

ЛЕКЦИЯ 1 (2 ЧАСА)

ТЕМА: КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ – ОСНОВА РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вопросы:

- 1. Общие требования к качеству продукции.**
- 2. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя детали**
- 3. Характеристики материалов.**
- 4. Основные виды термической обработки**

Вопрос 1. Общие требования к качеству продукции.

В понятие услуги или продукции входит результат производственных процессов или деятельности (нематериальная или материальная продукция), например, какое-либо изделие, компьютерная программа, инструкция, проект и другое, так и любая деятельность, например, предоставление определенных услуг или выполнение процессов. В сущности, услуга является видом продукции, аналогичным самому изделию.

Основные международные и отечественные стандарты, определяющие требования в области качества, практически не делают из них различий. Но если речь идет о выпуске промышленной продукции, то под основным качеством нужно понимать именно ее характеристики. Из самого определения понятия качества можно сделать вывод, что, в первую очередь, это понятие динамическое. Очевидно, что по прошествии какого-то времени потребности и основные требования могут изменяться, следовательно, время от времени необходимо пересматривать и требования, предъявляемые к качеству. Кроме того, так как качество является общей совокупностью свойств и характеристик, требуются определенные показатели для их описания, а для оценки — количественные характеристики, а также создание системы менеджмента качества.

Качество — категория физическая. Поэтому основные требования к качеству продукции формируются на этапе опытно-конструкторских проектов и разработок и маркетинговых исследований. Все это выражается в тех же сертификатах качества, которые и содержат основные нормы, и которых должны придерживаться производители. Например, основываясь на результатах проведенных исследований или на предыдущем опыте эксплуатации опытного образца техники, конструкторы определяют новые требования в рабочих чертежах изделия, которые определяются в виде уточнения геометрических параметров основных элементов детали, а также ее поверхностей, параметров химических и физических свойств поверхности, которые влияют на износостойкость и прочность трущихся деталей, герметичность соединений, взаимозаменяемость сборочных единиц и отдельных деталей.

Аналогично и маркетологи, основываясь на последних анализах прогнозируемого и настоящего спроса на рынке сбыта, формулируют основные требования к качеству продукции, которым должна полностью

соответствовать выпускаемая продукция в ближайшей или максимально отдаленной перспективе. И если на рынке созданы такие условия, что предложение намного превышает спрос, то только высокое качество продукции будет тем основным фактором, которое и определит конкурентоспособность. Как свидетельствуют данные последних проведенных исследований, более 25 процентов коммерческих неудач предлагаемой продукции вызвано именно ее техническим несовершенством и отсутствием эффективной системы менеджмента безопасности пищевой продукции.

Свойство продукции можно определить как ее объективную особенность, проявляющееся при ее создании, потреблении или эксплуатации. Основные показатели качества — это количественные характеристики нескольких или одного свойства, которые в общем и составляют ее качество. Они рассматриваются применительно к основным условиям ее создания, потребления или эксплуатации.

Основные требования к качеству продукции должны отвечать следующим параметрам:

- способствовать полному обеспечению соответствия качества потребностям населения и экономики;
- быть стабильно высокими;
- принимать во внимание современные разработки и достижения науки и техники, а также основные направления мирового рынка и технических процессов;
- характеризовать основные свойства продукции, оказывающие влияние на ее качество;
- предоставлять возможность оценить все свойства и характеристики изделия на всех этапах его жизненного цикла — проектирование, изготовление, маркетинг, применение и эксплуатация.

В зависимости от требований, которые предъявляются к изделиям, а также от их назначения, их качество нельзя охарактеризовать единственным показателем. На практике применяется целая система менеджмента качества и показателей, и на ее формирование и использование оказывают влияние самые разные факторы — многоплановость, степень сложности и новизны, разнообразие условий использования и т.д.

Вопрос 2 Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя детали. Качество поверхности - это совокупность всех её служебных свойств и, в первую очередь, износоустойчивости, коррозионной стойкости, усталостной прочности, а также некоторых других свойств. Качество поверхности оценивается двумя параметрами:

- физическими характеристиками;
- геометрическими характеристиками.

Физические характеристики - это микроструктура, микротвердость

и поверхностные напряжения на поверхности детали. Физическая характеристика. Под влиянием механических и тепловых воздействий поверхностный слой материала детали приобретает свойства, существенно отличающиеся от физико-механических свойств основной части материала. В зависимости от условий обработки и степени воздействия тепла глубина деформированного поверхностного слоя различна и колеблется от нескольких микрон до нескольких сотен микрон (после грубой обработки).

Причины измененных физических свойств.

1. При воздействии режущего инструмента на обрабатываемой материал, его поверхностный слой подвергается пластической деформации, сопровождающейся упрочнением и изменением некоторых физических свойств, а именно: разрушением и вытягиванием (переориентацией) кристаллических зерен металла; изменением микроструктуры, в следствии деформации кристаллической решетки; возникновением явлений наклепа.

2. Выделяющаяся в зоне резания теплота (при нагреве до ЮОО° С и более) мгновенно нагревает также и поверхностные слои металла до высоких температур. Быстрое охлаждение эмульсией, маслами и т.п. СОЖ приводит к явлениям микрозакалки, т.е.к резкому местному повышению твердости в поверхностном слое. Косой срез позволяет определить глубину поверхностного слоя по твердости.

3. Оба эти явления влекут за собой появление остаточных напряжений в поверхностном слое - растягивающих или сжимающих, поскольку основные слои металла остаются в процессе резания холодными. Поверхностные или остаточные напряжения всегда будут сжимающими при обкатывании шарами и роликами и растягивающими при шлифовании. Величина их достигает 50-100 кг/мм².

Характеристика поверхностного слоя получается разной при разных методах обработки. Различной она получается и для разных по вязкости обрабатываемых материалов. Физические свойства поверхностного слоя в большей степени влияют на эксплуатационную характеристику данной поверхности.

Физически нарушенный поверхностный слой материала при различных методах обработки составляет, примерно:

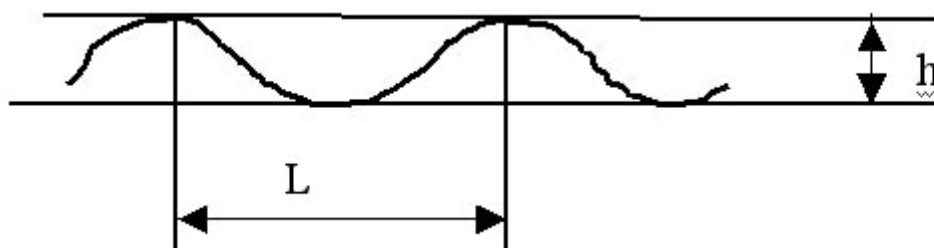
Точение черновое	60-120мкм.
Точение получистовое	20-50мкм.
Точение чистовое	20-30мкм.
Точение тонкое (алмазное)	5-10мкм.
Шлифование черновое	20мкм.
Шлифование чистовое	5-15мкм.
Развертывание	5-10мкм.
Фрезерование чистовое	20-50мкм.

Сверление и рассверливание 25-70мкм.

Физические характеристики в чертеже детали можно уточнить по марке материала и приведенного стандарта на материал. Конструктор имеет право уточнить требования и по физическим характеристикам. Например указать требование на повышенную твердость поверхностного слоя. (Калить HRC).

Геометрические характеристики.

Геометрические характеристики - это параметры отклонения поверхности от идеальной, заданной. Поверхность может быть неплоской, овальной, с огранкой и т.п. Поверхность можно в увеличенном виде изобразить в виде волнистой линии.



$$K = L / \underline{h}$$

Рисунок 1. Геометрическая характеристика обрабатываемой поверхности.

Геометрическая характеристика обработанной поверхности определяется наличием:

1. Макронеровностей - погрешностей формы, причины появления которых рассмотрены выше. $K > 1000$.
2. Волнистости - совокупности неровностей на поверхности, которые образуются в связи с колебаниями или относительными колебательными движениями (вибрациями) в системе "станок-приспособление-инструмент-деталь", вследствие недостаточной жесткости. $K > 50$.
3. Шероховатости - совокупности микронеровностей на поверхности, которые образуются как результат того или иного принятого метода обработки этой поверхности и создающей рельеф поверхности. $K < 50$.
4. Субмикронеровностей - неровностей на впадинах и выступах микронеровностей.

Все перечисленные отклонения от теоретической формы поверхности должны укладываться в поле допуска.

На шероховатость поверхности утвержден стандарт ГОСТ 2789-73. Он распространяется на шероховатость материалов обработанных способами, обеспечивающими: $Ra \sim 0,08-100$ мкм, $Rz = 0,025 - 1600$ мкм при шаге $S = 0,002 - 12,5$ мм. Требования шероховатости должны быть обоснованы. Если требования отсутствуют - шероховатость контролю не подлежит.

Требования не должны учитывать дефектов поверхности (раковины,

трещины и т.п.), которые должны оговариваться особо. Устанавливается 6 параметров шероховатости поверхности.

1. Ra - среднее арифметическое отклонение профиля.
2. Rz - высота неровностей профиля по 10 точкам.
3. Rmax - наибольшая высота неровностей профиля.
4. Sn - средний шаг неровностей.
5. Sm - средний шаг неровностей по вершинам линии.
6. tr - относительная опорная длина профиля. Определяется на заданном уровне сечения профиля.

Стандартом регламентированы также возможные случаи направления штрихов поверхностей - их характеристика, а также требования об обработке резанием. Конструктор имеет право требовать то или иное направление микронеровностей для поверхностей: параллельные, перпендикулярные, перекрещивающиеся, кругообразное, радиальное и т.п.

Обозначение шероховатостей:



- обозначение шероховатости вид обработки, которой конструктором не устанавливается;



- обозначение шероховатости образованной удалением слоя материала (точение, шлифование и др.);



- обозначение шероховатости образованной без удаления слоя материала (литье,ковка и др.)

Обе характеристики качества поверхности - физические и геометрические - в значительной степени влияют на эксплуатационные свойства.

1. Износостойкости поверхностей деталей в значительной степени способствует упрочнение поверхностного слоя - наклеп. Это уменьшает смятие и истирание, препятствует развитию совместной пластической деформации металлов трущихся деталей, вызывающих "схватывание" (холодную сварку). Начальный износ при неправильно выбранной шероховатости может достичь 65-75% высоты неровностей шероховатости.

2. Точность сопряжения подвижных посадок и их стабильность также зависит от шероховатости поверхностей, что является следствием рассмотренного выше. При неправильно выбранной шероховатости дополнительный зазор за счет начального износа может сразу перевести посадку в другой квалитет или в другую посадку.

3. Прочность соединений при применении прессовых посадок снижается при увеличенной высоте шероховатостей за счет смятия неровностей.

4. Усталостная прочность при повышенной шероховатости снижается. Однако, чем больше прочность материала тем в меньшей степени сказывается шероховатость. Наклеп повышает усталостную прочность (предел выносливости).

5. Антикоррозионная стойкость повышается с понижением шероховатости, что объясняется механизмом разрушения.

Технологическое обеспечение качества поверхности зависит от:

- правильного выбора маршрута обработки детали;
- выбора оборудования по степени точности;
- расчета припусков;
- выбора оснастки (приспособлений, мерительного, режущего и вспомогательного инструмента);
- режимов обработки;
- соблюдения технологических режимов.

Вопрос 3. Характеристики материалов.

1. **Литейные свойства** — характеризуют способность материала к получению из него качественных отливок.

2. **Жидкотекучесть** – характеризует способность расплавленного металла заполнять литейную форму.

3. **Усадка (линейная и объемная)**– характеризует способность материала изменять свои линейные размеры и объем в процессе затвердевания и охлаждения. Для предупреждения линейной усадки при создании моделей используют нестандартные метры.

4. **Ликвация** – неоднородность химического состава по объему.

5. Способность материала к обработке давлением — это способность материала изменять размеры и форму под влиянием внешних нагрузок не разрушаясь. Она контролируется в результате технологических испытаний, проводимых в условиях, максимально приближенных к производственным. Листовой материал испытывают на перегиб и вытяжку сферической лунки. Проволоку испытывают на перегиб, скручивание, на навивание. Трубы испытывают на раздачу, сплющивание до определенной высоты и изгиб. Критерием годности материала является отсутствие дефектов после испытания.

6. **Свариваемость** — это способность материала образовывать неразъемные соединения требуемого качества. Оценивается по качеству сварного шва.

7. **Способность к обработке резанием** — характеризует способность материала поддаваться обработке различным режущим инструментом. Оценивается по стойкости инструмента и по качеству поверхностного слоя. Ударная вязкость. Определение ударной вязкости. Испытания на ударную вязкость.

Твердость металлов. Твердость по Шору. Твердость по Бринеллю. Твердость по Виккерсу. Твердость по Роквеллу.

Эксплуатационные свойства характеризуют способность материала работать в конкретных условиях.

1. **Износостойкость** – способность материала сопротивляться поверхностному разрушению под действием внешнего трения.
2. **Коррозионная стойкость** – способность материала сопротивляться действию агрессивных кислотных, щелочных сред.
3. **Жаростойкость** – это способность материала сопротивляться окислению в газовой среде при высокой температуре.
4. **Жаропрочность** – это способность материала сохранять свои свойства при высоких температурах.
5. **Хладостойкость** – способность материала сохранять пластические свойства при отрицательных температурах.
6. **Антифрикционность** – способность материала прирабатываться к другому материалу.

Вопрос 4. Основные виды термической обработки

К основным видам термической обработки относятся:

- ✓ Отжиг;
- ✓ Нормализация;
- ✓ Закалка;
- ✓ Отпуск.

Рассмотрим каждый вид термической обработки, классификацию, режимы и назначение.

ОТЖИГ. Отжигом называется термическая обработка, при которой производится нагрев до определенной температуры с последующей выдержкой и медленным охлаждением вместе с печью. Назначение отжига получение однородной, равновесной структуры, свободной от остаточных напряжений. На практике используют два принципиально различных вида отжига: отжиг I рода и отжиг II рода.

Отжиг I рода. Особенностью всех разновидностей отжига I рода является то, что все они не связаны с фазовыми превращениями в твердом состоянии стали и протекают независимо от того, идут при этом фазовые превращения или нет. Отжиг I рода включает:

1. Диффузионный отжиг применяют для устранения химической неоднородности, возникающей при кристаллизации металла. Этому отжигу подвергают слитки и отливки из легированной стали для устранения ликвации, которая повышает склонность стали при обработке давлением к трещинообразованию. Нагрев при диффузионном отжиге проводят до максимально высоких температур, так как при этом наиболее интенсивно происходят диффузионные процессы, необходимые для выравнивания в отдельных объемах состава стали. Обычно для легированных сталей температуру диффузионного отжига выбирают в интервале 1050 - 1250 °С.
2. Рекристаллизационный отжиг заключается в нагреве деформированной стали выше температуры начала рекристаллизации, выдержке при этой

температуре и последующем медленном охлаждении. Рекристаллизационный отжиг применяют для устранения наклепа после холодной пластической деформации. При проведении этого отжига главным процессом является рекристаллизация металла. Рекристаллизационный отжиг используют в промышленности как промежуточный процесс между операциями холодного деформирования (для снятия наклепа).

3. Низкий отжиг для снятия внутренних напряжений проводят с целью уменьшения остаточных напряжений, образовавшихся в металле при ковке, литье, сварке и способных вызвать коробление и разрушение детали. Главным процессом, проходящим при отжиге для снятия внутренних напряжений, является полная или частичная релаксация остаточных напряжений. На практике отжиг стальных изделий для снятия напряжений проводят в температурном интервале 200 – 700 °С с последующим медленным охлаждением.

Отжиг II рода. Отжиг II рода – термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали до температур выше критических точек A_{c1} или A_{c3} , выдержке и, как правило, в последующем медленном охлаждении. Отжиг II рода основан на прохождении фазовых превращений в твердом состоянии – превращении $\gamma \rightarrow \alpha$ – и поэтому часто называется фазовой перекристаллизацией. При фазовой перекристаллизации измельчается зерно и устраняются неблагоприятные структуры стали. В большинстве случаев отжиг II рода является подготовительной термической обработкой – в процессе отжига снижается твердость и прочность, что облегчает обработку резанием средне- и высокоуглеродистых сталей. Неполный отжиг инструментальных сталей предшествует окончательной термической обработке. Существуют следующие виды отжига II рода:

1. Полный отжиг применяется для доэвтектоидных сталей и состоит в нагреве стали на 30 – 50 °С выше точки A_{c3} , выдержке при этой температуре до полной перекристаллизации металла и медленном охлаждении. При таком отжиге образуется мелкое аустенитное зерно, из которого при охлаждении формируется равномерная мелкозернистая феррито-перлитная структура.

2. Неполный отжиг широко применяется для заэвтектоидных углеродистых и легированных сталей. При неполном отжиге проводится нагрев до температур немного выше (на 10 – 30 °С) точки A_1 , что приводит к практически полной перекристаллизации стали и получению зернистой формы перлита вместо обычной пластинчатой. Отжигу на зернистый перлит подвергают также тонкие листы и прутки из низко- и среднеуглеродистой стали перед холодной штамповкой или волочением для повышения пластичности. После отжига на зернистый перлит эвтектоидные и заэвтектоидные стали обладают наилучшей обрабатываемостью резанием.

НОРМАЛИЗАЦИЯ. При нормализации сталь нагревают до температуры на 30 – 50 °С выше линии GSE и охлаждают на воздухе. Ускоренное по сравнению с обычным отжигом охлаждение обуславливает несколько большее переохлаждение аустенита. Поэтому при нормализации получается

более тонкое строение перлита и более мелкое зерно. В результате прочность стали после нормализации становится больше прочности после отжига. Нормализацию применяют чаще всего в следующих случаях: как промежуточную операцию для смягчения стали перед обработкой резанием и общего улучшения структуры стали перед закалкой. Нормализацию используют и как окончательную термическую обработку средне- и высокоуглеродистых доэвтектоидных сталей, если требования к свойствам этих сталей умеренные и для них не обязательна закалка с высоким отпуском.

ЗАКАЛКА. Закалка стали состоит в нагреве ее выше температур фазовых превращений, выдержке для завершения всех превращений и охлаждении с высокой скоростью в закалочной среде с целью получения структуры мартенсита, обеспечивающего более высокую прочность и твердость стали. В качестве закалочных сред используют жидкости разной плотности (вода, масло). В зависимости от температуры нагрева различают:

1. Полная закалка – нагрев на 30–50 °С выше A_{c3} , выдержка, охлаждение в закалочной среде. Полная закалка используется для доэвтектоидных сталей. После полной закалки получается мартенситная структура.

2. Неполная закалка – нагрев на 30–50 °С выше A_{c1} , выдержка, охлаждение в закалочной среде. Неполная закалка используется для заэвтектоидных сталей. После неполной закалки образуется структура мартенсит и цементит вторичный.

Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк. – 2004. – 415 с.
4. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.
5. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.

ЛЕКЦИЯ 2 (2 ЧАСА)
ТЕМА: МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ И
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы:

1. Основные понятия и определения. Классификация методов обработки

2. Электрофизические методы обработки материалов

Вопрос 1. Основные понятия и определения. Классификация методов обработки

Электрод – проводник (в виде пластинки, стрежня) и т.п., через который электрический ток вводится в жидкость или газ.

Диэлектрики – вещества, обладающие низкой удельной электрической проводимостью; практически не проводят электрический ток (воздух, стекло, различные смолы, сера и т.д.).

Жидкие диэлектрики – жидкости, удельное электрическое сопротивление которых превышает 10^{10} Ом·см.

Ионы – электрически заряженные частицы, образующиеся из атомов (молекулы) в результате потери или присоединения одного или нескольких электронов. Положительно заряженные ионы называются катионами, отрицательно заряженные ионы - анионами.

Физическое поле – область пространства, где проявляют себя физические, достоверно зарегистрированные и точно измеренные силы.

Электромагнитное поле – особая форма материи, посредством которой осуществляется воздействие между электрическими заряженными частицами

Магнитное сопротивление — относительное сопротивление материала или вакуума прохождению магнитного потока (величина, обратная магнитной проводимости).

Магнитная проводимость — величина, характеризующая прохождение магнитного потока через материал или вакуум (величина обратная магнитному сопротивлению).

Проводимость — техническая система, проводящая и преобразующая через себя энергию без потерь. Передача энергии от одной части системы к другой может быть *вещественной* (вал, шестерня и т. д.), *полевой* (магнитное поле, электрический ток и т. д.) и *вещественно-полевой* (поток заряженных частиц).

Анод — электрод электронного либо электротехнического прибора или устройства, характеризующийся тем, что движение электронов во внешней цепи направлено от него (к катоду).

Катод — электрод электронного либо электротехнического прибора или устройства, характеризующийся тем, что движение электронов во внешней цепи направлено к нему (от анода).

Конденсатор электрический — система из двух или более электродов (обкладок), разделенных диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами электродов (обкладок).

Электролитическая диссоциация (электролиз) — распад вещества на ионы при растворении (распад происходит под воздействием полярных молекул растворителя).

Электролиты — вещества, растворы которых проводят электрический ток ионами, образующимися в результате электролитической диссоциации.

Сильные электролиты — электролиты, степень электролитической диссоциации которых в растворах близка к единице или равна ей.

Слабые электролиты — электролиты, степень электролитической диссоциации которых в растворах значительно меньше единицы и сильно меняется с изменением концентрации раствора.

На рис. 1 показана классификация наиболее распространенных методов электрофизических и электрохимических методов обработки (ЭФХМО) материалов, широко используемых в машиностроении.

К ЭФХМО обычно относят все нетрадиционные методы обработки деталей, обеспечивающие снятие припуска с заготовки; они обычно заменяют или дополняют традиционные способы обработки материалов, способствуя их совершенствованию и расширению области применения.

ЭФХМО можно разделить на три основные группы:

- первая группа — *электрофизические методы*, использующие высококонцентрированные источники мощности. При концентрации плотности мощности, достигающей $10^5 \dots 10^8$ Вт/см² на локальном участке поверхности, энергия электрического тока или электромагнитного поля преобразуется в зоне обработки в тепловую, определяющую объем и удаление припуска стружки в жидком или парообразном состоянии. При этом высокая концентрация достигается благодаря локализации выделяющейся энергии в пространстве и времени при подводе энергии через канал разряда, луч лазера, поток плазмы или электронный луч;
- вторая группа — *электрохимические методы*, основанные на одновременном преобразовании по всей обрабатываемой поверхности электрической энергии в химическую энергию; при этом анодное растворение или катодное осаждение происходит при значительно меньшей мощности источника энергии (примерно $10 \dots 10^4$ Вт/см²), подводимой непрерывно или импульсно;
- третья группа — *комбинированные* процессы обработки, в которых сочетается одновременно или последовательно использование нескольких видов процессов, эффективно дополняющих друг друга собственными энергетическими воздействиями.

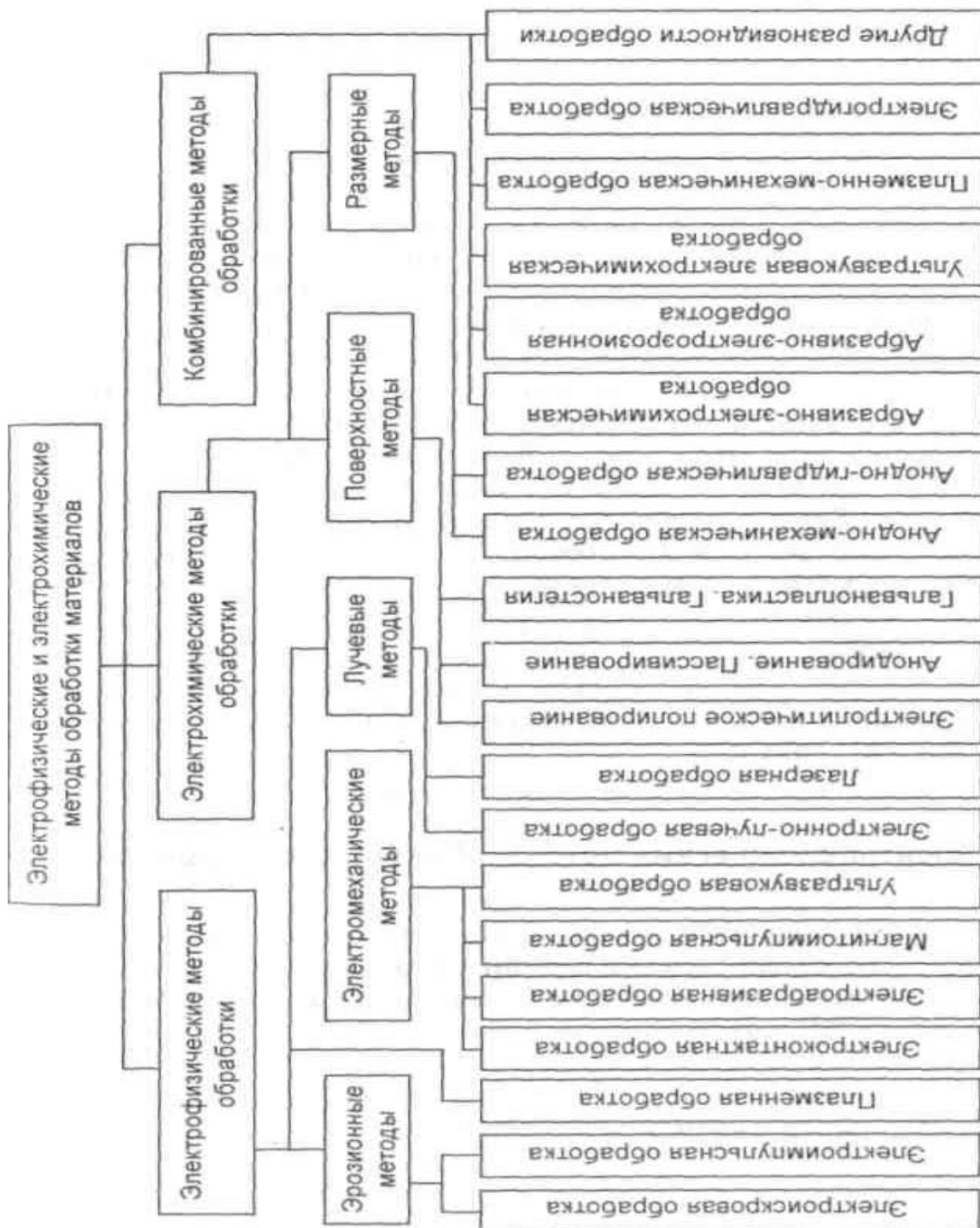


Рисунок 2. Классификация методов обработки металлов

Электрофизические и электрохимические методы обработки - это методы обработки конструкционных материалов непосредственно электрическим током, электролизом и их сочетанием с механическим воздействием.

К эф и эх.м. о. относят также методы ультразвуковые, плазменные и ряд других методов.

С разработкой и внедрением в производство этих методов сделан принципиально новый шаг в технологии обработки материалов - электрическая энергия из вспомогательного средства при механической обработке (осуществление движения заготовки, инструмента) стала **рабочим агентом**.

Всё более широкое использование эф. и эх. м. о. в промышленности обусловлено их высокой производительностью, возможностью выполнять технологические операции, недоступные механическим методам обработки. Э. и э. м. о. весьма разнообразны и условно их можно разделить на электрофизические (электроэрозионные, электромеханические, лучевые), электрохимические и комбинированные.

Подобная классификация может быть детализирована по различным признакам, например:

орудия труда — по характеру обрабатываемого материала, обслуживаемого технологического процесса, управления этим процессом;

предметы труда — по происхождению материалов (природные, искусственно созданные), роли в производственном процессе (сырье, вспомогательные материалы, топливо и др.);

энергетические средства — по видам первичного энергетического ресурса, способам преобразования энергии, характеру двигателей

технологические процессы — по характеру методов формообразования и обработки, которым подвергаются предметы труда (механическая, химическая, лучевая, звуковая и др.)

управление производством - по характеру орудий и методов (ручные, механические, автоматические), управляемых процессов (непрерывные, дискретные и т.п.).

К электрофизическим и электрохимическим методам обработки материалов относятся электрохимические, электрохимикомеханические (анодно-механические), электроэрозионные, электрогидравлические, электронно-лучевые, плазменные, ультразвуковые, светолучевые и др.

Вопрос 2. Электрофизические методы обработки.

Электроэрозионная обработка основана на вырывании частиц материала с поверхности импульсом электрического разряда. Если задано напряжение (расстояние) между электродами, погруженными в жидкий диэлектрик, то при их сближении (увеличении напряжения) происходит пробой диэлектрика - возникает электрический разряд, в канале которого образуется плазма с высокой температурой.

Электроэрозионные методы особенно эффективны при обработке твёрдых материалов и сложных фасонных изделий. При обработке твёрдых материалов механическими способами большое значение приобретает износ инструмента. Преимущество электроэрозионных методов (как и вообще всех Э. и э. м. о.) состоит в том, что для изготовления инструмента используются более дешёвые, легко обрабатываемые материалы. Часто при этом износ

инструментов незначителен. Например, при изготовлении некоторых типов штампов механическими способами более 50% технологической стоимости обработки составляет стоимость используемого инструмента. При обработке этих же штампов электроэрозионными методами стоимость инструмента не превышает 3,5%. Условно технологические приёмы электроэрозионной обработки можно разделить на прошивание и копирование. Прошиванием удаётся получать отверстия диаметром менее 0,3 мм, что невозможно сделать механическими методами. В этом случае инструментом служит тонкая проволока. Этот приём на 20-70% сократил затраты на изготовление отверстий в фильерах, в том числе алмазных. Более того, электроэрозионные методы позволяют изготавливать спиральные отверстия. При копировании получила распространение обработка ленточным электродом (*рис. 3*). Лента, перематываясь с катушки на катушку, огибают копир, повторяющий форму зуба. На грубых режимах лента "прорезает" заготовку на требуемую глубину, после чего вращением заготовки щель расширяется на нужную ширину. Более распространена обработка проволочным электродом (лента заменяется проволокой). Этим способом, например, можно получать из единого куска материала одновременно пуансон и матрицу штампа, причём их соответствие практически идеально. Возможности электроэрозионной обработки при изготовлении деталей сложной формы видны из *рис. 4*. Другие её разновидности: размерная обработка, упрочнение инструмента, получение порошков для порошковой металлургии и др. См. также Вихрекопировальная обработка.

Первый в мире советский электроэрозионный (электроискровой) станок был предназначен для удаления застрявшего в детали сломанного инструмента (1943). С тех пор в СССР и за рубежом выпущено большое число разнообразных по назначению, производительности и конструкции электроэрозионных станков. По назначению (как и **металлорежущие станки**) различают станки универсальные, специализированные (см., напр. *рис. 5*) и специальные, по требуемой точности обработки - общего назначения, повышенной точности, прецизионные. Общими для всех электроэрозионных станков узлами являются устройство для крепления и перемещения инструмента (заготовки), гидросистема, устройство для автоматического регулирования межэлектродного промежутка (между заготовкой и инструментом). Генераторы соответствующих импульсов (искровых или дуговых) изготавливаются, как правило, отдельно и могут работать с различными станками. Основные отличия устройств для перемещения инструмента (заготовки) в электроэрозионных станках от таковых в металлорежущих станках - отсутствие значительных силовых нагрузок и наличие электрической изоляции между электродами. Гидросистема состоит из ванны с рабочей жидкостью (технического масла, керосин и т. п.), гидронасоса для прокачивания жидкости через межэлектродный промежуток и фильтров для очистки жидкости, поступающей в насос, от продуктов эрозии.

Электроимпульсный станок отличается от электроискрового практически только генератором импульсов. Советская промышленность выпускает генераторы различного назначения. Развитие техники полупроводниковых приборов позволило создать генераторы, обеспечивающие изменение параметров импульсов в широких пределах. Например, у советского генератора ШГИ-125-100 диапазон частот следования импульсов 0,1-100 кГц, длительность импульсов 3-9000 мксек, максимальная мощность 7,5 кВт, номинальная сила тока 125 а. Диапазон рабочих напряжений, вырабатываемых для электроискровой обработки, - 60-200 в, а для электроимпульсной - 20-60 в. Современные электроэрозионные станки - высокоавтоматизированные установки, зачастую работающие в полуавтоматическом режиме.

Т. к. длительность используемых в данном методе обработки электрических импульсов не превышает 10^{-2} сек, выделяющееся тепло не успевает распространиться в глубь материала и даже незначительной энергии оказывается достаточно, чтобы разогреть, расплавить и испарить небольшое количество вещества. Кроме того, давление, развиваемое частицами плазмы при ударе об электрод, способствует выбросу (эрозии) не только расплавленного, но и просто разогретого вещества. Поскольку электрический пробой, как правило, происходит по кратчайшему пути, то прежде всего разрушаются наиболее близко расположенные участки электродов. Т. о., при приближении одного электрода заданной формы (инструмента) к другому (заготовке) поверхность последнего примет форму поверхности первого (рис. 2). Производительность процесса, качество получаемой поверхности в основном определяются параметрами электрических импульсов (их длительностью, частотой следования, энергией в импульсе). Электроэрозионный метод обработки объединил электроискровой и электроимпульсный методы.

Электроэрозионная обработка - это один из видов электроискровой обработки металлов, который заключается в выравнивании предварительно заряженных отрицательным и положительным зарядом частиц. Варьируя расстояние между электродами, можно увеличивать или уменьшать напряжение, вырабатывая необходимую реакцию. При этом разрушаются только лишь наиболее близкие зоны, а остальная поверхность не нагревается. Другими словами данная обработка связана с вырыванием частиц материала с поверхности, при помощи импульса электрического разряда. Заданное напряжение (расстояние) между электродами, которые погружены в жидкий диэлектрик, при их сближении (увеличении напряжения) способствует пробую диэлектрика. В канале возникшего электрического разряда образуется плазма высокой температуры, что и позволяет выполнять электроэрозионную обработку.

За последние годы электроэрозионные работы: обработка и резка не только окончательно закрепили свои позиции в современном инструментальном производстве, но и продолжает развиваться быстрыми

темпами в направлении улучшения качественных показателей и предложения новых конструктивных решений. Данный вид обработки дает заметный эффект в работе с твердыми материалами и производстве изделий со сложной и индивидуальной геометрией. Электроэрозионная резка металла позволяет изготавливать детали самых различных конфигураций. Правильно подобрав форму электрода и рассчитав необходимое воздействие, можно получить детали высокой степени точности.

Сущностью процесса электроэрозионной резки является воздействие на деталь искровых разрядов, образующихся вследствие протекания импульсного тока с частотой в районе 240 кГц между электродом-проволокой и деталью, находящимися в непосредственной близости друг от друга в среде жидкого диэлектрика. В результате этих разрядов из материала детали выбиваются микрочастицы, которые выносятся из межэлектродного зазора (GAP) струей диэлектрика. Кроме этого, диэлектрик играет роль катализатора процесса распада, так как при высочайшей температуре разряда диэлектрик в зоне эрозии превращается в пар. Происходит дополнительный микровзрыв пара, который не может сразу выйти из межэлектродного зазора.

Электроэрозионная обработка. За последние годы электроэрозионная обработка не только окончательно закрепила свои позиции в современном инструментальном производстве, но и продолжает развиваться быстрыми темпами в направлении улучшения качественных показателей и предложения новых конструктивных решений.

Открытие формообразующего воздействия электрической эрозии на токопроводящие материалы состоялось в 1943 году и принадлежит нашим соотечественникам - супругам Б. и Н. Лазаренко. Когда повсюду в мире в 50-х годах лучшие умы всерьез взялись за эту технологию, чья-то советская руководящая воля свернула перспективные разработки и ввергла нас в отставание на многие десятки лет в области электроэрозионной обработки. Ну что же, как это не горько, поговорим об успехах других.

Диэлектрик в электроэрозионной обработке. Советские исследователи, супруги Лазаренко, которые впервые и открыли возможность использования явления электрической эрозии для обработки токопроводящих материалов, в качестве диэлектрика вначале использовали окружающий воздух. Однако скоро выяснилось, что производные минеральных масел имеют в этом плане несравнимые преимущества: сила разряда - больше, можно работать с меньшими искровыми промежутками, что улучшает точность операции. Новый материал диэлектрика также позволил увеличить частоту разрядов и лучше вымывать частички эродированного металла.

С 1960 года на рынок стали выходить химические компании, предлагающие специальные составы для использования в электроэрозионных установках.

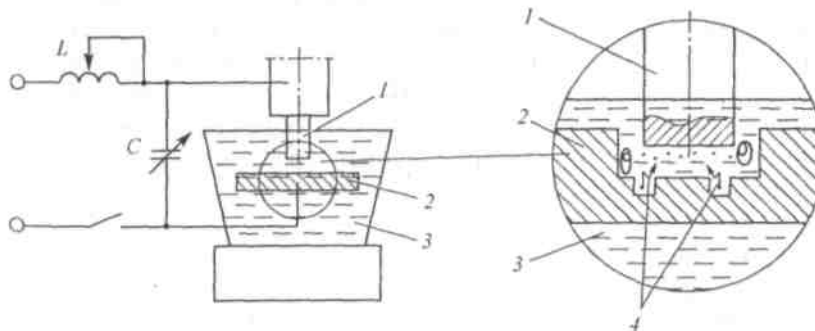
Электроды - инструмент и заготовка - закреплены оснасткой станка и не соприкасаются друг с другом. Генератор электрических импульсов задает

периодичность и напряженность электрического поля вокруг электродов. Во время процесса электроискрового воздействия серия периодических блуждающих электрических разрядов снимает тончайший слой материала с заготовки. В точке, где напряженность электрического поля достигает максимума, происходит электрический разряд - молния в "микроатюре". Под действием электрического поля электроны и свободные положительные ионы разгоняются до высоких скоростей и моментально образуют ионизационный туннель, обладающий электрической проводимостью. Возникает электроток, и между электродом и заготовкой образуется искровой разряд, приводящий к столкновениям элементарных частиц. Во время этого процесса образуется газовый пузырек, давление которого непрерывно нарастает до образования плазменной зоны.

Плазменная зона быстро достигает сверхвысоких температур - от 8000 до 12000°C - благодаря нарастающему числу столкновений элементарных частиц. Этот процесс приводит к моментальному плавлению микрослоев вещества у электрода. При исчезновении электрического поля внезапное снижение температуры приводит к взрыву плазменного пузырька, что сопровождается отрывом части материала с заготовки, и к образованию на этом месте микроскопического кратера. Эродированный материал затем формируется заново в виде маленьких сфер, которые вымываются жидкостью-диэлектриком. При очень коротком разрядном импульсе в движение приводится больше отрицательно заряженных частиц, нежели положительно заряженных. Чем больше частиц определенного заряда движутся к электроду, тем больше тепла вырабатывается на его поверхности. Из-за большего размера положительные частицы способствуют выработке большего тепла при тех же скоростях бомбардировки электрода-цели. Чтобы минимизировать снятие материала заготовки или износ инструмента, полярность выбирается таким образом, чтобы как можно больше тепла высвобождалось со стороны заготовки до завершения разряда. Для чего при коротких разрядах электрод-инструмент соединяется с отрицательной клеммой и, таким образом, имеет отрицательную полярность. При длительных разрядах, наоборот, электрод-инструмент подключается к положительному полюсу. На протяженность импульса, при которой должна поменяться полярность на заготовке и электроде-инструменте, влияет целый ряд факторов, в большей степени зависящих от физических параметров инструмента и свойств материала электрода. Когда идет обработка стали медным электродом, продолжительность периодического генерируемого импульса составляет порядка 8 микросекунд.

Электроискровая обработка была предложена советскими учёными Н. И. и Б. Р. Лазаренко в 1943 году. Она основана на использовании **искрового разряда**. При этом в канале разряда температура достигает 10000 С, развиваются значительные гидродинамические силы, но сами импульсы относительно короткие и, следовательно, содержат мало энергии, поэтому воздействие каждого импульса на поверхность материала невелико. Метод

позволяет получить хорошую поверхность, но не обладает достаточной производительностью. Кроме того, при этом методе износ инструмента относительно велик (достигает 100% от объёма снятого материала). Метод используется в основном при прецизионной обработке небольших деталей, мелких отверстий, вырезке контуров. твердосплавных штампов проволочным электродом (см. ниже).



Электроимпульсная обработка основана на использовании импульсов **дугового разряда**. Предложена советским специалистом М. М. Писаревским в 1948. Этот метод стал внедряться в промышленность в начале 1950-х гг. В отличие от искрового, дуговой разряд имеет температуру плазмы ниже (4000-5000С), что позволяет увеличивать длительность импульсов, уменьшать промежутки между ними и т. о. вводить в зону обработки значительные мощности (несколько десятков *квт*), т. е. увеличивать производительность обработки. Характерное для дугового разряда преимущественно разрушение катода приводит к тому, что износ инструмента (в этом случае он подключается к аноду) ниже, чем при электроискровой обработке, составляя 0,05-0,3% от объёма снятого материала (иногда инструмент вообще не изнашивается). Более экономичный электроимпульсный метод используется в основном для черновой обработки и для трёхкоординатной обработки фасонных поверхностей. Оба метода (электроискровой и электроимпульсный) дополняют друг друга.

Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк. – 2004. – 415 с.

ЛЕКЦИЯ 3 – 2 ЧАСА
ТЕМА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫРЕЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ
ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы:

- 1. Проволочная электроэрозионная резка (wire electric discharge machining)**
- 2. Процесс копировально-прошивочной обработки**
- 3. Метод прошивки и копирования**

Проволочная электроэрозионная резка (wire electric discharge machining)

Вопрос 1. Проволочная электроэрозионная резка (wire electric discharge machining)

Технология электроэрозионной обработки продолжает развиваться по двум основным направлениям: проволочная электроэрозионная резка (wire electric discharge machining) и копировально-прошивная электроэрозионная обработка (ram (die sinking) electric discharge machining).

Проволочная электроэрозионная резка. Проволочная резка начала свое развитие с чистого листа в начале 70-х годов. Глобальное совершенствование процесса пришлось на период с середины 80-х до середины 90-х годов.

Прогресс обозначился по шести ключевым направлениям известного соотношения цена-качество:

- скорость обработки;
- размер заготовки;
- угол конусной резки;
- цена;
- точность;
- длительная работа без вмешательства человека.

Функции диэлектрика: Электроизолирующая. Диэлектрик должен разделять заготовку и электрод. Искровой разряд должен происходить в максимально узком промежутке между заготовкой и электродом, что позволяет сделать процесс производительным и точным.

Ионизационная. За очень короткое время необходимо создать все условия для формирования электрического поля. После импульса зона разряда должна быть очень быстро деионизирована для возможности повторного разряда. Диэлектрик должен способствовать максимальному сужению искровой зоны, чтобы добиться высокой плотности энергии в этой зоне.

Охлаждающая. Искровой разряд имеет сверхвысокую температуру, поэтому диэлектрик должен остудить и электрод, и заготовку. Также важно увести металлические газы, образующиеся в процессе электроэрозии.

Промывочная. Чтобы избежать электрического пробоя диэлектрик должен эффективно удалять эродированные крупинцы металла.

Скорость. Номинальная максимальная скорость резки на сегодняшний день превышает 300 кв. мм/мин, (в лабораторных условиях реализована скорость вырезки 600 кв. мм/мин.). Конечно, средняя скорость резки в реальных производственных условиях ниже номинальных величин, однако и это впечатляет по сравнению с показателями четвертьвековой давности (25-30 кв. мм/мин.). Появление новых сплавов для проволоки может отодвинуть и эти рубежи.

Размер заготовки. Максимальные размеры заготовок, пригодных для обработки на вырезных станках, по осям X и V достигают метра и даже больше (1300-1380 мм - по оси X). Однако особенно сильно за последние десятилетия вырос габаритный размер заготовки по оси Z, который сейчас доходит до 400 мм. До этой же отметки поднялись и координатные перемещения по оси Z. Всего этого удалось добиться благодаря новым конструктивным решениям, объединившим принципы неподвижности заготовки и более точной и жесткой реализации осевых движений.

Угол конусной резки. В современных установках достигаются углы вырезки конических отверстий до 30 градусов для заготовок толщиной до 400 мм. Более того, некоторые фирмы в качестве опциона предлагают установки с возможностью достижения конусности до 45 градусов. Такие возможности позволили с начала 90-х годов значительно расширить область применения электроэрозионной резки. Так, если раньше головки для экструзионных установок собирались из набора отдельно обработанных тонких пластин, то новые возможности электроэрозионных станков позволили изготавливать экструзионные головки из одной заготовки и за одну операцию. За счет этого удалось значительно снизить объем скрапа и увеличить производительность экструзионного процесса.

Цена. За более чем четверть века непрерывных работ на порядок улучшились характеристики вырезных станков, в то время как за этот же период оборудование подешевело приблизительно на 75% (с учетом фактора инфляции). Целый ряд обстоятельств способствовал снижению цены. Электронная начинка оборудования вобрала много решений, пришедших из компьютерной индустрии, которые уже тогда отличались прекрасным соотношением цена-качество - возросшая вычислительная мощь за меньшие деньги. Сильно увеличился объем производства электроэрозионного оборудования, что повысило эффективность таких производств. Кроме того, все новые и новые технические решения также способствовали планомерному снижению цен на установки.

Точность. Еще в 70-х и начале 80-х годов оператору станка приходилось вначале делать пробный рез образца и затем корректировать первоначальные настройки, прежде чем выйти на точные геометрические размеры изделия.

Искровые промежутки. Искровой промежуток разделяет заготовку и электрод. Даже при малой глубине обработки различают два типа промежутка: фронтальный и боковой. Фронтальный задается системой

управления, в то время как боковой искровой промежуток зависит от продолжительности и высоты разрядного импульса, сочетания материалов, напряжения холостого хода и других заданных параметров. Блок питания является важнейшим элементом электроэрозионной установки. Он преобразует переменный ток из силовой сети в прямоугольные импульсы определенной полярности. Размер импульсов и интервал между ними задается системой управления в соответствии с выполняемым режимом обработки. Сила тока разряда пропорциональна высоте импульса. Интервал между импульсами соответствует моменту отсутствия искрового разряда, а протяженность импульса соответствует длительности искрового разряда. Обе эти величины составляют тысячные или даже миллионные доли секунды.

Интервал между отдельными импульсами (длительность отсутствия электрического тока) также задается системой управления. Интервал измеряется в процентном отношении собственной длительности к длительности импульса.

Теперь все эти мытарства остались в прошлом и сегодняшняя точность станков достигает 0,001 мм.

Вовлечение современных информационных технологий (CAD/CAM - системы) в технологический процесс также позволило увеличить точность обработки - новые установки со всем комплексом современного оснащения гарантировали повторение заложенной в программе геометрии с большой степенью точности.

Как уже отмечалось, современные модели станков на 75% дешевле своих ранних предшественников, в то же самое время они в 3-5 раз точнее.

Длительная работа без вмешательства человека. В 70-х годах электроэрозионные установки могли работать целыми часами без вмешательства оператора - тогда скорости резки были слишком малыми. В современных условиях, когда значительно возросли скорости обработки, практически полностью безлюдное производство обеспечивается за счет использования продвинутых систем автоматизации: устройства автоматической заправки проволоки, поиска отверстия, предотвращения обрыва проволоки, системы автоматизированной загрузки заготовок, удаления перемычек и т. д.

Износ электрода. Эрозия при малом токе снимает мало материала заготовки, тогда как большой ток позволяет добиться больших скоростей снятия материала. Однако и износ инструмента возрастает, особенно при обработке стали медными электродами. Графитовые электроды ведут себя иначе - износ до определенного момента растет, затем более или менее стабилизируется.

Короткие импульсы также приводят к ускоренному износу электрода. И наоборот, износ идет значительно медленней при длинных импульсах. На практике, при черновой обработке стали медным и графитовым инструментом оптимальная величина длительности импульса лежит на отрезке, на одном конце которого длительность импульса с максимальным

съемом, а на другом - длительность импульса с минимальной интенсивностью износа инструмента.

Вопрос 2. Процесс копировально-прошивочной обработки.

Впервые об электроэрозионных станках стало известно с появлением в 1955 году первой копировально-прошивочной установки с ручным управлением. Возможности станков были значительно улучшены к концу 70-х годов, когда применение спутников позволило значительно уменьшить время цикла и число используемых электродов. Примерно в 1980 году была представлена первая модель станка с CNC-управлением. К этому времени процесс копировальной прошивки уже успел претерпеть все возможные усовершенствования, и характеристики прошивочных CNC-станков улучшались более медленными темпами по сравнению с более "молодыми" проволочно-вырезными станками. Наиважнейшим усовершенствованием по сравнению с ранними станками с ручным управлением было не столько само время цикла, сколько число рабочих часов, необходимых для образования заданной полости в материале.

Ранее было замечено, что в случае проволочной резки увеличение производительности и снижение производственных затрат в большей степени достигалось благодаря скорости резания. Что касается электроэрозионной прошивки, то соответствующие улучшения были достигнуты благодаря существенному увеличению количества часов, которые способен работать CNC-станок в течение дня. Обе технологии много выиграли от снижения нормочасов на каждой детали. Переход с ручного управления на числовое программное позволил станкам работать практически всю первую смену, интенсивно во вторую и третью в безлюдном режиме. Если для станка с ручным управлением наиболее типичной является работа в течение 6 часов, то в случае станка с CNC-управлением реально выполнимой задачей может быть 16 часов. Хотя на многих производствах достигаются и более высокие показатели. Цена. Ведущие производители прошивочных станков предлагают сегодня CNC-станки (без системы автоматической смены инструмента и оси C) примерно по той же цене, по которой в середине 70-х продавались станки с ручным управлением (инфляция учитывается). Даже если добавить стоимость необходимых опций, то скорректированная цена такого нового станка примерно будет равна цене станка 70-х с ручным управлением, который оснащен спутником. Любое повышение цены будет существенно перевешиваться снижением времени цикла, нормочасов и увеличением времени, которое оборудование реально работает в течение суток.

Точность обработки. Учитывая характер процесса формообразования при электроэрозионной прошивке, точность обработки в большей степени будет зависеть от качества и точности изготовления электрода. Графит - более дешевый и удобнопобавляемый материал - в сочетании с современными технологиями высокоскоростной фрезерной обработки позволяет получать электроды большой сложности и высокой точности.

Определенные успехи были достигнуты и в отношении плоскостности обработанных поверхностей. Например, суммарное отклонение для прямоугольной полости 150x200 мм, полученной на современном станке, составляет всего 0,008 мм.

Электромеханическая обработка (ЭМО)

— высокоэффективная технология поверхностного упрочнения концентрированными потоками энергии, основанная на комплексном термомеханическом воздействии при пропускании электрического тока большой плотности (10^8 - 10^9 А/м²) и низкого напряжения (2-6 В) через зону контакта детали и деформирующего электрода-инструмента (ролика или пластины), движущихся во взаимноперпендикулярных направлениях со скоростью V и подачей S .

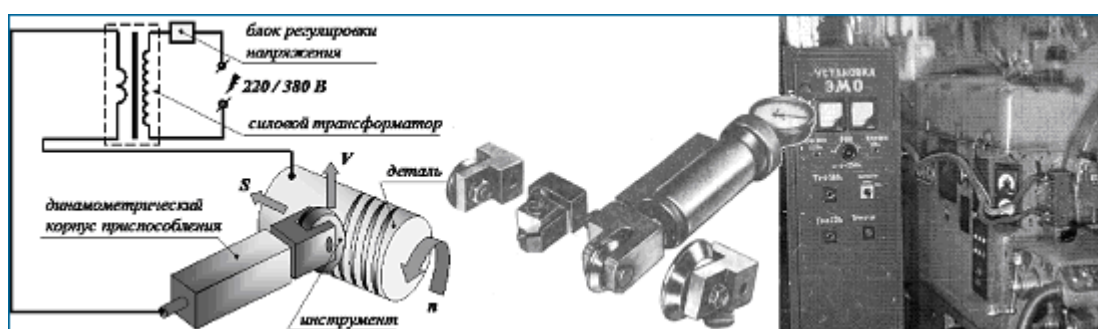
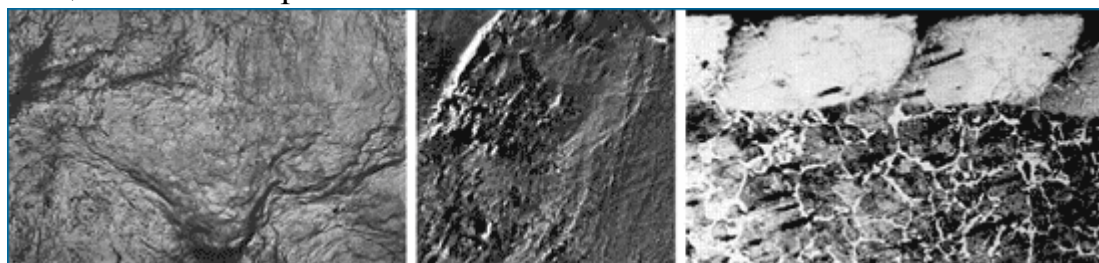


Рисунок Схема и технологический комплекс электромеханической обработки.

При этом, в результате выделения большого количества джоулева тепла, происходит высокоскоростной (10^6 °C/с) нагрев локального микрообъема поверхности с одновременным его пластическим деформированием и последующее интенсивное охлаждение (10^5 °C/с) за счет отвода тепла в глубь металла. В результате мощного теплового «удара» на поверхности материала формируется упрочненный «белый слой» — уникальная мартенситная структура (гарденит, наноструктурный мартенсит), обладающая высокой прочностью и износостойкостью.



Металлографическая структура белого слоя (электронная, растровая и оптическая микроскопия)

Назначение

Основным назначением ЭМО является обработка поверхностей металлических изделий с целью повышения их эксплуатационных свойств — износостойкости, усталостной прочности, коррозионной стойкости и др.,

например: повышение износостойкости подвижных сопряжений в 2-6 раз, в зависимости от условий трения и износа; повышение усталостной прочности на 30-70% и долговечности (более чем на порядок) деталей, работающих при циклических нагрузках; повышение контактной выносливости (например, для стали ШХ15 в 1,8-2 раза по сравнению с нитроцементацией).

Области применения

- упрочнение на глубину до 0,2 мм наружных и внутренних поверхностей цилиндрических и плоских стальных деталей с повышением микротвердости поверхности до 4 раз и одновременным снижением шероховатости на 1-2 класса;
- упрочнение поверхностного слоя деталей на глубину 0,2-5 мм с последующей отделкой поверхности шлифованием или обкаткой;
- упрочнение зубчатых колес, шлицевых валов, гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания, поршневых колец, резьбы ходовых винтов, шеек крупногабаритных валов;
- электромеханическое восстановление размеров обрабатываемой поверхности за счет горячей пластической высадки некоторого объема металла из зоны обработки;
- импульсное электромеханическое упрочнение, обеспечивающее формирование регулярных структур поверхностного слоя с распределением прочностных и пластических свойств по локальным объемам поверхности в соответствии с конкретными условиями эксплуатации;
- комбинированная обработка концентраторов напряжений, включающая электромеханический отпуск и последующее поверхностное деформирование (ППД);
- формирование режущих кромок лезвийного инструмента с применением глубокого упрочнения ЭМО изделий с ограниченным теплоотводом;
- обработка плазменных покрытий с формированием аморфной и наноструктуры упрочняющих частиц и повышения адгезионной и когезионной прочности покрытия до уровня монолитных материалов.

Основные преимущества

- экологическая чистота и электробезопасность процессов обработки, отсутствие излучений (в том числе, и вторичного рентгеновского излучения) и выделения вредных веществ;
- отсутствие необходимости в применении флюсов, поглощающих покрытий, защитных газов, вакуума, электролитов и других специальных расходных материалов;
- отсутствие окисления и обезуглероживания обрабатываемой поверхности, связанное с тем, что процесс

упрочнения протекает в закрытой зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью;

- высокое качество (низкая шероховатость) упрочненной поверхности;
- обработка изделий различной конфигурации и типоразмера с получением необходимого качества, возможность обработки пустотелых, длинных нежестких деталей без коробления (ввиду того, что зона высокотемпературного нагрева локализована в точке контакта инструмента с поверхностью), а также крупногабаритных деталей;
- «индивидуальный подход» к обработке каждой конкретной поверхности с учетом условий эксплуатации и схемы нагружения, возможность обработки поверхности с формированием заданного распределения физико-механических свойств по ее локальным объемам, а также создание регулярных дискретных структур и регулярных микрорельефов поверхности;
- обработка ограниченных участков без воздействия на соседние, использование для местного нагрева под последующую обработку;
- возможность гибкого и быстрого изменения режимов и схемы обработки, а также смены инструмента, незначительные затраты на изготовление, обслуживание и эксплуатацию оборудования;
- возможность использования в качестве заключительного (отделочно-упрочняющего) перехода механической обработки, решающего в то же время задачи специальных операций (термообработки и отделки).

Литература

1. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.
2. Черепяхин А.А. Технология обработки материалов: учебник. – М.: Академия, 2012. – 272 с.
3. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.
4. Берлин Е. В., Сейдман Л. А., Коваль Н. Н. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. 2012. - 425с.
5. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с

ЛЕКЦИЯ 5 -2 ЧАСА
ТЕМА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Вопросы:

1. Технологический процесс магнитно-абразивной обработки
2. Факторы, влияющие на качество процессов МАО

Вопрос 1. Технологический процесс магнитно-абразивной обработки

Одним из перспективных способов финишной абразивной обработки металлических поверхностей является магнитно-абразивная обработка (МАО), основанная на использовании незакрепленных абразивных частиц, ориентирующихся и удерживаемых в рабочей зоне силами магнитного поля.

Схема МАО цилиндрических поверхностей деталей дана на рисунке 4.13. Обрабатываемая деталь 1 помещается с зазорами между полюсными наконечниками 3 электромагнитов. В зазоры подается порошок 2, обладающий магнитными и абразивными свойствами [53]. Детали сообщается вращательное движение и осциллирующее движение вдоль горизонтальной оси.

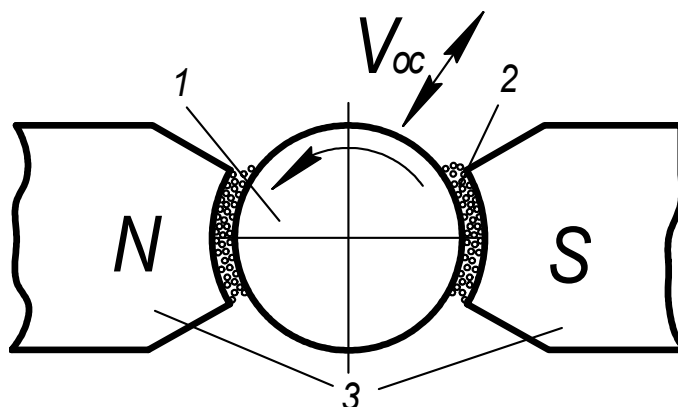


Рисунок 4.13 – Схема магнитно-абразивной обработки цилиндрических поверхностей: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – ферромагнитный порошок; 3 – полюсный наконечник

Силами магнитного поля частицы порошка удерживаются в рабочих зазорах и прижимаются к поверхности детали. При задании детали вращательного и осциллирующего движений происходит абразивная обработка поверхности. В рабочую зону подается смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ). В данном случае функции силового источника и упругой связки выполняет энергия магнитного поля. Степень упругости связки регулируется изменением напряженности магнитного поля, что позволяет рассматривать МАО как процесс шлифования свободно-ориентированным абразивом.

В процессе магнитно-абразивной обработки большие выступы зерна контактируют с обрабатываемой поверхностью преимущественно по вершинам гребешков, являющихся концентраторами силовых линий магнитного поля. В результате этого обработка производится постоянно обновляющимися острыми кромками при ориентации частиц свободного абразива в магнитном поле.

Перед магнитно-абразивной обработкой детали шлифовались до Ra 0,63 – 1,25 мкм. Обработка производилась магнитно-абразивным порошком Ж15КТ зернистостью 100/160. В качестве СОЖ применялся 5 %-й раствор эмульсола Э2 в воде.

Постоянными факторами в экспериментах при MAO были приняты скорость осцилляции образца $v_o = 0,2$ м/с, расходы порошка $q_n = 0,3$ г/(с·мм²) и СОЖ $q_{жс} = 0,04$ дм³/с. Статистическую модель MAO получали ЦКРУП экспериментов при $K = 5$.

Вопрос 2. Факторы, влияющие на качество процессов MAO

Параметрами оптимизации были приняты: $Y_1 - Q$ (масса снятого металла на единицу площади); $Y_2 - Ra$ (среднеарифметическое отклонение профиля), а независимыми переменными – факторы $X_1 - v$ (скорость главного движения), $X_2 - \tau$ (время обработки), $X_3 - A$ (амплитуда осцилляции), $X_4 - B$ (величина магнитной индукции), $X_5 - \delta$ (величина рабочего зазора). Затем для наиболее значимых технологических факторов рассматривались физико-механические параметры поверхностного слоя.

Модель, определяющая характер зависимости производительности (Q , г/дм²) и шероховатости (Ra , мкм) поверхности от технологических факторов, получена при статистической обработке результатов опытов:

$$\begin{aligned}
 Q = Y_1 = & 0,745 + 0,052X_1 + 0,130X_2 - 0,001 * X_3 + 0,125X_4 - \\
 & - 0,101X_5 - 0,002X_1X_2 + 0,008X_1X_3 + 0,014X_1X_4 + 0,038X_1X_5 + \\
 & + 0,016X_2X_3 + 0,005X_2X_4 - 0,013X_2X_5 + 0,001 * X_3X_4 + \\
 & + 0,030X_3X_5 + 0,046X_4X_5 - 0,026X_1^2 - 0,060X_2^2 - 0,012X_3^2 - \\
 & - 0,002X_4^2 + 0,008X_5^2;
 \end{aligned}
 \tag{4.26}$$

$$\begin{aligned}
 Ra = Y_2 = & 0,080 - 0,011X_1 - 0,031X_2 + 0,006X_3 - 0,006X_4 + \\
 & + 0,022X_5 - 0,001 * X_1X_2 - 0,003X_1X_3 + 0,006X_1X_4 - 0,004X_1X_5 - \\
 & - 0,007X_2X_3 - 0,017X_2X_4 - 0,005X_2X_5 + 0,002X_3X_5 + \\
 & + 0,009X_4X_5 + 0,005X_1^2 + 0,020X_2^2 + 0,003X_3^2 + 0,001X_4^2 + 0,009X_5^2.
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

7)

Выявлено, что коэффициенты регрессий, кроме отмеченных (*), значимы с 90 %-й доверительной вероятностью, параметр Q адекватен при 5 %-м, а Ra – при 10 %-м уровне значимости.

Графические отображения модели (4.26), (4.27) представлены на рисунках 4.14 и 4.15, (а) одномерными сечениями функций отклика Y_1 и Y_2 .

Анализ полученной модели позволил выявить степень влияния технологических факторов на параметры оптимизации (табл. 4.14).

Таблица 4.14 – Влияние технологических факторов на параметры производительности и качества магнитно-абразивной обработки

Факторы	Степень влияния факторов на параметры, %	
	$Q (Y_1)$	$Ra (Y_2)$
$v (X_1)$	12,71	14,47
$\tau (X_2)$	31,79	40,79
$A (X_3)$	0,25	7,89
$B (X_4)$	30,56	7,90
$\delta (X_5)$	24,69	28,95

Литература

1. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.
2. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.
3. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с
4. Самецкий Б. И. Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов, Л., 2002.
5. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин

ЛЕКЦИЯ 5 -2 ЧАСА
ТЕМА: ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Вопросы:

1. Электроконтактная обработка

2. Магнитоимпульсная обработка

3. Электрогидравлическая обработка

Вопрос 1. Электромеханическая обработка объединяет методы, совмещающие одновременное механическое и электрическое воздействие на обрабатываемый материал в зоне обработки. К ним же относят методы, основанные на использовании некоторых физических явлений (например, гидравлический удар, ультразвук и др.). Это электроконтактная, электроабразивная, магнитоимпульсная и ультразвуковая обработки материалов.

Электроконтактная обработка основана на введении в зону механической обработки электрической энергии - возбуждения мощной дуги переменного или постоянного тока (до 12 ка при напряжении до 50 в) между заготовкой, и диском, служащим для удаления материала из зоны обработки изделия (*рис. 2*).

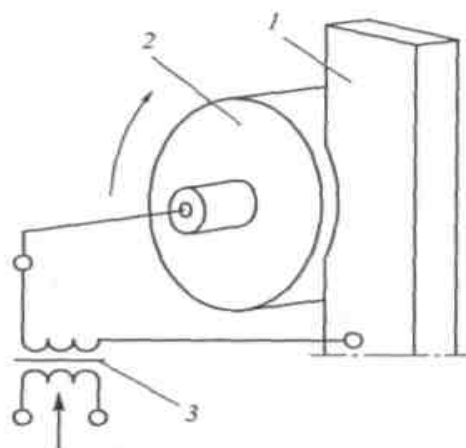


Рисунок 2 Электроконтактная обработка

1- заготовка, 2 – диск; 3- источник питания.

Применяется для обдирки литья, резки и других видов обработки, аналогичных по кинематике движений почти всем видам механической обработки.

Преимущества метода - высокая производительность (до 10^6 мм³/мин) на грубых режимах, простота инструмента, работа при относительно небольших напряжениях, низкие удельные давления инструмента - 30-50 кн/м² (0,3- 0,5 кгс/см²) и, как следствие, возможность использования для обработки твёрдых материалов инструмента, изготовленного из относительно мягких материалов.

Недостатки - большая шероховатость обработанной поверхности, тепловые воздействия на металл при жёстких режимах.

Разновидностью электроконтактной обработки является электроабразивная обработка.

Электроабразивная обработка - это обработка **абразивным инструментом** (в т. ч. алмазно-абразивным), изготовленным на основе электропроводящих материалов. Введение в зону обработки электрической энергии значительно сокращает износ инструмента. При электроабразивной обработке сьем металла осуществляется микрорезанием в условиях непрерывного эрозионного воздействия на рабочую поверхность круга-инструмента. Электрические разряды, генерируемые либо непосредственно между заготовкой и инструментом, либо между инструментом и специальным дополнительным электродом, обеспечивают вскрытие новых рабочих абразивных зерен, удаление стружки с поверхности инструмента (ликвидацию «засаливания») и разрушения стружки в объеме рабочей зоны. Эрозионный характер процесса носит упорядоченный характер, так как его интенсивность может регулироваться в достаточно широких пределах, что обеспечивает значительное повышение и стабилизацию во времени режущей способности инструмента, повышение в десятки раз периода его стойкости, снижение затрат мощности на трение.

Вопрос 2. Магнитоимпульсная обработка

Магнитоимпульсная обработка применяется для пластического деформирования металлов и сплавов (обжатие и раздача труб, формовка трубчатых и листовых заготовок, калибровка и т. п.) и основана на непосредственном преобразовании энергии меняющегося с большой скоростью магнитного поля, возбуждаемого, например, при разряде батареи мощных конденсаторов на индуктор, в механическую работу при взаимодействии с проводником (заготовкой) (*рис. 3*).

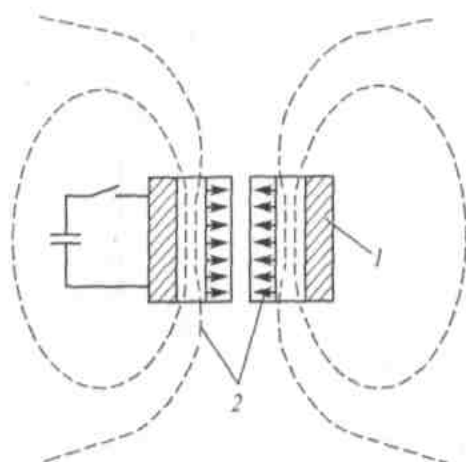


Рисунок 3 Схема магнитоимпульсной обработки: 1- индуктор; 2- заготовка; ---- магнитные линии; → - механические силы

Преимуществом метода можно считать отсутствие движущихся и трущихся частей в установках, высокая надёжность и производительность, лёгкость управления и компактность, наличие лишь одного инструмента - матрицы или пуансона (роль другого выполняет поле) и др.

Недостатки - относительно невысокий КПД, затруднительность обработки заготовок с отверстиями или пазами (мешающими протеканию тока) и большой толщины.

Вопрос 3. Электрогидравлическая обработка (главным образом штамповка). Основана на использовании энергии **гидравлического удара** при мощном электрическом (искровом) разряде в жидком диэлектрике (*рис. 8*). При этом необходимо вакуумирование полости между заготовкой и матрицей, поскольку из-за огромных скоростей движения заготовки к матрице воздух не успевает уйти из полости и препятствует плотному прилеганию заготовки к матрице. Метод прост, надёжен, но обладает небольшим КПД, требует высоких электрических напряжений и не всегда даёт воспроизводимые результаты.

К электромеханической обработке относится также ультразвуковая обработка.

Ультразвуковая обработка применяется для формообразования деталей из твердых и хрупких материалов (керамики, германия, кремния, феррита, твердого сплава, алмаза и др.) и основана на выкалывании частиц обрабатываемой детали при ударе о ее поверхность абразивных зерен, получающих энергию от инструмента, вибрирующего с высокой (выше 18 кГц) частотой. Зерна абразива вводятся в зону обработки в виде абразивной суспензии, которая содействует удалению из рабочего зазора продуктов разрушения материала обрабатываемого изделия и инструмента (*рис. 4*).

Механические колебания инструмента с высокой (ультразвуковой) частотой получают путем преобразования электрических колебаний в специальном электромеханическом преобразователе-

Преобразователь состоит либо из набора пластин магнетострикционного материала (никель, пермендюр), обладающего способностью изменять свои линейные размеры в переменном магнитном поле, либо из пьезокерамических пластин, изменяющих свои линейные размеры в переменном электрическом поле.

Инструменты изготавливаются из сталей, например 45, 40Х, У8А, У10А, 65Г и др. В качестве абразива применяются карбиды бора, кремния и алмазные порошки зернистостью № 3—10 по ГОСТ 3647.

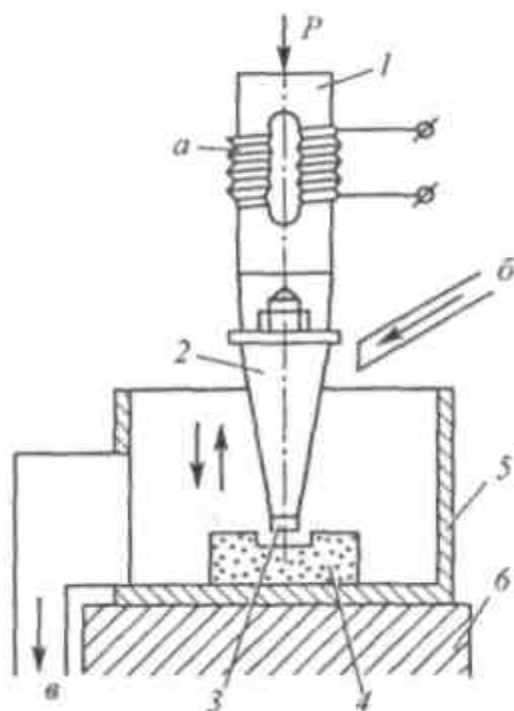


Рис. 4. Схема процесса ультразвуковой обработки: 1 — магнито-стрикционный преобразователь; 2 — ванна; 3 — стол ультразвукового станка; 4 — заготовка; 5 — инструмент; б — концентратор; а — подвод тока от генератора; б — подвод абразивной суспензии; в — отвод продуктов процесса и суспензии; P — сила прижима инструмента к заготовке

Абразивная суспензия подается в зону обработки свободно, под давлением или отсасывается из зоны обработки через отверстия в инструменте или обрабатываемом изделии, что повышает производительность обработки от 2—3 до нескольких десятков раз. Весовая концентрация абразива выбирается в диапазоне 30...40 % при свободной подаче абразивной суспензии и 20...25 % — при подаче ее под давлением и отсосе.

Для питания преобразователей ультразвуковых станков используются высокочастотные генераторы мощностью 0,05... ..2,5 кВт, работающие в диапазоне частот 22 или 44 кГц.

Ультразвуковой способ обеспечивает наибольшую производительность при обработке стекла до 5000 мм³/мин, а твердого сплава — до 600 мм³/мин; при этом качество поверхности соответствует получаемой при электрохимической обработке.

Относительный износ инструмента колеблется от 0,5 до 1 % (при обработке стекла, мрамора, кремния) до 40...60 % (при обработке твердых сплавов).

В некоторых моделях ультразвуковых станков предусмотрена частота вращения колеблющегося преобразователя 1000", благодаря чему появляется возможность ультразвуковой обработки безабразивной суспензии инструментом, шаржированным алмазными зёрнами, что позволяет

повысить скорость сверления круглых отверстий в хрупких материалах в 5—10 раз, а также точность обработки.

Ультразвуковая обработка применяется преимущественно для изготовления высадочных и чеканочных неразъемных твердоплавных штампов, вырезания заготовок из германия, кремния, керамики, клеймения, обработки алмазных и твердосплавных фильер и др.

Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк. – 2004. – 415 с.
4. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.
5. Черепяхин А.А. Технология обработки материалов: учебник. – М.: Академия, 2012. – 272 с.
6. Багдасарова Т.А. Технология фрезерных работ. – М.: Академия, 2010. - 128 с.
7. Багдасарова Т.А. Основы резания металлов: учебное пособие. – М.: Академия, 2012. – 80 с.
8. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.
9. Берлин Е. В., Сейдман Л. А., Коваль Н. Н. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. 2012. - 425с.

ЛЕКЦИЯ 6 (2 ЧАСА)

ТЕМА: ЛУЧЕВАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА

Вопросы:

- 1. Лучевая обработка, сущность и особенности**
- 2. Виды лучевой обработки**
- 3. Плазменная обработка**

Вопрос 1. Лучевая обработка, сущность и особенности. К лучевым методам обработки относится обработка материалов электронным пучком и световыми лучами.

Электроннолучевая обработка осуществляется потоком электронов высоких энергий (до 100 кэВ). К сведению, электрон-вольт — энергия, которую приобретает электрон при перемещении в электрическом поле в вакууме между точками с разностью потенциалов в 1 в; $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Таким путём можно обрабатывать все известные материалы (современная электронная оптика позволяет концентрировать электронный пучок на весьма малой площади, создавать в зоне обработки огромные плотности мощности).

Электроннолучевые станки могут выполнять резание (в т. ч. прошивание отверстий) и сварку с большой точностью (до 50). Основой электроннолучевого станка является электронная пушка. Станки имеют также устройства контроля режима обработки, перемещения заготовки, вакуумное оборудование. Из-за относительно высокой стоимости, малой производительности, технической сложности станки используются в основном для выполнения прецизионных работ в микроэлектронике, изготовления фильер с отверстиями малых (до 5 мкм) диаметров, работ с особо чистыми материалами.

Вопрос 2 . Виды лучевой обработки.

Электронно-лучевая обработка основана на том, что излучаемые катодом электроны (при глубоком вакууме) ускоряются в мощном электрическом поле и фокусируются в узкий пучок, направленный на обрабатываемую деталь (анод). При этом кинетическая энергия электронов преобразуется в тепловую, благодаря чему могут прошиваться малые (шириной или диаметром до нескольких десятков микрометров) отверстия, щели и т. п. Метод применяется при обработке микроотверстий в прецизионных деталях.

Лазерная обработка основана на том, что монохроматическое (Монохроматическое излучение (от др.-греч.μόνος — один, χρώμα — цвет) — электромагнитное излучение, обладающее очень малым разбросом частот, в идеале — одной частотой (длиной волны) высококонцентрированное излучение, генерируемое оптическим квантовым генератором (ОКГ), направляется оптической системой на обрабатываемое изделие. В зоне локализации излучения (диаметр светового пятна можно изменять от единиц до нескольких сотен микрометров) возникают высокие температура и давление, приводящие к испарению и эвакуации материала из

зоны обработки. Обработка может осуществляться в воздухе и вакууме как в импульсных, так и непрерывном режимах. В первом случае в основном используются твердосплавные ОКГ, во втором — газовые. С помощью лазерного луча могут быть получены отверстия, прорезы и щели диаметром или шириной 0,01... 1 мм при глубине до нескольких миллиметров.

Лазерный луч формируется и концентрируется на обрабатываемом изделии, вызывая нагрев, плавление, испарение или взрывное разрушение материала (рис. 5).

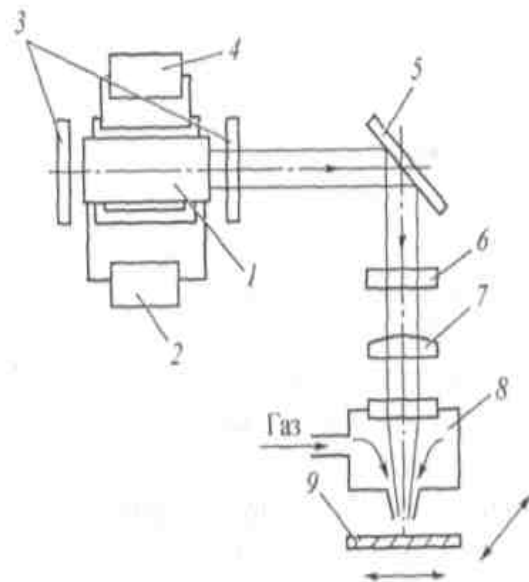


Рис. 5. Схема процесса лазерной обработки: 1 — активная среда; 2 — система накачки активной среды; 3 — резонатор; 4 — система охлаждения; 5 — зеркало; 6 — заслонка; 7 — фокусирующая система; 8 — система подачи газа; 9 — обрабатываемая деталь

В зоне излучения 1, 2 форма и диаметр светового пятна изменяются (от системы отражателей и зеркал 3, 5, 6, 7) от единиц до сотен микрометров и, в зависимости от температуры благодаря системе охлаждения 4 и давления 2, развиваемых на поверхности материала изделия 9, возможны исполнения вариаций различных видов лазерной обработки (прошивка отверстий, резание, сварка, термообработка и т. п.).

В зависимости от диаметра отверстий и их глубины производительность может меняться от 5 до 500 отверстий в минуту.

Лазерная обработка применяется преимущественно для изготовления отверстий в алмазных волокнах, металлических диафрагмах приборов и др.

Вопрос 3 Плазменная обработка.

К электрофизическим методам обработки относится также плазменная обработка.

Вещество может принимать три состояния – газообразное, жидкое и твердое. Плазма – это четвертое состояние, которое представляет собой ионизированный газ, который формируется из электронов, возбужденных и нейтральных атомов и молекул, заряженных ионов со знаком плюс. Вся внешняя поверхность нашей земной атмосферы полностью покрыта плазменной оболочкой – ионосферой. В повседневной жизни плазму можно увидеть в неоновых рекламных вывесках, электродуговых устройствах, лампах дневного света, при электросварке и в плазменной обработке металлов.

Плазму можно получить газообразным и изотермическим способом. Получение плазмы изотермическим способом связано с нагреванием газа до очень высоких температур, во время которых происходит его ионизация. Это связано с увеличением упругих соприкосновений атомов и молекул с образованием электронов и положительных ионов. При температуре в 5000 К градусов прекращается диссоциация молекул в положительные ионы и газ начинает переходить в состояние плазмы, это связано с разрушением внешних оболочек атомов на которых расположены электроны, которые постепенно исчезают, а другие свободные электроны, сталкиваясь с некоторыми атомами, ионизируют их и производят дальнейшее увеличение ионов. Растет число упругих столкновений, из-за которых повышается температура газа, которая в свою очередь формирует степень ионизации газа. При температуре большей нескольких десятков тысяч градусов, весь газ переформируется в плазму, в которой в основном только и находятся положительные ионы и электроны. В качестве источника теплоты, который сможет обеспечить указанную температуру в небольшие отрезки времени, используют электрические дуги.

Электрическая дуга – это разряд электронов в газах, представляющий собой между разнополярными электродными некоторый объем плазмы, на поверхностях которых образуются катодные пятна и анодные в местах контакта. Катодное пятно – это источник электронов, который производит ионизацию газа в разряде. Наоборот в анодной области формируется избыток положительных ионов, которые движутся к катоду. В столбе электрической дуги температура газа при атмосферном давлении приблизительно равна 5500-6000 К, а сама температура дуги повышается при увеличении давления газа. Электрический дуговой разряд при высокой температуре, сконцентрированной на малой площади, становится источником тепловой энергии. Это происходит во время плазменной сварки, электросварки и при других технологических процессах. Для плазменной обработки металлов, таких как резка, сварка, наплавка, предпочтение отдают дугам с прямым действием, а для обработки плазмой при нанесении покрытий используют косвенные дуги.

Плазменная обработка (ПО) - обработка материалов низко-температурной плазмой, генерируемой дуговыми или высокочастотными плазмотронами. При ПО изменяются форма, размеры и свойства

обрабатываемого материала или состояние его поверхности. ПО включает разделительную поверхностную резку, нанесение покрытий, наплавку, сварку и т. п.

Широкое распространение ПО получила вследствие высокой по промышленным стандартам температуры плазмы (примерно 10^4 К), большого диапазона регулирования мощности, возможного сосредоточения плазмы на обрабатываемом изделии. При этом эффект ПО достигается как тепловым, так и механическим действием плазмы (бомбардировкой изделия) частицами плазмы, движущимися с очень высокой скоростью.

Удельная мощность, передаваемая поверхности материала плазменной дугой, достигает $10^5 \dots 10^6$ Вт/см², в случае плазменной струи она составляет $10^3 \dots 10^4$ Вт/см². В то же время тепловой поток, если это необходимо, может быть рассредоточен, обеспечивая равномерный нагрев поверхности, что используется при наплавке и нанесении покрытий.

Плазматроны, используемые для резки наиболее просты в сравнении с плазматронами для других процессов, все потому, что в этом случае не нужно обеспечивать подачу порошков и газов через дополнительные встроенные приспособления.

При плазменной обработке металлов с помощью сварки, напыления, наплавки используется как прямая, так и обратная полярность. Но, все же, предпочтительнее производить эти процессы с помощью прямой полярности, когда электрод является катодом, в связи с этим температура катода значительно ниже, чем анода, и это обеспечивает их большой срок работы.

Плазменный газ для использования выбирается в зависимости от технологических условий, стоимости, качества, температуры. Для наплавки и сварки используется аргон, азот для меди, углекислый газ для стали или используют смеси этих газов. Для плазменной резки – воздух, воду и кислород.

Резка металлов осуществляется сжатой плазменной дугой, которая горит между анодом (разрезаемым металлом) и катодом плазменной горелки. Стабилизация и сжатие токового канала дуги, повышающее ее температуру, осуществляются соплом горелки и обдуваемым потоком плазмообразующего газа (Ar, N₂, H₂, NH₄ и их смеси.). Для интенсификации резки металлов используется химически активная плазма. Например, при резке воздушной плазмой O₂, окисляя металл, дает дополнительный энергетический вклад в процесс резки. Плазменной дугой режут нержавеющие и хромоникелевые стали, медь, алюминий и другие металлы и сплавы, не поддающиеся кислотной резке. Высокая производительность плазменной резки позволяет применять ее в поточных непрерывных производственных процессах. Мощность установок достигает 150 кВт. Неэлектропроводные материалы обрабатывают плазменной струей (дуга горит в сопле плазменной горелки между ее электродами).

Нанесение покрытий (напыление) производится для защиты деталей, работающих при высоких температурах, в агрессивных средах или

подверженных интенсивному механическому воздействию. Материал покрытия (тугоплавкие металлы, окислы, карбиды, силициды бора и др.) вводят в виде порошка или проволоки (20...100 мкм) в плазменную струю, в которой материал плавится и наносится на поверхность изделия. Плазменные покрытия отличаются пониженной теплопроводностью и хорошо сопротивляются термическим ударам. Мощность установки для напыления составляет 5...30 кВт, максимальная производительность 5... 10 кг напыленного материала в час. Для получения порошков со сферической формой частиц в плазменную струю вводят материал, частицы которого, расплавляясь, приобретают под действием сил поверхностного натяжения сферическую форму. Размер частиц можно регулировать в пределах от нескольких микрометров до 10 нм. Более мелкие порошки (ультрадисперсные) порошки с размерами частиц 10 нм и меньше получают испарением исходного материала в плазме и последующей конденсацией.

Свойства плазменной дуги глубоко проникать в металл используются для сварки металла. Благоприятная форма образовавшегося расплавленного металла «ванны» позволяет сваривать достаточно толстый металл (10... 15 мм) без специальной разделки кромок. Сварка плазменной дугой отличается высокой производительностью и, вследствие большой стабильности горения дуги, хорошим качеством. Маломощная плазменная дуга на токах 0,1...40 А удобна для сварки тонких листов (0,05 мм) при изготовлении мембран, теплообменников из Ta, Ni, V, W, Al.

Работа плазменной дуги обеспечивается с помощью осциллятора, который создает высокочастотный разряд искры между соплом и электродом, который формирует начальную ионизацию потока газа в течении маленького отрезка времени.

Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк. – 2004. – 415 с.
4. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.

ЛЕКЦИЯ 7
ТЕМА: ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Вопросы:

- 1. Лучевые методы обработки материалов**
- 2. Особенности и преимущества лазерной обработки**

Вопрос 1. Лучевые методы обработки материалов.

Заново переработан раздел, посвященный электрофизическим и электрохимическим способам обработки металлов и неэлектропроводных материалов. Впервые рассмотрены лучевые методы обработки металлов, т. е. обработка электронным лучом и световым лучом (лазером), а также контурная электроискровая обработка металлов и др. [с.3]

Одна из главных задач машиностроения — дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышение качества обработки деталей.

Особенно большое внимание уделяется чистовым и отделочным технологическим методам обработки, объем которых в общей трудоемкости обработки деталей постоянно возрастает.

Наряду с механической обработкой резанием применяют методы обработки пластическим деформированием, с использованием химической, электрической, световой, лучевой и других видов энергий. Весьма прогрессивны комбинированные методы обработки (рис. 6.1). [с.253]

Электронно-лучевой метод перспективен при обработке отверстий диаметром 1 мм—10 мкм, прорезании пазов, резке заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги. Обрабатывают заготовки из труднообрабатываемых металлов и сплавов, а также из неметаллических материалов рубина, керамики, кварца, полупроводниковых материалов.

Электронно-лучевым методом можно обрабатывать как электропроводящие, так и неэлектропроводящие материалы с любыми механическими свойствами. Однако предпочтительнее обработка деталей из электропроводящих материалов или деталей с токопроводящими покрытиями, так как в этом случае статический заряд отводится путем заземления детали. Наличие статического заряда оказывает дефокусирующее действие нанотоков электронов.

В последние годы в СССР и за рубежом проведены большие исследовательские работы, в результате которых в промышленности начали внедряться методы лучевой обработки материалов. Они успешно применяются при обработке закаленных сталей, твердых сплавов, труднообрабатываемых металлов вольфрама, молибдена, титана, тантала и др., а также алмазов, рубинов, кварца и прочих труднообрабатываемых материалов.

С помощью электронного луча можно получить поток энергии громадной концентрации (порядка 10 Вт на 1 см²). Скорость электронов в луче до 16 000 км/с. Электронно-лучевую обработку целесообразно применять для получения мелких отверстий в твердых труднообрабатываемых материалах и резки твердых заготовок. При этом методе обработки можно получить диаметр отверстия или ширину реза около 1 мкм. Электронно-лучевая обработка находит применение также для сварки и плавки металлов. Недостатком метода является необходимость проведения обработки в глубоком вакууме, что значительно усложняет процесс.

Основные тенденции развития непрерывных линий вакуумной металлзации следующие: применение электронно-лучевого метода для нагрева стальной полосы и испарения металла; улучшение равномерности толщины покрытия за счет правильного размещения нескольких испарителей средней мощности (50—80 кВт) и других специальных мер; резкое снижение потерь испаряемого металла путем применения экранов, разработки новых методов управления металлическими парами и рациональным размещением испарителей и полосы; применение камер промежуточного охлаждения в инертном газе; совмещение нанесения покрытий с последующей термической обработкой стали; увеличение срока службы материалов тиглей и катодов электронно-лучевых пушек; повышение надежности работы агрегата путем введения резервных блоков; улучшение контроля работы всех звеньев линии путем введения датчиков для непрерывного измерения основных параметров (толщины покрытия, температуры стали на всех участках линии, мощности электронно-лучевых пушек и т. п.); введение автоматического регулирования по заданной программе основных технологических параметров.

Лазерное воздействие на материалы сильно отличается от чисто механического или теплового, а также от сравнительно новых прогрессивных методов плазменной и электронно-лучевой обработки материалов. Во многих случаях оно эффективнее, целесообразнее, можно сказать даже логичнее. По-видимому, недалеко то время, когда в наших планах будет предусматриваться не только обеспечение промышленности электроэнергией, но и ее обеспечение лазерным излучением.

Названные процессы являются физической основой различных методов модификации структуры и свойств материалов под влиянием различных видов внешнего энергетического воздействия. При термической обработке — это тепловая энергия, при ионно-лучевой и ионно-плазменной — энергия потока ионов, при электронно-лучевой — энергия потока электронов и т.д.

Одним из видов нанесения защитных покрытий на детали из высокотемпературных материалов служит метод окунания в расплав [1]. Такой метод используется для кратковременной защиты покрытий при горячей обработке давлением молибдена и ниобия.

Для нанесения качественного покрытия необходимо определение оптимальных температур и состава расплава, при которых происходит удовлетворительное смачивание твердых металлов расплавом. Смачивание твердых молибдена и ниобия расплавами на основе алюминия исследовали на установке, позволяющей раздельный нагрев твердой и жидкой фаз [2]. Опыты проводили в среде гелия, температуру фиксировали платина — платинородиевой термопарой. В качестве объектов исследования использовали молибден и ниобий после электронно-лучевой плавки, алюминий чистоты 99,98% и порошки легирующих компонентов кремния, титана и хрома марки ч. д. а. Для экспериментов готовили навески одинаковой массы 500 мг. При достижении твердой подложкой температуры опыта навеска плавилась и соприкасалась с подложкой, время контакта при заданной температуре составляло 2 мин, по истечении которого каплю фотографировали аппаратом.

Лазерную обработку применяют для прошивания сквозных и глухих отверстий, разрезки заготовок на части, вырезания заготовок из листовых материалов, прорезания пазов. Этим методом можно обрабатывать заготовки из любых материалов, включая самые твердые и прочные. Например, лазерную обработку отверстий применяют при изготовлении диафрагм для электронно-лучевых установок. Диафрагмы изготавливают из вольфрамовой, танталовой, молибденовой или медной фольги толщиной 50 мкм при диаметре отверстия 20. .. 30 мкм. С помощью лазерного луча можно выполнить контурную обработку по аналогии с фрезерованием, т.е. обработку поверхностей по сложному периметру. Перемещениями заготовки относительно луча управляет система ЧПУ, что позволяет прорезать в заготовках сложные криволинейные пазы или вырезать из заготовок детали сложной геометрической формы.

Светолучевая (лазерная) размерная обработка использует для съема материала при формообразовании деталей сфокусированный поток электромагнитной энергии высокой мощности, сформированный оптическим квантовым генератором (ОКГ). Светолучевая (лазерная) обработка (СЛО) во многих случаях заменяет электронно-лучевую, так как лазерная обработка ведется на воздухе и не требует специальных вакуумных камер. Она позволяет обрабатывать любые материалы независимо от их твердости и вязкости. Метод используется для сверления отверстий, вырезания заготовок, фрезерования пазов и т. д.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями, позволяя соединить за один проход металлы и сплавы толщиной 0,1...400 мм. При этом наиболее перспективным является соединение изделий из тугоплавких металлов, из термически упроченных материалов, когда нежелательна, затруднена или невозможна последующая термообработка изделий после завершающей механической обработки при необходимости обеспечения минимальных сварочных

деформаций ряда ответственных крупногабаритных толстостенных и толстолистовых конструкций из сталей и легких сплавов, преимущественно в энергетическом и транспортном машиностроении, и др.

Ионно-лучевая обработка использует явление катодного распыления, возникающего при тлеющем газовом разряде. Электроны, эмитируемые катодом, ионизируют молекулы газа. Ионы ускоряются сильным электрическим полем и фокусируются в узком конусе, вершина которого находится на обрабатываемом изделии. Этим методом можно прошить в тонком листовом материале отверстия диаметром от 5 ж/с и выше. [с.19]

Приборы для обнаружения разломов, разрывов, трещин и других дефектов в материалах (стержнях, трубках, профилях, изделиях, прошедших механическую обработку, таких как винты, иглы и т.д.). Они действуют либо на основе наблюдения картины на электроннолучевом экране, получаемой от магнитных изменений, либо путем прямого считывания изменений магнитной проницаемости, указываемых на градуированной шкале, либо за счет использования ультразвуковых волн.

В последнюю группировку входят ультразвуковые приборы для контроля паяных или сваренных соединений, которые действуют на основе того принципа, что любой разрыв непрерывности в среде, через которую проходят ультразвуковые волны, отклоняет луч. Дефекты можно измерять либо путем наблюдения ослабления луча, либо с помощью методов отражения. Наблюдения можно проводить на экране электронно-лучевой трубки.

Физическая сущность лучевых методов обработки (электронного и светового) сводится к местному расплавлению и испарению материала обрабатываемой заготовки под влиянием очень большого количества тепла, выделяющегося в узлокальном пятне под действием резко сфокусированного пучка быстро движущихся электронов (при электронной) или квантов световой энергии (при световой обработке). Процессы позволяют обрабатывать металлы и неметаллы. Лучевые методы применяют для плавки весьма тугоплавких материалов в небольших объемах, а также для нанесения покрытий на детали путем испарения наносимого материала и осаждения его на поверхность детали. Плотность энергии, достигаемая при обработке электронным и световым методами, составляет 5–10 Вт/см при электронном пучке и 10^2 — 10^4 Вт/см² при световом луче.

В машиностроении часто возникают технологические проблемы, связанные с обработкой материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить механическими методами. К таким проблемам относится обработка весьма прочных, очень вязких, хрупких и неметаллических материалов, тонкостенных нежестких деталей, пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько микрометров, поверхностей деталей с малой шероховатостью или малой толщиной дефектного поверхностного слоя. Подобные проблемы решаются применением электрофизических и электрохимических (ЭФЭХ) методов

обработки, условная классификация которых дана на рис. 6.1. Для осуществления размерной обработки заготовок ЭФЭХ методами используют электрическую, химическую, звуковую, световую, лучевую и другие виды энергии.

Большинство этих методов характеризуется наличием промежуточных превращений электрической энергии в другие виды (световую, механическую) вне зоны обработки. В их числе электронно-лучевая обработка материалов обработка когерентным световым лучом большой мощности (с помощью квантово-оптических генераторов) магнитное формование— импульсное формоизменение силами магнитного поля электрофоретические методы плазменная обработка электрогидравлические методы и ряд других, широко изучаемых и осваиваемых в настоящее время. Технологические процессы, связанные с использованием ионизированных атомов для упрочняющей обработки поверхностей трения, например ионное азотирование, хорошо освоены современной промышленностью.

Ионно-лучевые технологии требуют применения вакуумной техники, высоких ускоряющих напряжений и в машиностроении стали широко использоваться лишь в последние два десятилетия. Очевидные преимущества этой группы методов включают легкость управления пучком заряженных частиц, возможность разгонять их до практически любой необходимой энергии и легко изменять вид используемых ионов, исключительную чистоту методов, воспроизводимость и контролируемость параметров обработки. Степень необходимого вакуума определяется средней длиной свободного пути частиц и требованиями к чистоте получаемых поверхностных структур. При давлении порядка 10 Па средняя длина свободного пути частиц исчисляется метрами.

В зависимости от энергии используемых частиц преобладающими оказываются процессы осаждения покрытий (энергия 10 —10 Дж), распыления обрабатываемой поверхности (10 —10 Дж), имплантации (10 — Дж). Рассмотрим кратко основные методы ионно-лучевой обработки материалов.

Получение, формирование ионных пучков и обработка материалов происходят в специально разработанных ионнолучевых установках. Разработка ионно-лучевых установок началась с решения исследовательских задач атомной и ядерной физики, реакторного материаловедения с последующим широким применением в электронной промышленности, освоением метода в оптической, медицинской промышленности, в машиностроении. В зависимости от назначения к установке могут предъявляться совершенно различные требования. В установках для исследовательских целей на первом плане стоит возможность получения различных ионных пучков, чистота экспериментальных условий — состав пучка, окружающей среды, точный контроль максимального числа экспериментальных параметров, в промышленных — надежность работы, простота.

Между методами обработки резанием и свойствами материалов существуют только энергетические взаимосвязи. Отсутствует влияние свойств материалов на процессы преобразования свойств деталей методами, основанными на использовании тепловой энергии, например, электроэрозионными, электронно-лучевыми методами, светолучевой обработки.

Методы обработки всякого рода хрупких и твердых материалов всегда были в технологии узким местом. Вполне понятно, что новый способ сразу привлек к себе внимание инженеров, явившись удачным дополнением к описанным выше немеханическим методам обработки— электроэрозионным, электрохимическим, электроннолучевым и лучевым.

Рассмотрены новейшие технологические методы получения и обработки материалов кислородно-конверторный способ получения стали применение жидкоподвижных смесей для изготовления литейных форм штамповка деталей с использованием магнитных импульсов и энергии взрыва применение алмазов в качестве режущего инструмента лучевая, ультразвуковая, электрохимическая и электрохимико-механическая обработка деталей. Изложены сведения о повышении точности заготовок и автоматизации процессов механической обработки. Приведены технико-экономические показатели отдельных технологических процессов.

Электронно-лучевой метод наиболее перспективен при обработке отверстий диаметром от 1 мм до 10 мкм, прорезании пазов, разрезании заготовок, изготовлении топких клепок и соток из фольги и т. д. Обрабатывают труднообрабатываемые металлы и сплавы (тантал, вольфрам, цирконий, коррозионно-стойкие стали), а также неметаллические материалы (рубины, керамику, кварц, полупроводниковые и другие материалы).

В последние годы создано большое количество новых конструкционных материалов (металлокерамических и минералокерамических, тугоплавких сплавов на основе вольфрама и др.), которые трудно обрабатывать металлическими инструментами. Такие материалы удастся обрабатывать лишь абразивным инструментом. Однако абразивные способы имеют ограниченные технологические возможности. Поэтому в машиностроении и приборостроении находят применение так называемые новые методы размерной обработки. К ним относятся электроэрозионный, электрохимический, ультразвуковой, электронно-лучевой, обработка световым лучом, химический, ионнооптический метод, обработка плазменной горелкой, обработка струей воды, выбрасываемой с большой скоростью (1200—2100 м/сек при огромном давлении — не менее 3500 кг/см из сопла с отверстием диаметром 0,05—0,5 мм), и обработка с использованием энергии выстрела и взрыва.

Ко второй группе методов, используемых для обработки как токопроводящих, так и нетокопроводящих материалов, относятся лучевые способы обработки, основанные на съеме материала при воздействии на него концентрированными лучами с высокой плотностью энергии. Как и

при электроэрозионной обработке, съём материала осуществляется при преобразовании этой энергии в тепло непосредственно в зоне обработки. Ключевым методам относится обработка сфокусированными световым электронным или ионным лучами.

Лучевой метод используется для обработки деталей из токопроводящих и нетокопроводящих материалов. Он основан на съеме материала при воздействии на него концентрированными лучами — энергоносителями с высокой плотностью энергии, и методы не требуют применения специального инструмента, обеспечивающего подведение энергии к месту обработки. Съём материала осуществляется при преобразовании энергии в тепло непосредственно в зоне обработки. Различают два метода обработки— световыми и электронными лучами.

Этот метод удачно дополняет известную группу немеханических методов обработки — электроэрозионный, электрохимический, электронно-лучевой и лучевой (лазерный). С его помощью удалось существенно упростить технологию изготовления фасонных деталей из твердых и хрупких материалов. Упростилась, например, технология вырезания пластин любой формы из керамики, кварца, полупроводников, стало возможно изготовлять отверстия любого профиля в хрупких материалах, упростилось изготовление матриц и пуансонов из твердых сплавов.

Во всех указанных и во многих других случаях эффективными являются методы формообразования, получившие общее название электрофизических и электрохимических методов размерной обработки материалов. Эти процессы обычно подразделяют на четыре группы электроэрозионные, при которых материал с заготовки удаляется в результате действия электрических разрядов электрохимические, использующие преобразование электрической энергии в энергию, которая затрачивается на анодное растворение заготовки лучевые, основанные на воздействии высококонцентрированных потоков энергии, и ультразвуковые, в которых обрабатываемый материал механически скалывается.

К четвертой группе относится электронно-лучевой метод, который пригоден для обработки деталей, изготовляемых из токопроводящих и нетокопроводящих материалов. Удаление материала осуществляется воздействием на него электронными лучами с высокой плотностью энергии.

Электронно-лучевой переплав на холодном подду. Задача процесса применительно к суперсплавам заключается в дополнительной очистке от примесных химических элементов и снижении загрязненности неметаллическими включениями. Сначала электронно-лучевую плавку под вакуумом применяли при капельном оплавлении и литье тугоплавких металлов.

Первые усилия по применению этого метода для производства суперсплавов дали неудовлетворительные результаты, так как в слиток попадали неоплавленные компоненты шихтовых материалов. Процесс

электронно-лучевого переплава на холодном поду был разработан с целью разрешения этих затруднений. Первая крупномасштабная установка построена в начале 1960-х гг., но применяли ее от случая к случаю и главным образом для обработки титана [8]. Позднее построили две новых крупных установки, и хотя их по-прежнему используют при производстве титановых материалов, можно с их помощью рафинировать и суперсплавы. Однако применительно к суперсплавам этот процесс все еще носит характер разработок.

Преимущества электронно-лучевой обработки обуславливают целесообразность ее применения возможность создания локальной концентрации высокой энергии, широкое регулирование и управление тепловыми процессами, обработка любых материалов, повышенная чистота среды, что позволяет обрабатывать легкоокисляющиеся активные материалы, отсутствие инструмента, обработка труднодоступных мест заготовок. Недостатком метода является относительная сложность и громоздкость оборудования.

Перечисленные задачи требуют создания ряда новых технологий, обуславливающих применение материалов с широким диапазоном механических свойств от твердых и хрупких до вязких и пластичных, что, в свою очередь, выдвигает новые проблемы при создании и использовании инструментов различного типа от абразивного до лезвийного алмазного с высоким качеством режущих кромок. Кроме того, использование различных материалов требует различных методов их обработки, сочетающих физические и химические с обработкой резанием ионно-лучевой обработки, химико-механической доводки, отделки порошковой струей и упругоэмиссионной обработки.

При электронно-лучевой обработке, сфокусированный поток электронов испаряет вещество заготовки образуя кратер (отверстие) соответствующее пятну фокусировки. Так как пучок электронов можно сфокусировать в пятно размером до 0,01мм, этим методом можно обрабатывать отверстия малого диаметра или производить чрезвычайно тонкие резы на материалах любой твердости, независимо от их электропроводности.

Вопрос 2. Технологические процессы лазерной обработки материалов

Успехи по созданию и применению лазеров на практике за период почти 40 лет поистине превзошли все ожидания. Уже в 1962 г., спустя лишь 1,5 года после создания первого лазера, фирма «Спектра физикс» (США) поставила на рынок первые коммерческие лазеры. Множество модификаций и типов конструкций лазеров трудно поддается учету и анализу. Самый миниатюрный лазер имеет длину несколько микрон, самая крупная по габаритам лазерная установка «Нова» в Национальной лаборатории Лоуренса Ливермора в США – 137 м и суммарную мощность 1014 Вт. Она

используется для фокусировки излучения на смеси дейтерия и трития при термоядерном синтезе. Самый мощный лазер Европы «Астерикс» в институте Макса Планка имеет мощность 1012 Вт, работает на атомах йода с накачкой светом фотовспышек.

Области применения лазеров и лазерной техники еще более многочисленны, чем разнообразие их конструкций. Всего насчитывается несколько сотен областей использования лазеров на практике. Наиболее массовой областью использования лазерной техники является в настоящее время лазерная обработка материалов, в основе которой лежит в большинстве случаев тепловое воздействие лазерного излучения.

Создание в 70-х гг. газовых лазеров непрерывного действия повышенной мощности (свыше 1 кВт) открыло новые перспективы в применении лазерной техники. С их появлением область использования лазерного луча для обработки материалов расширилась от микроэлектроники и приборостроения до многих энерго- и материалоемких отраслей промышленности, таких как машиностроение, электротехническая промышленность, металлургия и т.д. Этому способствовали уникальные свойства лазерного излучения как инструмента при обработке материалов. Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящие другие источники энергии (до 10^8 – 10^9 Вт/см² в непрерывном режиме и до 10^{16} – 10^{17} Вт/см² в импульсном режиме), позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые результаты по свойствам обрабатываемых материалов. В этой связи лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет как общие особенности, свойственные всем другим высококонцентрированным источникам, так и свои специфические преимущества, среди которых можно выделить две большие группы.

1. Высокая концентрация подводимой энергии и локальность. Это позволяет произвести обработку только локального участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств, что приводит к минимальному короблению деталей. В результате достигаются экономические и технологические преимущества. Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия. В результате открывается возможность получения уникальной структуры и свойств обработанной поверхности.

2. Высокая технологичность лазерного луча, что подразумевает возможность регулирования параметров обработки в очень широком интервале режимов, легкость автоматизации процесса, возможность обработки на воздухе, исключение механического воздействия на обрабатываемый материал, отсутствие вредных отходов, возможность транспортировки излучения и др.

В результате удается реализовать такой широкий круг технологических процессов и методов обработки материалов (сварка, наплавка, маркировка, закалка, резка и др.), который недоступен другим видам инструмента.

Благодаря созданию надежного и достаточно экономичного лазерного оборудования в 70–80-х гг. возникла новая промышленная технология – лазерная технология обработки материалов.

Всемерное развитие лазерной техники и технологии является сейчас одним из приоритетных направлений ускорения научно-технического процесса, важным фактором интенсификации различных областей промышленности. До настоящего времени выполнен большой объем исследований по применению лазеров в обработке материалов, сформированы основные научные направления, получен большой материал по работе лазерной техники в промышленности.

Рассмотрим особенности конкретных технологических процессов лазерной обработки материалов.

Фигурная резка древесных материалов. Этот процесс широко используется на многих малых предприятиях при изготовлении наличников, карнизов, кронштейнов, мебели и кухонных изделий, шкатулок, сувениров и художественных изделий, эмблем и товарных знаков из драгоценных пород дерева. Раскрой материалов из доски, фанеры, древесно-стружечных плит толщиной до 40 мм осуществляется по сложному программируемому контуру при скорости реза до 3 м/мин. Особый интерес представляет при этом изготовление художественного инкрустированного паркета.

Резание металлов. Лазерная резка стальных листов толщиной до 6 мм по сложному контуру является наиболее распространенным технологическим процессом лазерной обработки в промышленности. Ее применяют для вырезки таких деталей, как прокладки, кронштейны, панели, приборные щитки, двери, декоративные решетки, дисковые пилы.

Весьма эффективным оказалось применение лазерной резки фигурных изделий на стадии освоения новой продукции, так как из-за высокой гибкости лазерного оборудования значительно сокращаются сроки освоения изделий. В этих условиях лазерная резка экономичнее резки водяной струей и эрозионной проволокой.

В настоящее время высокими темпами развивается резка пространственных изделий, в том числе с использованием роботоманипуляторов, при этом лазерное излучение к зоне обработки может передаваться по гибкому оптоэлектронному лучепроводу.

Резка неметаллов и труднообрабатываемых материалов. Как показала практика, лазерное излучение может эффективно использоваться для раскроя неметаллических материалов: оргстекла толщиной до 50 мм, фторопласта до 30 мм, стеклотекстолита, гетинакса, полиэтилена, поливинилхлорида до 2 мм, асбоцемента, базальтовых тканей, тканей для бронежилетов, кожи, картона для упаковки, керамики, ситалла, ковров и текстиля. Разработаны

экономичные методы резки и термораскалывания стекла, в том числе и по сложному контуру.

Сварка. Лазерной сваркой достаточно просто формируются соединения из углеродистых и легированных сталей толщиной обычно до 10 мм. Наиболее полно преимущества лазерной сварки реализуются при сварке тонких изделий (до 1 мм): электроконтактов, корпусов приборов, батарей аккумуляторов, сильфонов, переключателей, сердечников трансформаторов. Проводится высококачественная сварка ювелирных изделий из золота, платины – (цепочек, колец), а также сварка термопар, – токовводов и т.д.

Маркировка. Этот процесс получил распространение при нанесении размерных шкал на мерительный инструмент, изготовлении табличек и указателей, маркировке изделий (инструмента, подшипников) и товаров, изготовлении сувениров в виде значков или в виде объемных рисунков внутри стеклянных изделий. Процесс маркировки деталей приборов высокопроизводителен и отличается малой стоимостью. Все больше места в общем объеме процессов находит декоративная гравировка: нанесение художественных рисунков на панно, элементы мебели, стекло, кожу и т.д.

Пробивка отверстий. С помощью этого метода можно получать отверстия диаметром 0,2–1,2 мм при толщине материала до 3 мм. При соотношении высоты отверстий к их диаметру 16:1 лазерная пробивка превосходит по экономичности почти все другие методы. Объектами применения этой технологии являются: сита, ушки игл, форсунки, фильтры, ювелирные изделия (подвески, четки, камни). В промышленности с помощью лазеров осуществляется пробивка отверстий в часовых камнях и в волоочильных фильерах, причем производительность достигает 700 тыс. отверстий в смену.

Лазерная закалка. Воздействие лазерного излучения на поверхность сплавов позволяет получить глубину упрочнения до 1,5 мм при ширине единичных полос 2–15 мм. Обработке обычно подвергаются детали, работающие в условиях интенсивного износа: направляющие станков, детали двигателей, кольца подшипников, валы, барабаны, запорная арматура, режущий инструмент, штамповая оснастка. Обычно достигается увеличение стойкости изделий в 1,5–5 раз.

Легирование и наплавка. С помощью этих процессов на поверхности сплавов получают слои с уникальными свойствами: высокой износостойкостью, теплостойкостью и т.д. Наибольшее распространение получает лазерная наплавка с целью восстановления изношенных деталей машин: распредвалов, коленвалов, клапанов, шестерен, штампов. Процесс отличается минимальными деформациями детали и повышенной износостойкостью поверхности.

Процессы микрообработки. Высокая степень автоматизации в последние годы позволила вновь на новой стадии использовать на практике такие процессы, как подгонка номиналов резисторов и пьезоэлементов, отжиг имплантированных покрытий на поверхности полупроводников,

напыление тонких пленок, зонная очистка и выращивание кристаллов. Возможности многих процессов к настоящему моменту еще не до конца раскрыты.

Лазерная стереолитография. Суть этой технологии состоит в послойном изготовлении вещественных копий компьютерных образов деталей, формируемых с помощью пакетов трехмерной графики.

Конкретно технология включает в себя следующие этапы: создание компьютерного образа детали при разбиении его на тонкие поперечные сечения, последовательное воспроизведение этих поперечных сечений при полимеризации поверхности жидкой фотополимеризующейся композиции сфокусированным лазерным излучением, перемещающимся по этой поверхности.

Каждый полимеризующийся слой имеет свою сложную конфигурацию, макет изделия формируется при последовательном наложении слоев. Поскольку сфокусированное излучение имеет размеры в несколько десятков микрон и скорость его перемещения может достигать 1 м/с, то можно говорить о создании высокоточной сверхскоростной компьютерной технологии воспроизведения формы пространственных объектов. Для логического завершения этой проблемы необходима реализация последнего, очень важного этапа: превращения полимерных объектов в детали машин или другие изделия, отвечающие определенным требованиям, например, из различных сплавов. Таким процессом, завершающим цикл прототипирования, может быть процесс литья.

Разрабатываемые перспективные технологии. Среди разработок новых техпроцессов большое место занимают комбинированные методы обработки, где воздействие лазерного излучения совмещено с другими техпроцессами. Так, использование лазерного луча совместно с электрической дугой, плазменной струей или газовой горелкой позволяет в несколько раз повысить эффективность воздействия, то есть увеличить толщину сварки, резки или закалки.

Применение лазерного излучения при механической обработке металлов и сплавов позволяет поднять производительность в несколько раз, улучшить качество обработки.

Применение пластического деформирования сплавов перед или после лазерной закалки позволяет получить новые свойства поверхности. Интенсивно развиваются методы лазерной обработки тонкостенных листовых материалов для формирования объемных конструкций вследствие направленного деформирования. Известны работы в нашей стране и за рубежом по скоростной лазерной обработке поверхности электротехнических сталей и сплавов для изменения электромагнитных свойств.

Большой интерес представляют процессы, основанные на иницировании химических реакций на поверхности материалов, в

частности, реакций восстановления металлов, синтеза нитридов, карбидов и других соединений.

С успехом проведены работы по очистке от загрязнений и окислов произведений искусства под воздействием лазерного излучения, а также по очистке поверхностей от лакокрасочных покрытий. Имеются проекты по использованию лазерного луча для разрушения горных пород при их бурении, для вскрытия льда на трассе ледокола и даже для выпечки хлеба.

Таким образом, теория и практика лазерной обработки материалов подтверждает огромные возможности лазерных технологических процессов, которые позволяют эффективно решать крупные производственные задачи. При этом применение лазерной техники выводит производство на новый высокоинтеллектуальный уровень, на уровень технологий будущего столетия.

Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк. – 2004. – 415 с.
4. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.
5. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.

ЛЕКЦИЯ 8 -2 ЧАСА
ТЕМА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы:

1. **Поверхностная электрохимическая обработка.**
2. **Электрохимическая размерная обработка**

Вопрос 1. Поверхностная электрохимическая обработка.

Электрохимические методы обработки основаны на законах **электрохимии** - электролиза. *Электролиз* — совокупность процессов электрохимического окисления-восстановления, происходящих на погруженных электродах в электролит (например, серную кислоту) при прохождении электрического тока. Применяется для получения многих веществ (металлов, водорода, хлора и др.), при нанесении металлических покрытий (гальваностегия), воспроизведении форм предметов (гальванопластика).

По используемым принципам эти методы разделяют на анодные и катодные, по технологическим возможностям - на поверхностные и размерные.

Поверхностная электрохимическая обработка. Практическое использование электрохимических методов началось с 30-х гг. 19 в. (гальваностегия и гальванопластика).

Первый патент на электролитическое полирование был выдан в 1910 году Е.И. Шпитальскому. Суть метода состоит в том, что под действием электрического тока в электролите происходит растворение материала анода (анодное растворение), причём быстрее всего растворяются выступающие части поверхности, что приводит к её выравниванию. При этом материал снимается со всей поверхности, в отличие от механического полирования, где снимаются только наиболее выступающие части.

Электролитическое полирование позволяет получить поверхности весьма малой шероховатости. Важное отличие от механического полирования - отсутствие каких-либо изменений в структуре обрабатываемого материала.

Электролитическое полирование используется для получения улучшенного внешнего вида и отражательной способности, для устранения лишнего металла, для подготовки поверхности к осмотру в целях выявления дефектов. Процесс включает в себя анодное растворение пятен, остающихся на поверхности после обезжиривания в парах растворителя и горячего обезжиривания щелочью.

Возможности электролитического полирования не ограничиваются получением блестящей поверхности деталей машиностроения. Этот метод влияет на многие физико-химические и коррозионные свойства металлов. Отмечаются, например, положительные действия этого метода на улучшение механических свойств металлов, уменьшение коэффициента трения между

трущимися парами, увеличение способности металлов к пластической деформации в холодном состоянии, повышение магнитной проницаемости некоторых ферромагнитных материалов и т. п.

Хорошие результаты дает применение электролитического полирования в инструментальной промышленности. Известно, что стойкость режущего инструмента зависит от свойств металла, из которого он изготовлен, а также качества поверхностного слоя у режущих граней. При изготовлении режущего инструмента и его эксплуатации он неоднократно подвергается шлифованию, в результате чего, под влиянием местного разогрева, происходят структурные изменения поверхностного слоя металла (понижается твердость, появляются трещины, снижается стойкость инструмента, ухудшаются эксплуатационные свойства инструмента). Поэтому при изготовлении инструмента в качестве заключительной операции часто используют метод электролитического полирования.

Электролитическое полирование нашло широкое применение в металлографии для изготовления шлифов для микроскопического исследования кристаллической структуры металлов и сплавов (при изучении микротвердости металлов, процессов окисления, коррозии и т. п.).

На рис. 6 показана схема установки для электролитического полирования шлифов. Отшлифованный образец 2 (анод) включают в цепь постоянного тока, создаваемого выпрямителем 6, и помещают в электролизную ванну 3, заполненную электролитом 4. Катодом 1 служит металлическая пластинка. Для равномерного протекания процесса полирования электролит перемешивают механической или электрической мешалкой 5.

Электролизные ванны изготавливают из кислотоупорных материалов. Неподогреваемые ванны делают из стекла, фарфора, второпластов, подогреваемые — из антикоррозионной стали. Катоды вырезают из листового металла: меди, свинца, антикоррозионной стали и других материалов.

Для электролитического полирования металлов и сплавов разработано множество электролитов. Во многих случаях в электролите одного состава можно полировать различные металлы, применяя индивидуальные режимы полирования. Для каждой пары металл-электролит должен быть подобран оптимальный режим полирования (температура, напряжение, плотность электрического тока, время, материал катода).

Электролитическому полированию присущи некоторые недостатки. В частности, достигаемая интенсивность сглаживания поверхности металла незначительная. При полировании изделий больших размеров не удается получить зеркального блеска (интенсивный и равномерный блеск достигается на чистых металлах и благородных сплавах). Декоративный вид поверхности зависит от структуры металла и его предшествующей механической обработки. Все это необходимо учитывать при выборе объектов для полирования.

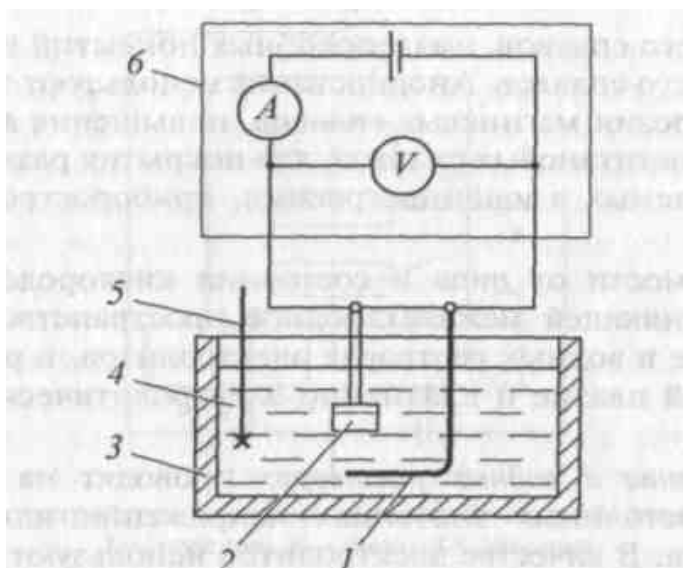


Рис. 6 Схема установки для электролитического полирования шлифов:
 / — катод; 2 — анод; 3 — электролизная ванна; 4 — электролит; 5 —
 мешалка; 6 — выпрямитель

С точки зрения безопасности обслуживания процесса необходимо использовать соответствующие средства индивидуальной защиты от возможных ожогов и раздражения от химических реагентов. Кроме того, в помещении необходима эффективная система вытяжной вентиляции.

Анодирование — электрохимическое оксидирование, образование защитной пленки на поверхности металлических изделий электролизом. При анодировании изделие, погруженное в электролит, соединяют с положительно заряженным электродом источника тока (анодом). Пленка толщиной от 1 до 200 мкм защищает металл от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами и служит хорошей основой для лакокрасочных покрытий. Анодирование применяют для декоративной отделки изделий из алюминия и его сплавов, эмалеподобных покрытий на алюминии и некоторых его сплавов. Анодирование используют также для защиты от коррозии магниевых сплавов, повышения антифрикционных свойств титановых сплавов, для покрытия различных изделий, применяемых в машиностроении, приборостроении и других отраслей.

В зависимости от вида и состояния кислородосодержащей среды, заполняющей межэлектродное пространство, различают анодирование в водных растворах электролитов, в расплавах солей, в газовой плазме и плазменно-электролитическое анодирование.

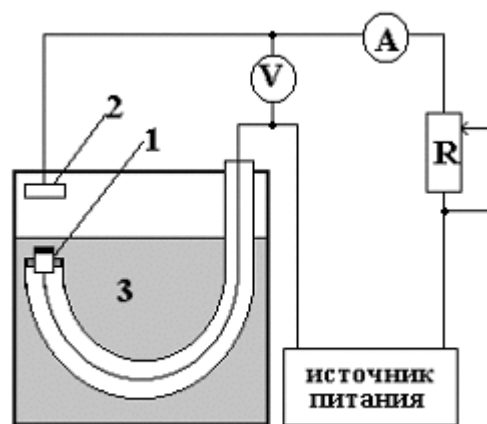
Анодирование в водных растворах проводят на постоянном токе при постоянных значениях напряжения или плотности анодного тока. В качестве электролитов используют водные растворы кислот (сернокислотных, хромокислотных, щавелекислотных). Анодированию предшествует предварительная подготовка поверхностей деталей (грубая очистка, шлифование, полирование, обезжиривание, травление, промывка и т. п.).

Анодирование в расплавах солей позволяет получить анодное покрытие на алюминии, меди и железе с более высокой коррозионной стойкостью, толщиной и стабильностью параметров. Для анодирования в расплавах используют соли и смеси с низкой температурой плавления (150...250 °С) и высокой электропроводностью: KHSO_4 , NaHSO_4 , $\text{LiNO}_3 + \text{KNO}_3$, $\text{KNO}_3 + \text{NaNO}_3$, $\text{AlCl}_3 + \text{NaCl}$, $\text{AlCl}_3 + \text{NaCl} + \text{KCl}$, $\text{KNO}_2 + \text{NaNO}_2$ и т. д.

Плазменно-электролитическое анодирование — способ обработки, при котором анод 1 неглубоко погружается в электролит 3, а катод 2 располагается над его поверхностью (рис. 2.10). Между ними зажигается электрический разряд за счет прикладывания импульсного напряжения 40...100 В и замыкания цепи с помощью кратковременного контакта между катодом и электролитом, что позволяет получить плотную плазму вблизи металла при сохранении невысокой температуры анода.

Плазменно-электролитическое анодирование проводят в 3—20%-ном растворе серной кислоты при глубине погружения анода 2...6 мм, при этом рост анодной пленки заканчивается после 8...18 мин при ее конечной толщине до 300 мкм и пористости 10...40%.

Схема устройства для анодирования в газовой плазме представлена на рисунке 7.



1-образец-анод 2-катод 3-электролит

Рисунок 7. Схема устройства для плазменно-электролитического анодирования: 1- анод; 2 – катод; 3 – электролит.

Пассивирование — создание тонкой пленки окислов на поверхности металлов с целью предохранения их от коррозии. Пассивация металлов — переход поверхности в пассивное состояние, при котором резко замедляется коррозия. Пассивирование вызывается поверхностным окислением металлов. Практическое значение пассивирования исключительно велико, так как все конструкционные металлы без их самопроизвольного пассивирования подвергались бы коррозии не только в агрессивных химических средах, но и во влажной земной атмосфере или пресной воде.

Гальванотехника – получение на поверхности изделия или основы слоев металла из растворов их солей под действием электрического тока. Различают две разновидности гальванотехники: гальваностегию и гальванопластику

Гальваностегия - нанесение на поверхность изделия тонких, обычно до нескольких дециметров металлических покрытий.

Гальваностегия используется для повышения коррозионной стойкости и износостойкости изделия, улучшения отражательной способности его поверхности, повышения электрической проводимости и магнитных характеристик, облегчения пайки, а также для отделки.

Наиболее распространенными процессами гальваностегии являются цинкование, никелирование, меднение, хромирование и кадминирование.

Цинкование применяется в основном для защиты изделий из черных металлов (стали и чугуна) от атмосферной и высокотекучей газовой коррозии.

Никелирование используется для защиты от коррозии изделий из стали и цветных металлов, декоративного оформления их поверхности и придания некоторых других свойств.

Меднение применяется перед осаждением никелевых и некоторых других покрытий на сталь, цинк, цинковые и алюминиевые сплавы, а также для защиты стальных изделий от цементации.

Хромирование обеспечивает нанесение покрытий, отличающихся большой твердостью, износостойкостью и жаростойкостью.

Кадминирование применяется для защиты изделий от коррозии в атмосфере или в средах, содержащих хлориды.

Гальванопластика – осаждение толстых, часто достигающих нескольких миллиметров, легко отделяющихся слоев металла, точно воспроизводящих рельеф основы.

Гальванопластика применяется для изготовления и размножения металлических копий. Основным ее преимуществом перед другими методами обработки является высокая точность воспроизведения микро- и макрогеометрии рельефа.

Размерная электрохимическая обработка. К этим методам обработки относят анодно-гидравлическую и **анодно-механическую обработку**.

Анодно-гидравлическая обработка впервые была применена в Советском Союзе в конце 20-х гг. для извлечения из заготовки остатков застрявшего сломанного инструмента. Скорость анодного растворения зависит от расстояния между электродами: чем оно меньше, тем интенсивнее происходит растворение. Поэтому при сближении электродов поверхность анода (заготовка) будет в точности повторять поверхность катода (инструмента). Однако процессу растворения мешают продукты электролиза, скапливающиеся в зоне обработки, и истощение электролита. Удаление продуктов растворения и обновление электролита осуществляются либо

механическим способом (анодно-механическая обработка), либо прокачиванием электролита через зону обработки (рис. 8).

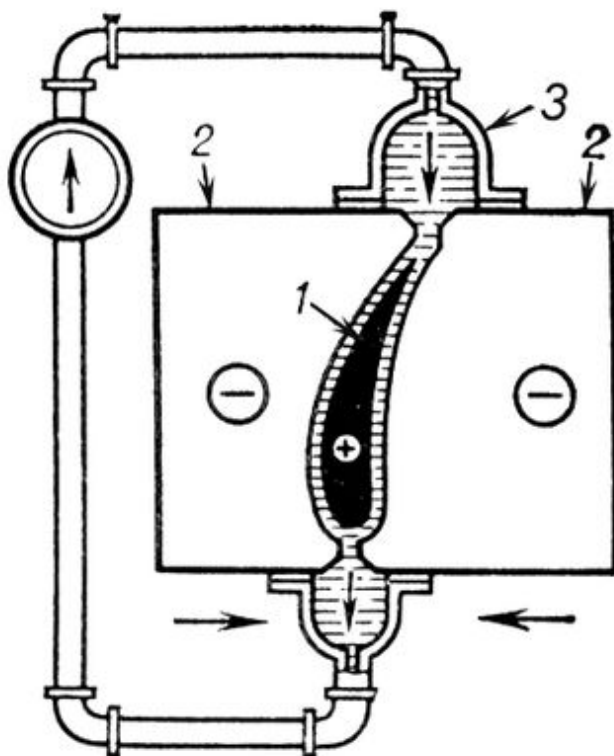


Рисунок 8. Схема анодно-гидравлической обработки поверхности турбинной лопатки подвижными электродами: 1 – лопатка; 2 – электроды; 3 – электролит;

Этим методом, подбирая электролит, можно обрабатывать практически любые токопроводящие материалы, обеспечивая высокую производительность в сочетании с высоким качеством поверхности. Используемые для анодно-гидравлической обработки электрохимические станки просты в обращении, используют низковольтное (до 24в) электрооборудование. Однако значительные плотности тока (до $200\text{a}/\text{cm}^2$) требуют мощных источников тока, больших расходов электролита (иногда до $1/3$ площади цехов занимают баки для электролита).

Анодно-механическая обработка - это комбинация процесса анодного растворения и электроэрозионного воздействия на обрабатываемую заготовку при движущемся относительно обрабатываемой поверхности электроде-инструменте. Способ был разработан в СССР в 1943 году инженером В.Н. Гусевым. Обрабатываемое изделие (анод) и электрод-инструмент (катод) включают, как правило, в цепь постоянного тока низкого напряжения (до 30 в). Электролитом служит водный раствор силиката натрия Na_2SiO_3 (жидкого стекла), иногда добавляются соли других кислот. В качестве материалов для электродов-инструментов применяют малоуглеродистые стали. Под действием тока металл изделия растворяется, а на его поверхности образуется нерастворимая пассивирующая пленка из продуктов растворения металла. Эта пленка удаляется механическим путем

(движущимся металлическим катодом или электронейтральным инструментом). При увеличении давления инструмента на изделие пленка разрывается и возникает электрический разряд. Его тепловое действие вызывает местное расплавление металла. Образующийся шлак выбрасывается движущимся инструментом. Изменяя электрический режим и давление, можно получить изделия с различной шероховатостью поверхности, вплоть до девятого класса чистоты. Схема анодно-механической обработки диском представлена на рисунке 9.

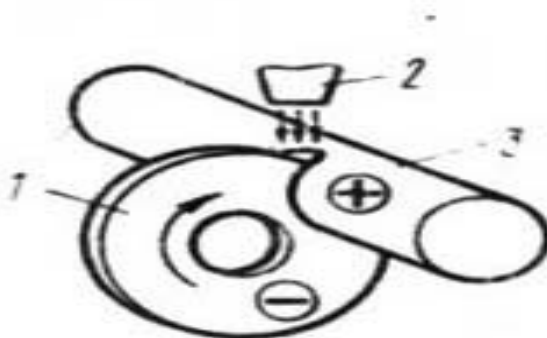


Рисунок 9. Схема анодно-механической обработки диском: 1 –диск инструмент; 2- сопло для подачи электролита; 3 – заготовка.

Известны две основные разновидности анодно-механической обработки: чистовая, сьем металла, при которой происходит в результате сочетания электрохимического действия тока и механического воздействия, и черновая, при которой наряду с механическим воздействием играют значительную роль электротермические явления — выделение тепла в точках соприкосновения электродов. При чистовой обработке механическое удаление продуктов растворения может производиться любым электрически нейтральным инструментом, движущимся с большой скоростью потоком электролита или перемещающимся катодом. При черновой обработке необходимое механическое воздействие производится только движущимся катодом.

Работа по сьему металла при анодно-механической обработке осуществляется электрическим током в межэлектродном зазоре почти без силовой нагрузки на узлы анодно-механического станка, и в этом и заключается принципиальное отличие анодно-механической обработки от способа удаления металла в металлорежущих станках, в которых эти узлы сильно нагружены. Интенсивность сьема металла практически не зависит от механических свойств обрабатываемых металлов и инструмента (твердости, вязкости, прочности), поэтому анодно-механический метод целесообразно применять для обработки изделий из высоколегированных сталей, твердых сплавов. Применение анодно-механического метода для обработки таких материалов позволяет увеличивать производительность, уменьшать

количество отходов и расход энергии, снижать затраты на инструмент. При доводочных работах анодно-механическая обработка позволяет получить высокое качество поверхности. Анодно-механический способ обработки металлов применяют для затачивания пластинок из твердых сплавов и для резки очень твердых и вязких металлов. Анодно-механическая обработка применяется для заточки резцов, шлифования.

Вопрос 2. Электрохимическая размерная обработка

В отличие от большинства механических методов финишной обработки ЭХО позволяет обеспечивать финишное качество поверхностного слоя практически на любых по форме поверхностях, а не только на плоских и цилиндрических. Кроме того, поверхности после ЭХО имеет изотропную (одинаковую во всех направлениях) шероховатость без рисок, бороздок, следов от движения инструмента по поверхности. Отметим, что при ЭХО финишная обработка (полировка) поверхности обеспечивается на одной операции с размерным формообразованием, поэтому не требуется иметь гамму механообрабатывающих/электроэрозионных и других станков для черновой/получистовой/чистовой/финишной обработки.

Общая характеристика электрохимической обработки (ЭХО)

Фирменная ET-технология импульсной электрохимической обработки по комплексному критерию «точность–шероховатость–производительность» превосходит большинство современных методов финишной обработки деталей. Достигаемые рекордные показатели по шероховатости поверхности (до Ra 0,01..0,002) и разрешающей способности при копировании (<1 мкм) позволяют исключить традиционные финишные операции: чистового шлифования и полировки.

Отличительная особенность новой ET-технологии электрохимической обработки, состоит в том, что к расположенным в электролите и осциллирующим электродам, в моменты их сближения до минимального межэлектродного зазора, синхронно прикладываются группы микросекундных (соизмеримых с временем заряда приэлектродных емкостей) импульсов тока высокой плотности, что приводит к существенной пространственной локализации электрохимических реакций в области субмикро- и нанометрических размеров.

ET-технология, как и традиционная технология электрохимической обработки, является «холодной», то есть, не сопряжена со сколько-нибудь значительным нагревом поверхности и изменением её структуры, при обработке отсутствует механический контакт инструмента и детали, и самое главное полностью отсутствует износ инструмента.

Независимость выходных технологических показателей метода ЭХО от физико-механических свойств обрабатываемого материала позволяет обрабатывать с одинаковым успехом как закаленные, так и незакаленные стали.

При этом после обработки отсутствуют заусенцы и острые кромки, что в большинстве случаев позволяет сократить ручной труд, либо исключить из технологических процессов соответствующие операции.

Обработка по ET-технологии осуществляется на малых межэлектродных зазорах (1...10 мкм), что позволяет в большинстве случаев не осуществлять коррекцию формы и размеров рабочей части инструмента в процессе отработки технологии. Осцилляция электрод-инструмента, обеспечивет сжатие газожидкостной межэлектродной среды во время пропускания импульса тока и быструю ее замену в межэлектродном пространстве во время акта отвода электрода-инструмента от поверхности заготовки. В совокупности это создает благоприятный гидродинамический режим электролита для ведения процесса анодного растворения и позволяет существенно упростить конструкцию технологической оснастки.

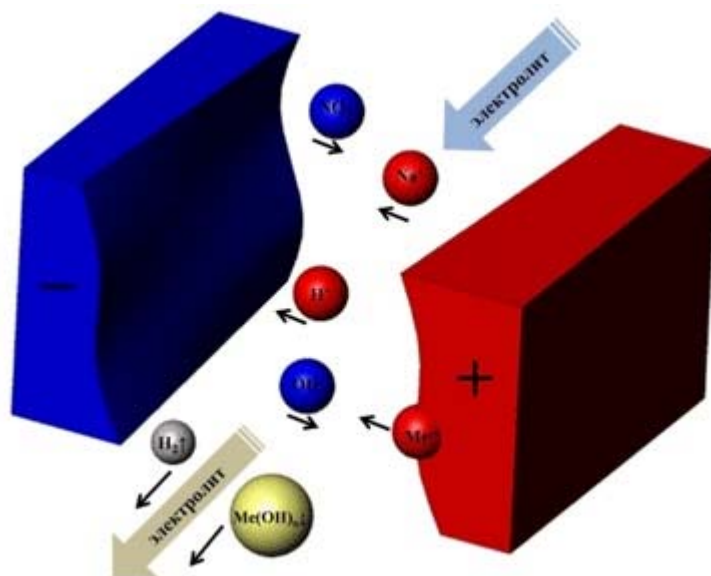
Автоматизированная система управления и встроенная база данных технологических режимов позволяют в большинстве случаев обрабатывать детали различных форм и из разных материалов без дополнительных исследований и не требуют высокой квалификации операторов станков.

Физический принцип

Физический принцип электрохимической обработки (ЭХО) основан на высокоскоростном анодном растворении металлов и сплавов под действием тока электролиза высокой плотности в среде проточного электролита на малых межэлектродных зазорах. При этом в соответствии с законом Фарадея, масса удалённого с заготовки материала пропорционально силе тока и времени обработки.

В отечественной практике промышленного применения ЭХО наибольшее распространение получили электролиты, представляющие собой водные растворы нейтральных нетоксичных и пожаробезопасных минеральных солей. С точки зрения обеспечения высокой точности обработки наиболее рациональным выбором являются малоцентрированные (до 15%) водные растворы кислородосодержащих солей, среди которых наибольшее распространение получил 8% водный раствор NaNO_3 . На его примере и будем рассматривать суть метода ЭХО.

Для осуществления процесса ЭХО два металлических электрода (инструмент и заготовку), в пространстве между которыми находится электролит, подключают к противоположным полюсам источника технологического тока. Отрицательный полюс источника, подсоединённый к электроду-инструменту (катоде), сдвигает его потенциал в отрицательную сторону вследствие увеличения концентрации электронов. Положительный полюс отбирает электроны от подключённого к нему электрода-заготовки (анода), что сдвигает его потенциал в положительную сторону. Такое отклонение потенциалов электродов от равновесных значений вызывает протекание электродных процессов: на катоде начинается восстановление катионов, на аноде — окисление металла.



При ЭХО стальных деталей в водном растворе кислородосодержащей нейтральной соли NaNO_3 , молекулы которой диссоциированы на нитрат-ионы NO_3^- и ионы натрия Na^+ , процесс растворения материала заготовки (анода) протекает в следующей последовательности. На аноде происходит процесс ионизации металлов $\text{Me} = \{\text{Fe}, \text{Cr}, \text{Ni}, \dots\}$, который в упрощённом виде выглядит так:



Ионы металла Me_z^+ взаимодействуют с ионами OH^- с образованием гидроксидов типа $\text{Me}(\text{OH})_n$, которые осаждаются в виде шлама. Он выносится из межэлектродного промежутка потоком электролита и удаляется при помощи фильтров или сепараторов.

Также на аноде протекает реакция выделения кислорода, в результате которой прианодный слой электролита подкисляется.

На катоде протекают реакции разложения молекул воды с образованием газообразного водорода.

Ионы натрия Na^+ из-за очень низких электроотрицательных значений их равновесных потенциалов не восстанавливаются и формально не принимают участие в процессе.

Теоретически, при ЭХО, кроме электроэнергии расходуется только вода.

Экологичность технологии

При электрохимической обработке высоколегированных сталей и сплавов в электролит, представляющий нейтральный водный раствор азотнокислого натрия, легирующие сплав металлы переходят в ионном виде. При этом ионы железа, никеля, титана образуют нерастворимые гидроксиды и выпадают в осадок в виде шлама.

Особые проблемы представляет хром, который частично растворяется с образованием хромат-ионов (Cr^{+6}), которые не образуют осадка и, таким образом, могут накапливаться в электролите. Если не принимать никаких мер, то через некоторое время концентрация ионов Cr^{+6} в баке превысит

уровни допустимые санитарными нормами. При превышении ПДК ионы шестивалентного хрома могут оказывать вредное влияние на здоровье человека, поэтому, как электролит, так и загрязненный хромат-ионами шлам, нужно обезвреживать.

Станки серии “ЕТ” единственные в России оборудованы автономными системами, способными в автоматическом режиме поддерживать предельно допустимую концентрацию (ПДК) ионов шестивалентного хрома как в электролите, с которым работает оператор, так и в шламе, который идет на утилизацию.

Преимущества

преимущества ЭХО в сравнении с механической обработкой:

- за одну операцию, при простом поступательном движении инструмента формируется сложная форма детали с высокой точностью и финишным и качеством поверхности;
 - отсутствует износ инструмента;
 - отсутствуют заусенцы и острые кромки;
 - на показатели обрабатываемости не оказывают существенного влияния физико-механические свойства материала заготовки (твёрдость, прочность, вязкость);
 - электрод-инструмент изготавливается из более дешёвых и легкообрабатываемых материалов (латунь, нержавеющая сталь).

преимущества ЕТ-технологии и оборудования в отличие от стандартной ЭХО технологии:

- более высокая точность обработки (повторяемость 2 мкм, разрешающая способность при копировании 0,5...3 мкм);
- более высокое качество обработанной поверхности (до Ra 0,01, повышение коррозионной стойкости наноструктурированных и ультрамелкозернистых сталей, отсутствие наводораживания титана и его сплавов др.);
- более высокая прогнозируемость процесса ЭХО;
- более простая конструкция технологической оснастки за счёт обеспечения необходимого состояния электролита в межэлектродном пространстве вибрацией инструмента и параметрами электрического режима;
 - эффективная быстродействующая система распознавания и предотвращения коротких замыканий (не допускает необратимое повреждение электрода-инструмента).

Уникальность технологии

Нанометрическое структурирование поверхности

Формирование шероховатости поверхности в нанометрическом диапазоне (Ra=0,002..0,01 мкм, Hm=10..100нм).

Формирование нанометрических геометрических элементов на поверхности детали, например:

При формировании копированием офтальмологического скальпеля удалось создать (без заточки) режущую кромку радиусом 500..700 нм. При копировании регулярного рельефа получены результаты в субмикронном диапазоне - скопирован регулярный субмикронный рельеф с характерным размером (500..700 нм), что позволяет создать новые компоненты для имплантатов человека, медицинской, авиационной и т.д. техники имеющих специальную регулярную топологию и геометрию микро- и нанорельефа, в том числе:

создание специального регулярного рельефа развитого в глубину по заданным требованиям (с соотношением высоты и глубины микролунок рельефа) на имплантатах суставов человека, зубных имплантатов, что способствует улучшению биологической адаптации; создание специальных (с регуляризованным микрорельефом) поверхностей типа «акуляя кожа» на лопатках ГТД и гребных винтов, создающих «Лотус-эффект», способствующий повышению аэро- и гидродинамических характеристик изделий.

создание специальной геометрии микрорельефа и его ориентации на различных участках контактных трущихся поверхностей для улучшения условий удержания смазки и снижения коэффициентов трения.

Создание нанометрических (по толщине) поверхностных слоев с измененным химическим составом (как вариант, с повышенным содержанием хрома в хромосодержащих сталях). Результаты измерений показывают, что обогащенный хромом поверхностный слой имеет более сглаженный микрорельеф и меньшую шероховатость.

Создание таких поверхностных слоев на рабочих поверхностях формообразующих инструментов для пластического деформирования, показывает существенное увеличение их стойкости. Так, при использовании хромосодержащих поверхностей в сопряженных парах трения, формообразующей оснастки (пуансоны, матрицы) и др. снижается коэффициент трения и повышается усталостная прочность, износостойкость и коррозионная стойкость.

Обработка наноструктурированных металлов и сплавов

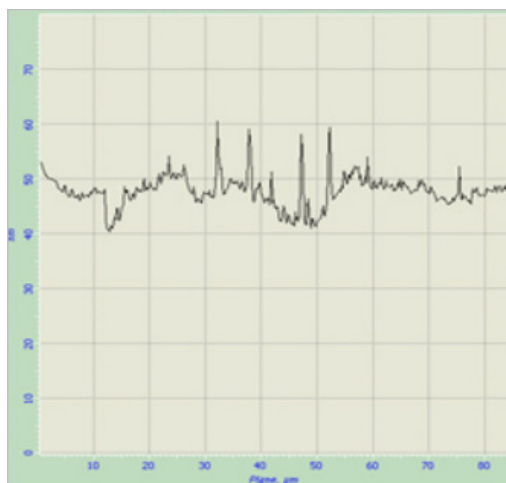
Изготовление прецизионных деталей из наноструктурированных материалов основных групп электрохимической обрабатываемости (стали, Ti, Al, Ni, W, Cu и их сплавы, металлокерамические нанопорошковые WC-Co сплавы и др.), обеспечивая сохранение их уникальной нанокристаллической структуры

Существенное (в 2..10 раз) повышение коррозионной стойкости наноструктурированных материалов.

Качество поверхности

Специфика процесса электрохимической обработки (ЭХО) определяет особенности качества обработанной поверхности. Формирование микрорельефа поверхности при ЭХО в отличие от обработки резанием в значительной мере определяется химическим составом и структурой

обрабатываемого материала, а также химическим составом, концентрацией, температурой и скоростью движения электролита. Силовой и тепловой факторы практически не участвуют в образовании поверхностного слоя. Поверхностный слой формируется в результате электрохимического анодного растворения материала и химического воздействия среды. Шероховатость обработанной поверхности, являющаяся наиболее важной геометрической характеристикой усталостной прочности, в зависимости от условий и параметров режима микросекундной ЭХО (ET-технология) изменяется в широком диапазоне от Rz 40 мкм до Ra 0,002 мкм. Таким образом, современный уровень развития ЭХО превосходит или, по крайней мере, сравним с большинством известных методов финишной обработки по достижимым выходным показателям.



Внешний вид оптически гладкой поверхности диаметром 20 мм (слева), полученной методом импульсной биполярной ЭХО, и её микропрофилограмма (справа), полученная на сканирующем зондовом микроскопе (Ra 0,0025 мкм, Rz 0,05 мкм)

Шероховатость поверхности не является единственной и главной оценкой её работоспособности. В частности при циклических нагрузках наибольший интерес представляют такие показатели, как форма микронеровностей, степень однородности шероховатости. Микроимпульсная

электрохимическая обработка (ЭХО) сталей создаёт микрорельеф с более плавным контуром неровностей, чем шлифование или фрезерование. При отсутствии наследственной шероховатости и макродефектов типа "струйности" значения параметров шероховатости после ЭХО практически не зависят от принятого направления измерения, что существенно отличает ЭХО от методов обработки резанием, для которых характерна определённая направленность рисок от лезвия инструмента.

Электрохимическая гетерогенность основы зерна и его границ, обусловленная различиями в химическом составе, структуре и напряжённости материала, является причиной межкристаллитного растравливания. Уменьшение растравливания по границам зёрен при низкой температуре электролита и высокой плотности тока (характерной для микросекундной ЭХО) объясняется затормаживанием диффузионных процессов в прианодном слое из-за увеличения вязкости электролита, и, как следствие, уменьшением разности потенциалов и скоростей растворения различных участков поверхности сплава. Отметим, что существует некоторая критическая плотность тока, выше которой растравливание не наблюдается, например, для никелевых сплавов она лежит в пределах 20...60 А/см² (в зависимости от марки сплава).

В процессе ЭХО на катоде выделяется водород, образующийся как в результате реакции восстановления, так и разложения молекул воды. Наводораживание титана и некоторых других металлов (Ti, V, Nb, Zr, Th, Ta, Pd, La, Ce) и их сплавов вызвано способностью экзотермически адсорбировать атомарный водород. Наводораживание зависит от плотности тока, водородного показателя pH и температуры раствора. Например, с увеличением плотности и скважности тока, повышением pH до 10... 12 наводораживание титановых сплавов снижается. При высоких плотностях амплитудного тока ($j > 200 \text{ А/см}^2$) и микросекундных (50-500 мкс) импульсах наводораживания технически чистого титана экспериментально не обнаружено.

Растворение водорода в стали и никелевых сплавах носит эндотермический характер, поэтому при нормальной температуре и давлении водород выделяется из стали. Таким образом, наводораживание сталей и никелевых сплавов в процессе ЭХО ничтожно.

Поверхностный наклёп, практически неизбежный при механической обработке деталей, является результатом пластических деформаций и тепловыделения в зоне обработки. Одной из особенностей процесса ЭХО является минимальное температурно-силовое воздействие на обрабатываемую поверхность, что создаёт предпосылки к отсутствию поверхностного наклёпа, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа и измерения микротвёрдости.

Оценивая влияние ЭХО на усталостную прочность при гармонических нагрузках, следует отметить свойственное этому методу понижение рассеяния результатов испытаний. Поскольку при расчётах обычно

ориентируются на минимальные значения долговечности, эта особенность должна рассматриваться как одно из преимуществ метода ЭХО. Объяснением этому может служить однородность шероховатости обработанной поверхности и отсутствие остаточных напряжений в поверхностном слое. Для обработанных механическими методами поверхностей характерны такие важные для усталостной прочности факторы, как отдельные дефекты микропрофиля в виде царапин, задиров и поверхностные остаточные напряжения. Известно, что специальные режимы микроимпульсной биполярной ЭХО позволяют создавать поверхностные слои на обрабатываемых поверхностях деталей из химических элементов, входящих в качестве легирующих в состав обрабатываемого материала.

Таким образом, можно, например, повысить содержание хрома в поверхностном слое, при ЭХО хромосодержащих сталей и сплавов.

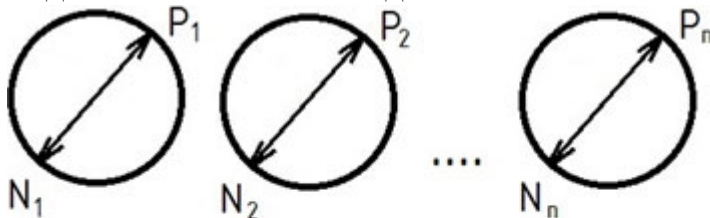
Увеличение количества хрома на обработанной поверхности после биполярной микросекундной электрохимической обработки хромосодержащих сталей подтверждают результаты определения химического состава поверхностного слоя, проведенные с использованием различных методов.

Результаты измерений показывают, что обогащенный хромом поверхностный слой имеет более сглаженный микрорельеф и меньшую шероховатость.

При использовании хромосодержащих поверхностей в сопряженных парах трения, формообразующей оснастки (пуансоны, матрицы) и др. снижается коэффициент трения и повышается усталостная прочность, износостойкость и коррозионная стойкость. Например, стойкость изготовленных на станках серии «ЕТ» пуансонов из инструментальной стали, используемых при изготовлении крепежных изделий, повышается в 10...30 раз по сравнению с аналогичными пуансонами, выполненными по традиционной технологии.

Точность обработки

Повторяемость(погрешность) Δ одноименных размеров в партии деталей для ЕТ – технологии достигает 2 мкм



$d_i (P_i, N_i)$ – размер, измеренный в одноименных точках

$$\Delta = \max d_i - \min d_i < 2 \text{ мкм}$$

Рис. 1 Разброс размеров

Погрешность копирования формы ЕТ-технология осуществляется на малых торцевых (3...10 мкм) и боковых(10..30мкм) межэлектродных зазорах, что позволяет в большинстве случаев не осуществлять трудоемкую итерационную коррекцию формы и размеров рабочей части инструмента в процессе отработки технологии.



Рис.2. Микроотверстия в тонкой пластине из нержавеющей стали
Разрешающая способность при копировании регулярного рельефа с торца электрод-инструмента на деталь находится в субмикронном диапазоне и достигает величин 0,5...3

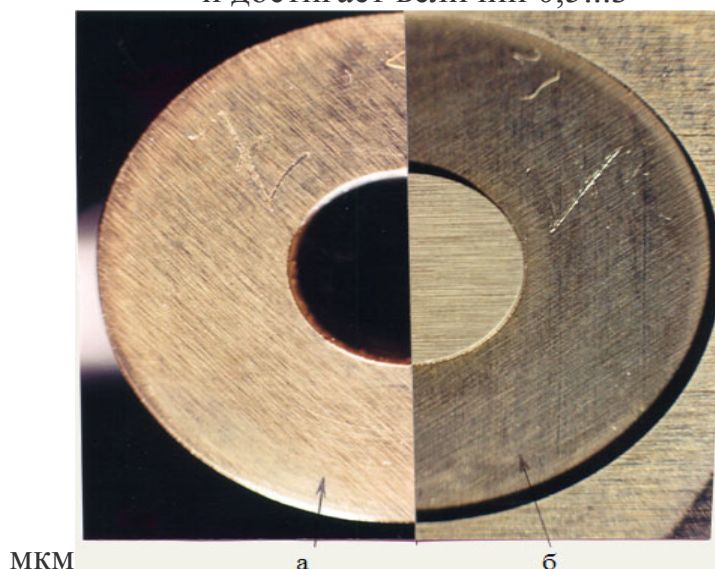


Рис.3. Общий вид торцевой поверхности электрода-инструмента из латуни с регулярными линиями микровыступов (Ra 0,8...1,25), оставленных шлифовальным кругом (а) и общий вид обработанной поверхности детали (б) из закаленной хромистой стали, на которой после обработки скопировался микропрофиль торца электрода-инструмента

Возможно формирование путем копирования функциональных кромок пазов, отверстий и режущих кромок инструментов радиусом менее 1 мкм.

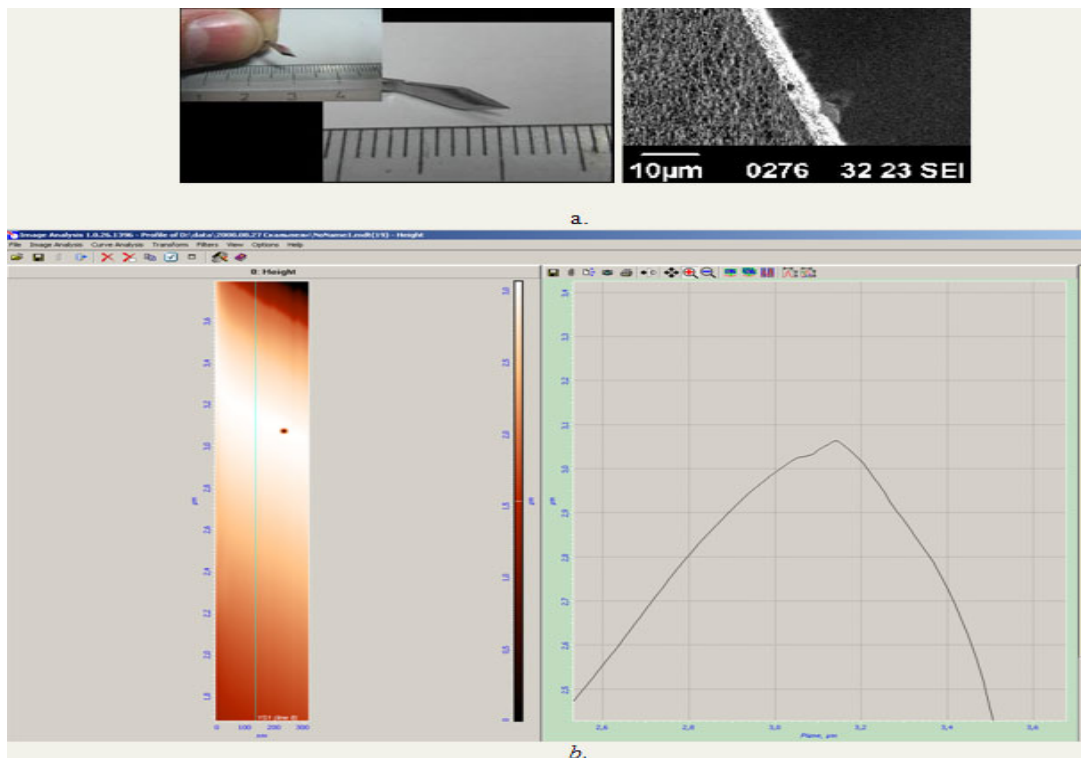


Рис.4. Общий вид ножа(скальпеля) для микрохирургии глаза(а) и профиль режущей кромки скальпеля для микрохирургии из хромомолибденовой стали (радиус режущей кромки 300..500 nm), шероховатость поверхности режущей кромки Ra 0,00174 мкм (b)

Высокая точность базирования обеспечивается применением на станках серии «ЕТ» унифицированных технологических приспособлений для базирования и закрепления заготовки и инструмента системы «EROWA». Погрешность установки 2 мкм.



Спектр обрабатываемых материалов

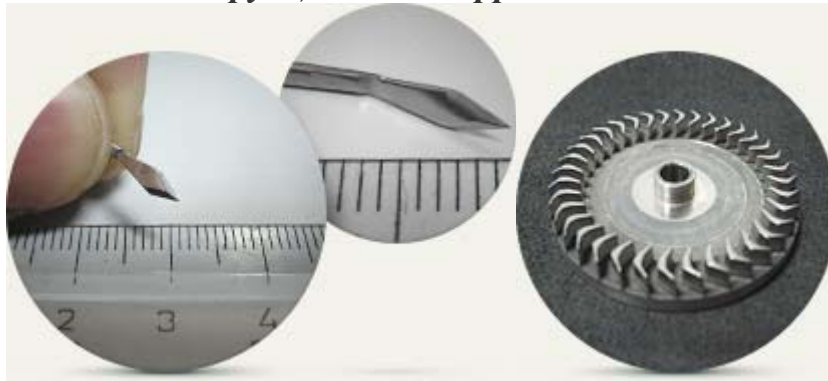
Обработка практически всех групп используемых в промышленности конструкционных сталей и сплавов, в т. ч. высокопрочных сталей и сплавов, металлокерамики, наноструктурированных сплавов.

Стали

Стали конструкционные легированные



Стали конструкционные коррозионно стойкие



Стали высокоуглеродистые хромистые



Стали нержавеющие хромоникелевые



Стали инструментальные



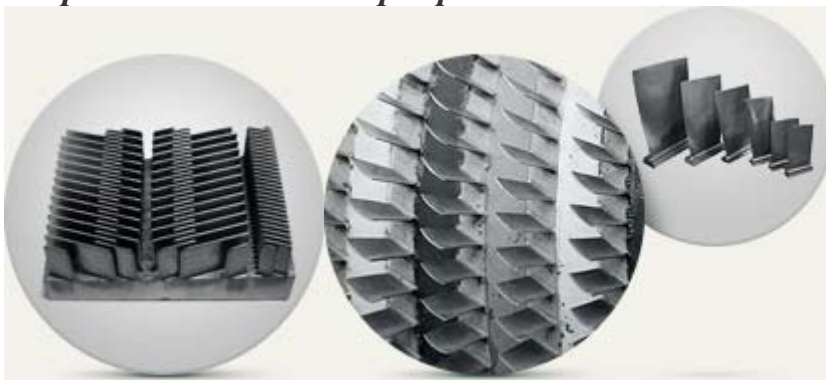
Стали быстрорежущие



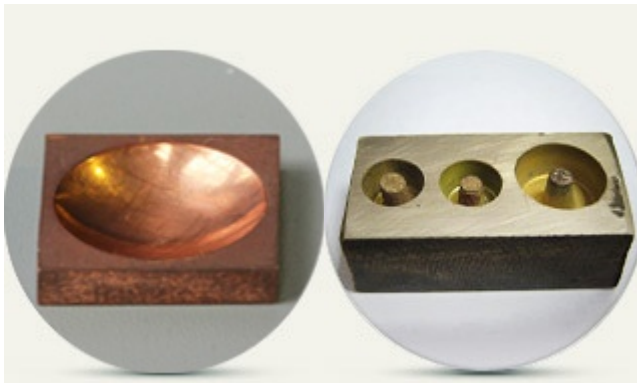
Сплавы

хромоникелевые

Сплавы хромоникелевые жаропрочные



Медь и сплавы на основе меди



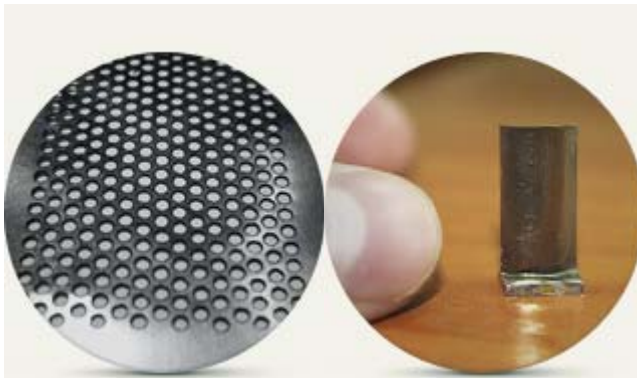
Никель и сплавы на никелевой основе



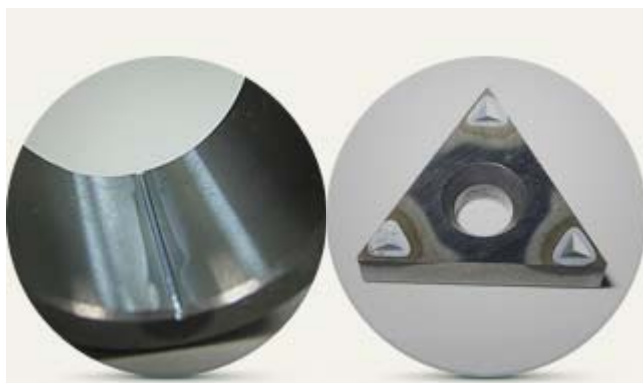
Магниты



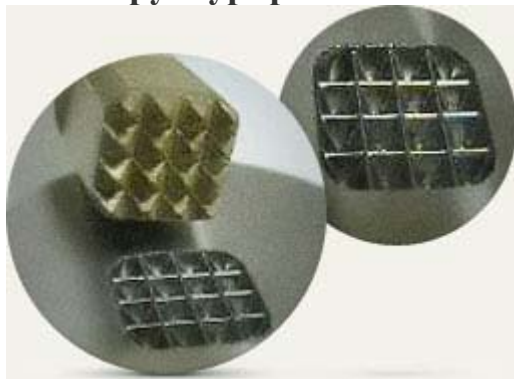
Титан и сплавы на основе титана



Металлокерамические твердые сплавы (WC-Co, WC-TiC-Co)



Наноструктурированные стали и сплавы



Интерметаллидный TiAl сплав



Литература

1. Аверьянова И.О. Клепиков В.В. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки. М.: Форум, 2008 – 304 с.
2. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении: Учебное пособие для вузов / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск: УП «Технопринт», – 2003. – 285 с.
3. Акулович Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учебное пособие для вузов / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Минск : Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 488с.

ЛЕКЦИЯ 9 – 2 ЧАСА
ТЕМА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ

Вопросы:

- 1. Комбинированные методы обработки**
- 2. Абразивная обработка деталей машин**
- 3. Основные сведения о процессах алмазно-абразивной обработки деталей машин шлифовании, хонинговании, суперфинишировании, притирке и полировании.**

1. Комбинированные методы обработки

Комбинированные методы обработки сочетают в себе преимущества электрофизических и электрохимических методов. Используемые сочетания разнообразны. Например, сочетание анодно-механической обработки с ультразвуковой в некоторых случаях повышает производительность в 20 раз. Существующие электроэрозионно-ультразвуковые станки позволяют использовать оба метода как отдельно, так и вместе.

2. Комбинированные методы обработки являются сочетанием различных технологических приемов, в каждом из которых пытаются использовать и усилить положительные качества, необходимые для технологического процесса изготовления детали. При различном сочетании магнитного, химического, механического (постоянного или импульсного) и теплового воздействий создана целая гамма комбинированных методов обработки (их около 20), тогда как существует реальная возможность разработки примерно 800 таких видов.
3. В качестве признаков, подлежащих усилению, может выступать любой технологический параметр обработки или их сочетание (производительность, качество и др.). Для эффективного применения комбинированных методов обработки в производстве необходимо четко представлять, за счет чего происходит процесс формообразования. Кроме того, зная виды воздействия при том или ином способе, можно оценить целесообразность их использования в каждом конкретном случае, исходя из технических требований к обрабатываемой детали, возможностям оборудования и т.д.
4. Для решения задачи по созданию классификатора комбинированных методов обработки (КМО) были выделены комбинированные методы обработки, технологические возможности которых могут использоваться в машиностроении. Значительная часть этих методов создана на уровне изобретений и исследована в объемах, необходимых для проектирования технологии их применения в машиностроении.
5. Комбинированные методы обработки с наложением электрического поля.

6. I. Обработка за счет анодного процесса:
7. 1.1. Электроэрозионно-химический КМО. Основные виды воздействия: тепловое импульсное и химическое. Применяется преимущественно при прошивании отверстий, полостей, а также при маркировании сплавов с диэлектрическим покрытием (а.с. 973271).
8. 1.2. Электроабразивный КМО. Основные виды воздействия: механическое силовое, импульсное (МСИ), тепловое циклическое, химическое. Метод используют при шлифовании твердых токопроводящих материалов, электрохимикоабразивном хонинговании, притирке, шлифовании крупногабаритных изделий.
9. 3. Электромеханическое упрочнение. Основные виды воздействия: тепловое импульсное, МСИ. Происходит при наложении тока за счет образования закаленной зоны на заготовке.
- 10.4. Электрохимикомеханический КМО. Основные виды воздействия: механическое силовое (МС), химическое. Позволяет осуществлять чистовую обработку каналов с гарантированным наклепом поверхностного слоя и разделение металлических конструкций.
- 11.5. Электроконтактнохимический КМО. Основные виды воздействия: химическое, механическое силовое, постоянное малой интенсивности. Производят локальное удаление припуска и др.
- 12.6. Безабразивная полировка диэлектрическим притиром. Основные виды воздействия: химическое (анодное растворение), МС малой величины. Представляет собой отделочную обработку металлических заготовок с дополнительным электродом-инструментом и притиром из диэлектрика (например, из бука, минералокерамики).
- 13.7. Электроконтактная обработка непрофилированным инструментом. Основные виды воздействия: тепловое циклическое, МС прерывистое, МСИ, химическое. Применяется при безразмерной и размерной черновой и чистовой обработке металлических заготовок (литье, штамповка и др.) электродом-щеткой и др.
- 14.8. Электрохимикофотонный КМО. Основные виды воздействия: химическое, тепловое постоянное (импульсное). Представляет собой электрохимическую размерную обработку с интенсификацией процесса лазером.
- 15.9. Электрохимикоимпульсно-механический КМО. Основные виды воздействия: химическое, МС ударное. Применяют при глубоком электрохимическом маркировании металлов.
- 16.10. Электрохимикоимпульсный КМО. Основные виды воздействия: химическое, тепловое импульсное, МС, тепловое циклическое. Способ позволяет разделять материалы с периодическим импульсом напряжения от внешнего источника и др.
- 17.11. Электрохимикохимический КМО. Основные виды воздействия: химическое, электрохимическое. Применяют для контрастного электрохимического маркирования сплавов с применением

- коагуляторов; также для введение в рабочую среду химически активных добавок (при обработке титановых сплавов – йодистого, бромистого калия и др., обработка металлических покрытий на диэлектриках (например, на заготовках печатных плат) и др.
- 18.12. Механикоультразвуковой КМО. Основные виды воздействия: механическое, механическое бесконтактное высокочастотное. Способ позволяет осуществлять интенсивное размерное механическое формообразование, а также прошивание с наложением УЗК на инструмент.
 - 19.13. Электроэрозионновибрационный КМО. Основные виды воздействия: тепловое импульсное, механическое бесконтактное. Применяется при интенсивном прошивании отверстий.
 - 20.14. Электрохимикоультразвуковой КМО. Основные виды воздействия: химическое, механическое бесконтактное высокочастотное. Позволяет интенсифицировать ЭХО, инструмент при этом имеет небольшие размеры. Этим способом производят обработку глубоких отверстий малого сечения с прямой или криволинейной осью в металлических и диэлектрических пресованных материалах и др.
 - 21.15. Электрохимиковибрационный КМО. Основные виды воздействия: химическое, механическое бесконтактное низкочастотное.
 - 22.16. Обработка несвязанными токопроводящими гранулами. Основные виды воздействия: химическое, МСИ. Несвязанные токопроводящие гранулы применяются при чистовой безразмерной и размерной обработке труднодоступных для инструмента участков металлических заготовок и др.
 - 23.17. Обработка несвязанными диэлектрическими гранулами. Основные виды воздействия: химическое, МСИ. Несвязанные диэлектрические гранулы используются при чистовой безразмерной обработке с дополнительным электродом-инструментом и гранулами.
 - 24.18. Электрохимический в управляемом магнитном поле. Основные виды воздействия: химическое, МСИ, магнитное переменное поле. Позволяет осуществлять безразмерную чистовую обработку свободным токопроводящим абразивом различных материалов. При этом происходит повышение точности за счет изменения вязкости рабочей среды и поляризации.
 - 25.19. Электрохимикотермический КМО. Основные виды воздействия: химическое, тепловое (импульсное или циклическое). При электрохимикотермическом методе происходит локализация Технические науки 78 процесса обработки за счет индукционного нагрева участков заготовки, инструмента и локального охлаждения рабочей среды
 - 26.20. ЭХО с управляемым вектором действия электромагнитного поля. Основные виды воздействия: химическое, магнитное поле. Используется при изготовлении отверстий с различным положением

- оси и формировании разделительной кромки при изготовлении листовых заготовок толщиной до 1 мм.
27. II. Обработка за счет катодного процесса:
- 28.1. Электроабразивный КМО. Основные виды воздействия: химическое, МСИ, тепловое циклическое.
- 29.2. Электроэрозионное легирование. Основные виды воздействия: химическое, тепловое импульсное или циклическое, тепловое общее, тепловое локальное, термическое локальное. При электроэрозионном легировании происходит изменение свойств поверхностного слоя металлических заготовок с осаждением поверхностных покрытий.
- 30.3. Криогенноэрозионное упрочнение и легирование. Основные виды воздействия: химическое, тепловое импульсное или циклическое, тепловое с высоким градиентом. Криогенноэрозионным упрочнением и легированием можно, например, повышать прочность медицинского инструмента без образования покрытия.
- 31.4. Электроэрозионное восстановление деталей с термическим упрочнением. Основные виды воздействия: тепловое импульсное, тепловое циклическое, тепловое общее, тепловое, термическое локальное. Применяют для изношенных токопроводящих поверхностей с нанесением покрытия толщиной до 1,5 мм без общего нагрева детали.
- 32.5. Гальваномеханическое восстановление металлических деталей. Основные виды воздействия: химическое, механическое силовое циклическое. Используют при восстановлении изношенных токопроводящих деталей без их нагрева и последующей обработки.
- 33.6. Нанесение контрастных знаков на покрытия. Основные виды воздействия: химическое, механическое силовое циклическое.
- 34.7. Электроимпульсный разрядный КМО. Основные виды воздействия: тепловое, МСИ, химическое, магнитное.
35. III. Процессы с переменной полярностью:
- 36.1. Магнитноабразивный КМО. Основные виды воздействия: МСИ низкой интенсивности, магнитное.
- 37.2. Электроабразивный КМО. Основные виды воздействия: тепловое циклическое, МСИ, химическое.
- 38.3. Термомеханический КМО. Основные виды воздействия: МС или МСИ, тепловое. Термомеханическим методом удаляют припуск с металлических заготовок с нагревом поверхностного слоя
- 39.4. Электроконтактнохимический КМО. Основные виды воздействия: химическое, МС малой интенсивности. Электроконтактнохимический метод применяется для восстановления профиля контактных пар при износе обеих деталей.
40. IV. Анодный или катодный процесс
- 41.1. Электроаодный КМО. Основные виды воздействия: тепловое (химическое), радиация. Для формирования процессов КМО необходимо учитывать прямое влияние на технологические показатели

комбинированного метода, что достаточно полно отражено в работах [1,2]. Однако взаимное воздействие структурных элементов КМО может оказаться значительно интенсивнее прямого влияния и нейтрализовать или ухудшить суммарный результат проектирования нового процесса. Выводы. В рамках данного исследования были рассмотрены основные виды КМО, их структура, технологическое применение. Однако эффективность проектируемых процессов зависит не только от сочетания воздействий, но и выбора базового варианта, который необходимо усовершенствовать за счет присоединения других методов с известными свойствами. В зависимости от требований к проектируемому методу требуется обосновать присоединение к базовому варианту других видов обработки. При этом необходимо учесть совместимость воздействий, возможность их реализации в КМО.

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Абразивные материалы используют главным образом для окончательной обработки деталей машин, когда к ним предъявляют повышенные требования по точности и чистоте обрабатываемых поверхностей.

Отделочная обработка деталей машин, инструментов и приборов с помощью абразивной бумаги или абразивного полотна применяется уже давно. До появления абразивной бумаги для полирования металлов применялась шкура акул, в связи с этим название шкурка за абразивной бумагой сохранилось до настоящего времени.

Приведены основы технологии механической обработки деталей машин, технологическое обеспечение качества деталей, методология разработки технологических процессов. Даны методы обработки деталей резанием, абразивный, электроэрозионный, электрохимический, лазерный и электронно-лучевой, ультразвуковой, комбинированные методы, методы упрочнения и др.

Большее внимание следует уделять вопросам качества механической обработки, в первую очередь финишным операциям. Широкое внедрение алмазно-абразивной обработки, а также развитие электрофизических и электрохимических методов позволяют значительно ускорить проведение и повысить качество финишных операций, обеспечивающих получение необходимой шероховатости поверхности и точности обработки. Для тонкостенных деталей имеет значение применение методов финишной обработки с минимальной силой, воздействующей на обрабатываемое изделие. Таким требованиям удовлетворяют электрохимическая, ультразвуковая, гидроабразивная и другие виды обработки. Наряду с финишной обработкой, осуществляемой путем удаления слоя металла, следует более широко применять методы тонкой пластической деформации, при которых точность формы и требуемое состояние поверхности изделия

достигаются уплотнением наружных слоев металла. Тонкое пластическое деформирование позволяет получить не только необходимую макро- и микрогеометрию поверхности, но и повысить износостойкость и создать благоприятные напряжения, способствующие в ряде случаев повышению эксплуатационных свойств машин.

Абразивная доводка, широко распространенная в промышленности, применяется при обработке инструмента и деталей машин с закаленными и твердосплавными поверхностями. Производится она с помощью паст и суспензий.

Износ режущего инструмента значительно отличается от износа деталей машин, поскольку зона резания, в которой работает инструмент, характеризуется высокой химической чистотой трущихся поверхностей, высокими температурой и давлением в зоне контакта. Механизм износа инструмента при резании металлов включает в себя абразивный, адгезионный и диффузионный износ. Удельное влияние каждого из них зависит от свойств материала, инструмента и детали, а также условий обработки (прежде всего скорости резания).

Шлифование и полирование деталей сложного профиля высоколегированных закаленных сталей, титана и его сплавов на установках для магнитно-абразивной обработки. Получение V9—V10 классов с V4—V5 за 30—120 с и V12—V13 классов с исходных V6—V7 за 30—60 с машинного времени

Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя деталей машин с условиями их алмазно-абразивной обработки.

Под шлифованием понимается обработка поверхностей деталей машин при помощи абразивных кругов. Этот метод обеспечивает точность размеров шлифуемых поверхностей в пределах от 3 до 1-го классов точности и их чистоту в пределах 77.

Изнашивание трущихся деталей машин делает их в конце концов негодными для дальнейшей эксплуатации и потому является, вообще говоря, вредным, однако нашедшее в последнее время широкое применение абразивных материалов для обработки поверхностей, например, для доводки зубьев шестерён, указывает на существование и полезного изнашивания, т. е., снятия тонкого слоя материала, после которого поверхности становятся более гладкими — притираются.

Износ деталей машин и аппаратов является сложным процессом. Типовыми случаями являются обычное трение скольжения и абразивный износ. В первом случае металл наклепывается с поверхности, поэтому износостойкость существенно зависит от способности металла наклепываться. Во втором случае, когда частицы металла вырываются с поверхности, износостойкость определяется твердостью и сопротивлением отрыву. Как было отмечено в гл. 8, износостойкость может быть повышена химико-термической обработкой.

При изготовлении деталей машин и особенно измерительных инструментов широко применяют обработку резанием с использованием абразивных инструментов, позволяющих снимать тончайшие слои металла. Виды обработки деталей. Основные понятия о точности и качестве обработки металлов. Балансировка деталей и узлов. Получение необходимых форм, размеров и качества поверхностей деталей машин достигается соответствующей обработкой заготовок.

В современном машиностроении применяется обработка со снятием стружки, а также окончательная обработка без снятия стружки — пластическая деформация способ дробеструйного наклепа. Обработка снятием стружки наметаллорежущих станках производится лезвийными (резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, протяжки и др.) и абразивными (круги, бруски) режущими инструментами.

Для очистки, снятия заусенцев, закругления кромок, шлифования, полирования, упрочнения, снятия и выравнивания напряжений в поверхностных слоях и нанесения различных пленок на поверхности деталей машин все большее применение находит объемная вибрационная обработка, т. е. обработка части или всей поверхности деталей, помещенных в рабочие камеры или закрепленных на платформах вибрационных машин, при интенсивном перемещении среды и деталей или только среды под действием вибрации. Среда составляется из различных наполнителей (абразивные и металлические тела, естественные материалы) и рабочей жидкости, которая обеспечивает интенсификацию процесса, получение требуемого вида поверхности. Практически можно обеспечить получение размеров 2—3-го классов точности и до 10—12-го классов чистоты. [с.35]

По критериям работоспособности и причинам выхода деталей машин из строя их можно разбить на три группы. К первой группе относятся детали, работоспособность которых лимитируется износостойкостью трущихся поверхностей. В зависимости от вида износа следует применять различные методы упрочнения. При абразивном износе эффективны упрочнения поверхностной закалкой химикотермической обработкой (цементация, азотирование, цианирование, сульфидирование и др.) наплавкой гальваническое (хромирование, борирование и др.). При коррозионно- и молекулярно-механическом износе кроме перечисленных методов можно применять упрочнение поверхностно-пластическим деформированием с созданием большей глубины наклепа, упрочнение поверхностной закалкой и химико-термической обработкой, а также комбинацию последних методов с последующим наклепом. [с.139]

Абразивная бумага и полотно для отделочной обработки поверхностей трения деталей машин применяются давно, но преимущественно при ручной обработке. Такая обработка сохранилась еще и сейчас на многих заводах. Применяя абразивные бумаги различной

зернистости, можно сравнительно быстро обработать поверхности до высокой чистоты. [с.232]

Абразивное изнашивание характеризуется тем, что на трущихся поверхностях присутствуют абразивные частицы, которые разрушают поверхность за счет резания и царапания с отделением стружки. Абразивные частицы на поверхности трения могут появиться в результате недостаточной очистки смазки, шаржирования (внедрения) абразива при обработке деталей, как продукт износа (твердые частицы структурных составляющих разрушенных микрообъемов материала). Многие детали машин работают в абразивной среде (лемеха плугов, зубья ковша экскаватора и др.). Разновидностью абразивного изнашивания является гидроабразивное и газо-абразивное изнашивание, т.е. изнашивание твердыми частицами в потоке жидкости или газа. [с.82]

Процессы абразивной и алмазной обработки являются, как правило, завершающими в технологической цепочке изготовления ответственных деталей машин. Применяемые при этом методы и режимы обработки должны обеспечить заданные конструктором требования по точности и состоянию ПС, важной характеристикой которого являются его остаточные напряжения. Выбор нерациональных методов и режимов обработки может привести к неисправимому браку ответственных деталей машин из-за недопустимого уровня остаточных напряжений. Поэтому абразивная и алмазная обработка, как завершающие операции, требуют к себе особого внимания. Широкое применение обработки деталей машин шлифованием обусловлено следующим а) при абразивной обработке наиболее производительное и экономично достигается высокое качество обрабатываемой поверхности и необходимая точность деталей б) расширяется номенклатура деталей машин, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов в) непрерывно снижаются припуски на механическую обработку в связи с совершенствованием заготовительных операций (ковка, штамповка, литье), вследствие чего размеры заготовки максимально приближаются к размерам готовой детали.

Вибрационная обработка деталей. Этим термином называется обработка деталей машин, при которых используются механические колебания дозвуковой частоты в пределах до 3000 колебаний в минуту. При этом детали и наполнитель (абразивные материалы) загружаются в контейнер, подвергающийся

К концу XX-го века разработано и реализовано в машиностроении много различных методов обработки деталей. В целом их можно разбить на несколько видов механическая обработка (лезвийная, алмазно-абразивная, отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием) электрофизическая обработка (электроэрозионная, электронно-лучевая, лазерная, ультразвуковая) электрохимическая

икомбинированная обработка. Описанию различных технологических методов обработки деталей машин посвящен второй раздел данного тома.

Полирование деталей машин относится к числу наиболее трудоемких доводочных операций. Магнитно-абразивный способ, находящийся еще в стадии разработки, позволяет механизировать эту операцию и в значительной степени повысить качество обработки. Сущность способа сводится к следующему. Деталь помещается в магнитное поле, образованное двумя сердечниками электромагнитов. В зазор между деталью и сердечниками засыпается ферромагнитный порошок из железа, ферротитана, ферроборала, перлитного чугуна и твердого сплава. Разработаны также специальные композиции, получившие название керметов и представляющие собой продукты спекания порошков железа и электрокорунда. Под действием магнитного поля частички порошка ориентируются так, что их наибольшая ось располагается вдоль магнитных силовых линий, притягиваясь к полируемой поверхности заготовки. Если обеспечить относительное движение порошка и заготовки, то последняя будет обрабатываться. По мере затупления острых граней происходит переориентация зерен порошка с направлением магнитных силовых линий вновь совпадут наибольшие оси зерен, а к обрабатываемой поверхности будут обращены острые грани. Происходит как бы самозатачивание зерен, обеспечивающее поддержание производительности процесса примерно на постоянном уровне.

Существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машиноказывают методы чистовой и отделочной обработки. В процессе чистовой обработки при любых способах формообразования рабочих поверхностей имеет место механическое удаление металла с обрабатываемой поверхности заготовки с одновременными физико-механическими и химическими процессами. В настоящее время используются следующие основные методы чистовой и отделочной обработки: чистовое точение и растачивание, фрезерование и сверление, развертывание, протягивание, шлифование, хонингование, механическое полирование, притирка, сверхдоводка, анодно-механическая доводка, ультразвуковая обработка, светолучевая обработка, гидрополирование (обработка жидкой абразивной струей). Для поверхностного упрочнения деталей машин особенно сложной формы с успехом можно применять ультразвуковую обработку в масле абразивной среде. При такой обработке поверхность детали подвергается действию удара частиц абразива, получивших энергию от ультразвукового магнитоостриктора, действию ударной волны от захлопывающихся кавитационных пузырьков непосредственно на обрабатываемый металл или абразивное зерно, которое наносит удар по обрабатываемой поверхности. В основе абразивной обработки и износа металлов в твердых абразивных средах лежит процесс микрорезания (царапания) металла вершинами абразивных зерен [1, 2, 3].

Испытание на абразивное изнашивание представляет большой практический интерес как для обоснования мероприятий по увеличению срока службы деталей машин, работающих в абразивных средах, так и для повышения производительности абразивной обработки в условиях производства машин. Поверхности деталей машин, обработанные на металлорежущих станках, всегда имеют отклонения от правильных геометрических форм и заданных размеров. Волнистость, овальность, отклонение от плоскостности, цилиндричности и другие отклонения от заданной формы детали, возникающие после обработки и не видимые невооруженным глазом, могут быть уменьшены с помощью притирки (доводки), т.е. обработки с использованием мелкозернистых шлифпорошков, микропорошков (табл. 7.2) и паст (табл. 7.3). Процесс осуществляется с помощью притиров, которые должны иметь соответствующую форму (рис. 7.1). На притир наносят мелкий абразивный порошок или пасту со связующей

выкрашивание режущих пластинок инструмента в процессе обработки деталей вызывает микроповреждения поверхности и возникновение усталостных трещин при эксплуатации машины. При выборе геометрии инструмента и режимов обработки обращают внимание на величину и глубину залегания остаточных напряжений растяжения или сжатия, от которых зависит выбор припусков при последующих операциях механической обработки. Отрицательное воздействие растягивающих остаточных напряжений тем больше, чем ближе к поверхности детали они возникают. [с.77]

Литература

1. Багдасарова Т.А. Основы резания металлов: учебное пособие. – М.: Академия, 2012. – 80 с.
2. Бунаков П.Ю., Широких Э.В. Высокоинтегрированные технологии в металлообработке. Москва: ДМК Пресс, 2011.- 208 с.
3. Берлин Е. В., Сейдман Л. А., Коваль Н. Н. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей. 2012. - 425с.
4. Каменев А. Я., Куликов И. С., С. В. Ващенко. Электролитно-плазменная обработка материалов. Издательский дом “Белорусская наука”. 2010. 233 с.
5. Вишницкий А. Л., Ясногородский И. З., Григорчук И. П. Электрохимическая и электромеханическая методы обработки металлов, Л., 1991.
6. Черепанов Ю. П., Электрохимическая обработка в машиностроении, М., 1992;

ЛЕКЦИЯ 10 (2 ЧАСА)

ТЕМА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЛИК СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Вопросы:

1. Требования к современному производству.
2. Компьютерная интеграция производственных процессов.
3. Место САПР в КИП.

Вопрос 1. Требования к современному производству.

Машиностроительные предприятия стран СНГ создавались в условиях плановой экономики по предметному принципу. В основу производственной деятельности предприятий машиностроительных отраслей заложена предметная специализация. Плановая экономика не предусматривает выпуск невостребованной продукции, однако не стимулирует повышение качества продукции.

Производственные структуры таких предприятий характеризуются рядом признаков:

- отсутствием ярко выраженной технологической специализации производств;
- недостаточной гибкостью оборудования при переходе предприятия к выпуску новой продукции.

Уклад рыночной экономики, когда предложения превышают спрос, предполагается, что часть выпущенной продукции будет невостребованной. (график кризисных циклов).

До недавнего времени к технологическому оборудованию в числе главных выдвигались требования:

- в массовом производстве – высокая производительность;
- в серийном и единичном производствах – гибкость (универсальность и мобильность).

Поэтому к современному машиностроительному производству предъявляются требования:

- возможность частой сменяемости номенклатуры выпускаемых изделий;
- обеспечение конкурентоспособности производимой продукции.

Для выполнения этих требований требуется обеспечить:

1. Переход от предметной специализации к технологической.
2. Гибкость производства, т.е. иметь технологическое оснащение, позволяющее выпускать продукцию широкой номенклатуры.
3. Минимальную себестоимость производимой продукции.
4. Высокое качество при изготовлении изделий.

Обеспечение мобильности и высокой производительности машиностроительного производства достигается путем его автоматизации на базе станков с числовым программным управлением (ЧПУ), гибких производственных модулей (ГПМ), робототехнических комплексов (РТК), гибких производственных систем (ГПС).

Вопрос 2. Компьютерная интеграция производственных процессов.

Современные системы ЧПУ оборудованием позволяют обеспечивать информационную связь с жизненным циклом изделия.

Жизненный цикл изделия (ЖЦ) – это период времени от замысла создания изделия до его утилизации.

CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) цикла рассматривается как системная стратегия комплексного повышения эффективности осуществления процессов, связанных с промышленной продукцией, непосредственно влияющая на ее конкурентоспособность. Повышение конкурентоспособности достигается за счет сокращения затрат (цены) на изготовление изделия, сокращения сроков вывода новых образцов на рынок, повышения качества продукции за счет сквозной поддержки ее жизненного цикла.



Концепция КИП базируется на три основных аспекта :

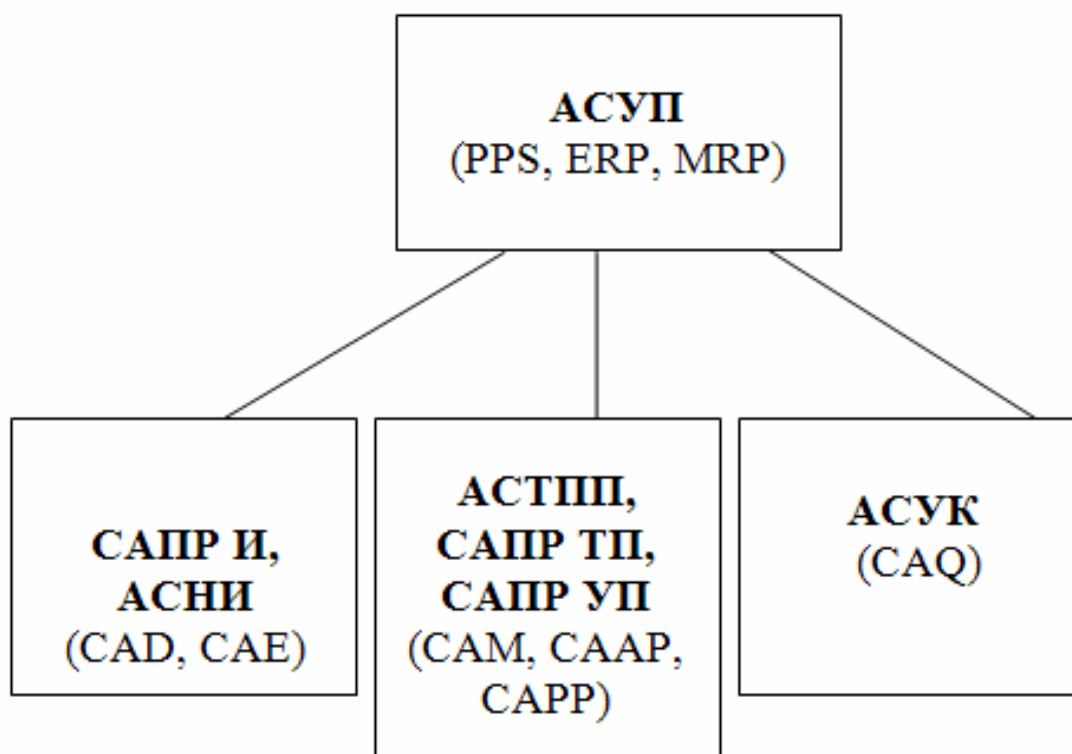
- компьютерная автоматизация, повышающая производительность основных процессов и процедур обработки информации;
- информационная интеграция процессов, т.е. совместное и многократное использование одних и тех же данных. Интеграция достигается минимизацией числа и сложности вспомогательных процессов и операций поиска, преобразования и передачи информации. Один из инструментов интеграции – стандартизация способов и технологий представления данных, благодаря которой результаты предшествующего процесса могут быть использованы в последующих процессах с минимальными преобразованиями;
- переход к безбумажной модели организации бизнес-процессов, многократно ускоряющей доставку документов, обеспечивающей

параллелизм обсуждения, контроля и утверждения результатов работы, сокращающей длительность бизнес-процессов.

Основными преимуществами единого информационного пространства являются:

- обеспечение целостности представления данных;
- возможность организации доступа к данным географически удаленных участников CALS-технологий;
- отсутствие потерь данных при переходе между этапами CALS-технологий;
- изменения представляемых материалов доступны сразу всем участникам CALS-технологий;
- повышение скорости поиска данных и доступа к ним по сравнению с бумажной документацией;
- возможность использования различных компьютерных систем для работы.

Классификация САПР в машиностроении (структура КИП)



АСУП – автоматизированная система управления производством.

Зарубежные названия:

PPS – Produktionsplaungs system (производственное планирование и управление),

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием),

MRP – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства),

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами) и др.

САПР изделий (САПР И)

Зарубежное название таких систем – CAD (Computer Aided Design, что означает: Computer – компьютер, Aided – с помощью, Design – проект, проектировать). То есть, термин «CAD» переводится: «проектирование с помощью компьютера». Эти системы выполняют объемное и плоское геометрическое моделирование, инженерные расчеты и анализ, оценку проектных решений, изготовление чертежей.

В САПР изделий научно-исследовательский этап иногда выделяют в самостоятельную автоматизированную систему научных исследований (АСНИ).

Зарубежное название таких систем – CAE (Computer Aided Engineering, что означает: Computer – компьютер, Aided – с помощью, Engineering – автоматизированная система инжиниринга.

Вопрос 3. Место САПР в компьютерно-интегрированном производстве (КИП).

Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла промышленной системы, обусловила разнообразие применяемых автоматизированных систем. Основные типы автоматизированных систем с их привязкой к этапам жизненного цикла системы приведены на рисунке.

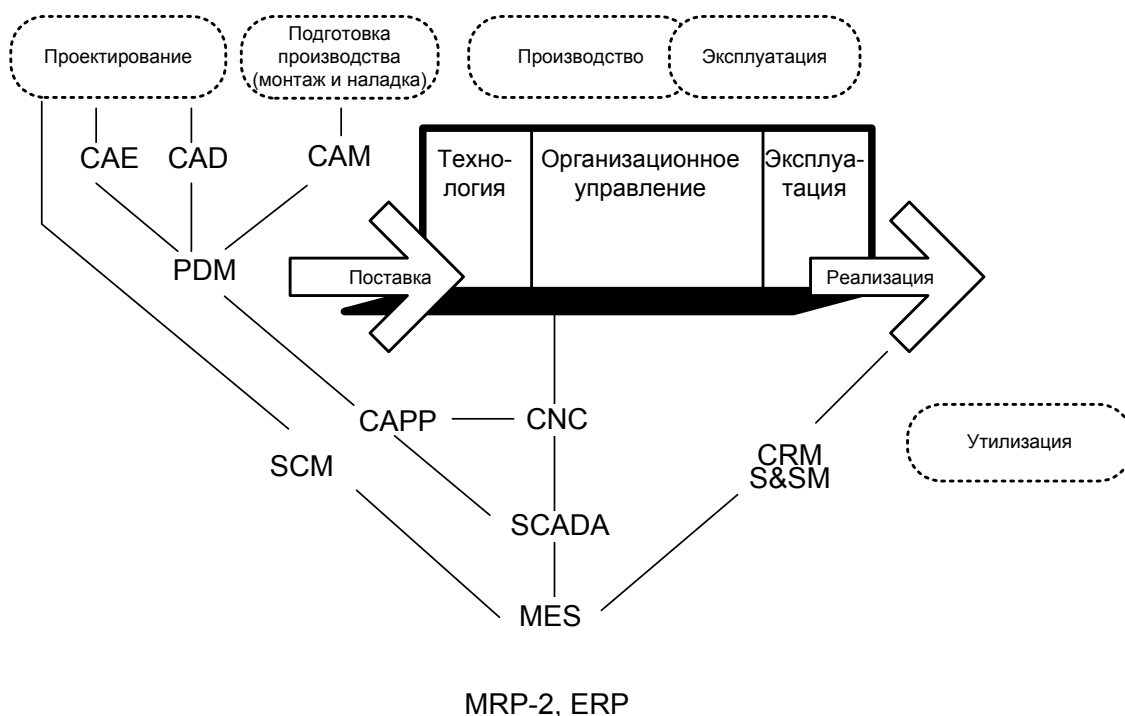


Рисунок. Этапы жизненного цикла промышленных систем и используемые автоматизированные системы CALS-технологии

CALS-технология компьютерно-интегрированного производства связана на входе с заказами, а на выходе – с готовой продукцией и с последующими этапами ее жизненного цикла. Используемые автоматизированные системы (см. рисунок) программно и информационно поддерживают следующие процедуры:

- CAD — конструирование;
- CAE — инженерные расчеты и анализ;
- CAM — технологическую подготовку производства и программирование оборудования с ЧПУ;
- PDM — управление проектными данными;
- CAPP — организационно-технологическую подготовку производства;
- CNC — числовое управление оборудованием;
- MES — исполнительную систему производства;
- SCM — управление цепочками поставок;
- CRM — управление взаимоотношениями с заказчиками;
- S&SM — управление продажами и обслуживанием.

Проектирование. CAD-системы (*Computer-Aided Design*) предназначены, прежде всего, для решения конструкторских задач и автоматизации оформления проектно-конструкторской документации. CAE-системы (*Computer-Aided Engineering*), как правило, реализуют универсальные подходы метода конечных элементов, с помощью которого можно проводить моделирование и численные расчеты практически любых физических полей. К CAE можно отнести обширный класс подсистем, каждая из которых позволяет автоматизировать определенную инженерную задачу (класс однородных задач): от расчетов на прочность, анализа аэро-, гидро-, термодинамических процессов — до моделирования процессов функционирования машин и механизмов, расчетов процессов литья, штамповки и пр. CAM-системы (*Computer-Aided Manufacturing*) предназначены в основном для проектного моделирования процессов обработки заготовок на станках с ЧПУ и генерации программ управления этими станками. К CAM-системам относят также компоненты CAPP, решающие многочисленные проблемно-ориентированные задачи технологической подготовки производства (моделирование и расчет заготовок, вычисление параметров техпроцессов и оптимизация режимов обработки, и т.д.). Функции координации работы систем CAD/CAE/CAM, управления проектными данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными PDM (*Product Data Management*). CAPP-системы (*Computer-Aided Process Planning*) — компьютерная поддержка планирования технологических процессов (процессов сборки) предназначены для проектирования технологических процессов, трудового и материального нормирования и разработки технологической документации.

ЛЕКЦИЯ 11 (2 ЧАСА)
ТЕМА: АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК
ДЕТАЛЕЙ

Вопросы:

1. Автоматизация рабочего цикла металлорежущих станков.
2. Станки с ЧПУ.
3. Использование промышленных роботов и автооператоров.

Вопрос 1. Автоматизация рабочего цикла металлорежущих станков.

При выполнении любой технологической операции продолжительность цикла [1]

$$T = t_p + t_x, \quad (1.1)$$

где t_p – время, затрачиваемое непосредственно на обработку заготовки детали, то есть время формообразования;

t_x – время, затрачиваемое на холостые перемещения (подача, установка и снятие инструмента и заготовки, включение в работу отдельных механизмов, ускоренный подвод и отвод инструмента, измерение поверхностей деталей и т.п.), не совмещенные во времени с обработкой, т.е. цикловые потери времени.

Штучная (цикловая) производительность характеризуется величиной, обратной затратам времени на обработку одной детали,

$$Q_{шт.} = \frac{1}{T}. \quad (1.2)$$

Если технологическая операция выполняется рабочим органом станка непрерывно, то есть отсутствуют вспомогательные перемещения ($t_x = 0$), не совмещенные во времени с обработкой, штучная производительность равна технологической Q_T :

$$Q_{шт.} = \frac{1}{t_p} = Q_T. \quad (1.3)$$

Технологическая производительность не учитывает потерь на холостые перемещения и характеризует уровень совершенства технологического способа изготовления детали.

Используя (1.1), (1.2) и (1.3), получим зависимость штучной производительности от технологической

$$Q_{шт.} = \frac{Q_T}{1 + t_x \cdot Q_T}. \quad (1.4)$$

Отсюда следует, что использование прогрессивной **технологии** (новых инструментов, современных способов обработки, высоких режимов и т.п.) не может быть высокоэффективным без сокращения цикловых потерь времени, основной составляющей которых являются холостые перемещения исполнительных органов станка. Самое действенное средство сокращения времени холостых перемещений – это автоматизация полного цикла работы станка и технологического процесса в целом.

Непрерывное повышение уровня автоматизации металлообрабатывающего оборудования является объективной закономерностью его развития. Эта закономерность иллюстрируется графиком (рис.1.1) зависимости штучной производительности от

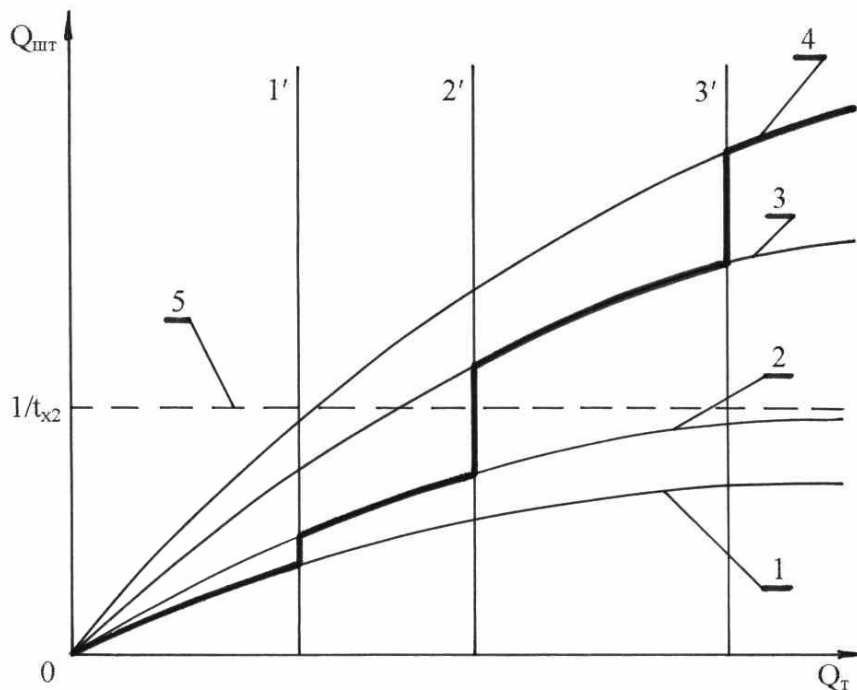


Рис.1.1. График зависимости штучной производительности ($Q_{шт}$) от технологической (Q_t) для металлообрабатывающего оборудования:

1-4 – с различным уровнем автоматизации; 1'-3' – рациональные пределы повышения технологической производительности при соответствующих значениях времени холостых перемещений (t_x); 5 – величина предельной производительности станка при заданном значении t_x

Вопрос 2. Станки с ЧПУ.

Рабочий цикл станка с ЧПУ осуществляется автоматически от управляющей программы. Управляющая программа - это совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка при обработке конкретной заготовки. Управляющая программа содержит как геометрическую, так и технологическую информацию. В качестве программносителя на смену магнитным лентам и перфолентам пришли гибкие магнитные диски (дискеты), постоянные запоминающие устройства.

На рис. 1.7 приведена последовательность прохождения информации от чертежа к заготовке при формировании поверхностей детали на станках с ЧПУ. На основе чертежа детали и технологического процесса ее изготовления разрабатывают управляющую программу, которая содержит в виде чисел в определенной последовательности данные о геометрии поверхности детали и технологии обработки ее заготовки. При записи этих чисел используют адресную систему команд, суть которой состоит в том, что

каждому числу предшествует определенная буква латинского алфавита в зависимости от того, что обозначает данное число.

Управляющая программа с помощью специальных устройств вводится в систему ЧПУ. Система ЧПУ состоит из двух основных частей: устройства ЧПУ и привода исполнительных органов.

Устройство ЧПУ выполняется, как правило, в виде отдельного узла, а блоки привода встраиваются в шкаф электрооборудования станка, а также устанавливаются на самом станке.

Функции, выполняемые устройством ЧПУ, разделяются на основные (выполнение необходимых расчетов, управление приводами подачи станка и вспомогательными механизмами в соответствии с заданной программой) и дополнительные (коррекция положения режущего инструмента, цифровая индикация и т.п.).

Вид системы ЧПУ в обозначении модели станка указывается индексами:

Ф2 - станки с позиционными или прямоугольными системами ЧПУ, в которых осуществляется перемещение от точки к точке без задания траектории этого перемещения:

Ф3 - станки с контурными системами ЧПУ, в которых осуществляется управление всеми траекториями перемещения рабочих органов, т.е. задаются не только начальная и конечная точки, но и закон перемещения (траектория и режим ее прохождения исполнительным органом);

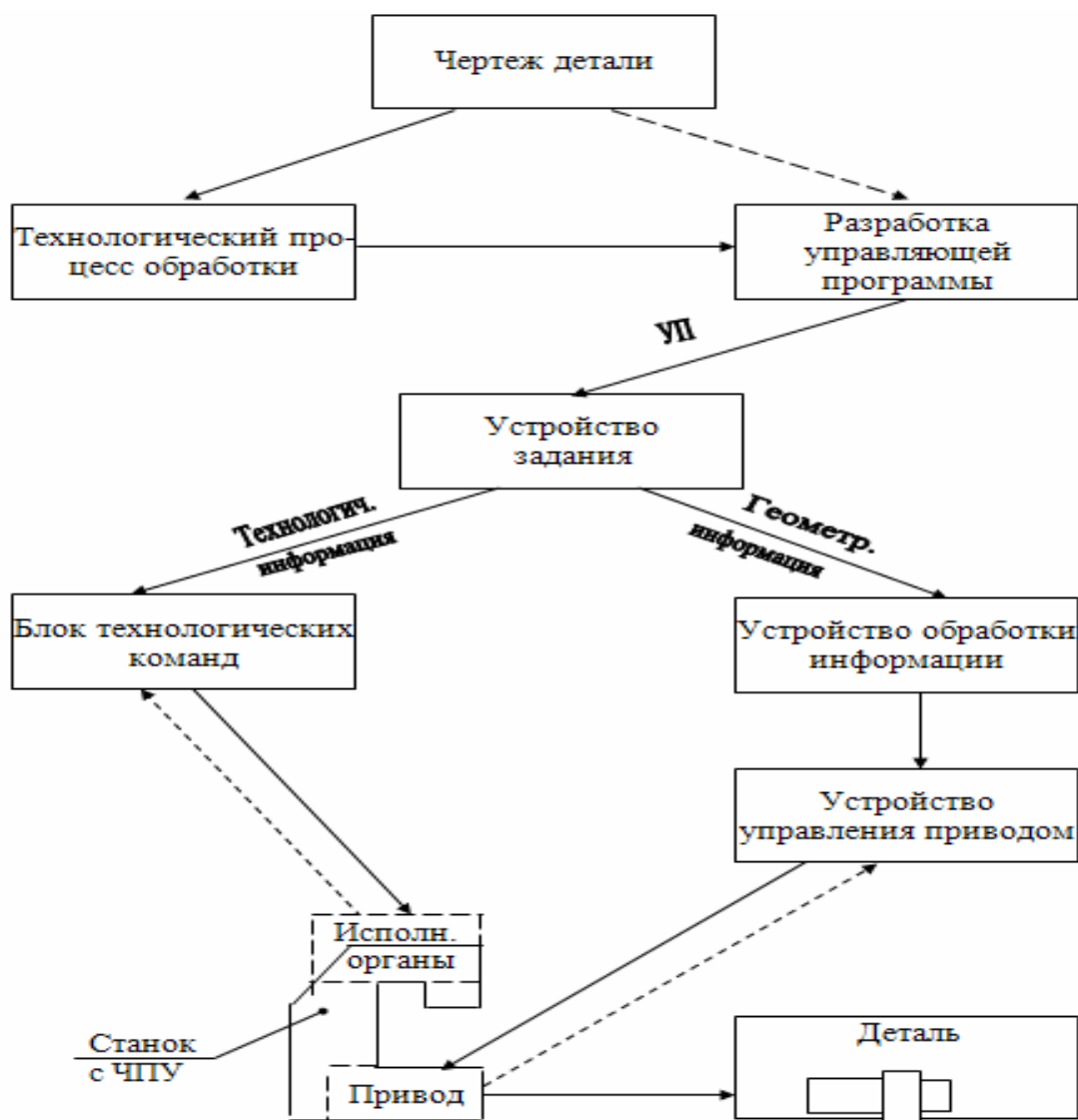
Ф4 - станки с универсальными системами ЧПУ для позиционно-контурной обработки (используются на многооперационных станках типа «обрабатывающий центр»).

Структура УП

Управляющая программа имеет жесткую структуру. Все команды управления объединяются в **кадры** (предложения), состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (ПС/LF) и имеет номер, за исключением первого кадра программы и комментариев. Первый кадр содержит только один символ «%». Завершается программа командой M02 или M30. Комментарии к программе размещаются в круглых скобках, занимая отдельный кадр.

Каждый кадр состоит из слов. Каждое слово состоит из адресной и числовой частей (G02, M02, Z100 и т.п.).

Последовательность прохождения информации от чертежа к детали



Вопрос 3. Использование промышленных роботов и автооператоров.

Автоматизация установки заготовок и снятия обработанных деталей на токарных станках с ЧПУ осуществляется, как правило, с использованием промышленных роботов (или автооператоров) и специальных накопительных устройств. Промышленные роботы выполняют ряд вспомогательных операций, связанных с перемещением заготовок и деталей, их ориентацией, поворотом и т.д. Каждый промышленный робот, которым оснащен станок с ЧПУ, может выполнять вспомогательные операции над определенной группой деталей, имеющих близкие геометрические формы и соотношение размеров.

Оснащение станков роботами привело к созданию роботизированных

технологических комплексов (РТК). В соответствии со стандартом РТК представляет собой совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующую и осуществляющую многократные циклы. Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи заготовок и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

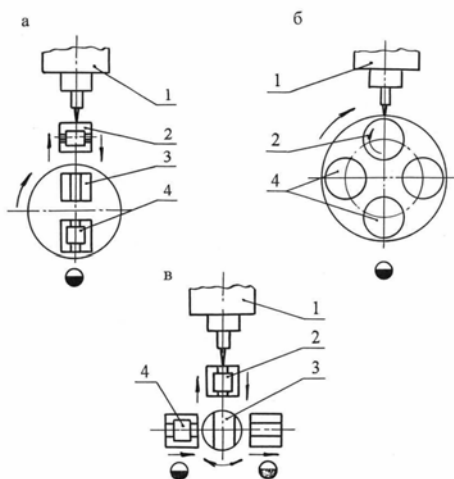


Рис.1.10. Схемы смены спутников с использованием поворотных устройств:

а – с 2-х позиционным поворотным устройством; б – с 4-х позиционным поворотным устройством; в – с однопозиционным поворотным устройством; 1 – шпиндель станка; 2 – стол станка; 3 – позиция смены спутника; 4 – спутник с заготовкой

Промышленный робот в составе РТК выполняет разгрузку-загрузку деталей с фиксированной позиции, которую обеспечивают накопительно-подающее и другие специализированные устройства, получившие название средств околороботной механизации.

Из всего многообразия компоновок станков и роботов можно выделить три основных вида: РТК со встроенным роботом; РТК с порталным расположением робота; РТК с напольным расположением робота.

Рассмотрим некоторые варианты этих компоновок. Широкое использование в токарных станках при обработке деталей типа тел вращения в качестве накопителя получили сменные лотки. Один из них (вводной) предназначен для подачи заготовок, другой (выводной) - для выгрузки обработанных деталей. Лотки могут регулироваться по ширине и по углу наклона под конкретные условия обработки. При этом вместо робота могут использоваться встроенные манипуляторы (рис.1.11).

РТК со встроенным роботом применяются преимущественно для патронной обработки деталей длиной не более 150мм.

Схема РТК со встроенным роботом показана на рис.1.12. Робот 3 закрепляется на станине токарного станка 4. Схват 5 робота оснащен двумя захватными устройствами: для заготовки и для обработанной детали. Рядом

со станком расположен накопитель 1, из гнезд которого оператор станка снимает обработанные детали и устанавливает на их место заготовки. При работе РТК робот схватом 5 вынимает из гнезда 2 накопителя заготовку, укладывает на ее место обработанную деталь и переносит заготовку в зону ожидания. По окончании обработки и остановки шпинделя 6 станка происходит выдвижение схвата 5 к обработанной детали, захват последней схватом, разжим патрона станка; отвод схвата от патрона путем поворота робота вокруг вертикальной оси, поворот схвата на 180° , подвод заготовки к патрону, ее зажим и отвод робота. Затем происходит обработка заготовки детали по управляющей программе.

В это время накопитель перемещается на следующую позицию и цикл повторяется. Схват робота - быстросменный. В случае использования робота с одним захватным устройством вспомогательное время на смену заготовки увеличивается, что приводит к непроизводительным простоям станка.

Накопительные устройства могут иметь различные форму и конструктивное исполнение, но функции у них одни - хранение и поштучная выдача в ориентированном положении заготовок, прием обработанных деталей.

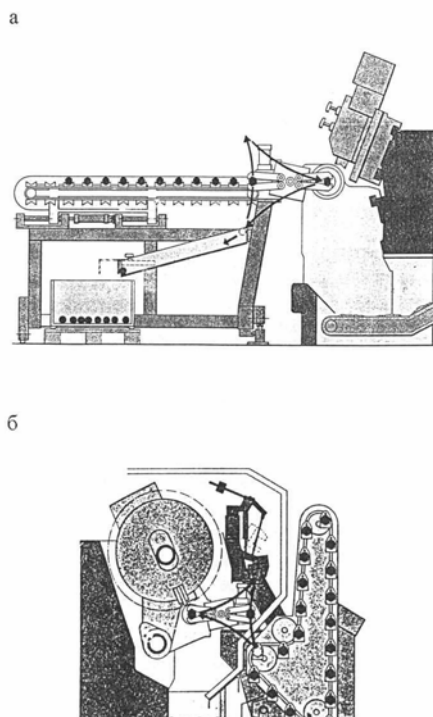


Рис.1.11. Схема поштучной выдачи и установки заготовок в шпиндель РТК при помощи манипулятора и накопителей горизонтального (а) и вертикального (б) исполнения

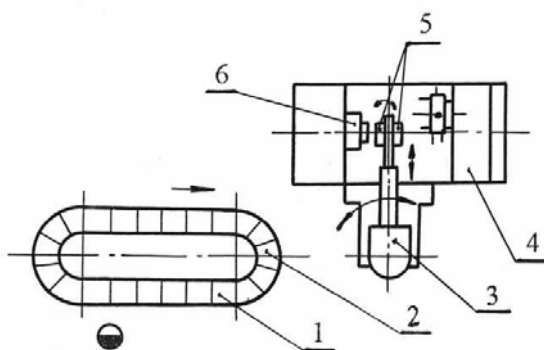


Рис.1.12. Схема РТК со встроенным роботом:

1 – накопитель; 2 – позиция установки заготовки и снятия детали роботом; 3 – робот; 4 – станок с ЧПУ; 5 – схваты робота; 6 – патрон станка

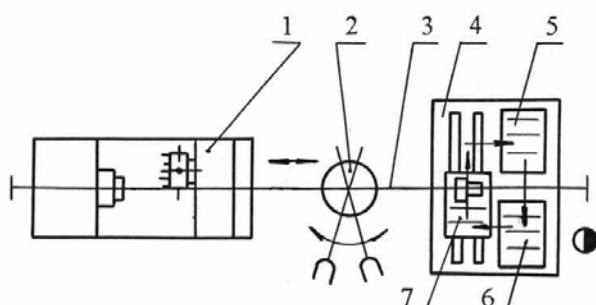


Рис.1.13. Схема РТК с порталным расположением робота:

1 – станок; 2 – робот; 3 – портал; 4 – накопительно-подающее устройство; 5 – кассета с обработанными деталями; 6 – кассета с заготовками; 7 - тактовый стол с кассетой

Для обработки заготовок деталей типа вала длиной более 150мм широкое использование получили РТК с порталным расположением робота (рис.1.13).

Робот 2 перемещается по порталу 3 между накопительно-подающим устройством 4 и станком 1. Оператор РТК укладывает заготовки рядами в гнезда кассеты 6, которая подается затем на тактовый стол 7. Тактовый стол подает кассету в зону действия робота и после обработки деталей в одном ряду перемещает ее на шаг, равный расстоянию между рядами. Призматический схват робота вынимает заготовку из гнезда и укладывает на ее место обработанную деталь. Робот чаще всего выполняют двуруким с целью сокращения вспомогательного времени и повышения производительности РТК.

ЛЕКЦИЯ 12 (2 ЧАСА)

ТЕМА: ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ СТАНКОВ С ЧПУ И ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА НИХ ДЕТАЛЕЙ

Вопросы:

1. Компоновка металлорежущих станков с ЧПУ и конструктивное исполнение их основных механизмов.
2. Принципы разработки ТП для автоматизированных производств.
3. Последовательность разработки ТП.

Вопрос 1. Компоновка металлорежущих станков с ЧПУ и конструктивное исполнение их основных механизмов.

Реализация идеи ЧПУ выдвинула ряд требований к конструкции самого станка, без выполнения которых использование систем ЧПУ осталось бы малоэффективным. Например, система ЧПУ позволяет обеспечить высокую точность перемещения исполнительных органов станка (до 2 мкм). Для возможности переноса этой точности на размеры обрабатываемых заготовок деталей необходимо, чтобы механические узлы станка удовлетворяли соответствующим требованиям. Поэтому оснащение станков системами ЧПУ повлекло пересмотр их конструкций следующим образом:

- базовые узлы выполняются более жесткими, при этом станина должна обеспечивать удобный доступ к обрабатываемой заготовке детали и свободный сход стружки. С этой целью в станках токарной группы применяют наклонные станины (рис.1.4) с плоскими 3 или круглыми 4 направляющими. Большие расстояния между стальными закаленными направляющими и площади их опорных поверхностей обеспечивают малое распределенное давление, возникающее от усилий резания, а надежная защита от загрязнений и автоматическая смазка – долговечность работы станка с сохранением постоянной точности;

- узлы привода главного движения обеспечивают бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя (рис.1.5а,б);

- в шпиндели встраиваются устройства автоматического зажима и разжима инструмента (рис.1.5в);

- узлы привода подач выполняются с короткими кинематическими парами (безззорные редукторы) и шариковыми винтовыми парами, обеспечивающими высокую жесткость, плавность хода, минимальные потери на трение (рис.1.6);

- направляющие выполняются более износостойкими, с малым коэффициентом трения (направляющие качения, гидростатические или на воздушной подушке);

- в станках встраиваются дополнительные автоматические устройства смены инструмента, уборки стружки, смазки, загрузочные и другие устройства;

- шпиндели станков располагаются, как правило, в отдельном корпусе передней бабки, вследствие чего возможны минимальные исполнительные размеры бабки и ее высокая жесткость. Симметричная форма передней бабки обеспечивает термическую стабильность и минимальное изменение размеров при повышении температуры. Передняя опора шпинделя выполняется на спаренных подшипниках с предварительным натягом, что обеспечивает повышенную точность. Независимая смазка подшипников шпинделя снижает потери на трение и увеличивает их долговечность. Шкив для зубчатого клиновидного ремня через отдельные подшипники устанавливается обычно на опорном стакане 3 (см. рис.1.5а) и радиальные усилия от ремней не воспринимаются шпинделем, поэтому шпинделю передается только крутящий момент;

- в конструкциях станков предусмотрена установка автоматических измерительных систем с обратной связью. По результатам измерения параметров инструмента или обработанных поверхностей заготовок деталей система определяет величину необходимой поднастройки станка и выдает сигнал для ее

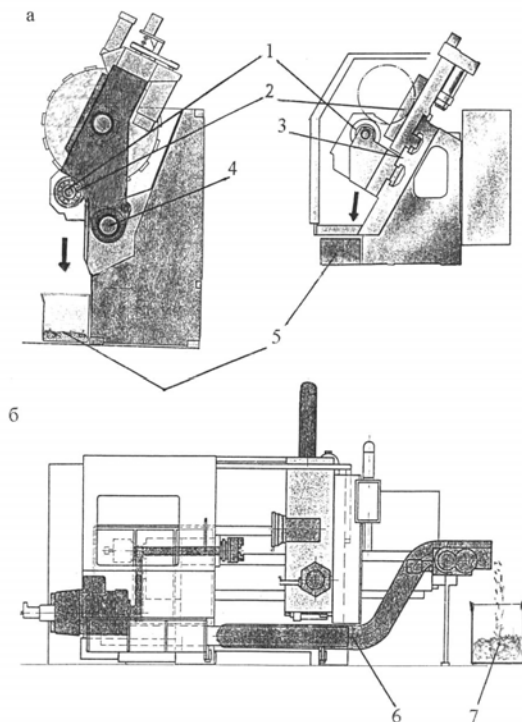


Рис.1.4. Схема автоматизации уборки стружки на токарных станках с ЧПУ: а – свободный сход стружки; б – компоновка транспортера для удаления стружки; 1 – шпиндель; 2 – каретка с инструментом; 3 – плоские направляющие; 4 – круглые направляющие; 5 – место сбора стружки; 6 – транспортер; 7 – приемное устройство для стружки

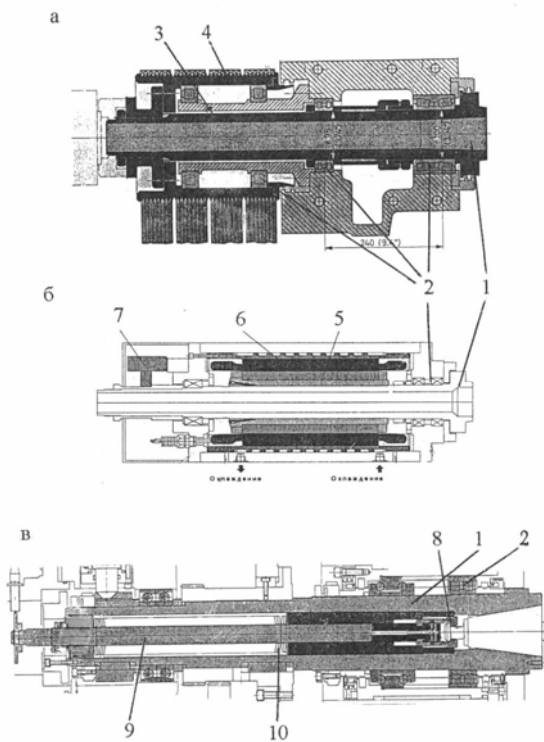


Рис.1.5. Варианты конструктивных схем шпиндельных узлов станков с ЧПУ: а – с разгрузкой шпинделя от изгибающего момента привода; б – двигатель-шпиндель; в – с устройством автоматического зажима-разжима инструмента; 1 – шпиндель; 2 – подшипники; 3 – опорный стакан; 4 – приводной шкив; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – датчик; 8 – цапга зажима инструмента; 9 – толкатель; 10 – тарельчатые пружины

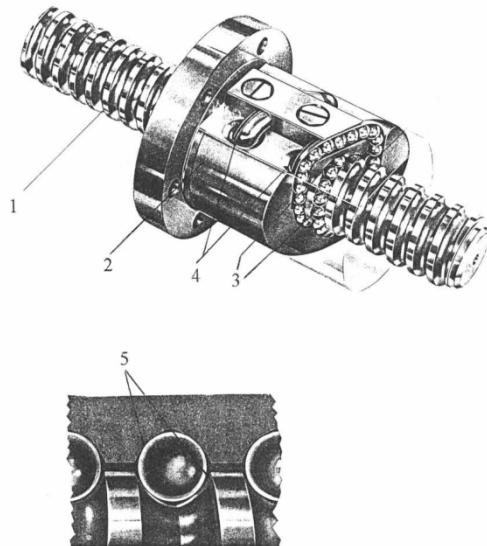


Рис.1.6. Конструктивное исполнение шариковой винтовой пары с вращающимся винтом и перемещающейся гайкой:

1 – винт; 2 – гайка; 3 – шарики; 4 – трубки возврата шариков; 5 – арочный профиль резьбы

Вопрос 2. Принципы разработки ТП для автоматизированных производств.

Разработка технологических процессов автоматизированных производств характеризуется следующими особенностями:

- автоматизированные ТП включают не только разнородные операции механической обработки, но и обработку давлением, термообработку, сборку, контроль, упаковку, а также транс- портно-складские и другие операции;
- требования к гибкости и автоматизации производственных процессов диктуют необходимость комплексной и детальной проработки технологии, тщательного анализа объектов производства, проработки маршрутной и операционной технологии, обеспечения надежности и гибкости процесса изготовления изделий с заданным качеством. Степень подробности технологических решений должна быть доведена до уровня подготовки управляющих программ для оборудования;
- при широкой номенклатуре изделий технологические решения многовариантны;
- возрастает степень интеграции работ, выполняемых различными технологическими подразделениями.

Основные принципы построения технологии механической обработки в автоматизированных производственных системах.

Раскрыть потенциальные возможности АПС и обеспечить их максимальную эффективность можно только тогда, когда проектированию АПС предшествуют глубокие технологические разработки, соблюдение основных принципов технологии. Рассмотрим некоторые из них.

1. Принцип завершенности заключается в том, что следует стремиться к выполнению всех операций в пределах одной АПС без промежуточной передачи полуфабрикатов в другие подразделения или вспомогательные отделения. Для реализации принципа необходимы: обеспечение требований по технологичности изделий; разработка новых унифицированных методов обработки и контроля; расширение и обоснование типажа оборудования АПС с повышенными технологическими возможностями.

2. Принцип малооперационной технологии заключается в формировании ТП с максимально возможным укрупнением операций, с минимальным числом операций и установок в операциях. Для реализации принципа необходимы те же мероприятия, что и для принципа 1, а также оптимизация маршрутов и операционной технологии, применение методов автоматизированного проектирования ТП.

3. Принцип «малолюдной» технологии заключается в обеспечении автоматической работы АПС в пределах всего производственного цикла. Для реализации принципа необходимы: стабилизация отклонений входных технологических параметров АПС (заготовок, инструментов, станков, оснастки); расширение и повышение надежности методов операционного

информационного обеспечения; переход к гибким адаптивным системам управления СУ ТП со статистической коррекцией УП.

4. Принцип «безотладочной» технологии заключается в разработке ТП, не требующих отладки на рабочих позициях. Принцип особенно актуален для широкономенклатурных АПС, он близок к принципу 3. Для его реализации необходимы те же мероприятия, что и для принципа 3.

5. Принцип активно-управляемой технологии заключается в организации управления ТП и коррекции проектных решений на основе рабочей информации о ходе ТП. Корректировать можно как технологические параметры, формируемые на этапе управления, так и исходные параметры технологической подготовки производства (ТПП). Для реализации принципа необходимы: разработка методов и алгоритмов адаптивного управления ТП; разработка методов статистической коррекции базы данных (БД) для создания самообучающихся АПС.

6. Принцип оптимальности заключается в принятии решения на каждом этапе ТПП и управлении ТП на основе единого критерия оптимальности. Для реализации принципа необходимы: разработка теоретических основ оптимизации ТП; разработка алгоритмов оптимизации для условий работы АПС; разработка специальных технических, аппаратных, программных средств реализации указанных алгоритмов. Принцип оптимальности создает единую методическую основу решения технологических задач на всех уровнях и этапах, позволяет выработать наиболее эффективное, однозначное и взаимоувязанное решение указанных задач.

Помимо рассмотренных для технологии АПС характерны и другие принципы: компьютерной технологии, информационной обеспеченности, интеграции, безбумажной документации, групповой технологии. Все они объединены в единую систему ТПП и управления, что позволяет говорить о создании принципиально новой технологии АПС, реализующей наиболее эффективные технические решения и максимально раскрывающей потенциальные технические и технологические возможности АПС. Последний принцип групповой технологии является фундаментальным для всех АПС, так как именно он обеспечивает «гибкость» производства.

3. Последовательность разработки ТП.

Технологическая подготовка производства деталей на станках с ЧПУ по содержанию, объему и методам существенно отличается от технологической подготовки на станках с ручным управлением и включает следующие виды работ:

- отбор номенклатуры деталей в зависимости от сложности конструкции, их точности и программы выпуска;
- проработка чертежей деталей на технологичность, направленная на унификацию конструктивных элементов, обеспечение возможности использования стандартного инструмента небольшой номенклатуры;

- разработка технологического маршрута обработки заготовки детали с учетом существующего опыта изготовления аналогичных, выбор моделей станков с ЧПУ;
- разработка технологической документации и программных карт;
- разработка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- проектирование и изготовление специальной технологической оснастки;
- отладка и корректировка программ.

Специфические особенности проектирования ТП обусловлены высокой производительностью станков за счет автоматизации всего цикла обработки заготовок деталей, концентрацией обработки на одной операции без переустановки заготовок, более высокой точностью и идентичностью обработанных поверхностей, необходимостью разработки управляющих программ обработки заготовок на станках с ЧПУ.

При выборе номенклатуры деталей учитываются:

- сложность конфигурации обрабатываемых поверхностей, объем и номенклатура выпуска деталей: надо полагать, что обработка сложных поверхностей на станках с контурными системами ЧПУ более эффективна, чем простых;
- точность межцентровых расстояний в деталях (с повышением точности повышается эффективность обработки на станках с позиционной системой ЧПУ);
- относительное расположение обрабатываемых поверхностей с точки зрения удобства выполнения технологических операций;
 - обрабатываемость материала заготовки;
 - возможность унификации технологических баз;
 - трудоемкость обработки на станках без ЧПУ;
 - возможность конструктивной унификации обрабатываемых поверхностей или их элементов с целью создания условий для разработки групповых процессов и унифицированных элементов программ;
 - возможность создания участка станков с ЧПУ и организации многостаночного обслуживания.

Предварительно отобранные детали подвергаются анализу на технологичность конструкции с целью:

- сокращения типоразмеров используемого режущего инструмента;
- повышения точности базирования, уменьшения степени деформации заготовок деталей при обработке;
- уменьшения объема слесарно-доводочных операций при последующей обработке, сборке деталей и узлов;
- уменьшения количества переустановок заготовок и потребной оснастки;
- сокращения времени на расчет и подготовку программ;
- применения стандартного инструмента взамен специального.

При проработке на технологичность следует учитывать следующее:

- отверстия деталей, обрабатываемых на станках сверлильно-расточной группы, должны быть, по возможности, унифицированы по диаметрам, фаскам, резьбам и другим элементам;
- конструкция деталей должна обеспечивать быстрое и удобное их закрепление на станке. В конструкции деталей, обрабатываемых на фрезерных, сверлильных, расточных станках с ЧПУ, не имеющих элементов наружного или внутреннего контура, которые могли бы быть использованы для базирования, необходимо предусматривать два максимально разнесенных по габариту заготовки детали базовых отверстия, расположенных в допустимых местах зоны свободного доступа;
- для сокращения типоразмеров режущего инструмента сопряжения наружных и внутренних поверхностей должны производиться, по возможности, одинаковыми (типовыми) для данной детали радиусами;
- на деталях типа тел вращения размеры фасок и канавок должны быть, по возможности, унифицированными;
- для сокращения затрат на программирование желательно упрощение геометрических образов, т.е. деталь должна содержать однотипные геометрические элементы, содержащие участки прямых, дуг окружностей и других несложных кривых второго порядка;
- правые и левые детали не должны отличаться друг от друга по размерам;
- детали, по возможности, должны иметь симметричную форму;
- простановка всех размеров должна проводиться в прямоугольной системе координат от единых конструкторских баз детали. Желательна простановка размеров ко всем центрам окружностей, если это не требует от конструктора дополнительных трудоемких вычислений;
- на чертежах деталей допускаются указания об обработке сложных поверхностей на станках с ЧПУ.

ЛЕКЦИЯ 13 (2 ЧАСА)

ТЕМА: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНКОВ С ЧПУ

Вопросы:

1. Требования к зубчатым передачам.
2. Специализация изготовления зубчатых колес.
3. Современные технологии изготовления зубчатых колес.

Вопрос 1. Требования к зубчатым передачам.

По данным фирмы *Liebherr* с 2015 года суммарно будет изготавливаться 75 млн. автомобилей, в т.ч. около 65 млн. легковых автомобилей. Для легковых автомобилей 5-6 ступенчатые коробки с ручным переключением будут составлять 42%, автоматические 5-7 ступенчатые коробки – 40% и коробки 5-6 ступенчатые с двумя сцеплениями – 18%. Таким образом можно прогнозировать, что будут доминировать традиционные коробки с зубчатыми передачами

Растущие требования к комфортности современных автомобилей и других транспортных средств предъявляют к изготовителям зубчатых передач требования по малошумности их работы.

Требования по снижению металлоемкости передач связаны с необходимостью применения новых конструкций зубчатых передач повышенной точности (например, планетарных).

Увеличение количества типоразмеров зубчатых колес приводит к необходимости иметь гибкие быстроперенастраиваемые средства их изготовления.

Вопрос 2. Специализация изготовления зубчатых колес.

За рубежом массовые узлы с зубчатыми колесами (коробки передач, задние мосты) изготавливаются на специализированных фирмах (например, ZF Friedrichshafen), которые занимаются совершенствованием конструкции и технологии изготовления этих узлов и обеспечивают высокое качество узла в целом.

Производством зубчатых колес малых серий занимаются также специализированные фирмы (например, Zahnradfabrik Hänel), но обеспечивают высокое качество отдельных зубчатых колес.



На основных операциях изготовления зубчатых колес (точение, зубонарезание, зубошлифование) используются станки с ЧПУ. Применение станков с ЧПУ привело к сокращению количества операций при изготовлении зубчатых колес.

В качестве финишной операции взамен зубошлифования, а также после зубошлифования получило широкое применение силовое зубохонингование охватывающим хонмом.

Практически на всех станках с ЧПУ загрузка и выгрузка деталей выполняется различными средствами механизации (роботы, порталы, грейферы и т.д.),

Токарная заготовка зубчатого колеса обрабатывается окончательно с высокой точностью базового отверстия и базового торца (до 0,01 мм) на токарных обрабатывающих центрах с ЧПУ.

Для зубчатых колес средних размеров (модуль 0,5 – 8, диаметр до 400 мм, ширина до 250 мм) может обеспечиваться 6-й квалитет точности по DIN 3962 без зубошлифования и 4-й квалитет - с зубошлифованием.

В зависимости от конфигурации и особых требований к зубчатому колесу зубошлифование применяется и для 5-6 квалитетов.

На основных операциях изготовления зубчатых колес используются станки с ЧПУ для шлифования отверстий и шеек.

Вопрос 3. Современные технологические процессы изготовления зубчатых колес.

Схема технологических маршрутов

	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)	Фрезерование (обкат)
	Шевингование	Шевингование	Упрочнение	Упрочнение	Упрочнение
	Упрочнение	Упрочнение	Шлифование	Шлифование	Зубохонингование <i>Prävema</i>
	Контроль	Хонингование	Built-in	Хонингование	Built-in
	Built-in	Built-in		Built-in	
Качество	Среднее	Хорошее	Высшее	Высшее	Высшее
Условия шума	Хорошие	Высшие	Критические	Высшие	Высшие
Цена	Низкая	Высокая	Высокая	Очень высокая	Низкая

Технологические процессы изготовления зубчатых колес в СНГ:

Наиболее отсталой является схема изготовления «фрезерование – шевингование – термообработка». По этой схеме многие годы работали и продолжают работать изготовители зубчатых колес в СНГ.

Схема «фрезерование – шевингование – термообработка – хонингование» не получила широкого применения в СНГ.

Схема «фрезерование– термообработка – шлифование » применяется в станкостроении и при изготовлении специальных зубчатых колес.

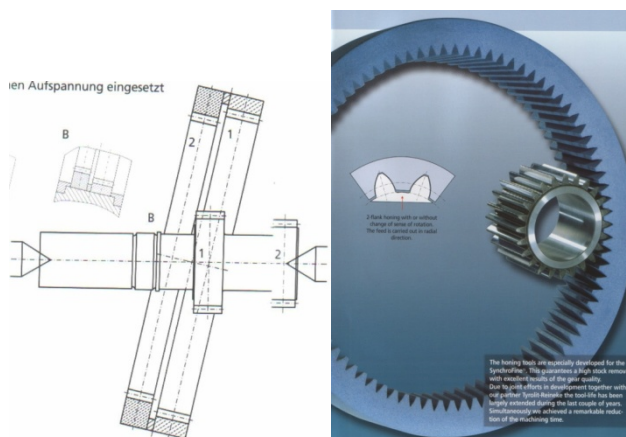
Две наиболее современные схемы: «фрезерование - термообработка – силовое хонингование» и «фрезерование – термообработка – шлифование - хонингование» практически не применяются изготовителями массовых зубчатых колес в СНГ.

Тенденции совершенствования функций зубофрезерных станков:

- Механизация загрузки, согласованность с известными системами;
- Механизация установки фрезы- гидравлические системы для быстрой смены и закрепления фрезы;
- Контроль затупления фрезы, контроль активной мощности;
- Диагностика состояния станка, местная и удаленная;
- Программное обеспечение выбора оптимальных геометрических и технологических параметров циклов зубофрезерования с анализом возможных причин погрешностей;
- Возможность совмещения со снятием фасок и удалением заусенцев;
- Возможность нарезания модифицированных по длине -зубьев (бочкообразных, конических);
- Возможность применения «сухого» фрезерования;
- Для снижения уровня шума в современных технологических процессах эффективно применяется силовое зубохонингование охватывающим хоном;

Силовое зубохонингование охватывающим хоном имеет синхронизированное вращение хона и обрабатываемого зубчатого колеса, хон выполняется в виде зубчатого колеса с внутренними зубьями.

В результате применения силового зубохонингования охватывающим хоном достигается эффективное снижение шума, устраняются следы предыдущих обработок, улучшается текстура поверхности и обеспечивается шероховатость $Ra < 0,3$ мкм, обеспечиваются высокие остаточные сжимающие напряжения до 800-1200 Н/мм², повышается износостойкость и сопротивление к микрорпиттингу.



ЛЕКЦИЯ 14 (2 ЧАСА)

ТЕМА: ОСНОВЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР В САПР ТП. СТРУКТУРА И ВИДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР ТП

Вопросы:

1. Задачи и методы формализации.
2. Виды подсистем
3. Виды обеспечения САПР

Вопрос 1. Задачи и методы формализации.

Задачи ТПП не имеют явно выраженных формальных методов решения. Вместе с тем, решение любой задачи на ЭВМ требует наличия аналитических или других видов зависимостей, отражающих количественную, а не качественную сторону процесса проектирования.

Поэтому для решения задач автоматизации технологического проектирования с помощью ЭВМ необходимо провести формализацию технологии (или ее части).

Формализацией называется процесс замены (преобразования) содержательных предложений формулами, функциональными зависимостями и логическими соотношениями с целью создания алгоритмов и программ.

При этом форма и содержание технологических процессов может быть выражена с помощью аппарата математической логики, описана с использованием теории графов и теории множеств. Например, качественные отношения могут быть представлены количественными зависимостями с помощью логических функций.

Формализация задач превращает процесс технологического проектирования из процесса рассуждений и построения аналогии в процесс строгого расчета.

Задачи, которые необходимо решать при автоматизированном проектировании технологических процессов:

1. Ввод в ЭВМ формализованных сведений о детали в виде буквенно-цифровых массивов, содержащих описание ее материала, конфигурации, размерных связей, технических требований.

2. Ввод в ЭВМ сведений о наличном парке металлорежущего оборудования, заготовительном производстве, технических характеристиках станков, режущем, вспомогательном и мерительном инструментах, станочных приспособлениях, ГОСТах, нормалях, необходимых руководящих и нормативных материалах. Разработать методы поиска необходимой информации в памяти машин, а также ее вывод в нужном виде, т.е. организовать информационно-справочную службу, которая могла бы обеспечить процесс проектирования необходимой справочной документацией.

3. Ввод в ЭВМ множества типовых решений и алгоритмов их выбора,

на которые базируется процесс автоматизированного проектирования. Их также нужно описать формальным образом, организовать ввод, размещение в памяти ЭВМ и предусмотреть возможность оперативной работы с ними.

4. Вывод результатов проектирования в виде, удобном для технологов и рабочих-станочников.

Обобщенная модель системы преобразования входных данных и знаний о предметной области в выходную информацию можно представить в виде «черного ящика» (рисунок).

Входными данными в рассматриваемых системах являются конструктивное описание изделия на машинных носителях и (или) в форме конструкторской документации и различные виды руководящей и справочной информации. Выходная информация во внутренней форме представляет собой машинную модель технологического процесса, а во внешней – технологическую документацию, оформленную в соответствии со стандартами.

Проведение расчетов или выполнение проектных задач на ЭВМ начинается с математической формулировки задачи и заканчивается решением задачи на ЭВМ и анализом результата.

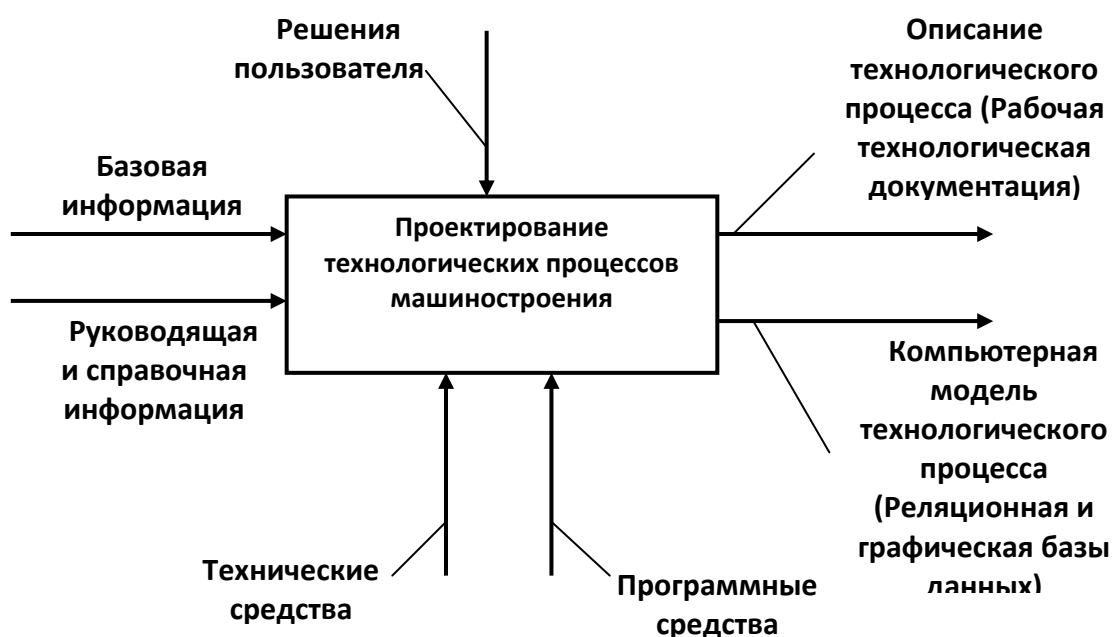


Рисунок 1 – Функциональная модель САПР технологических процессов

Для формализации описания конструкторской информации используют два подхода:

- а) кодирование на базе известных классификаторов;
- б) использование специального проблемно ориентированного языка.

2. Виды подсистем.

Любая САПР ТП построена по принципу модульности, что дает возможность из модулей системы собирать её модификации различного назначения. Работа модулей организуется головной программой. Комплекс программных средств системы состоит из базы данных (БД) и программных приложений, и обеспечивает автономную работу отдельных его компонентов.

Основные функции модулей САПР ТП:

- формирование информационной модели детали;
- выбор заготовки;
- расчет припусков и межоперационных размеров;
- формирование маршрута обработки и технологических операций;
- выбор режущего, измерительного, вспомогательного инструмента;
- расчет режимов резания и нормирование технологических операций;
- создание карт эскизов (КЭ)
- формирование и печать технологической документации.

Материальной основой любой САПР является программно-технический комплекс (ПТК), состоящий из комплекса технических средств (КТС) и программно-методического комплекса (ПМК). Под ПМК понимают программные средства САПР, базы данных и документацию по эксплуатации системы.

Основными структурными и функциональными составляющими САПР ТП являются подсистемы. Подсистема – это самостоятельный программный комплекс, решающий некоторую определенную задачу и функционирующий самостоятельно. В каждой подсистеме решается функционально законченная последовательность задач.

Различают два вида подсистем:

- общего назначения (обслуживающие);
- специального назначения (проектирующие).

Типовой состав САПР ТП представлен на рисунке 2.1.

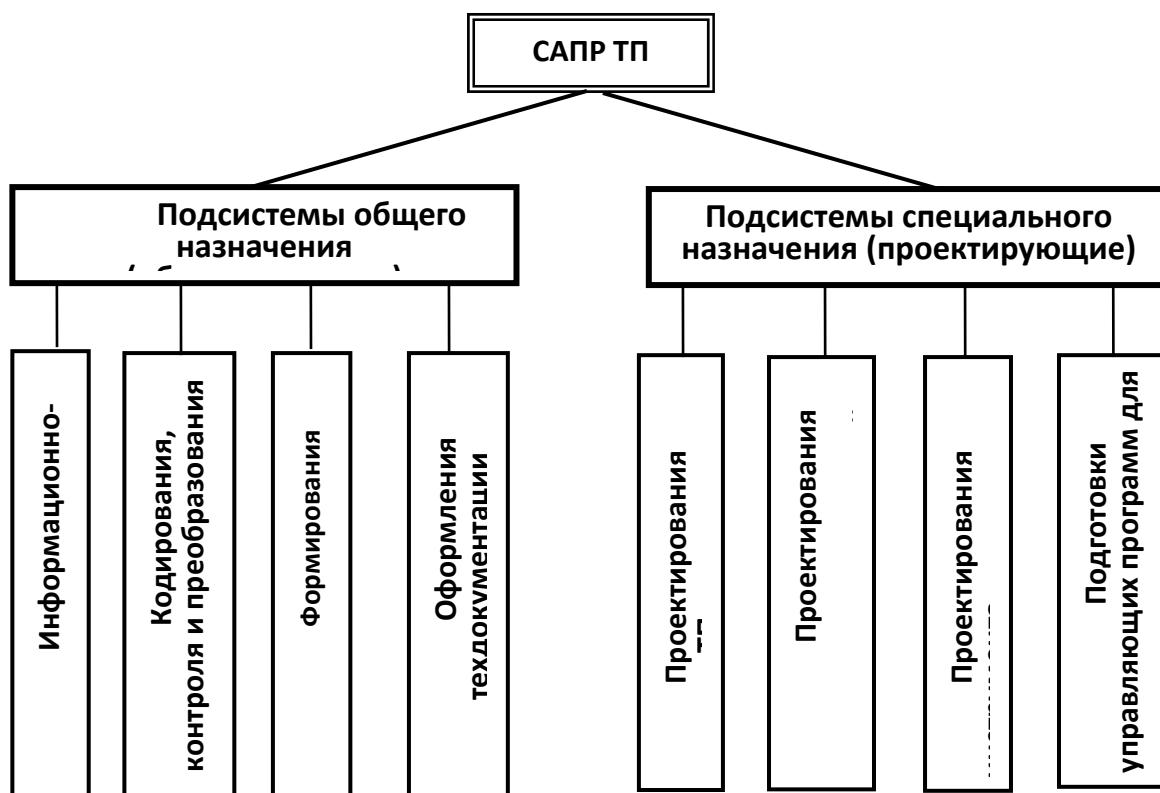


Рис. 2.1 – Типовой состав САПР ТП

Подсистемы специального назначения осуществляют функции технологического проектирования. К ним относят подсистемы, выполняющие процедуры и операции проектирования отдельных частей объекта (приспособления, инструмента, технологического процесса), а также подсистемы, осуществляющие выполнение определенной стадии проектирования объекта (например, подсистемы выполнения эскизного проекта, комплекса расчетных работ и т.п.). Проектирующие подсистемы чаще всего являются объектно-ориентированными, т.е. содержание и порядок выполнения проектных процедур характерны только для данного вида проектируемых объектов.

Состав подсистем специального назначения определяется спецификой предприятия и, как правило, включает:

- подсистему проектирования типовых технологических процессов;
- подсистему проектирования технологической оснастки;
- подсистему проектирования инструмента;
- подсистему подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Под обслуживающими понимают подсистемы, обеспечивающие функционирование проектирующих подсистем (например, подсистема формирования текстовых документов, информационно-поисковая система и т.д.). Обслуживающие подсистемы в большинстве случаев являются инвариантными ко многим видам объектов проектирования, так как

предназначены для выполнения унифицированных процедур и операций (например, хранение и поиск информации, обработка графической информации, формирование проектной документации).

Подсистемы общего назначения осуществляют специфические функции машинного решения задач.

К ним относятся:

- информационно-поисковая система (ИПС). ИПС предназначена для хранения и поиска условно-постоянной информации САПР;
- подсистема кодирования, контроля и преобразования информации;
- подсистема формирования исходных данных;
- подсистема оформления и тиражирования технической документации.

Таким образом, подсистемы общего назначения обеспечивают совместное функционирование подсистем специального назначения.

3. Виды обеспечения САПР.

Системы автоматизированного проектирования технологических процессов реализуются в виде программно-аппаратного комплекса, т.е. совокупности программных и аппаратных средств.

Комплекс средств автоматизации проектирования современных САПР ТП включает семь видов обеспечения:

- техническое;
- математическое;
- лингвистическое;
- информационное;
- программное;
- методическое;
- организационное.

ЛЕКЦИЯ 15 (2 ЧАСА)
ТЕМА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С
ЧПУ В САПР ТП PRAMEN

Вопросы:

1. Режимы работы системы САПР ТП PRAMEN.
2. Схема проектирования в системе.

Вопрос 1. Режимы работы системы САПР ТП PRAMEN

Основными режимами работы системы являются: Архив изделий (ввод нового, выходная документация), Проектирование (САПР ТП, формирование КЭ), База данных (БД).

При запуске системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей на экране дисплея выводится основное окно системы с режимами: Архив изделий, Проектирование, База данных.

Функции режима «Архив изделий» (Рисунки 2 – 4):

- ввод, корректировка, удаление изделия, сборочной единицы (узла), детали;
- ввод (удаление) детали в рабочий список (на проектирование). Рабочий список – это перечень деталей, для которых технолог проектирует технологические процессы;
- печать технологических и сводных документов на деталь (изделие).

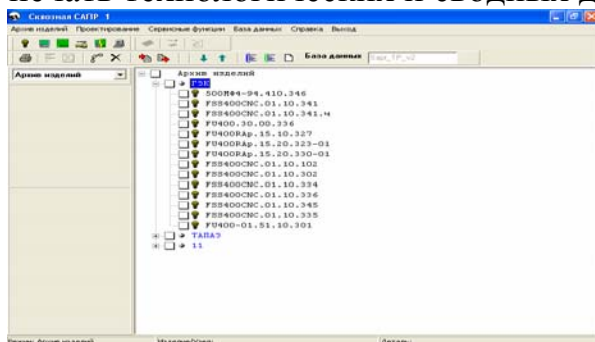


Рисунок 2

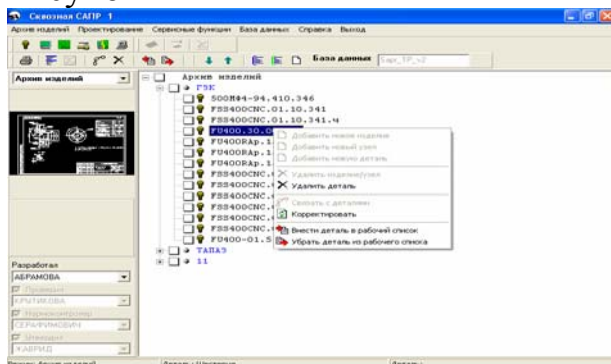


Рисунок 3

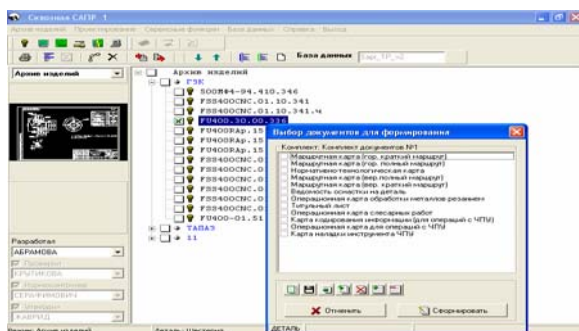


Рисунок 4

Функции режима «Проектирование»:

- механообработка;
- ввод исходных данных;
- проектирование в автоматическом режиме;
- проектирование в диалоговом режиме;
- проектирование по аналогу;
- проектирование с редактированием;
- запись в архив;
- формирование эскизов для механообработки.

Вопрос 2. Схема проектирования в системе

«Архив изделий»:

Ввод детали в изделие (узел) – формирование обозначения, наименования, применяемости;

Занесение детали в «Рабочий список» – для передачи ее на проектирование.

«Проектирование»:

Ввод исходных данных о детали – занесение общих сведений о детали (масса, материал, шероховатость, КТП и др.) и параметров обрабатываемых поверхностей для проектирования техпроцесса в автоматическом режиме или в «Проектировании с редактированием»:

- режим «Кодирование» при наличии бумажной формы чертежа;
- режим «Графический ввод» при наличии электронной формы чертежа.

Проектирование начинается с регистрации детали в «Архиве изделий» (Рисунок 5). Для этого в режиме «Архив изделий» выполняется функция ввода нового узла (изделия), подузла (сборочной единицы) в зависимости от спецификации с помощью контекстного меню, используя функцию «Добавить новое изделие» вводится: обозначение изделия, наименование изделия, годовая программа, путь слайда изображения изделия, причем поля обозначение изделия, годовая программа – обязательные реквизиты (Рисунок 6).

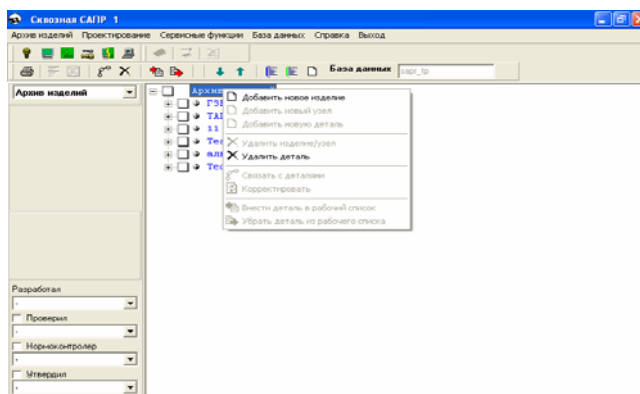


Рисунок 5

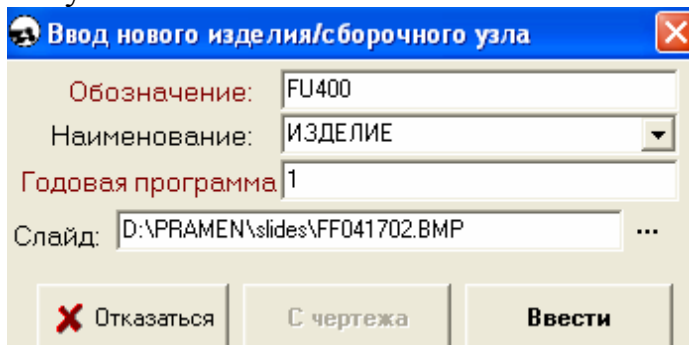


Рисунок 6

При наличии в спецификации узлов, подузлов – ввод данных производится аналогично с помощью контекстного меню, используя функцию «Добавить новый узел» (Рисунок 7).

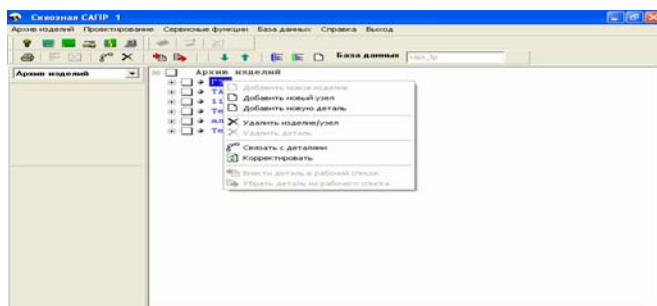


Рисунок 7

Для ввода данных о детали в изделие/узел/подузел используется функция контекстного меню «Добавить новую деталь»

Данные о детали: обозначение, наименование, применяемость можно вводить в архив как вручную (аналогично вводу изделия, узла, подузла), так и с чертежа, при наличии его в электронной форме. Для этого используются графический пакет ACAD. Программа подключает их в зависимости от расширения имени файла чертежа. При этом автоматически формируется слайд чертежа для просмотра в архиве.

При вводе данных о детали с чертежа выполненного в ACAD используется меню «СОЗДАНИЕ» (Рисунок 8) по кнопке «Укажи» выбирается с чертежа наименование детали, обозначение, масса и общая шероховатость.

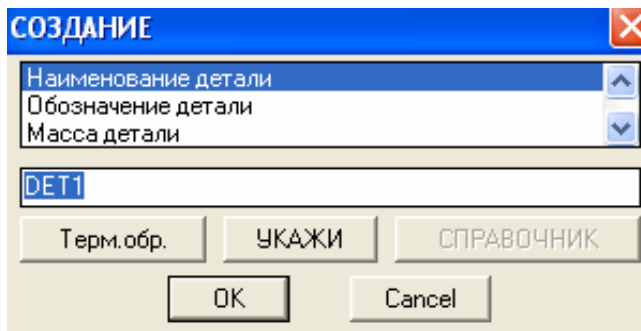


Рисунок 8

При вводе данных о детали с чертежа выполненного в T-Flex автоматически вводится данные по кнопке «Общие сведения».

Для проектирования техпроцесса с помощью контекстного меню «Внести деталь в рабочий список» происходит занесение детали в «Рабочий список» – для передачи ее на проектирование (Рисунок 9).

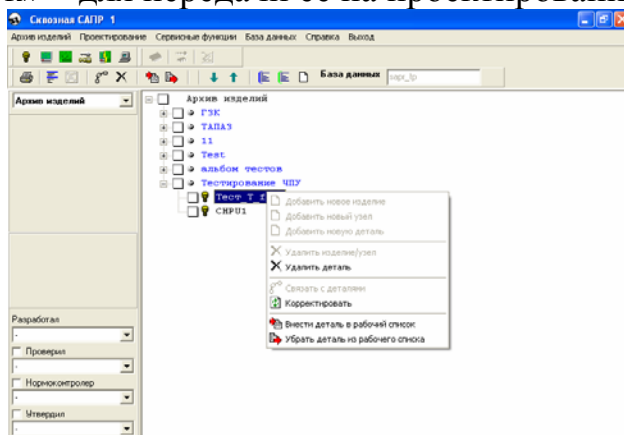


Рисунок 9

При формировании сведений о поверхностях на экран дисплея выводится графическое изображение элемента и сценарий к нему (Рисунок 10). При выходе из кодирования поверхностей обязательные параметры (красный цвет наименования поля) проверяются на заполненность и, если значение параметра не заполнено, то предлагается его заполнить.

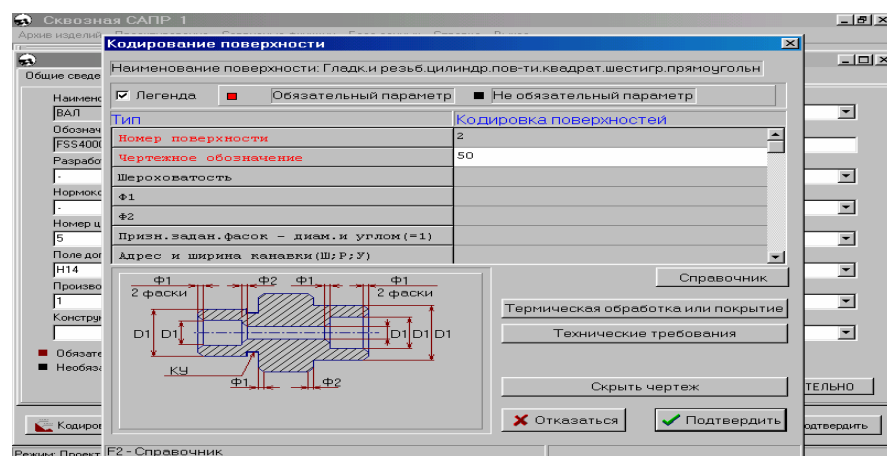


Рисунок 10