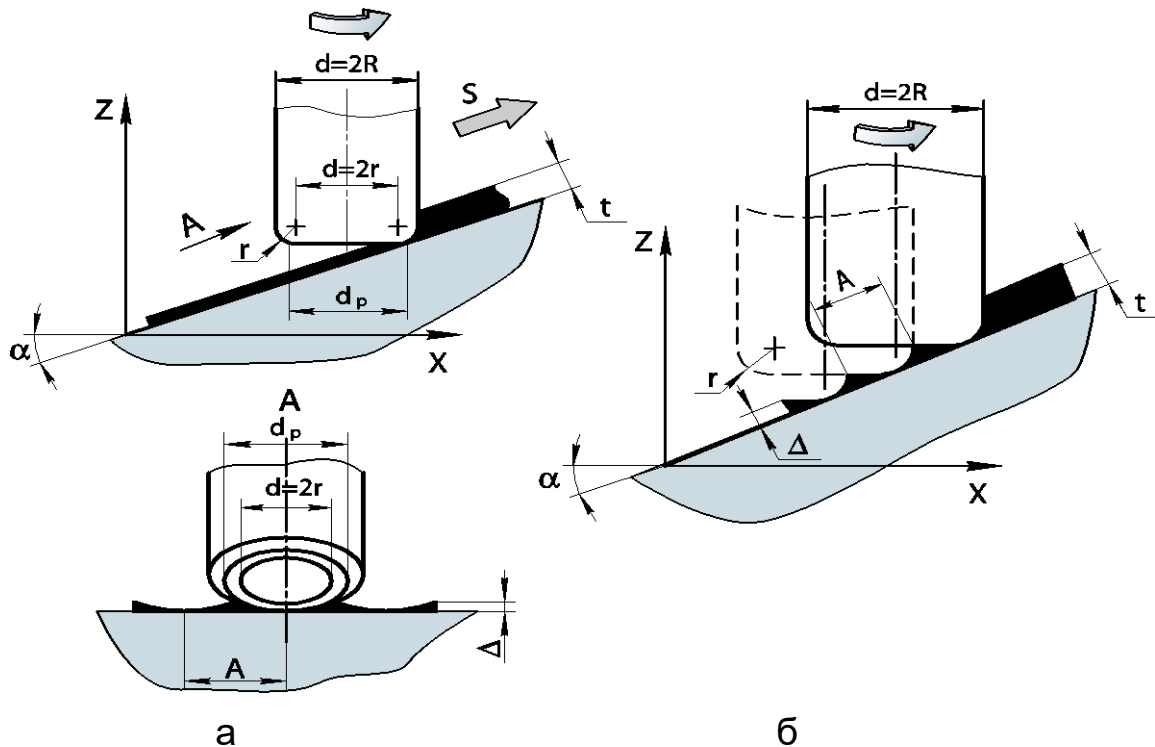


Рисунок 10.4 – Схемы трехкоординатного фрезерования вдоль (а) и поперек (б) наклонного участка поверхности

Шаг строк фрезерования поперек наклонного участка плоскости (рис. 10.4, б) для фрез с радиусом скругления торца $0 < r < R$ и $r = R$ вычисляют по формуле

$$A = 2 \cos \alpha \sqrt{2r\Delta_{op} - \Delta_{op}^2} . \quad (10.2)$$

В общем случае трехкоординатной объемной обработки режущая кромка фрезы перемещается по поверхности с переменным радиусом кривизны ρ .

Тогда шаг строки A инструмента при выполнении двух соседних рабочих ходов траектории определяют, задаваясь допуском на ребрение:

$$A = \sqrt{\frac{8\Delta_{op}}{1/R - 1/\rho}} . \quad (10.3)$$

В производственной практике обычно принимают следующие соотношения точности обработки и геометрических параметров поверхности и концевой фрезы: $\Delta_{op} \approx 0,01R$ и $\Delta_{op} < (0,01...0,001)\rho$.

10.2. Изготовление характерных деталей планера ЛА на трехкоординатных фрезерных станках

10.2.1. Обработка прессованных стрингерных панелей

Большую группу деталей силового набора планера современных самолетов составляют прессованные стрингерные панели. Например, в конструкции широкофюзеляжного самолета Ил-86 на монолитные панели приходится около 500 м² внешней поверхности крыла и 200 м² поверхности фюзеляжа [3].

Прессованные стрингерные панели изготавливают чаще всего из алюминиевых сплавов В95-Т и Д16-Т (рис. 10.5).

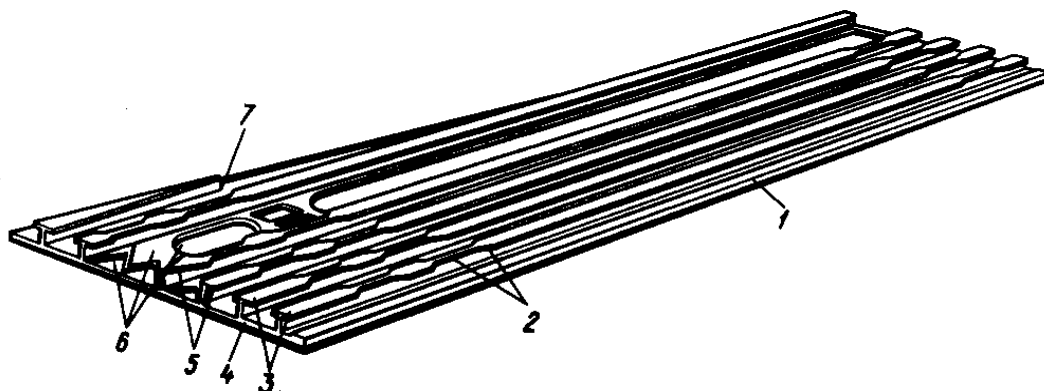


Рисунок 10.5 – Типовая конструкция стрингерной панели

Концевыми фрезами у стрингерной панели обрабатывают следующие поверхности: боковые стенки 1 по длине, торцы 4, полки 3, фестоны 2 на полках стрингеров, закругления полок 5, вырезы и срезы 7, межстрингерные углубления 6 на полотне и плоскости продольных стыков. Фестоны стрингеров и межстрингерные углубления обрабатывают заподлицо с ребрами стрингеров, не затрагивая сами ребра.

Толщина полотна стрингерных панелей колеблется от 2,5 мм в зоне обнижения между стрингерами до 8 мм в зонах привалочных плоскостей. На нижних панелях консольной части крыла имеются монтажные проемы с криволинейным контуром.

После черновой обработки продольных ребер и межреберных обнижений выполняют обработку монтажных люков и привалочных плоскостей, а затем окончательную обработку ребер.

Окончательная обработка ребер стрингеров производится на меньших рабочих подачах для исключения взаимного отжима ребра и инструмента и достижения высокой точности изготовления.

Окна и проемы панели обрабатываются в два этапа – вначале вырезается проем, который обрабатывается по контуру со стороны стрингеров (внутренний контур), а затем ведется обработка окантовки под уплотнение со стороны внешнего теоретического контура.

Для базирования и крепления заготовки на столе станка предусмотрены специальные ложементы, позволяющие с высокой точностью выставить деталь в системе координат станка.

В целях повышения производительности такие заготовки из-за их большой длины обрабатывают одновременно двумя порталами, за исключением некоторых операций, когда требования к качеству формируемой поверхности диктуют необходимость непрерывной обработки одним инструментом.

Деталь разбивают на четыре секции, из которых первую и третью обрабатывают одновременно первым и вторым порталами соответственно. Вторая секция, длина которой должна быть не менее 4500 мм, служит для предотвращения столкновения порталов и обрабатывается одновременно с четвертой секцией.

10.2.2. Изготовление рельсов механизации крыла

Рельсы механизации крыла представляют собой крупногабаритные высоконагруженные детали, изготавливаемые из стальных и титановых поковок и штамповок.

Конструктивными особенностями этих деталей являются реборды-полосы, образованные дугами окружностей, а также фигурные колодцы и глухие пазы (рис. 10.6).

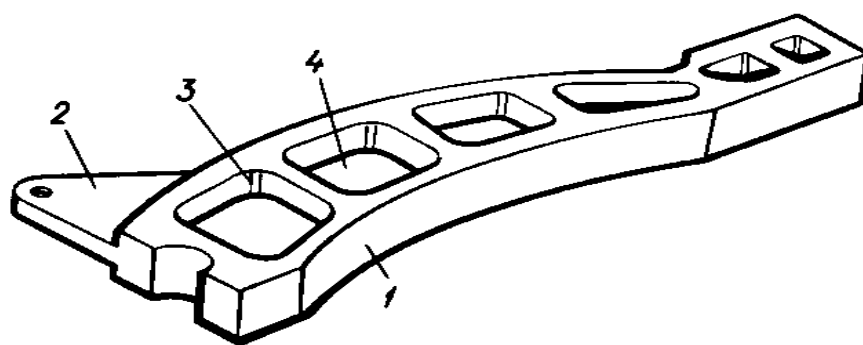


Рисунок 10.6 – Типовая конструкция рельса механизации крыла:
1 – наружный контур; 2 – плоскость проушины;
3 – внутренние контуры колодцев; 4 – дно колодцев

Обработку деталей типа рельсов осуществляют на станках моделей МА-655, ФП-7М, ФП-17 и ФП-27 концевыми и угловыми фрезами с рабочей частью из быстрорежущих сталей или твердого сплава ВК8.

Типовая последовательность обработки рельсов:

- фрезерование наружного контура с двух сторон;
- спиральное фрезерование под заход фрезы в колодцах;
- фрезерование массива материала заготовки между ребордами;
- фрезерование колодцев на внешней стороне и в хвостовой части реборды;
- черновая и чистовая обработка колодцев под заход угловых фрез с подборкой радиусов в углах;
- предварительное и окончательное фрезерование внутренних и наружных пазов, ребер и скосов;
- обработка отверстий сверлением, зенкерованием, зенкованием,

развертыванием.

Заготовку рельса базируют в приспособлении блочного типа с фиксацией по двум отверстиям. Если заготовкой рельса является поковка, то вначале ее обрабатывают на станке с ЧПУ по контуру с двух сторон.

После термической обработки технологический припуск по ребрам снимается на токарно-карусельном станке модели 1550 с окончательной доводкой шлифовальными головками или путем обработки на специализированном шлифовальном станке модели СШР.

10.2.3. Обработка крупногабаритных деталей силового каркаса

Изготовление крупногабаритных деталей силового каркаса планера ЛА, в первую очередь силовых шпангоутов фюзеляжа (рис. 10.7), из монолитных заготовок на станках с ЧПУ является сложным и трудоемким процессом.

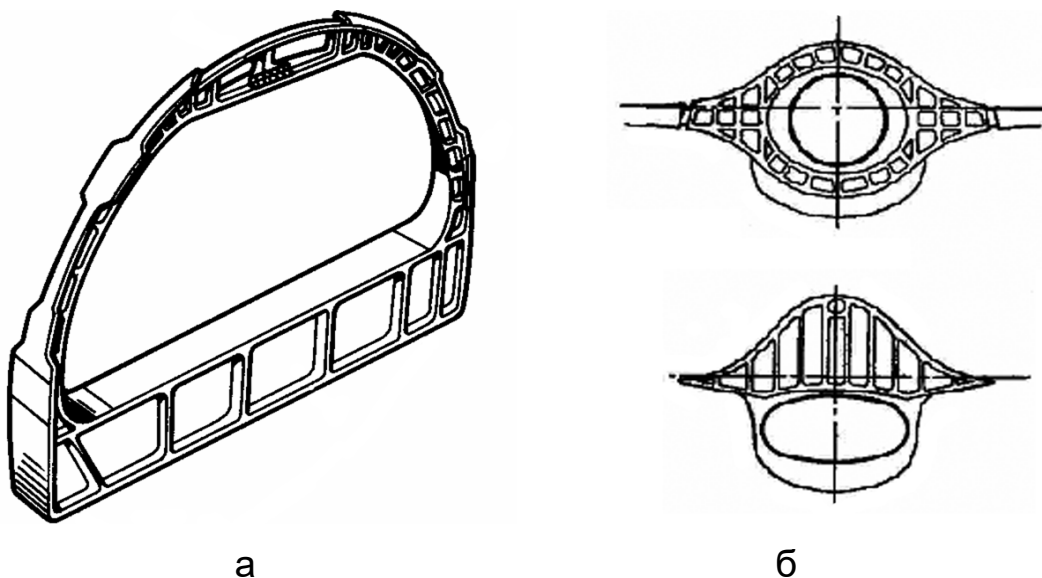


Рисунок 10.7 – Типовая конфигурация силовых шпангоутов:
а – транспортного самолета; б – истребителя

При разработке маршрутной и операционной технологий обработки этих деталей должны учитываться пластические деформации (поводки) заготовки, возникающие в результате перераспределения внутренних напряжений в процессе съема с нее металла.

При фрезеровании штампованных или кованных заготовок средних размеров эти деформации, как правило, достаточно малы и не влияют на точность формы заготовки. В то же время величина пластических деформаций крупных заготовок может достигать до 10 мм.

Действенным методом сокращения поводки и обеспечения заданной точности параметров обработки деталей является такое построение ТП, при котором материал заготовки снимают послойно с чередованием этих слоев относительно нейтральной по напряжениям плоскости детали.

Типовая последовательность обработки силовых шпангоутов:

- предварительная обработка наружного контура с припуском до 5 мм при базировании на заранее подготовленные отверстия;
- предварительная обработка по высоте ребер жесткости, утолщений полотна и бобышек, торцов поясов;
- предварительная обработка колодцев и карманов с припусками до 3 мм по полотну и до 5 мм по контуру, причем обработка ведется от центра каждого типового элемента к его периферии;
- переустановка заготовки и повторение всех предварительных операций на противоположной стороне заготовки;
- чистовая обработка наружных контуров и конструктивных элементов в той же последовательности.

Как правило, выдержав рекомендуемую последовательность фрезерования и все технологические условия, можно получить должную геометрию детали после предварительной обработки. Для обеспечения жесткости конструктивных элементов заготовки в процессе обработки в приспособление вводится дополнительное число зажимных элементов. Предусмотрены технологические паузы для переустановки зажимных элементов из одной зоны в другую.

10.2.4. Обработка петлевых шомпольных соединений

В конструкции планера ЛА широко используют петлевые шомпольные соединения, являющиеся в большинстве своем силовыми элементами. Изготовление их связано с определенными трудностями и требует тщательной подготовки производства.

На рис. 10.8 показаны типовые конструкции петель отклоняемых носков крыла сверхзвукового истребителя. Соединение петель между собой шомпольное: по отверстию – с зазором 0,5 мм, по торцам – с сопряжением по посадке $H11/d11$. Материал петель – титановый сплав марки ВТ5. Полуфабрикатом для изготовления петель является точный прессованный профиль постоянного сечения с отрицательной (рис. 10.8, а) или нулевой (рис. 10.8, б) малками.

Основными операциями при механической обработке петель являются фрезерование звеньев по шагу (рис. 10.8, в) и рассверливание шомпольного отверстия диаметром 5 мм до диаметра $6,5^{+0,2}$ мм.

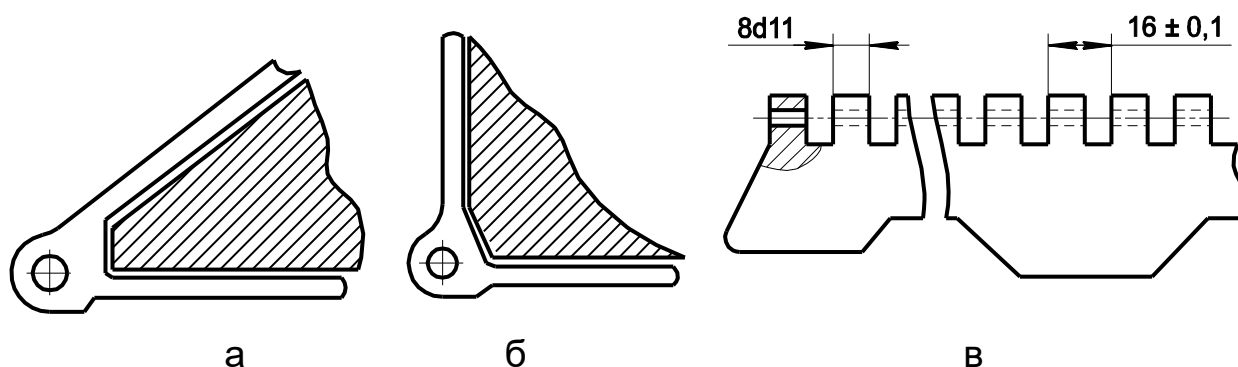


Рисунок 10.8 – Типовые конструкции петли отклоняемого носка крыла

Фрезерование звеньев осуществляется на фрезерном станке с ЧПУ модели ФП-17М в унифицированном гидравлическом приспособлении специальной фрезой, состоящей из трех секций.

Режим резания при фрезеровании звеньев: скорость – 25 м/мин; минутная подача – 15 мм/мин. Рассверливание отверстия с исправлением прямолинейности его оси осуществляют на специальном горизонтально-сверлильном станке с применением кондуктора сверлами из быстрорежущей стали марки Р9К10. Режим резания при рассверливании: скорость – 10 м/мин; минутная подача – 0,1 мм/мин.

10.3. Изготовление характерных деталей планера ЛА на пятикоординатных фрезерных станках

10.3.1. Особенности многокоординатного фрезерования

Число деталей, узлов и элементов оснастки, имеющих поверхности, частично выходящие на внешние аэродинамические обводы, с переменной малкой, значительной кривизной и большим диапазоном закрутки вектора нормали, превышает 60 % от общего числа изготавливаемых обработкой с удалением припуска [1, 11, 21].

По укрупненной классификации различают следующие характерные объекты многокоординатного фрезерования:

- детали силового каркаса фюзеляжа, ограниченные поверхностями двойной кривизны (окантовки люков, дверей, рамки фонарей пилота и штурмана);

- элементы силового набора крыла с переменной малкой (стыковые фитинги, нервюры, каретки);

- элементы механизации крыла, ограниченные линейчатыми поверхностями (детали предкрылков, закрылков, дефлекторов);

- элементы объемной обводообразующей оснастки (макеты поверхностей, болванки, обтяжные пуансоны, выклеечные приспособления, малкованные рубильники, формблоки).

Детали двух первых групп изготавливают из монолитных штампованных заготовок различных размеров. Элементы механизации крыла представляют собой конструкции, состоящие из каркаса и сотового заполнителя, закрытых тонкой листовой обшивкой.

Ранее предварительная программная обработка таких заготовок выполнялась на трехкоординатных фрезерных станках за несколько установок с последующей доработкой ручным инструментом.

Попытки расширить технологические возможности трехкоординатных станков с ЧПУ путем установки поворотных приспособлений, использования бочкообразных фрез и фрез с изменяемой геометрией дали положительные результаты лишь для деталей с постоянной малкой или с малкой, изменяющейся в небольших пределах.

Методика программирования многокоординатной обработки реализована на специализированных фрезерных станках с ЧПУ моделей ФП-11, ФП-14, МА-655С5Н различных модификаций.

Основное назначение типовых ТП изготовления деталей на многокоординатных станках – практически полностью исключить трудоемкие ручные подгоночные работы, повысить производительность обработки, точность и взаимозаменяемость деталей в агрегатах.

Для многокоординатной обработки необходим расчет квазиэквидистантной траектории перемещения центра, относительно которого осуществляется поворот инструмента по угловым координатам с выдерживанием величины его вылета.

Расчет линейных координат зависит от вида программной обработки, т.е. от того, ведется ли обработка торцом (рис. 10.9, а), периферией (рис. 10.9, б) или торовой частью (рис. 10.9, в) цилиндрической или конической концевой фрезы.

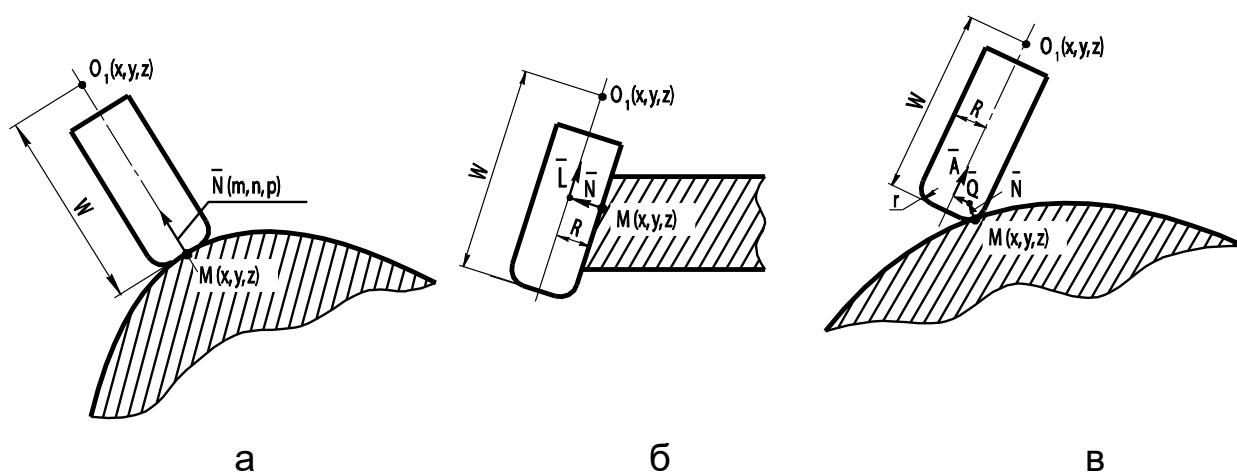


Рисунок 10.9 – Основные виды пятикоординатного фрезерования:
 а – торцом; б – периферией; в – торовой частью фрезы

На рис. 10.9 введены следующие обозначения: x, y, z – координаты текущей опорной точки M траектории обработки; W – вылет торца фрезы; m, n, p – компоненты единичных векторов; \bar{N} – вектор нормали к обрабатываемой поверхности в опорной точке; R – радиус фрезы; \bar{L} – вектор образующей линейчатой поверхности в опорной точке; r – радиус скругления фрезы; \bar{Q} – вектор торовой части фрезы; \bar{A} – вектор направления оси фрезы.

Обработка на многокоординатных станках сопровождается специфическими явлениями в области режимов резания вследствие угловых перемещений инструмента.

Так, при развороте инструмента в плоскости направления подачи происходит изменение угла входа зуба фрезы в металл, т. е. фактически изменяется геометрия инструмента, а следовательно, и характер процесса резания.

Одновременно происходит значительное (до двух раз) изменение величины результирующей подачи вследствие алгебраического сложения скорости угловых перемещений и заданной по расчетным режимам скорости линейной подачи.

Одной из основных задач при обработке на многокоординатном станке с ЧПУ является сведение до минимума числа установок деталей из-за сложности их конфигурации и соответствующей сложности базирования.

10.3.2. Обработка деталей каркаса фюзеляжа

На рис. 10.10 показаны типовые детали каркаса фюзеляжа, программная обработка которых стала возможной благодаря использованию пятикоординатных фрезерных станков с ЧПУ моделей ФП-14, ФП-14МЛ, ФП-14В. Заготовки для данных деталей на пятикоординатных фрезерных станках с ЧПУ обрабатывают в две установки.

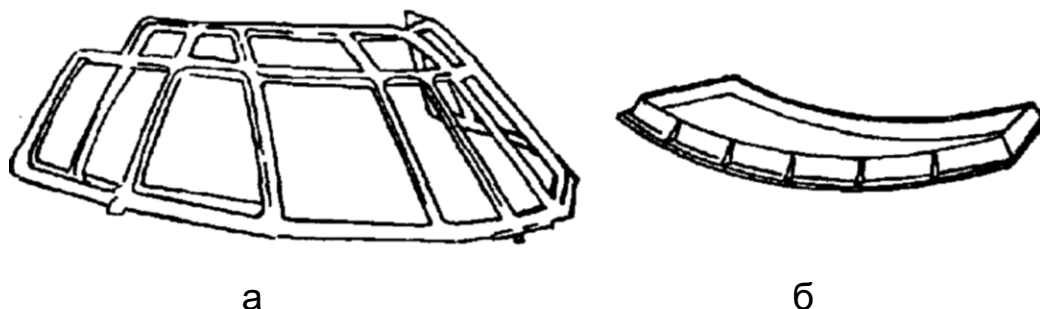


Рисунок 10.10 – Типовые детали каркаса фюзеляжа, обрабатываемые на пятикоординатных станках с ЧПУ:
а – рама фонаря пилота; б – каркас люка

При обработке в первую очередь формируется поверхность, выходящая на теоретический контур. Эта поверхность представляет собой часть конуса (рама фонаря пилота) или цилиндра (каркас люка), в которую вписаны конструктивные элементы – фитинги и подсежки.

Обработка ведется фрезой диаметром 50 мм, причем при формировании наружной поверхности детали ось фрезы постоянно разворачивается по нормали к касательной теоретического контура в текущих координатах.

Затем фрезеруется внутренняя сторона с базированием на уже обработанную поверхность теоретического контура, причем ложемент оснастки вследствие высокой геометрической сложности базовой поверхности изготавливают по той же УП, что и наружную поверхность.

10.3.3. Обработка деталей силового набора крыла

Пятикоординатная обработка деталей силового набора крыла из штампованных заготовок производится на пятикоординатных фрезерных станках с ЧПУ моделей ФП-14, ФП-14МЛ, ФП-14В.

Стыковая гребенка консоли крыла (рис. 10.11, а) обрабатывается по контурам и внутренним обводам 2, расположенным на криволинейной поверхности 1. Щека каретки дефлектора закрылка (рис. 10.11, б) обрабатывается по наружному контуру 5 с малкованной поверхностью, внутренним контурам 1 и дну 2, а также по внутренним контурам с малкованными поверхностями 3 и 4.

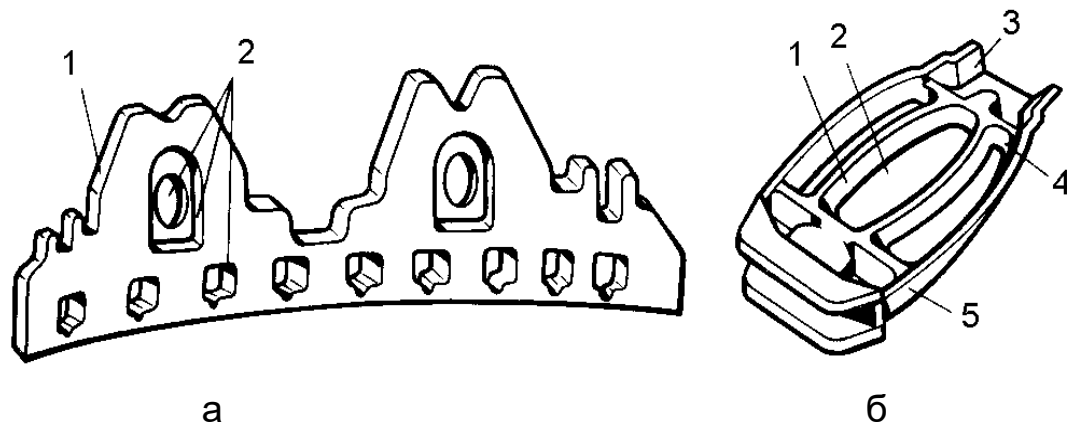


Рисунок 10.11 – Типовые детали силового набора крыла, обрабатываемые на пятикоординатных станках с ЧПУ

Эта деталь, усиленная ребрами жесткости, ограничена по контуру линейчатой поверхностью с высотой борта 50 мм, но диапазон изменения малок вдоль сравнительно небольшого участка ее контура весьма широк – от нулевой малки до угла в 30° . Щеки каретки дефлектора закрылка требуют высокой точности положения теоретического контура относительно классных отверстий.

Заготовку щеки каретки дефлектора закрылка базируют в приспособлении на два координатно-фиксирующих отверстия диаметром 8 мм и крепят через заранее вскрытые стыковочные отверстия, что позволяет вести обработку с одной установки.

Типовая последовательность обработки щеки каретки:

- фрезерование наружного контура в пятикоординатном режиме по замкнутой траектории с петлеобразным отводом фрезы для ее разворота вне контакта с заготовкой во избежание подрезов;
- торцовка ребер поверхностей по высоте в пятикоординатном режиме;
- выборка внутренней поверхности колодцев в трехкоординатном режиме с окончательным формированием полотна по толщине.

Далее фрезой диаметром 16 мм предварительно с припуском в 1 мм и фрезой диаметром 12 мм окончательно обрабатывают внутренний контур 1 в трехкоординатном режиме.

10.3.4. Обработка сотового заполнителя

Сотовые конструкции узлов механизации крыла самолета и хвостовых отсеков лопасти вертолета требуют обработки торцов сотовых заполнителей, непосредственно сопрягаемых с элементами аэродинамического обвода, образованного процентными поверхностями.

Сотовые блоки, как заготовки сотового заполнителя, изготавливают из фольги АМг2-Н толщиной 0,03 мм (ячейка размером 2,5 мм) или полиамидной бумаги, получившей название полимерсотопласт марки ПСП-1, а также фольги из титановых сплавов или коррозионно-стойкой стали [8, 11].

Механическая обработка сотовых заполнителей содержит операции резки сотовых блоков на заготовки, фрезерования, обрезки припуска по контуру, плоского и криволинейного шлифования, образования отверстий, пазов, уступов, проемов.

Эти процессы требуют специального подхода при выборе режимов резания, способов базирования и закрепления заготовок, схем обработки, конструкции и формы режущего инструмента, средств удаления пыли и стружки.

Разрезка сотовых блоков из алюминиевых сплавов и обрезка их по контуру производится на ленточных пилах модели ЛС-80-3 при скорости резания 900 м/мин, минутной подаче от 300 до 600 мм/мин.

Сотовые блоки из титановых сплавов или коррозионно-стойкой стали разрезают на анодно-механической пиле типа 4822.

Фрезерование прямолинейных и криволинейных поверхностей сотовых блоков, а также торцов сотов производят на специальных станках с ЧПУ моделей РФП-4, РФП-6. Сотовый заполнитель фрезеруют специальными грибковыми фрезами из быстрорежущей стали диаметрами 50 и 100 мм.

При обработке вогнутой стороны торцы сотов базируют на плоскость, при фрезеровании выпуклой стороны – на технологическую плиту-спутник по уже обработанной вогнутой поверхности (рис. 10.12, а).

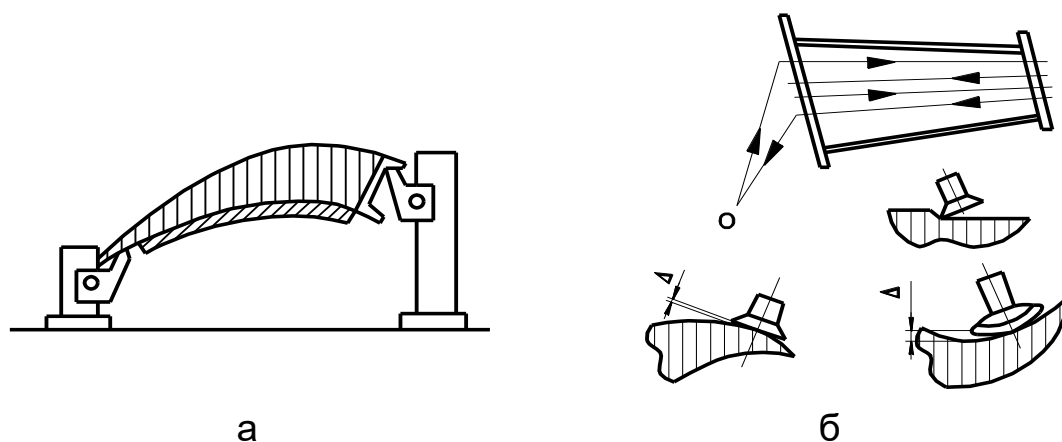


Рисунок 10.12 – Схемы базирования (а) и обработки (б) сотового заполнителя

По точности наиболее рациональной является челночная схема обработки вдоль процентных линий (рис. 10.12, б). В этом случае глубина огранки Δ на выпуклой и вогнутой сторонах сотового заполнителя не превышает $\pm 0,04$ мм. Обработка вогнутой поверхности сотового заполнителя и изготовление технологической плиты-спутника производится по одной УП, что обеспечивает высокую точность.

Принятый режим резания: частота вращения грибковой фрезы – 18000 мин^{-1} , минутная подача – до 3500 мм/мин. Перед обработкой сотовый блок закрепляют на технологической плите с помощью специального клея – полиэтиленгликоля [1].

Шлифование применяют для получения поверхностей высокой точности. Плоские поверхности сотовых блоков шлифуют на ленточно-шлифовальных станках абразивными лентами, а криволинейные – на специальных шлифовальных станках с ЧПУ. Режим шлифования выдерживают в диапазоне: скорость резания – от 5 до 10 м/с, минутная подача – от 3000 до 5000 мм/мин.

Образование отверстий в сотовых заполнителях выполняют на универсально-сверлильных и фрезерных станках сверлами из быстрорежущей стали марки Р18 с применением кондукторных приспособлений при частоте вращения инструмента не менее 1500 мин⁻¹.

10.4. Изготовление характерных деталей лопасти вертолета

10.4.1. Особенности деталей лопасти вертолета

Детали лопастей несущего (НВ) и рулевого (РВ) винтов вертолета эксплуатируются в условиях циклических нагрузок. Поэтому к их надежности и выносливости предъявляются повышенные требования.

Несмотря на интенсивное внедрение лопастей из ПКМ, применение цельнометаллических лопастей (ЦМЛ) в конструкциях несущих винтов тяжелых транспортных вертолетов типа Ми-26 и универсальных типа Ми-8 является экономически более выгодным.

Наиболее характерными деталями и узлами ЦМЛ, определяющими ее конструктивно-силовую схему, являются комлевая часть (наконечник лопасти), лонжерон и хвостовой отсек.

Основным силовым элементом лопасти НВ (рис. 10.13) является лонжерон 1 (стальной трубчатый из стали 40ХНМА или дюралевый прессованный из сплава АВТ-1 или АД-33), имеющий переменное сечение по размаху лопасти.

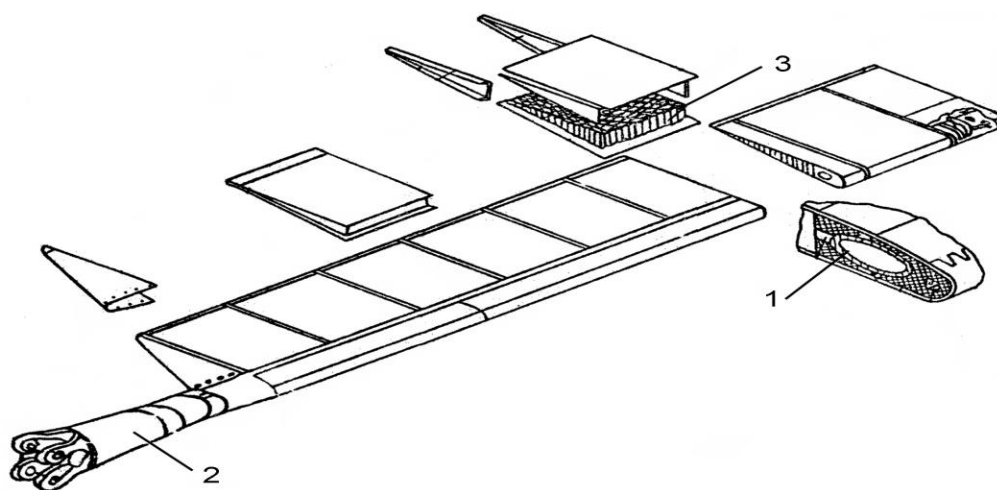


Рисунок 10.13 – Схема технологического членения типовой ЦМЛ

Наконечник 2 с проушинами навески лопасти на втулку НВ изготовлен из высокопрочной стали 30ХГСНА, к трубчатому стальному лонжерону крепится аргонодуговой сваркой, а к прессованному дюралевому – с помощью болтов. Каждый хвостовой отсек лопасти включает в себя

алюминиевый или полимерный сотовый наполнитель 3.

Помимо конструкции хвостового отсека из ПКМ, отработана технология изготовления металлического отсека, который дешевле, чем отсек из ПКМ. В этом случае обшивку и нервюры отсека изготавливают из алюминиевого сплава АВТ-1 толщиной 0,3 мм, а сотовый наполнитель – из фольги АМг2-Н толщиной 0,03 мм.

10.4.2. Изготовление наконечника лопасти

Маршрутная технология изготовления наконечника лопасти:

- входной рентген-контроль заготовки на отсутствие трещин, волосовин (рентген-аппарат РУП-600);
- фрезерование плоскостей проушин и вилки с припуском на шлифование (фрезерный станок с ЧПУ модели МА-655СМН с магазином инструментов);
- сверление, зенкерование, развертывание отверстий в проушинах навески лопасти на втулку НВ; зенкование фасок, цекование гнезд под головки болтов и гаек крепления прессованного лонжерона (вертикально-фрезерный станок с ЧПУ модели МА-655СМН с магазином инструментов);
- термическая обработка (печь индукционная модели УНКЗ-2);
- шлифование плоскостей проушин и вилки (плоскошлифовальный станок модели ЗП722ДВ), притупление острых кромок;
- калибрование, дорнование отверстий (гидропресс модели ЛСБ-НА);
- раскатка, обкатка переходных галтелей, виброупрочнение наконечника (виброустановка модели ВУД-630), промывка детали;
- технический контроль (контрольно-измерительная машина с ЧПУ модели DELTA-AB), взвешивание;
- антикоррозионная обработка – кадмирование (гальваническая ванна).

Операции фрезерования, сверления, зенкерования, развертывания, цекования выполняют при одном установе заготовки на станке.

Процессы упрочнения методами ППД являются финишными, их осуществляют после механической, термической и чистовой обработки наконечника.

10.4.3. Изготовление алюминиевого прессованного лонжерона

Заготовку лонжерона из высокопрочных алюминиевых сплавов марки АВТ-1 или АД-33 получают горячим прессованием в язычковой матрице, которая на выходе сваривает несколько потоков слитка в замкнутый контур постоянного сечения с перемычками внутри или ребрами жесткости.

После входного рентген-контроля по выявлению трещин, волосовин и других дефектов заготовку лонжерона фрезеруют на продольном копировально-фрезерном станке модели ПКФ-1, снабженном двумя горизонтальными (для черновой и чистовой обработки) и одной верти-

кальной фрезерными головками. Фрезерование выполняют фасонными фрезами. Заготовку лонжерона закрепляют на столе станка гидравлическими прижимами.

Наружный контур лонжерона имеет участки с постоянным по длине поперечным сечением и переходные плавные участки. Толщина стенок лонжерона после фрезерования изменяется от 3 мм в консольной части до 20 мм в комлевой. После фрезерования внешнюю поверхность лонжерона пришабривают и доводят до точного контура сечения с помощью переносных пневматических шлифовальных машин.

Лонжерон в соответствии с требованиями аэродинамики лопасти имеет геометрическую крутку по длине. Закрутку лонжерона выполняют в холодном состоянии на установке модели УЗЛ-1.

Во внутренний канал заготовки лонжерона вводят наборную оправку, которая удерживается тросовыми растяжками в зоне крутки. Лонжерон накатывают по роликам на ложементы, зажимают силовыми скобами через гидроцилиндр. Ложементы самоориентируются по наружному контуру лонжерона и поворачиваются от силового гидропривода с автоматическим учетом угла пружинения лопасти после снятия нагрузки. После перемещения на заданный шаг лонжерон фиксируется силовыми скобами, цикл крутки повторяется.

После операции геометрической крутки в комлевой части лонжерона рассверливают и развертывают в два перехода отверстия крепления комлевого наконечника. После развертывания отверстия подвергают дорнованию, а их кромки – обжатию. В качестве упрочняющей обработки прессованного лонжерона применяют виброударное упрочнение на установке модели УБЯ-3-11.

После упрочняющей обработки и промывки поверхность лонжерона декапируют в растворе кислоты для удаления тонкой пленки окислов перед нанесением защитного гальванопокрытия.

Перед установкой в стапель сборки лопасти лонжерон с комлевым наконечником проходит геометрический контроль и взвешивание.

10.4.4. Изготовление стального трубчатого лонжерона

Для тяжелых вертолетов лонжерон ЦМЛ изготавливают из стальной холоднокатаной трубы (материал 40ХНМА). Заготовка его имеет по размаху различные толщину и форму поперечного сечения (от круглого в комле до овального в консольной части).

После входного рентген-контроля и закалки заготовку подвергают шлифованию по наружной и внутренней поверхностям на специализированных ленточно-шлифовальных станках моделей СШЛН (наружное шлифование) и СШЛВ (внутреннее шлифование).

Строчечное шлифование наружной стенки лонжерона 1 (рис. 10.14, а) выполняют абразивной лентой 2 шириной от 90 до 100 мм. К обрабатываемой поверхности лента прижата пневматическим контактным роликом 3.

В процессе обработки заготовка лонжерона 1 перемещается по продольной оси станка с подачей от 5 до 25 м/мин и в промежутках между рабочими циклами поворачивается на заданный угол.

Гидравлическая система станка следит за профилем изделия через ролики, смещение которых регулирует давление прижима абразивной ленты (от 0,2 до 1,2 МПа) в зависимости от радиуса кривизны сечения лонжерона. Технологические параметры ленточного шлифования – глубина Δh и ширина l снимаемого слоя металла.

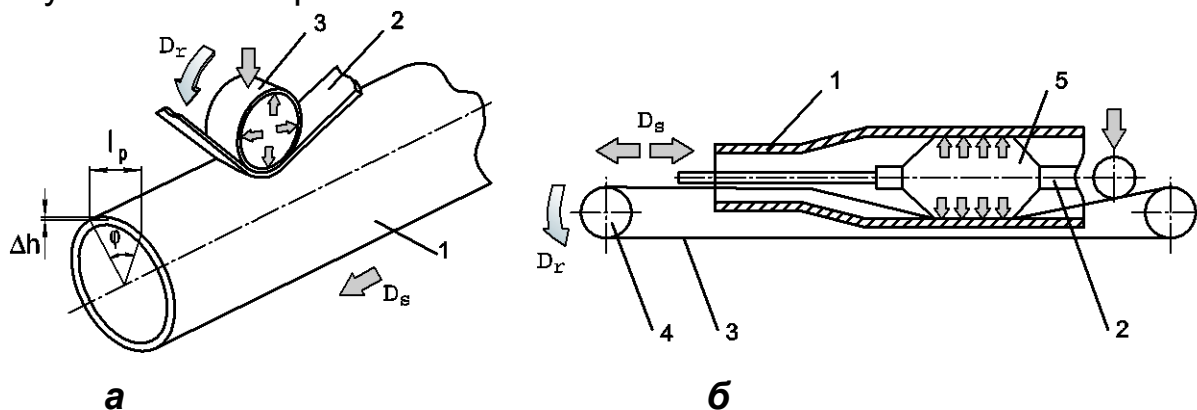


Рисунок 10.14 – Схема шлифования стального трубчатого лонжерона

На рис. 10.14, б показана схема шлифования внутренней поверхности заготовки лонжерона на станке модели СШЛВ.

Перед шлифованием в заготовку 1, установленную в приводных люнетах и зажатую в патронах станка, с помощью штанги 2 продевают абразивную ленту 3 шириной от 90 до 100 мм и концы ее склеивают. Электродвигатель передает вращение приводному шкиву 4, на который надета абразивная лента. Лента прижата к обрабатываемой поверхности упругим элементом 5, наполненным сжатым воздухом через штангу 2. Давление воздуха в упругом элементе – от 0,03 до 0,08 МПа, скорость перемещения ленты по строке шлифования за счет подачи прижимного элемента – от 5 до 6 м/мин, скорость главного движения шлифовальной ленты – от 20 до 25 м/с.

Для повышения усталостной прочности стального лонжерона при динамических нагрузках применяют обкатывание роликами, виброударную и пневмодинамическую обработку.

Заготовку трубчатого лонжерона 2 (рис. 10.15) обкатывают за два рабочих хода при встречном и попутном вращении обкатника 3 и лонжерона. Частота вращения обкатника – 2500 мин^{-1} , лонжерона – от 5 до 6 мин^{-1} , продольная подача обкатника – от 0,1 до 0,2 мм/об. Поверхности лонжерона цилиндрической и овальной формы обкатывают трех- или пятирядными роликовыми обкатниками 3.

Галтели упрочняют однорядными роликовыми обкатниками 1. Давление инструмента на обкатываемую поверхность создается тарированными пружинами в пределах от 50 до 60 Н. Для соединения стального

наконечника (комля) и трубчатого лонжерона используют аргонодуговую сварку. Кольцевой шов сваривают на специальной установке модели УСМК-2 в среде аргона.

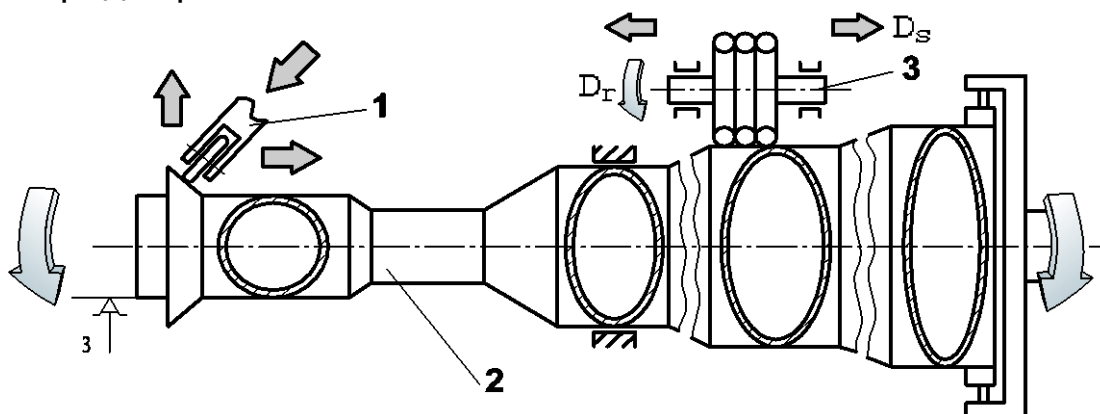


Рисунок 10.15 – Схема обкатывания заготовки трубчатого лонжерона

Далее соединение наконечника с лонжероном подвергают термобработке для снятия сварочных напряжений.

После грунтования внутренней поверхности атмосферостойким покрытием готовый лонжерон поступает в стапель изготовления носовой части лопасти.

Контрольные вопросы к разделу

1. Приведите типовые компоновки фрезерных станков с ЧПУ, которые применяют на предприятиях отрасли.
2. Какие модификации стандартных концевых фрез используют для фрезерной обработки?
3. Какие типы фасонных концевых фрез применяют для фрезерования пространственно-сложных поверхностей?
4. Приведите схемы продольного и поперечного трехкоординатного фрезерования наклонного участка поверхности, детали или оснастки.
5. Какие технологические особенности имеет программная обработка прессованных стрингерных деталей?
6. Назовите факторы, определяющие последовательность обработки силовых шпангоутов фюзеляжа.
7. Какие виды пятикоординатного фрезерования применяют при изготовлении деталей ЛА и технологической оснастки?
8. Приведите схему фрезерной обработки торцовых поверхностей сотового заполнителя узлов механизации крыла.
9. Укажите маршрутную технологию изготовления алюминиевого прессованного лонжерона лопасти вертолета.
10. Приведите схемы наружного и внутреннего шлифования стального трубчатого лонжерона лопасти вертолета.
11. По какой схеме производят обкатывание заготовки стального трубчатого лонжерона?

11. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА

В связи с необходимостью уменьшения трудоемкости обработки большую актуальность приобретают следующие направления повышения эффективности процессов обработки с удалением излишнего материала:

– интенсификация существующих процессов обработки резанием в основном за счет использования новых марок инструментальных материалов, совершенствования конструкций режущего инструмента, оптимизации режимов резания и технологических схем обработки;

– применение новых процессов и методов обработки, основанных на дополнительном воздействии на обрабатываемые заготовки различных видов энергии (например, местного нагрева заготовки, наложения вибраций, колебаний ультразвуковой частоты).

Особое место занимает обработка труднообрабатываемых материалов различными видами электрофизической, электрохимической и химической обработки.

11.1. Совершенствование инструментальных материалов

Разработка инструментальных материалов повышенной твердости, прочности, тепло- и красностойкости, высокой сопротивляемости износу вызвана все более широким применением в конструкции планера ЛА деталей из высокопрочных, нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов [3, 10, 11, 21].

Для их обработки сначала использовались быстрорежущие стали марок Р18, Р9, Р12, Р6М3, отличающиеся от применяемых ранее инструментальных материалов наличием значительно большего количества легирующих элементов (ванадия, молибдена, хрома, вольфрама). Данные быстрорежущие стали сохраняют свои свойства при повышении температуры в зоне обработки до 600°С, что позволило увеличить скорость резания в 2-3 раза.

Далее в действующие стандарты были введены марки новых быстрорежущих сталей повышенной производительности, которые образовали по своему составу три группы материалов:

– *кобальтовые* (Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5, Р12Ф4К5) – имеют высокую твердость и красностойкость, предназначены для черновой и получистовой обработки высокопрочных материалов;

– *ванадиевые* (Р9Ф5, Р14Ф4, Р12Ф5М) – обладают повышенной износостойкостью при работе в зоне невысоких температур и хорошо себя зарекомендовали при чистовой обработке;

– *кобальто-молибденовые* (Р6М5К5, Р9М4К8, Р12Ф2К8М3) – имеют высокую твердость и красностойкость и обеспечивают высокие показатели при обработке жаропрочных и титановых сплавов.

Быстрорежущие стали новых составов, обладая более высокими

показателями по твердости, красностойкости, теплопроводности, обеспечили повышение стойкости инструмента в 2-3 раза по сравнению с быстрорежущей сталью марки P18.

Для улучшения качества быстрорежущих сталей при их изготовлении был применен метод порошковой металлургии. Производственные испытания показали, что инструмент из быстрорежущих сталей марок P6M5K5 и P9M4K8, изготовленный методами порошковой металлургии, повышает стойкость инструмента на 30 – 70% по сравнению с инструментальными сталями обычного производства.

На ряде предприятий отрасли были успешно внедрены *дисперсионно-твердеющие* инструментальные сплавы марок ЭП634, ЭП-723 и ЭП831, которые при обработке титановых сплавов и высокопрочных сталей обеспечивают семикратное повышение стойкости инструмента по сравнению с быстрорежущей сталью марки P18.

Дальнейшая интенсификация обработки резанием связана с применением в качестве инструментальных материалов твердых сплавов, минералокерамических сверхтвердых материалов.

В настоящее время в авиастроении достаточно широко применяются следующие группы твердых сплавов:

– *вольфрамовые* марок ВК8 и ВК8В – для обдирочной и черновой обработки высокопрочных материалов, аналогичные твердые сплавы мелкозернистой структуры марок ВК6М и ВК10М и особомелкозернистой структуры марок ВК60М и ВК100М – для получистовой и чистовой обработки;

– *титановольфрамовые* – как для черновой (сплав марки Т5К10), так и для чистовой (сплав марки Т15К6) обработки теплостойких и нержавеющей сталей;

– *титанотанталовольфрамовые* марок ТТ10К8А и ТТ10К8Б – вместо сплава ВК8 для обработки сталей.

Эффективным способом повышения производительности резания при обработке деталей из высокопрочных материалов является применение минералокерамических и сверхтвердых инструментальных материалов, изготавливаемых на основе поликристаллических синтетических материалов. *Минералокерамические инструментальные материалы* для режущего инструмента изготавливают в виде пластинок из окиси алюминия методом прессования под большим давлением с последующим спеканием. Они имеют высокую твердость и износостойкость, прочность, температуростойкость до 1200 °С.

Минералокерамические пластинки из сплавов марок В-3, ВОК-60 и ВОК-63 применяются для чистовой обработки высокопрочных термически обработанных сталей, крепятся к корпусу фрезы или державке резца механическим путем, напайванием или приклеиванием.

Получение крупных поликристаллических образований на основе нитридов бора, практически не уступающих алмазу по твердости, открыло широкие возможности применения *синтетических сверхтвердых*

материалов (СТМ) для оснащения режущего инструмента.

Резцы и фрезы из этих материалов – эльбора-Р и гексаниа-Р – используют преимущественно для выполнения чистовых операций обработки заготовок из закаленных сталей и титановых сплавов.

При тонком точении, растачивании и фрезеровании инструментами, оснащенными этими материалами, обеспечиваются те же точность обработки и шероховатость поверхности, что и при шлифовании, но при этом получают более качественный поверхностный слой, поскольку он не имеет характерных для шлифования дефектов – прижогов, структурных превращений, шаржирования абразивом.

11.1.1. Совершенствование конструкции инструмента

Существенная интенсификация процессов размерной обработки обеспечивается изменением конструкции режущего инструмента.

К таким конструкциям относится, в первую очередь, инструмент с механическим креплением многогранных режущих пластин (МРП) из твердого сплава, минералокерамики и поликристаллических СТМ.

Ассортимент пластин позволяет, например, укомплектовать набор специализированных токарных резцов с МРП для обработки широкой номенклатуры деталей на токарных станках с ЧПУ (рис. 11.1).

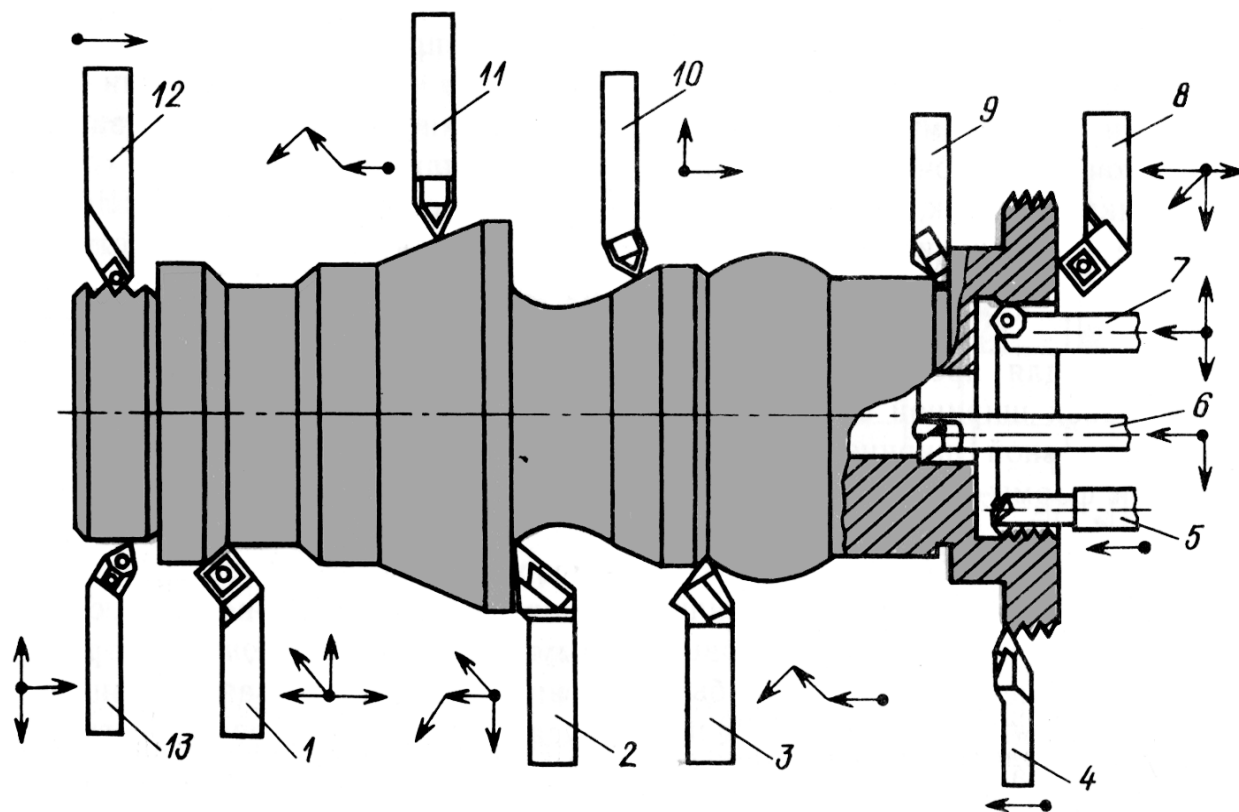


Рисунок 11.1 – Схема обработки основных типовых поверхностей токарными резцами с МРП

В комплект инструмента для токарных станков с ЧПУ обычно входят следующие резцы (см. рис. 11.1):

– 1 – проходные отогнутые правые с $\varphi = 45^\circ$ для патронной обра-

ботки деталей типа фланцев: наружной обточки, проточки торцов, снятия фасок;

– 2 – контурные с $\varphi = 93 - 95^\circ$, позволяющие производить обточку деталей по цилиндру и обратному конусу с углом спада до 30° , обрабатывать радиусные, торцевые поверхности и галтели;

– 3 – контурные с $\varphi = 63^\circ$ для обработки полусферических поверхностей и конусов с углом спада до 60° ;

– 4 – резьбовые с ромбическими пластинами, позволяющие нарезать резьбы с шагом от 2 до 6 мм (угол профиля обеспечивается формой пластины);

– 5 – резьбовые для нарезания внутренней резьбы, позволяющие нарезать резьбы с шагом до 2 мм с подходом к торцу отверстия;

– 6 – расточные с $\varphi = 95^\circ$ для растачивания сквозных отверстий;

– 7 – расточные с $\varphi = 92^\circ$, позволяющие растачивать отверстия диаметром от 22 мм и более;

– 8 – проходные с $\varphi = 45^\circ$ и квадратными пластинами для наружной обточки, проточки торцов деталей, снятия фасок;

– 9 – канавочные для проточки наружных канавок шириной от 1 до 6 мм с глубиной, равной ширине (разработаны резцы с использованием двусторонних МРП для проточки внутренних и наружных угловых канавок);

– 10 – проходные с МРП трехгранной формы и $\varphi = 93^\circ$, которые позволяют протачивать цилиндрические и фасонные поверхности;

– 11 – проходные с МРП трехгранной формы с $\varphi = 63^\circ$;

– 12 – резьбовые для наружной резьбы с шагом до 2 мм; профиль вершины резца обеспечивается заточкой пластин под углом, равным углу профиля резьбы;

– 13 – проходные упорные с МРП трехгранной неправильной формы с $\varphi = 92 - 95^\circ$ для протачивания ступенчатых поверхностей, фасок, торцов движением от наружного диаметра к центру детали.

Основными преимуществами применения инструмента с механическим креплением МРП являются:

– отсутствие операций пайки режущих пластин и, следовательно, вызываемых ею термических напряжений, что исключает появление трещин и повышает запас прочности инструмента при эксплуатации;

– стабильность геометрии режущего инструмента при замене пластин, обеспечение постоянной шероховатости режущих кромок;

– возможность более экономного использования твердых сплавов и других инструментальных материалов.

Державки токарных резцов изготавливают разных размеров: полно-размерные, укороченные и резцы-вставки. Резцы-вставки обеспечивают возможность создания различных типов одно- и многорезцовых регулируемых инструментов.

Предварительно настроенные инструменты устанавливаются в паз инструментальной головки (резцового блока) или резцедержателя и задают точность обработки.

Среди инструментов с МРП группа токарных резцов наиболее представительна. Создана единая система кодирования отдельных символов токарных резцов с МРП.

Пример построения обозначений расточных резцов согласно рекомендации ISO (ISO – International Standard Organisation) показан на рис. 11.2. Другие типы токарных резцов кодируют в соответствии с рассмотренной схемой.

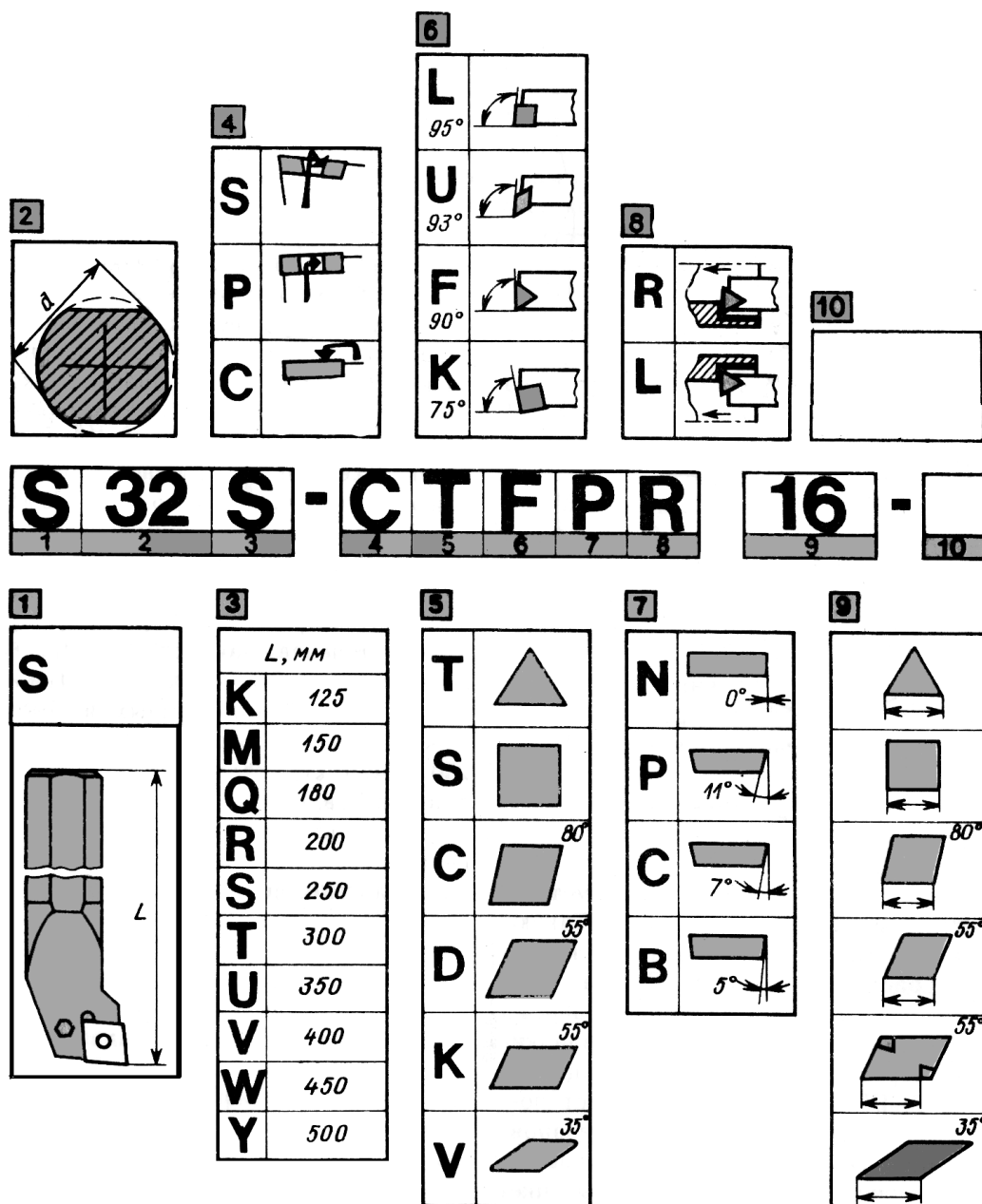


Рисунок 11.2 – Схема построения обозначений расточных резцов

Схема построения обозначений расточных резцов (см. рис. 11.2) содержит следующие элементы: 1 – вид оправки (S – цельная стальная); 2 – диаметр; 3 – длина; 4 – механизм крепления (S – винтом,

Р – через отверстие, С – прихватом); 5 – форма пластины; 6 – тип оправки; 7 – задний угол пластины; 8 – исполнение оправки; 9 – длина режущей кромки; 10 – обозначение завода-изготовителя.

11.1.2. Методы повышения стойкости инструмента

Изнашивание режущего инструмента – это процесс разрушения поверхностных слоев, приводящий к постепенному изменению формы и состояния поверхностей резания инструмента. При обработке резанием трение и связанное с ним изнашивание инструмента отличаются от изнашивания трением деталей конструкций. В процессе резания происходит трение вновь образующихся поверхностей сходящей стружки с передними и задними поверхностями инструмента.

Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) обеспечивают наиболее благоприятные условия протекания процесса механической обработки резанием (достижение максимальной стойкости инструмента, оптимальной температуры заготовки и др.). К СОТС относят: смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), обдув сжатым воздухом, инертными газами. СОЖ составляют около 97% всего объема применяемых в промышленности СОТС и используются главным образом для отвода тепла из зоны резания в целях снижения температуры и, соответственно, повышения стойкости режущего инструмента.

При чистовой обработке благодаря СОЖ получают поверхности с минимальной шероховатостью. Помимо этого СОЖ предохраняют режущий инструмент и обработанные поверхности заготовки от коррозии. Применяют различные методы подвода СОЖ в зону резания: полив, подача под давлением со стороны задней поверхности инструмента, распыление (аэрозольное или туманом).

Широкое применение находит *нанесение износостойких покрытий* на инструменты, что особенно эффективно для инструментов, которые затачивают только по передней поверхности (например для фасонных фрез). В этом случае даже после последующих переточек износостойкие покрытия сохраняют свое положительное влияние на работоспособность инструмента.

Стойкость твердосплавного инструмента повышается до шести раз при нанесении на его поверхность износостойких слоев толщиной от 5 до 15 мкм из карбидов титана, ниобия, боридов, нитридов. Износостойкость инструмента из быстрорежущей стали с покрытием из нитрида титана увеличивается в 2-5 раз.

Дальнейшее повышение стойкости инструмента было достигнуто разделением указанной толщины покрытия на отдельные слои. Каждый слой выполняет определенную функцию относительно разных видов износа, прочности сцепления и термического расширения. Нанесение покрытий на пластинки твердых сплавов производится газофазным и термомодифузионным методами.

Фирма «Сандвик» (Германия), например, рекомендует следующее

трехслойное покрытие толщиной от 1 до 3 мкм каждый:

- внутренний слой из карбида титана обеспечивает высокую износостойкость и хорошую адгезию покрытия с твердым сплавом;
- промежуточный слой из оксида алюминия придает необходимую стойкость против теплового воздействия;
- внешний слой из нитрида титана уменьшает трение по передней поверхности режущего инструмента.

Предварительный нагрев материала заготовки является одним из способов интенсификации процессов резания труднообрабатываемых материалов и представляет собой индуктивный, электродуговой, электроконтактный, плазменный нагрев заготовок.

При нагреве улучшается обрабатываемость вследствие изменения механических характеристик материала в зоне стружкообразования, увеличения его пластичности, снижения прочности и твердости.

Изменение механических характеристик M_2 обрабатываемого материала при повышении температуры с уровня T_1 до уровня T_2 определяется формулой

$$M_2 = M_1 \exp[-\alpha_T (T_2 - T_1)], \quad (11.1)$$

где M_1 – механические характеристики материала при температуре T_1 ; α_T – температурный коэффициент, зависящий от свойств материала и условий пластического деформирования.

В результате изменения механических характеристик материала заготовки снижается усилие резания, уменьшается интенсивность износа режущего инструмента, повышается скорость резания.

Однако применение нагрева заготовки целесообразно лишь до тех пор, пока разупрочнение заготовки превалирует над разупрочнением рабочих поверхностей инструмента. Поэтому для резания с нагревом используются преимущественно твердосплавные и минералокерамические резцы.

Резание с опережающим пластическим деформированием заготовки (рис. 11.3) обеспечивает изменение физико-механических свойств материала срезаемого слоя. Опережающее пластическое деформирование обрабатываемой поверхности с усилием P выполняет накатной ролик 1 (рис. 11.3, а), расположенный перед резцом 3. Ролик и токарный резец перемещаются вдоль оси заготовки 2 с постоянной продольной подачей.

Следующий за роликом резец снимает предварительно ослабленный слой материала. Вследствие этого исчерпывается запас пластичности обрабатываемого материала и улучшается обрабатываемость резанием. При точении с опережающим пластическим деформированием значительно улучшается обрабатываемость резанием вязких высокопрочных сталей типа Х18Н9Т, ЭИ437Б, ЭИ811 и др.

Внедрение в тело заготовки клиновидного ролика (рис. 11.3, б) позволяет создать в поверхностном слое материала сеть микротрещин,

что в значительной степени улучшает обрабатываемость и увеличивает стойкость твердосплавного инструмента.

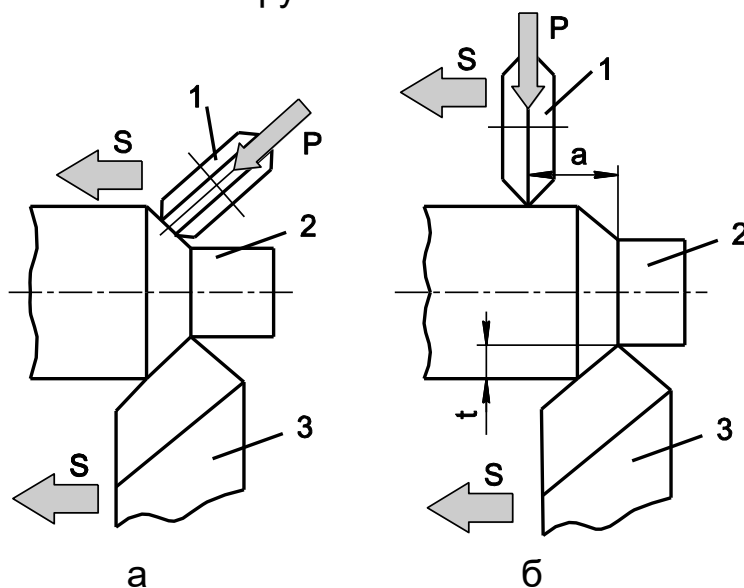


Рисунок 11.3 – Схемы процесса резания с опережающим пластическим деформированием

Резание с наложением вибраций является одним из путей интенсификации процессов обработки высокопрочных материалов.

Сущность этого процесса заключается в том, что на принятую кинематическую схему обработки накладывается дополнительное колебательное движение инструмента. Дополнительные вибрации накладываются в направлении движения подачи или перпендикулярно к поверхности заготовки. Наиболее часто при резании используются вибрации синусоидальной формы.

Резание с осевыми колебаниями обеспечивает надежное дробление стружки, что особенно важно при обработке вязких материалов на станках с ЧПУ. При резании с вибрациями улучшается обрабатываемость высокопрочных сталей за счет уменьшения интенсивности износа инструмента, сопротивления движению резания, снижения температуры в зоне обработки. Процесс резания с вибрациями повышает эффективность действия СОЖ на режущий клин инструмента.

11.2. Высокоскоростная обработка резанием

Метод высокоскоростной обработки резанием *HSC* (*HSC* – high speed cutting) обеспечивает следующие принципиальные изменения, в первую очередь, при фрезеровании:

- увеличение скорости движения подачи фрезы до 20 м/мин вместо предельных для обычной обработки 0,5 м/мин;
- увеличение удельного объема стружки до $100 \text{ см}^3/(\text{мин} \cdot \text{кВт})$ вместо предельных для обычной обработки $40 \text{ см}^3/(\text{мин} \cdot \text{кВт})$;
- увеличение частоты вращения шпиндельных узлов до 20000 мин^{-1} (максимальная частота вращения в серийном фрезерном оборудовании сейчас не превышает 5000 мин^{-1});

– сокращение основного (машинного) времени фрезерной обработки в 3-5 раз.

Способ особенно эффективен при обработке тонкостенных ребер и стенок благодаря снижению сил резания в 3-4 раза и практически полному отсутствию нагрева заготовки в процессе резания.

Фирма «Форест–Лине» (Франция) создала станок модели H1.1600UTGV для высокоскоростной обработки заготовок из алюминиевых сплавов с габаритными размерами 4000×1600×400 мм [12].

Станок представляет собой подвижный портал, перемещающийся по направляющим вертикальной станины, на вакуумном столе которой крепится обрабатываемая заготовка (рис. 11.4). Данная компоновка является типовой для станочного оборудования, реализующего технологию *HSC*.

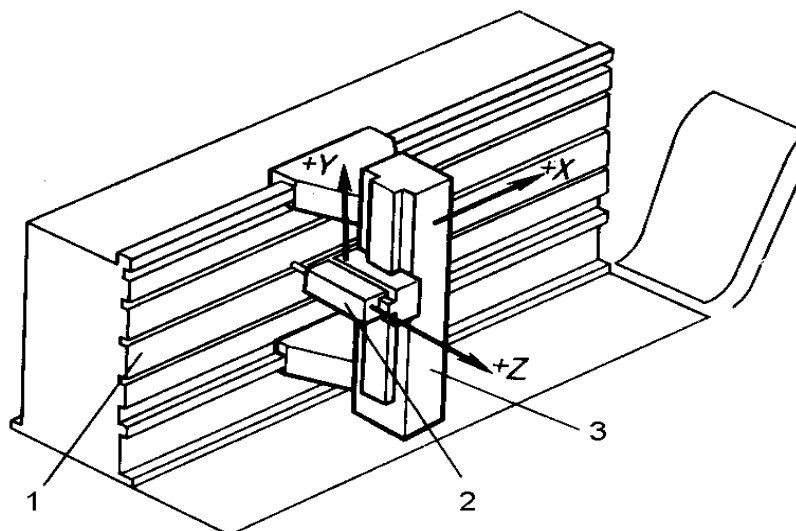


Рисунок 11.4 – Компоновка станка для высокоскоростной обработки

Для естественного отвода стружки из зоны резания стол 1 станка расположен вертикально; шпиндельная головка 2 с горизонтальным шпинделем размещается на портале 3, охватывающем стол станка. Шпиндельная головка оснащена высокоскоростным электродвигателем, ротор которого установлен на активных магнитных подшипниках. Шпиндель имеет два направления вращения, частота вращения регулируется от 3000 до 30000 мин⁻¹ электронным преобразователем частот при постоянном крутящем моменте.

На станке предусмотрена автоматическая смена инструмента в шпинделе из неподвижно расположенного магазина на 14 инструментов путем вспомогательных перемещений фрезерной головки.

Портал и вертикальная каретка (оси *X* и *Y*) имеют аэростатические направляющие, за счет которых обеспечиваются высокие значения точности и скорости координатных перемещений. Фрезерная головка (ось *Z*) перемещается по направляющим из пластика.

Приводы подачи оснащены высокомоментными электродвигателями постоянного тока с электронными регуляторами. Специальный сер-

вопривод отслеживает высокую динамику станка такого типа и реализует ускорения до 10 м/с^2 . Для отвода стружки предусмотрен конвейер, расположенный в передней части станка.

Приводы продольного (ось X) и горизонтального поперечного (ось Z) перемещений фрезерной головки – двусторонние, синхронизированы электронной системой и выполнены в виде шестерен и реек с устройством для устранения зазора. Привод вертикального перемещения каретки (ось Y) выполнен в виде предварительно нагруженного шарикового винта с очень большим шагом для обеспечения высоких скоростей движения подач. Разгрузка вертикальной каретки осуществляется с помощью пневматического цилиндра.

Станок оборудован устройством ЧПУ с одновременным управлением перемещений по трем координатным осям, обеспечивающим скорости движения подачи рабочих ходов до 20 м/мин в плоскости $X Y$ и до 10 м/мин в плоскостях $X Z$ и $Y Z$. Скорость движения подачи вспомогательного хода – до 30 м/мин .

Разработка станочного оборудования с ЧПУ для процессов высокоскоростной обработки методом *HSC* требует решения следующего комплекса технических и технологических проблем:

1. Создание режущего инструмента гарантированной стойкости. Для высокоскоростного резания наиболее подходящим является инструмент из твердого сплава с многослойным покрытием.

2. Изготовление шпиндельных узлов станочного оборудования с частотой вращения от 10000 до 60000 мин^{-1} при мощности до 100 кВт .

3. Создание средств активного автоматического контроля геометрических параметров заготовки и состояния режущего инструмента в процессе обработки. При контроле деталей вне станка констатируется лишь результат обработки и исключается активное влияние этапа контроля на обеспечение требуемой точности обработки.

4. Высокая скорость разлетания осколков режущего инструмента в случае его поломки и большой объем стружки требуют специальных компоновочных решений для обеспечения требований техники безопасности в зоне обработки. Возможные решения по этой проблеме дает типовая компоновка станка (см. рис. 11.4) – надежный отвод стружки из зоны резания благодаря вертикальному расположению стола, закрытие зоны резания кожухом и дистанционный контроль процесса обработки.

5. Исключение динамических погрешностей при сохранении заданной скорости движения подачи. Это требует дополнительного уменьшения длин линейных участков траектории, что приводит к соответствующему увеличению объема УП. Для высокоскоростной обработки требуются скругление углов в местах резкого изменения направления движения инструмента, а также выполнение перемещений подвода и отвода инструмента по касательной дуге.

6. Развитие программно-технических средств сопряжения ЭВМ с устройствами ЧПУ станков, обеспечивающих параллельную с обработ-

кой загрузку УП большого объема по мере их выполнения (режим сегментированной загрузки).

11.2.1. Модернизация станочного оборудования

Наибольшее применение на предприятиях аэрокосмической отрасли находят в настоящее время такие модели фрезерных станков с ЧПУ, как МА655, ФП7, ФП17 всех модификаций, продольно-фрезерный пятикоординатный ВФ5Н, продольно-фрезерный с подвижным порталом 2ФП241С и др.

Станкостроительное предприятие Савеловское ОАО «САВМА» (прежнее название ПО «Прогресс») изготовило более 30 тыс. высокоточных станков с ЧПУ для аэрокосмической промышленности.

Станки, находящиеся сегодня на этих предприятиях, могут быть реконструированы для широкого применения технологии высокоскоростной обработки *HSC*.

Один модернизированный фрезерный станок за счет более высокого качества обработки и новых технологических возможностей может заменить два – четыре обычных станка той же модели.

Вертикально-фрезерный многооперационный станок модели ФП7/17ВС3 был создан путем модернизации станка модели ФП7, различных модификаций которого для аэрокосмической отрасли было выпущено примерно 15 тыс. штук.

Станок модели ФП7/17ВС3 имеет повышенную до 12000 мин⁻¹ частоту вращения шпинделя, скорости рабочих перемещений по координатам до 16000 мм/мин, увеличенную до 45 кВт номинальную мощность шпинделя.

Станок имеет полное ограждение зоны резания, новый механизм смены инструмента на 12 позиций, размер рабочей зоны составляет 3000×1600×500 мм.

На станке установлены скоростные динамичные цифровые приводы переменного тока с интерфейсом реального времени (*SERCOS*-интерфейс). Станок оснащен системой ЧПУ модели МТС200 класса *CNC/SPS*. Точность обработки составляет 0,03 мм, шероховатость поверхности – менее R_a 0,8 мкм.

Модификации ФП7ВС2 и ФП17ВС2 предназначены для обработки заготовок из цветных сплавов, ФП7ВС3 и ФП17ВС3 – для труднообрабатываемых материалов, в том числе титановых сплавов.

Предприятие готовит к выпуску новый пятикоординатный многооперационный станок модели МЦ-1, который предназначен для обработки деталей одинарной и двойной кривизны и имеет высокую производительность.

Станочное оборудование нового поколения позволяет:

– увеличить производительность в 2-10 раз, существенно повысить точность обработки;

– уменьшить шероховатость обрабатываемой поверхности до R_a

0,3 и отказаться от дорогостоящих чистовых и отделочных доводочных операций.

Для осуществления адаптивного управления режимами резания станки нового поколения оснащены датчиками силы резания и крутящего момента и специализированной вычислительной техникой. Адаптивная система управляет скоростью подачи инструмента, распределяет припуск, защищает станок от перегрузок, определяет поломки инструмента, прерывает цикл обработки.

11.3. Компьютеризация процессов обработки

Компьютеризация инженерных задач – один из основных путей повышения конкурентоспособности продукции любого машиностроительного предприятия независимо от типа производства.

Ключевым моментом современного этапа производства является переход от дискретного к электронному описанию изделия (ЭОИ).

Основой ЭОИ является безбумажное представление информационной модели изделия, включающее в себя все данные об изделии с учетом международных стандартов.

Основные компоненты ЭОИ:

- комплекс программных средств для автоматизированного проектирования изделий *CAD (CAD – Computer Aided Design)*;
- система автоматизации технологической подготовки производства *CAM (CAM – Computer Aided Manufacturing)*;
- система инженерного анализа *CAE (CAE – Computer Aided Engineering)*;
- система управления данными об изделии *PDM (PDM – Product Data Management)*.

На предприятиях аэрокосмической отрасли в качестве базовых средств компьютерных интегрированных технологий используются системы высокого уровня *Unigraphics, CATIA, CADD5-5, EUCLID* и др.

В состав данных систем входят программы построения математической модели поверхности создаваемого изделия, разработки внутренней компоновки отсеков, агрегатов и ЛА в целом, ведения базы данных проекта, обеспечения технологической подготовки производства, планирования и диспетчеризации работ.

Конструирование деталей, заготовок, средств технологического оснащения на основе объемного моделирования, разработка чертежной документации, подготовка УП для оборудования с ЧПУ – все эти задачи решаются с применением целого ряда компьютерных интегрированных *CAD/CAM*-систем.

Токарная обработка. С помощью *CAM*-модуля компьютерной интегрированной системы решаются задачи по подготовке УП двухкоординатной обработки для следующих видов и технологических переходов течения: черновое и чистовое, продольное и поперечное течение, подрезка торцов, обработка канавок и галтелей, растачивание, нарезание

резьбы резцом и выполнение циклов обработки отверстий.

Для каждой операции или каждого технологического перехода поддерживается возможность управления такими параметрами, как глубина резания, направления и углы рабочих и вспомогательных перемещений, форма и геометрия заготовки, количество и шаг рабочих и вспомогательных ходов. Все токарные операции или технологические переходы рассчитываются с учетом геометрических параметров инструмента – главного и вспомогательного углов.

Фрезерная обработка. САМ-модуль обеспечивает выполнение следующих видов и переходов фрезерования:

- контурная плоскостная обработка с различными типами траектории подхода к контуру и отхода от него и возможностью задания коррекции на радиус инструмента, обработка полостей различной глубины, сверление и другие виды обработки отверстий;

- черновая, получистовая или чистовая обработка параллельными рабочими ходами вдоль заданного направления (шаг между ходами может быть постоянным либо вычисляться по критерию качества обработки – высоте гребешков);

- многокоординатная объемная обработка с применением специальных программных средств для управления углом между вектором инструмента и нормалью к обрабатываемой поверхности с учетом траектории перемещения инструмента.

Для компьютерного моделирования фрезерной обработки особенно важны такие факторы, как траектории рабочих и вспомогательных перемещений, возможность коррекции на радиус и длину разнообразных типов инструмента, задание формы и геометрии заготовки, выделение зон обработки или границ обхода прижимных элементов станочных приспособлений.

Электроэрозионная обработка. САМ-модуль позволяет задавать различные типы контурной коррекции и траектории рабочих и вспомогательных ходов электрода-инструмента к наружному или внутреннему обрабатываемому контуру.

Четырехкоординатная электроэрозионная обработка проволочным электродом-инструментом моделируется по двум контурам детали (верхнему и нижнему) либо непосредственно по линейчатой поверхности, построенной по этим двум контурам.

11.3.1. Этапы разработки УП обработки

УП обработки как совокупность команд на языке программирования, с точки зрения технолога, представляет собой описание операционного ТП на входном языке устройства ЧПУ станка.

Подсистема ЧПУ, являясь одной из компонент компьютерной системы, использует необходимую информацию из единой базы данных системы. Внешней исходной информацией для подсистемы ЧПУ явля-

ется геометрическая модель обрабатываемой детали каркасного (рис. 11.5, а) или поверхностного (рис. 11.5, б) представления.

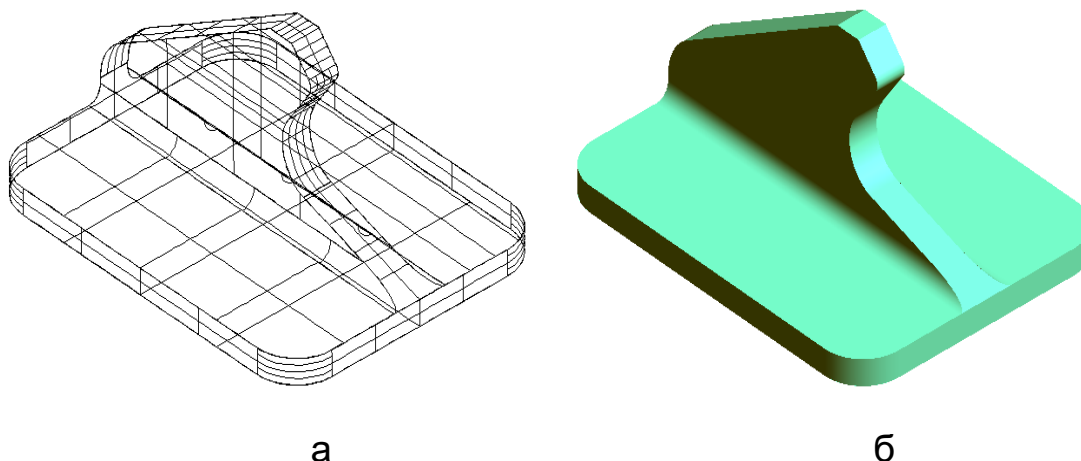


Рисунок 11.5 – Компьютерная геометрическая модель детали:
а – каркасная; б – поверхностная

Опыт внедрения компьютерных интегрированных систем в авиастроении показывает, что около 80% задач по формированию УП не требует использования твердотельных моделей.

Практически все задачи плоскостного контурного фрезерования, сверления и токарной обработки могут быть решены на уровне каркасных и поверхностных моделей. При этом объем информации, необходимой для решения этих задач, существенно меньше, чем при твердотельном параметрическом моделировании.

Этапы создания УП обработки на базе компьютерных интегрированных систем представлены на рис. 11.6.

Маршрутный ТП включает в себя последовательность технологических операций, обеспечивающих требуемую обработку детали.

В зависимости от того, каким оборудованием осуществляется программная обработка, технологическая операция может быть токарной, фрезерной, сварочной, контрольной и т. д. Операция состоит из последовательности технологических переходов.

Переход представляет собой параметризованное описание траектории движения инструмента, технологических режимов обработки – подачи, частоты вращения шпинделя и геометрии инструмента.

Понятие технологического перехода можно обобщить, если под обработкой подразумевать выполнение требуемых движений независимо от вида процесса. Тогда, например, процесс автоматического измерения детали измерительными головками также можно будет классифицировать как технологический переход.

Формирование собственно УП программы осуществляется в два этапа (см. рис. 11.6). На первом этапе обработку входной информации реализует процессор.

Процессор – программа первичной переработки информации, формирующая данные по обработке независимо от типа станка.

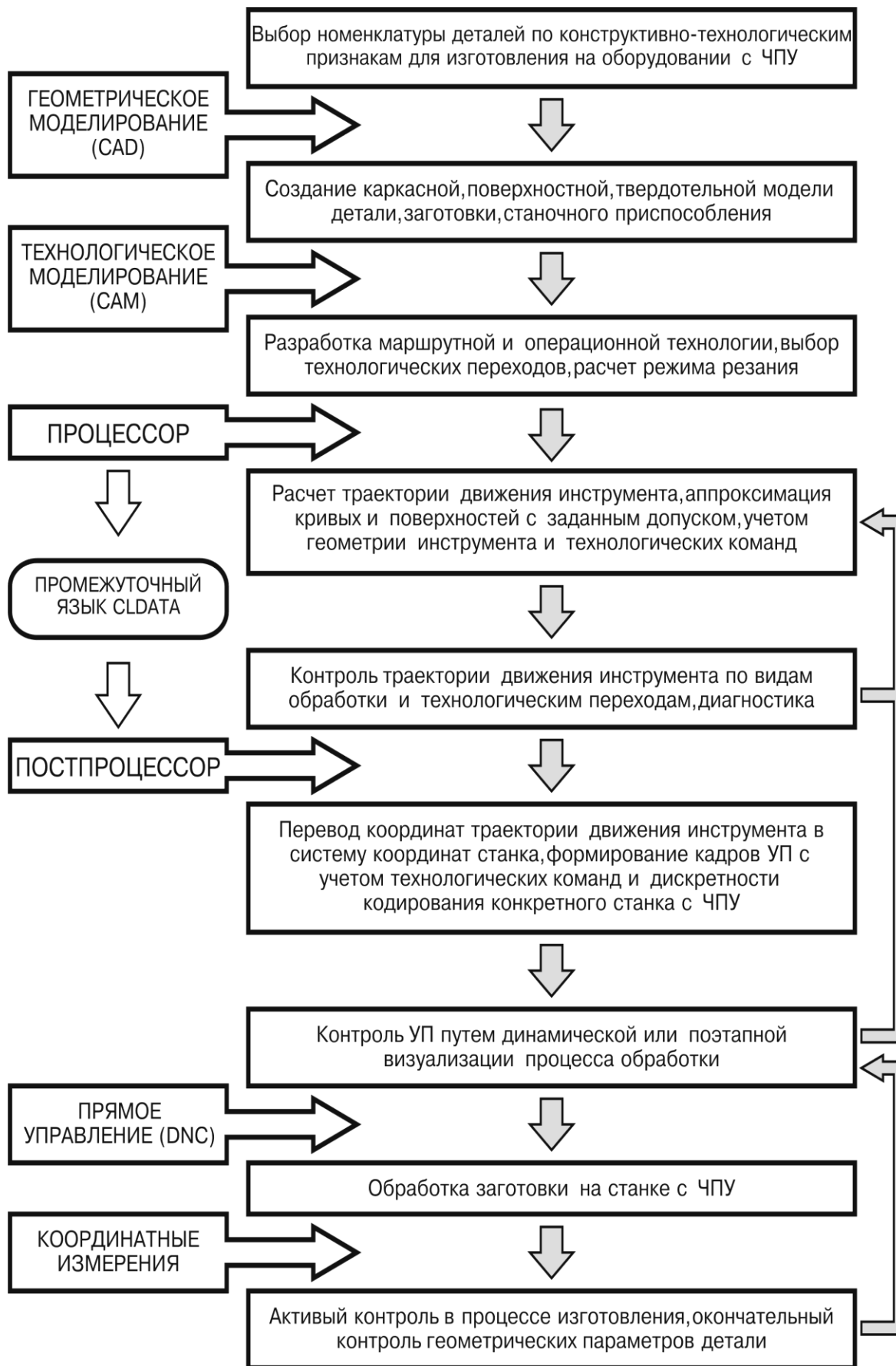


Рисунок 11.6 – Этапы создания УП обработки на базе компьютерных интегрированных систем

Процессор выполняет следующий комплекс задач по расчету траектории движения инструмента:

- приведение описания всех заданных геометрических объектов к канонической форме;
- нахождение точки и линий пересечения различных геометрических элементов;
- аппроксимация различных кривых и поверхностей с заданным допуском; аппроксимация или интерполяция таблично заданных функций;
- учет геометрических параметров инструмента при построении траектории движения.

Результатом работы процессора является полностью рассчитанная траектория движения инструмента (рис. 11.7).

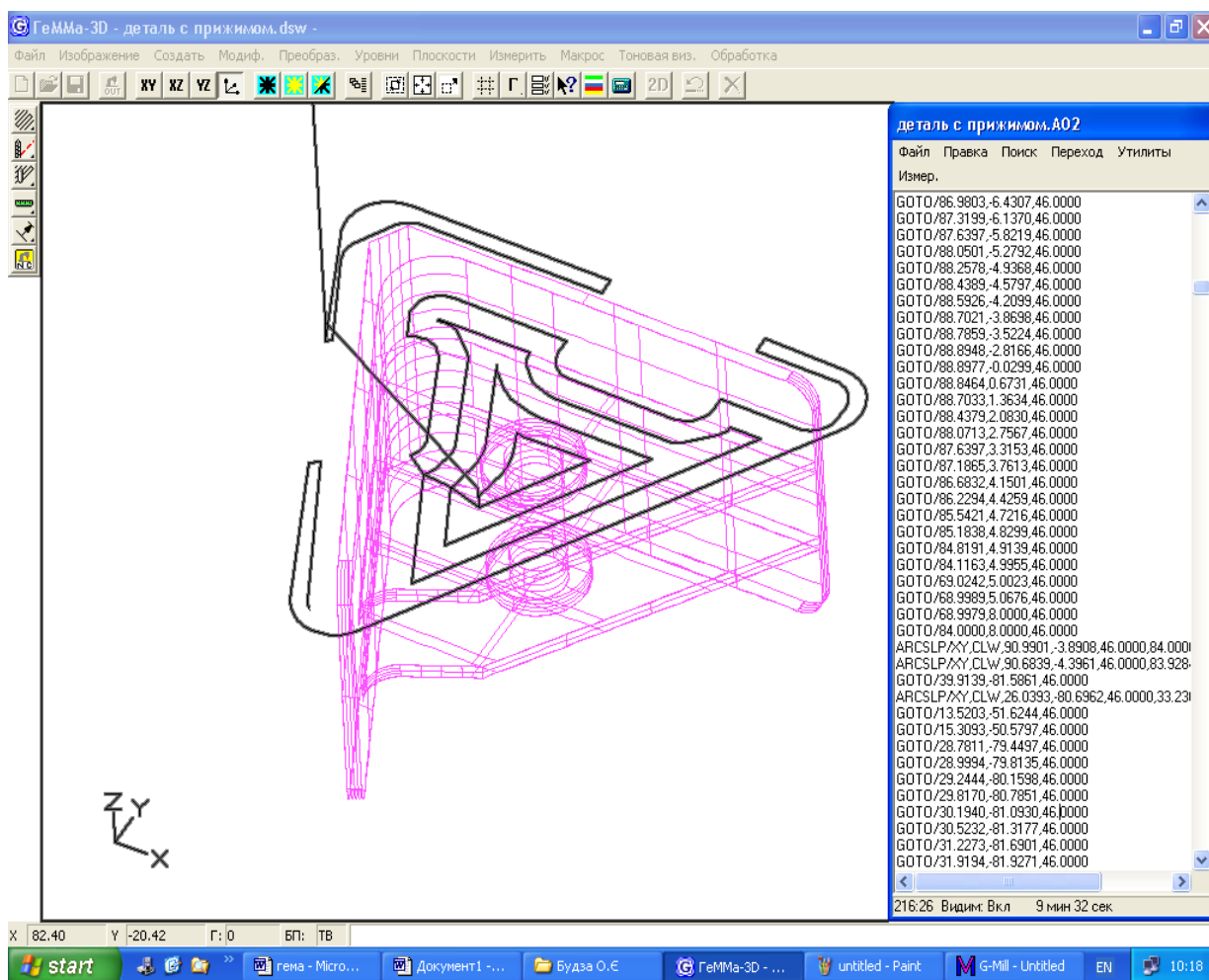


Рисунок 11.7 – Контроль траектории движения инструмента на этапе процессорирования

Второй этап переработки информации реализует постпроцессор, который ориентирован, в отличие от процессора, на конкретную модель технологического оборудования с ЧПУ.

Постпроцессор – согласующая программа, учитывающая особенности системы ЧПУ конкретного станка и формирующая кадры УП на языке программирования в кодах ISO.

Постпроцессор выполняет следующие типовые функции:

- перевод координат траектории движения инструмента в систему координат технологического оборудования;
- назначение величин подачи рабочих и вспомогательных перемещений из паспортных характеристик подач конкретного станка;
- формирование и кодирование подготовительных и вспомогательных функций, команд на координатные перемещения с учетом значения единицы дискретности (цены импульса) устройства ЧПУ;
- кодирование значений подач и частоты вращения шпинделя;
- формирование команд смены инструмента, а также коррекции его длины и радиуса, включения и выключения подачи СОЖ;
- выполнение ряда сервисных функций (подсчет объема УП, времени обработки детали на станке и др.).

При формировании команд на перемещения постпроцессор учитывает вид интерполяции (линейная, круговая), способ задания перемещения (в абсолютной системе, в приращениях). Важнейшая функция постпроцессора – учет ограничений технологического оборудования с ЧПУ. К этим ограничениям относятся: пределы перемещений исполнительных органов оборудования, изменения скоростей подачи и частоты вращения шпинделя; максимально допустимые скорости и перепады скоростей исполнительных органов оборудования; пределы изменения радиуса дуги окружности при круговой интерполяции и др.

Результатом учета ограничений могут быть автоматическая корректировка постпроцессором величин и режимов подачи, изменение скорости шпинделя и траектории движения инструмента, выдача диагностического сообщения.

Траектория движения инструмента может быть изменена, например, при задании перемещения на ускоренной подаче более чем по одной координате одновременно, что недопустимо для большинства станков. В такой ситуации постпроцессор может организовать по координатное движение в заданную точку, сохраняя неизменным значение ускоренной подачи. Вызов того или иного постпроцессора осуществляется автоматически на основе указания, данного технологом-программистом в тексте исходной программы.

Расширение возможностей технологического оборудования с ЧПУ, а также потребность в унификации структуры данных привели к созданию по рекомендациям *ISO* стандартного промежуточного языка «процессор – постпроцессор». Эта форма представления промежуточных данных носит название **CLDATA** (сокращение от *Cutter Location Data* – данные о положении инструмента).

11.3.2. Визуализация последовательности процесса обработки

Визуализация последовательности процесса обработки позволяет выявить ошибки, которые могут возникнуть, в том числе и по вине постпроцессора *CAD/CAM*-системы.

Контроль УП осуществляется визуально на экране компьютера путем динамической или поэтапной визуализации последовательности процесса обработки (рис. 11.8).

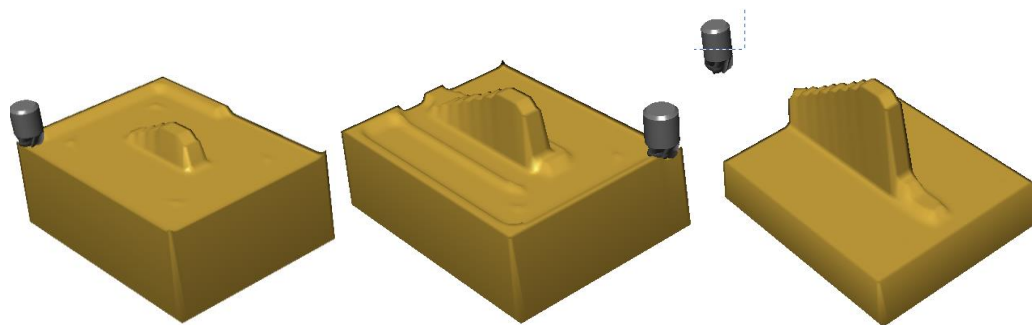


Рисунок 11.8 – Поэтапная визуализации процесса обработки

При этом проверка УП на станке без заготовки или пробная обработка заготовки не требуется.

Программа визуализации процесса обработки позволяет:

- контролировать УП непрерывно или по отдельным кадрам с отображением при необходимости траектории инструмента и выделением различными цветами зон обработки;
- рассчитывать размеры заготовки и время обработки;
- изменять ракурс и масштаб изображения, отображать обрабатываемые поверхности.

Визуализация процесса обработки значительно сокращает время на проверку УП и повышает их достоверность.

11.3.3. Координатные измерения заготовок и деталей

Под координатным измерением понимают определение геометрических параметров объектов путем последовательного нахождения значений координат точек объекта в принятой системе базирования и дальнейшей обработки этой информации.

Координатные измерения заготовки и деталей в зоне обработки проводят *измерительными головками* (ИГ). Применение ИГ на обрабатывающих станках с ЧПУ дает возможность определять размеры без снятия детали со станка, т.е. максимально сближать операции контроля и обработки (рис. 11.9). Толчком к промышленному освоению координатных измерений на станке явилось создание ИГ, передающих сигналы измерения бесконтактным способом (с помощью радиоканала, инфракрасным излучением).

Например, на токарном станке ИГ позволяет проверить точность установки заготовки в патроне, а именно: найти значения ее радиального и торцового биений и уточнить распределение припуска по рабочим ходам.

Измерение геометрических параметров детали дает возможность корректировать исходные координаты настройки инструмента.

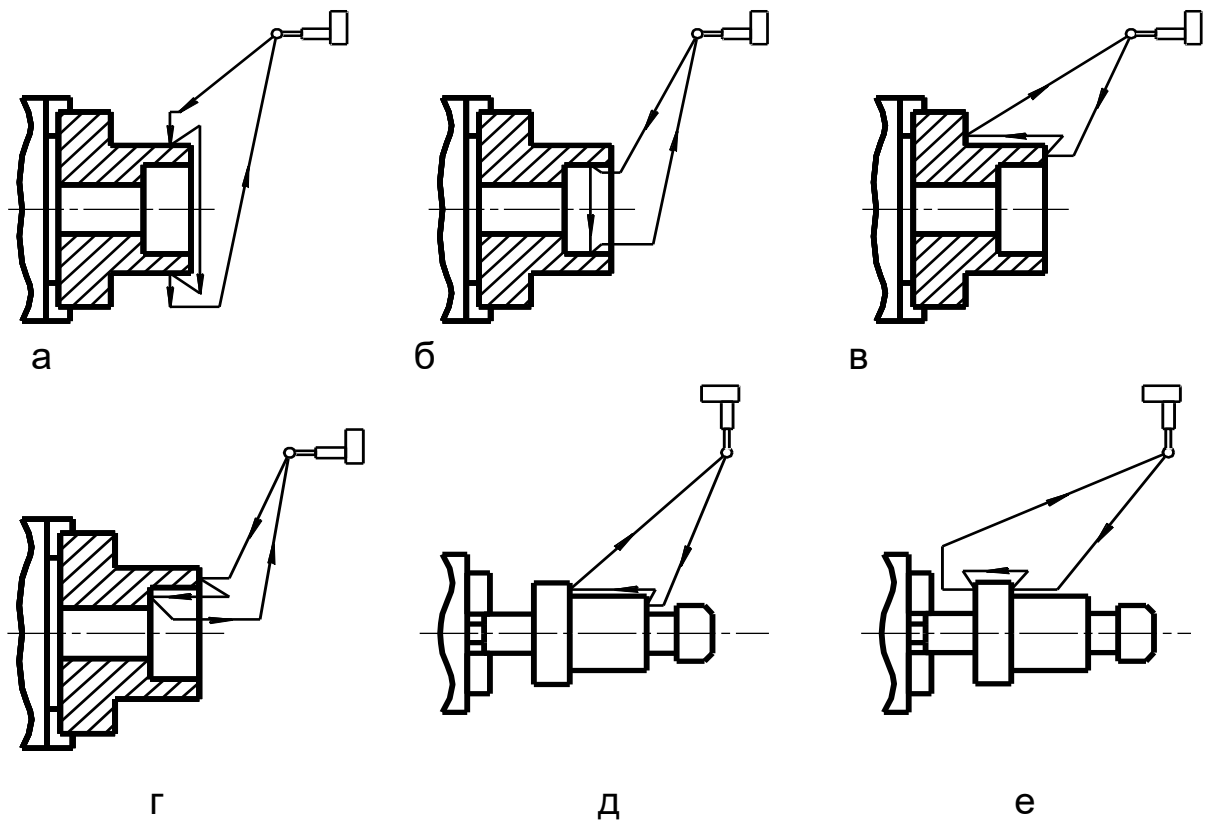


Рисунок 11.9 – Типовые схемы применения ИГ для измерения:
 а, б – соответственно наружного и внутреннего диаметров;
 в, г, д – длины обработанной поверхности; е – толщины фланца

Схемы применения ИГ с использованием щупов на многооперационном станке с ЧПУ показаны на рис. 11.10.

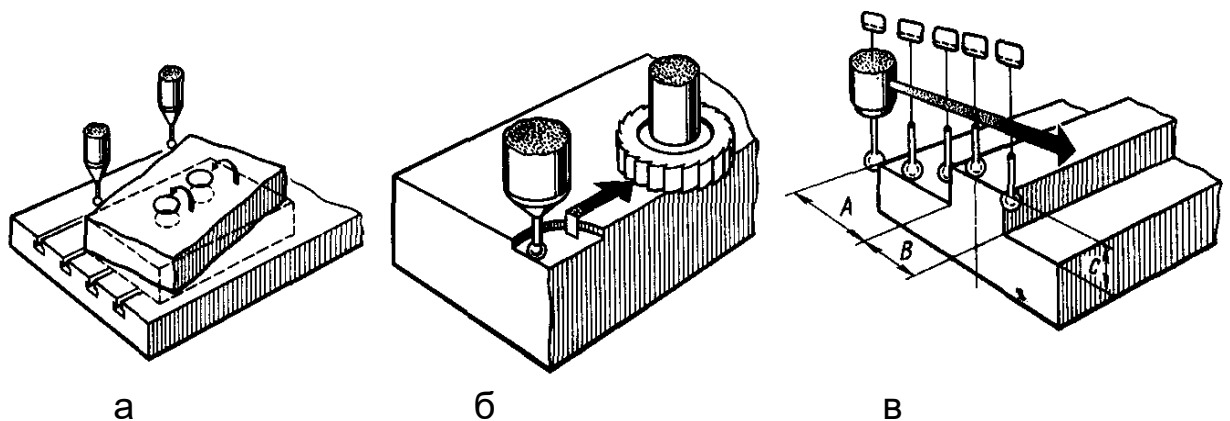


Рисунок 11.10 – Схемы применения ИГ для измерения:
 а – погрешности установки заготовки; б – величины припуска на чистовую обработку; в – размеров детали

Координатные измерения, проводимые непосредственно на станке, обеспечивают большую оперативность при контроле геометрических параметров изготавливаемых деталей и реализацию адаптивного управления точностью обработки.

Результаты измерений статистически обрабатываются для определения тенденции изменения величины систематической составляю-

щей погрешности, а также для исключения влияния случайных отклонений. Результаты измерений используют также для корректировки управляющих или измерительных программ.

Для окончательного контроля геометрических параметров крупногабаритных деталей и оснастки на предприятиях аэрокосмической отрасли применяются *контрольно-измерительные машины (КИМ)*, укомплектованные персональными ЭВМ для управления процессом контроля и обработки результатов измерения.

Наиболее совершенной по возможностям прецизионных координатных измерений для предприятий отрасли является КИМ мостовой компоновки модели TCX-8000 итальянской фирмы *POLI* (рис. 11.11).

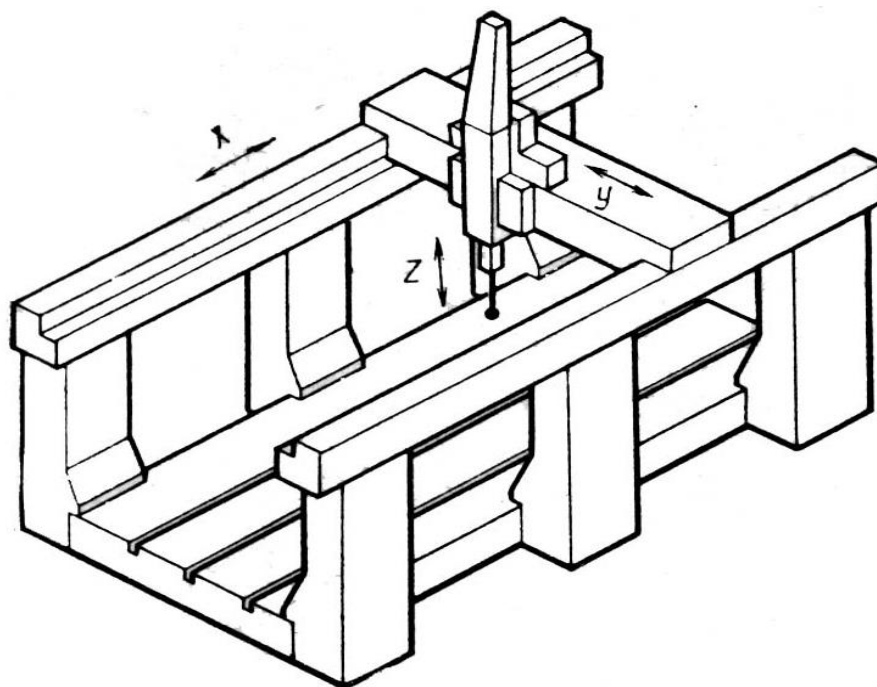


Рисунок 11.11 – КИМ мостовой компоновки

Размер измерительного пространства данной модели КИМ составляет 8000×2500×1500 мм, систематическая погрешность измерения не превышает ± 40 мкм.

КИМ используются для решения типовых измерительных задач:

- контроль сложной геометрической поверхности путем ее сравнения с математической моделью данной поверхности;
- сканирование сечений поверхности, на базе которых создается математическая модель поверхности;
- сканирование сложной геометрической поверхности для создания УП обработки на станках с ЧПУ.

Благодаря КИМ значительно упрощается метрологическая подготовка производства новых изделий, так как отпадает необходимость в создании специальной измерительной и эталонной оснастки. Протокол результатов контроля, выдаваемый КИМ, является официальным документом. Оперативное и диалоговое программирование позволяет эффективно использовать КИМ в единичном и мелкосерийном производ-

стве.

Контрольные вопросы к разделу

1. Назовите направления повышения эффективности процессов обработки с удалением излишнего материала.
2. Какие группы инструментальных быстрорежущих материалов повышенной производительности Вы можете назвать?
3. Какие группы инструментов из твердых сплавов применяют для обработки высокопрочных материалов?
4. Укажите области использования и метод изготовления минералокерамики и сверхтвердых материалов.
5. В чем заключаются преимущества применения инструмента с механическим креплением МРП?
6. Какие элементы входят в схему обозначения расточных резцов по рекомендациям *ISO*?
7. Какие функции выполняют СОТС и СОЖ среди методов повышения стойкости инструмента?
8. Опишите механизм работы многослойных износостойких покрытий на рабочей поверхности инструмента.
9. Что происходит при предварительном нагреве материала заготовки из труднообрабатываемых материалов?
10. Приведите схему процесса резания с опережающим пластическим деформированием.
11. Перечислите основные особенности компоновки станков для высокоскоростной обработки (*HSC*).
12. Какие технические и технологические проблемы возникают при реализации процессов высокоскоростной обработки (*HSC*)?
13. Какие новые технологические возможности дает модернизация фрезерных станков с ЧПУ?
14. Перечислите основные возможности интегрированных компьютерных CAD/CAM-систем.
15. Какие функции выполняют процессор и постпроцессор при создании УП обработки?
16. Какие типовые координатные измерения выполняют с помощью ИГ и КИМ?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация процессов подготовки авиационного производства на базе ЭВМ и оборудования с ЧПУ / В.А. Вайсбург, Б.А. Медведев, А.Н. Бакумский. – М.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
2. Барвинок В.А., Пытаев П.Я., Корнев Е.П. Основы технологии в производстве ЛА. – М.: Машиностроение, 1995. – 398 с.
3. Белянин П.Н. Производство широкофюзеляжных самолетов. – М.: Машиностроение, 1979. – 360 с.
4. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. ГПС в авиастроении: Учеб. пособие / В.С. Кривцов, С.Г. Васильченко, Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 98 с.
6. Дерябин А.Л., Эстерзон М.А. Технология изготовления деталей на станках с ЧПУ и в ГПС. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
7. Джур Е.А., Вдовин С.И. Технология производства космических ракет: Учебник. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – 184 с.
8. Кривцов В.С., Карпов Я.С., Федотов М.М. Інженерні основи функціонування і загальна будова аерокосмічної техніки. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2002. – 486 с.
9. Дьяченко Ю.В., Коллеров В.В. Использование контрольно-измерительных систем в технологической подготовке производства: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 58 с.
10. Камалов В.С. Производство космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
11. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. – К.: КВІЦ, 1997. – 459 с.
12. Лещенко В.А., Богданов Н.А. Станки с ЧПУ (специализированные). – М.: Машиностроение, 1988. – 568 с.
13. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 464 с.
14. Кушнаренко С.Г., Цыганов В.П., Сикульский В.Т. Методы и оснащение для упрочнения элементов самолетных конструкций ППД. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 55 с.
15. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
16. Джур Є.О., Кучма Л.Д. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник. – К.: Вища освіта, 2003. – 339 с.
17. Боборыкин Ю.А., Дьяченко Ю.В., Пьянков А.В. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Учеб. пособие. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2000. – 100 с.
18. Дьяченко Ю.В., Зайцев В.Е., Пьянков А.В. Проектирование постпроцессоров для оборудования ГПС: Учеб. пособие. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2001. – 100 с.

19. Пуховский Б.С., Гавриш А.П., Грищенко Е.Ю. Обработка высокопрочных материалов. – К.: Техніка, 1983. – 134 с.
20. Руденко П.А., Харламов Ю.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. – К.: Вища шк., 1991. – 247 с.
21. Современные технологии авиастроения / Под ред. А.Г. Братухина. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
22. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.
23. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
24. Степанов А.А. Обработка резанием композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
25. Строганов Г.Б., Роик Ю.Г. Технологическое обеспечение авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1991. – 368 с.
26. Дьяченко Ю.В., Коллеров В.В., Мещеряков А.Н. Технология изготовления лопастей вертолетов: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 54 с.
27. Технология обработки конструкционных материалов / Под ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высш. шк., 1991. – 512 с.
28. Технология самолетостроения / Под ред. А.Л. Абибова. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
29. Технология производства летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие / В.Е. Гайдачук, В.Д. Гречка, В.Н. Кобрин, Г.А. Морозов. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 322 с.
30. ГОСТ 14.004-83. ЕСТПП. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.07.83. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
31. ГОСТ 17420-72. ЕСТПП. Операции обработки резанием. Термины и определения. – Введ. 01.01.73. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
32. ГОСТ 25751-83. ЕСТД. Инструменты режущие. Термины и определения. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 24 с.
33. ГОСТ 25762-83. ЕСТД. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. – Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 42 с.
34. ГОСТ 3.1109-82. ЕСТД. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.
35. ДСТУ 2579-94. Цифрова індикація та цифрове керування устаткуванням. Терміни та визначення. – Введ. 01.07.95. – К.: Держстандарт України, 1995. – 48 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЛА С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА	4
1.1. Конструктивно-технологические особенности ЛА как объекта производства	4
1.1.1. Типовые классы деталей планера ЛА, обрабатываемых с удалением излишнего материала	6
1.1.2. Полуфабрикаты и заготовки монолитных деталей ЛА	7
1.2. Классификация заготовительно-обработочных процессов	10
1.3. Структура ТП обработки резанием	13
1.3.1. Элементы технологического перехода	16
1.4. Технологическая характеристика типов производства	18
1.5. Точность процессов размерной обработки заготовок	20
1.5.1. Виды погрешностей обработки с удалением припуска	21
1.6. Операционный припуск и методика расчета размеров заготовки	23
1.6.1. Методика расчета размеров заготовки	25
1.7. Режим резания и нормирование операций обработки с удалением припуска	26
1.7.1. Режим резания операций обработки с удалением припуска	26
1.7.2. Нормирование операций обработки с удалением припуска	27
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ	31
2.1. Геометрические параметры процесса обработки резанием	31
2.2. Кинематические элементы обработки резанием	33
2.3. Процесс стружкообразования	35
2.4. Явление наклепа при резании	39
2.5. Изнашивание и стойкость инструмента	40
3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ	43
3.1. Правка монолитных заготовок	43
3.2. Обдирка прутков	43
3.3. Разрезание прутков, валов, труб	44
3.3.1. Разрезание заготовок абразивными кругами	45
3.4. Центрование заготовок	46
4. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ТОЧЕНИЕМ	47
4.1. Назначение и основные виды точения	47
4.1.1. Способы токарной обработки	47
4.2. Типы токарных резцов	50
4.2.1. Геометрические параметры токарного резца	50
4.3. Элементы контура токарной обработки	54
4.3.1. Зоны токарной обработки	55
4.3.2. Последовательность переходов токарной обработки	56
4.4. Характеристики режима резания при точении	58
4.4.1. Последовательность выбора режима резания при точении	59
5. СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ	60
5.1. Назначение и основные типы сверл	61
5.1.1. Конструкции и геометрия спиральных сверл	61

5.1.2. Конструкции и геометрия специальных сверл	64
5.1.3. Износ сверл	67
5.1.4. Выбор режима резания при сверлении	68
5.2. Зенкерование.....	70
5.2.1. Конструкции и геометрия зенкеров	70
5.3. Развертывание	73
5.4. Комбинированные инструменты	75
6. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ФРЕЗЕРОВАНИЕМ	77
6.1. Назначение и основные виды фрезерования.....	77
6.2. Разновидности фрез и их геометрия	78
6.2.1. Типы и зоны фрезерной обработки	80
6.2.2. Схемы формирования траектории фрезы.....	82
6.2.3. Схемы резания при фрезеровании	84
6.2.4. Износ и стойкость фрез	86
6.3. Режим резания при фрезеровании	88
6.3.1. Методика назначения режима резания	89
7. АБРАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ.....	91
7.1. Шлифование и абразивный инструмент	91
7.2. Виды шлифования.....	95
7.2.1. Ленточное шлифование	99
7.3. Процесс резания при шлифовании	100
7.3.1. Износ и стойкость абразивных инструментов	102
7.3.2. Выбор инструмента и назначение режима резания.....	103
7.4. Отделочные методы абразивной обработки	104
7.4.1. Хонингование	105
7.4.2. Суперфиниширование	106
7.4.3. Полирование	107
8. ОБРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	110
8.1. Особенности процесса обработки резанием КМ	111
8.1.1. Классификация конструкционных пластмасс	111
8.1.2. Особенности процесса резания КМ	112
8.1.3. Разрезание листовых заготовок из КМ	113
8.1.4. Токарная обработка КМ	113
8.1.5. Обработка отверстий в КМ	114
8.1.6. Обработка КМ фрезерованием	117
8.1.7. Обработка металлополимерных КМ.....	119
8.2. Удаление стружки и пыли из зоны резания КМ	120
9. УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ.....	122
9.1. Влияние поверхностного упрочнения на ресурс деталей	122
9.2. Ударные способы поверхностного упрочнения	123
9.2.1. Технологические особенности виброупрочнения.....	124
9.2.2. Пневмодинамический способ упрочнения	126
9.2.3. Барабанно-ударный способ упрочнения	127
9.2.4. Виброударный способ упрочнения длинномерных деталей	128
9.2.5. Дробеструйный способ упрочнения	129
9.3. Статические способы поверхностного упрочнения	130

9.3.1. Обкатывание роликовыми и шариковыми обкатниками	130
9.3.2. Дорнование, обжатие кромок	132
10. ПРОЦЕССЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ	
ПЛАНЕРА ЛА.....	134
10.1. Компоновка фрезерных станков с ЧПУ	135
10.1.1. Вертикально-фрезерные станки с ЧПУ	136
10.1.2. Портально-фрезерные станки с ЧПУ	136
10.1.3. Раскройно-фрезерные станки с ЧПУ	138
10.1.4. Особенности применения концевых фрез	139
10.2. Изготовление характерных деталей планера ЛА	
на трехкоординатных фрезерных станках	142
10.2.1. Обработка прессованных стрингерных панелей	142
10.2.2. Изготовление рельсов механизации крыла	143
10.2.3. Обработка крупногабаритных деталей силового каркаса	144
10.2.4. Обработка петлевых шомпольных соединений	145
10.3. Изготовление характерных деталей планера ЛА	
на пятикоординатных фрезерных станках	146
10.3.1. Особенности многокоординатного фрезерования	146
10.3.2. Обработка деталей каркаса фюзеляжа	148
10.3.3. Обработка деталей силового набора крыла	148
10.3.4. Обработка сотового заполнителя	149
10.4. Изготовление характерных деталей лопасти вертолета	151
10.4.1. Особенности деталей лопасти вертолета	151
10.4.2. Изготовление наконечника лопасти	152
10.4.3. Изготовление алюминиевого прессованного лонжерона	152
10.4.4. Изготовление стального трубчатого лонжерона	153
11. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ	
ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ С УДАЛЕНИЕМ ПРИПУСКА.....	156
11.1. Совершенствование инструментальных материалов	156
11.1.1. Совершенствование конструкций инструмента.....	158
11.1.2. Методы повышения стойкости инструмента	161
11.2. Высокоскоростная обработка резанием	163
11.2.1. Модернизация станочного оборудования.....	166
11.3. Компьютеризация процессов обработки	167
11.3.1. Этапы разработки УП обработки	168
11.3.2. Визуализация последовательности процесса обработки	172
11.3.3. Координатные измерения заготовок и деталей	173
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	177