

**Тема: Электрофизические и электрохимические способы обработки**

**Задание для студентов**

1. Ознакомиться с теоретическим материалом
2. Составить конспект лекции
3. Ответить на контрольные вопросы в **письменном виде**
4. Предоставить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

**ЛЕКЦИЯ**

**План**

1. Электрофизическая и электроэрозионная обработка
  - 1.1 Электроискровая обработка
  - 1.2 . Электроимпульсная обработка
2. Электрохимические методы обработки
  - 2.1 Электрохимическая обработка, основанная на анодном растворении
  - 2.2 Электро-абразивная обработка
  - 2.3 Анодно-механическая обработка

Появление новых материалов, повышение требований к точности обработки, специфические требования к качеству поверхностного слоя вызвали потребность производства в применении новых методов обработки, основанных на иных, чем резание, физических процессах. К часто используемым относятся: электрофизические и электрохимические (ЭФЭХ) методы обработки; светолучевая и плазменно-лучевая обработка и обработка поверхности поверхностным пластическим деформированием.

Электрофизические и электрохимические методы используются для формообразования поверхностей заготовок из труднообрабатываемых материалов (весьма вязких, твердых и очень твердых, керамических, металлокерамических) и позволяют обрабатывать сложные фасонные внешние и внутренние поверхности, отверстия малых диаметров и т. д.

При ЭФЭХ-методах обработки механические нагрузки на обрабатываемую поверхность настолько малы, что практически не влияют на

точность обработки. При ЭФЭХ-обработке не появляется наклеп обработанной поверхности, устраняются прижоги после шлифования, повышаются эксплуатационные характеристики поверхностного слоя (износостойкость, коррозионная стойкость, прочность), и лишь в ряде случаев образуется незначительный дефектный слой. Простота кинематических цепей станков для этих методов позволяет обеспечивать автоматизацию обработки и точное регулирование процессов формообразования.

## **1. Электрофизическая и электроэррозионная обработка**

Электрофизические методы основаны на разрушении (эрозии) поверхности заготовки, происходящем в результате теплового воздействия импульсов электрического разряда, которые возникают между электродами (инструментом и заготовкой), поэтому называются электроэррозионными. Электрический разряд между электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного промежутка диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло). Эрозия электродов в жидкой среде происходит значительно интенсивнее.

При замыкании электрической цепи межэлектродное пространство ионизируется. При достижении пороговой разности потенциалов образуется канал проводимости, по которому проходит искровой или дуговой разряд. За время  $10^{-8}$ – $10^{-5}$  с плотность тока возрастает до 8–10  $\text{kA/mm}^2$ . В результате температура на поверхности заготовки возрастает до 10 000–12 000 °C, что влечет плавление, испарение и выброс частиц материала с поверхности заготовки. Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами окажется минимальным. Эрозия металла происходит до тех пор, пока расстояние между электродами не окажется больше критического (0,01–0,05 мм). При сближении электродов процесс эрозии повторяется. Кроме теплового, имеют место электростатическое, электродинамическое воздействие и кавитационные явления.

Электроэррозионную обработку подразделяют на электроискровую и электроимпульсную.

### **1.1 Электроискровая обработка**

Электроискровая обработка основана на использовании импульсного искрового разряда между анодом (заготовкой) и катодом (инструментом). Принципиальная схема процесса показана на рис. 1. В ванне с диэлектрической жидкостью 4 размещены подставка-изолятор 7 и заготовка

6. Между заготовкой и инструментом 3 пропускается импульсный ток амплитудой 100–200 В. Импульс продолжительностью 20–200 мкс генерируется *RC*-генератором 1. В зависимости от энергии импульса различают обработку на особо мягких, мягких, средних и жестких режимах. Мягкие режимы позволяют вести обработку с размерной точностью до 2 мкм и шероховатостью обработанной поверхности до  $Rz\ 0,32$  мкм.

Обработка на средних и жестких режимах позволяет получать фасонные открытые полости (полость штампа), цилиндрические отверстия с радиусной осью, прошивать сквозные отверстия любой поперечной формы диаметром 1–50 мм и разрезать заготовку.

Обработка на особо мягких режимах позволяет шлифовать внутреннюю поверхность особо точных отверстий малого диаметра (фильтр) и проводить окончательную отделку заготовки.

Электроискровая обработка применяется для изготовления штампов, пресс-форм, фильтров, режущего инструмента, деталей топливной аппаратуры двигателей, сеток и сит. Кроме того, электроискровая обработка применяется для повышения износостойкости, жаростойкости и коррозионной стойкости поверхности деталей машин, стойкости режущего инструмента, для создания шероховатости под последующее гальваническое покрытие, легирования поверхностных слоев, увеличения размеров изношенных деталей.

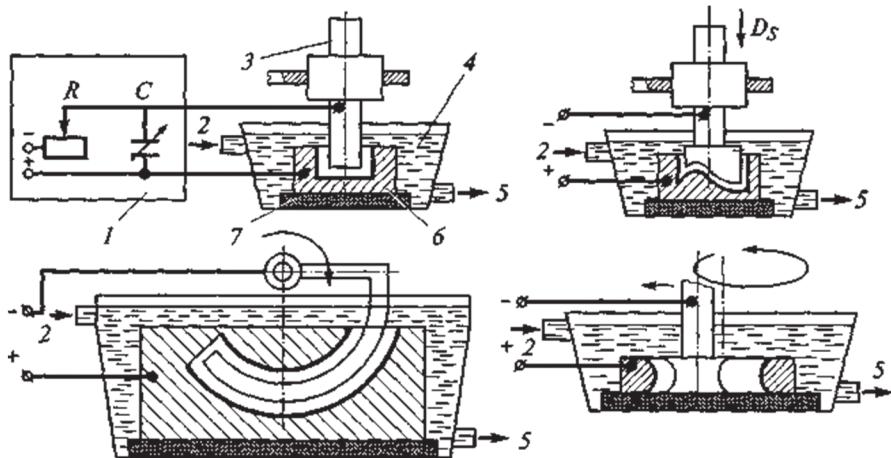


Рисунок 1 -Электроискровая обработка:

1 – *RC*-генератор; 2 – подача электролита; 3 – инструмент; 4 – диэлектрическая жидкость; 5 – слив электролита; 6 – заготовка; 7 – изолятор;  $D_s$  – движение подачи

Сущность электроискрового упрочнения заключена в образовании мелкодисперсной закалочной структуры и в легировании поверхностных слоев материала анода при искровом разряде в воздушной среде.

Электроискровому упрочнению подвергают кулачки, фиксаторы, направляющие, прижимы, толкатели, стержни выпускных клапанов, клинья, пазы, шлицы, отверстия.

Электроискровое упрочнение требует предварительной подготовки заготовок: удаление загрязнений, заусенцев и пятен коррозии; обеспечение шероховатости обрабатываемой поверхности не более Rz 80 мкм.

Электроискровое упрочнение проводят на мягких, средних и жестких режимах. Мягкие режимы обеспечивают получение тонкого плотного мелкодисперсного слоя. Жесткие режимы позволяют получать более толстые слои, но не обеспечивают однородность упрочненного слоя.

### 1.2 . Электроимпульсная обработка

Электроимпульсная обработка основана на повышенной эрозии анода при подаче импульсов малой и средней продолжительности. При импульсах большой продолжительности (дуговой разряд) значительно быстрее разрушается катод. Униполярные импульсы создаются электромашическим 7 (рисунок 2) или электронным генератором.

Продолжительность импульса составляет 500–10000 мкс. Заготовку 5 размещают на изоляторе 6 в ванне с диэлектрической жидкостью 3. При данной обработке инструмент 2 изнашивается медленнее, чем при электроискровой. Значительная мощность импульса обеспечивает высокую производительность, но малую точность обработки, поэтому метод целесообразно применять для черновой обработки обширных полостей, фасонных наружных поверхностей и отверстий.

Высокочастотная электроискровая обработка основана на использовании высокочастотных (100–150 кГц) импульсов при малых значениях энергии разряда. Производительность метода в 50–150 раз выше по сравнению с электроискровой обработкой при одновременном повышении точностных параметров обработанной поверхности. Схема установки показана на рисунке 30.

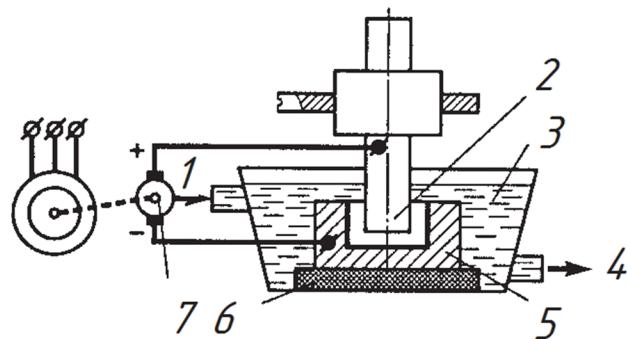
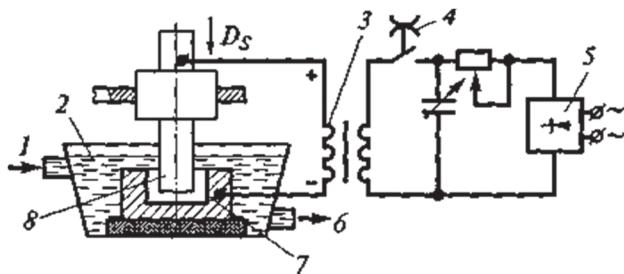


Рисунок 2 - Электроимпульсная обработка:

1 – подача электролита; 2 – инструмент; 3 – диэлектрическая жидкость; 4 – слив электролита; 5 – заготовка; 6 – изолятор; 7 – электромашический генератор



**Рисунок 3 - Высокочастотная электроимпульсная обработка:**

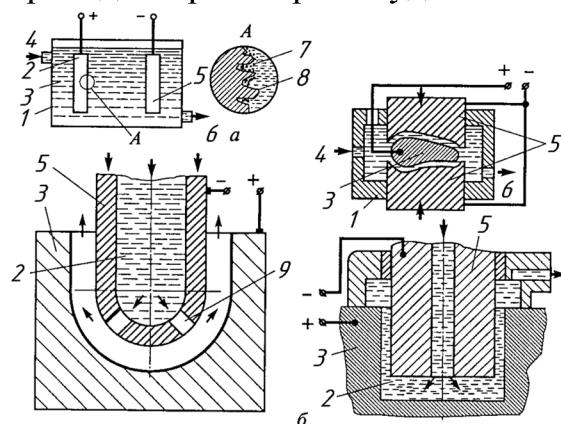
1 – подача электролита; 2 – диэлектрическая жидкость; 3 – трансформатор; 4 – прерыватель тока; 5 – выпрямитель; 6 – слив электролита; 7 – заготовка; 8 – инструмент;  $D_s$  – движение подачи

Заготовка 7 и инструмент 8 установлены в ванне с диэлектрической жидкостью 2. Постоянное напряжение от выпрямителя 5 разрывается прерывателем тока 4 и подается на первичную обмотку импульсного трансформатора 3. Включение заготовки и инструмента во вторичную цепь трансформатора позволяет избежать возникновения дугового разряда.

## 2. Электрохимические методы обработки

### 2.1 Электрохимическая обработка, основанная на анодном растворении

Электрохимический метод обработки основан на анодном растворении выступов и впадин микронеровностей при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит 2 (рисунок 4\,а) на поверхности анода–заготовки 3 происходят химические реакции, и поверхностные слои металла превращаются в химические соединения. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются.



**Рисунок 4 - Электрохимическая обработка, основанная на анодном растворении:**

а – полирование; б – размерная обработка; 1 – ванна; 2 – электролит; 3 – заготовка; 4 – подача электролита; 5 – катод; 6 – слив электролита; 7 – продукты растворения; 8 – микронеровности; 9 – отверстие

При электрохимическом полировании заготовку помещают в ванну 1 с электролитом, которым в зависимости от обрабатываемого материала служат растворы кислот или щелочей. Заготовку подключают к аноду. Катод 5 представляет собой пластину из свинца, меди или стали.

При замыкании электрической цепи начинается растворение материала анода – выступов микронеровностей 8 (наибольшая плотность тока – на их вершинах). Продукты растворения 7 заполняют впадины и препятствуют растворению металла. Избирательная скорость растворения по выступам и впадинам сглаживает микронеровности. Обработанная поверхность получает металлический блеск.

Электрохимическое полирование уменьшает глубину микротрещин, не деформирует заготовку, исключает термические изменения структуры и позволяет обрабатывать нежесткие заготовки одновременно по всей поверхности. Чаще всего этот способ применяется для финишной обработки режущих инструментов.

Особенностью электрохимической размерной обработки является электролиз в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый заготовкой 3 (рисунок 31,б) и катодом 5. Струя электролита удаляет и продукты электролиза из рабочей зоны. Способ позволяет одновременно обрабатывать всю поверхность за готовки, находящуюся под воздействием катода (необрабатываемые участки поверхности изолируются). Электрохимической размерной обработке подвергаются нежесткие заготовки, сложно-фасонные заготовки, фасонные полости или фасонные глухие (сквозные) отверстия в труднообрабатываемых материалах. При обработке полостей или отверстий электролит подается по сквозному или глухому центральному каналу катода через отверстия 9.

## 2.2 Электроабразивная обработка

Особенность электроабразивной обработки состоит в том, что катодом является абразивный инструмент 2 (рисунок 5,а), выполненный на электропроводящей связке. Между анодом – заготовкой 1 и инструментом имеется межэлектродный зазор за счет абразивных зерен 3, выступающих из связки. В этот зазор подается электролит 4. До 90 % припуска 5 удаляется за счет анодного растворения, 10–20 % припуска удаляется механической обработкой. При использовании алмазного абразивного инструмента (электроалмазная обработка) анодным растворением удаляется до 75 % припуска. Способ применяется для отделочной обработки нежестких заготовок и заготовок из труднообрабатываемых материалов.

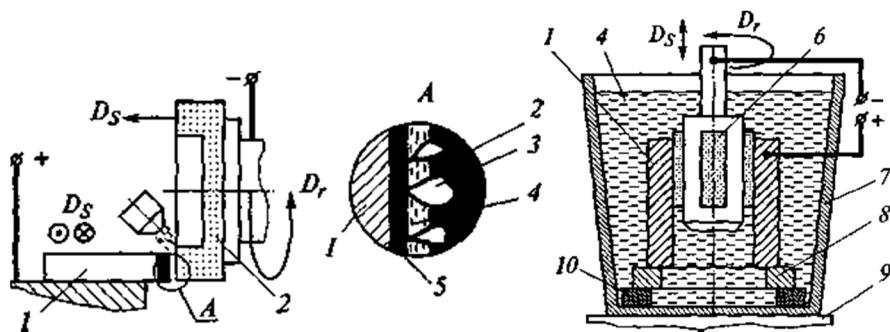


Рисунок 5 - Электроабразивная обработка:

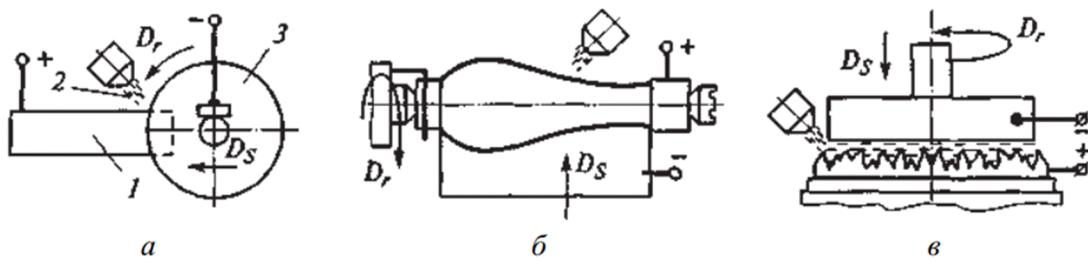
*a – шлифование; б – хонингование; 1 – заготовка; 2 – инструмент; 3 – абразивные зерна; 4 – электролит; 5 – припуск; 6 – хонинговая головка; 7 – ванна; 8 – токосъемное кольцо; 9 – стол; 10 – изолятор; D<sub>r</sub> – главное движение; D<sub>s</sub> – движение подачи*

При электрохонинговании (рисунок 5, б) заготовку 1, установленную на токосъемное кольцо 8 и изолятор 10, помещают в ванну 7 с электролитом 4. Ванну устанавливают на стол 9 хонингового станка. Кинематика процесса аналогична кинематике обычного хонингования. Однако хонинговая головка 6 оснащена не абразивными брусками, а брусками из липы, ольхи или пластмассы. Предварительное хонингование ведут в растворе электролита  $\text{NaNO}_3$  (натриевая селитра) с добавлением абразивного порошка зернистостью не более М28. Окончательное хонингование ведут в том же электролите, но с добавлением оксида хрома. Способ обеспечивает шероховатость поверхности –  $R_a$  0,04–0,16 мкм (зеркальный блеск) и повышение производительности обработки в 4–5 раз.

### 2.3 Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на комбинированном (механическом, электроэррозионном и электрохимическом) воздействии на материал заготовки. Анод – заготовку 1 (рисунок 6, а) и катод – режущий инструмент 3 включают в общую электрическую цепь постоянного тока. В зазор между ними подают электролит 2 (обычно жидкое стекло – водный раствор силиката натрия). Вследствие анодного растворения на заготовке образуется защитная пленка, которая разрушается режущим инструментом. При снятии пленки между выступающими частями электродов происходят электрические разряды, что приводит к электрической эрозии.

Применение комбинации трех процессов позволяет за счет регулирования энергии отдельных составляющих проводить обработку в широких пределах. При черновой обработке операцию выполняют при большой плотности тока.



**Рисунок 6 - Анодно-механическая обработка:**

*a – разрезание; б – точение; в – обработка плоскости; 1 – заготовка; 2 – электролит; 3 – инструмент;  $D_r$  – главное движение;  $D_s$  – движение подачи*

Основное значение имеет тепловое электроэрозионное воздействие, приводящее к интенсивному снятию материала заготовки в результате плавления и взрывообразного испарения металла в среде электролита. Анодное растворение необходимо только для образования защитной пленки, обеспечивающей концентрацию дуговых разрядов на вершинах микронеровностей. Механическое воздействие обеспечивает вынос продуктов разрушения из зоны обработки. Чистовую обработку осуществляют при малой плотности тока. Основное значение имеет механизм анодного растворения и механического разрушения пленки. Эти процессы происходят на вершинах микронеровностей, что позволяет существенно уменьшить шероховатость поверхности и повысить точность обработки.

Анодно-механической обработке подвергаются все токопроводящие материалы, высокопрочные и труднообрабатываемые сплавы, твердые сплавы, вязкие материалы. Анодно-механической обработкой разрезают заготовки (рисунок 6, а), прорезают пазы и щели, точат (рисунок 6, б), обрабатывают плоские поверхности (рисунок 6, в), полируют поверхности, затачивают режущий инструмент.

### **Контрольные вопросы:**

1. Для обработки каких материалов применяются электрофизические и электрохимические методы?
2. Какие физические и химические процессы лежат в основе электроэрозионной обработки?
3. Как происходит упрочнение поверхности без снятия стружки?
4. На чем основана высокочастотная электроискровая обработка?