

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Лекция 14

Преподаватель: Помпеев Кирилл Павлович
канд. техн. наук, доцент ФСУиР
e-mail: kir-pom@mail.ru, kppompeev@itmo.ru

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Общие сведения

Современные электрохимические и электрофизические методы обработки (ЭХ и ЭФ МО) материалов основаны на электрохимических, электрофизических, светолучевых и иных явлениях, исследуемых теоретической физикой.

Эти явления используются в практических целях для обработки заготовок и изготовления деталей как из обычных конструкционных, так и из высокопрочных и труднообрабатываемых металлических и неметаллических материалов.

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Общие сведения

ЭХ и ЭФ МО используются, как для непосредственного выполнения операций, так и для интенсификации операций, выполняемых традиционными методами резания.

В ряде случаев ЭХ и ЭФ МО являются наиболее эффективными и экономичными или вообще единственно возможными.

ЭХ и ЭФ МО могут быть размерными (обеспечивающими заданные размеры и форму) и безразмерными (отделочными).

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Общие сведения

К технологическим особенностям и достоинствам ЭХ и ЭФ МО по сравнению с традиционными следует отнести:

- бесконтактность обработки;
- широкие технологические возможности по обработке заготовок сложной формы, получению заданных размеров и шероховатости;
- меньшую зависимость режимов обработки от физико-механических свойств обрабатываемых материалов и влиянию на них;
- сравнительно простой и долговечный инструмент, а в ряде случаев его отсутствие;
- возможность автоматизации технологических процессов.

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Общие сведения

К недостаткам ЭХ и ЭФ МО следует отнести:

- сравнительно высокую энергоемкость технологических процессов;
- определенную громоздкость установок (в основном за счет специальных источников питания и оборудования для подготовки и подачи технологической среды);
- сложность их эксплуатации с учетом требований безопасности труда и пожароопасности.

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Классификация ЭХ и ЭФ МО

В зависимости от преимущественного характера воздействия электрического тока (электромагнитного поля) ЭХ и ЭХ МО разделяют на:

- электрохимическую обработку (ЭХО – химическое воздействие);
- электроэрозионную обработку (ЭЭО – тепловое воздействие):
 - электроискровую обработку;
 - электроимпульсную обработку;
 - электроконтактную обработку (ЭКО);
- лучевую обработку (тепловое воздействие):
 - электронно-лучевую обработку (ЭЛО);
 - лазерную обработку (ЛО);

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Классификация ЭХ и ЭФ МО

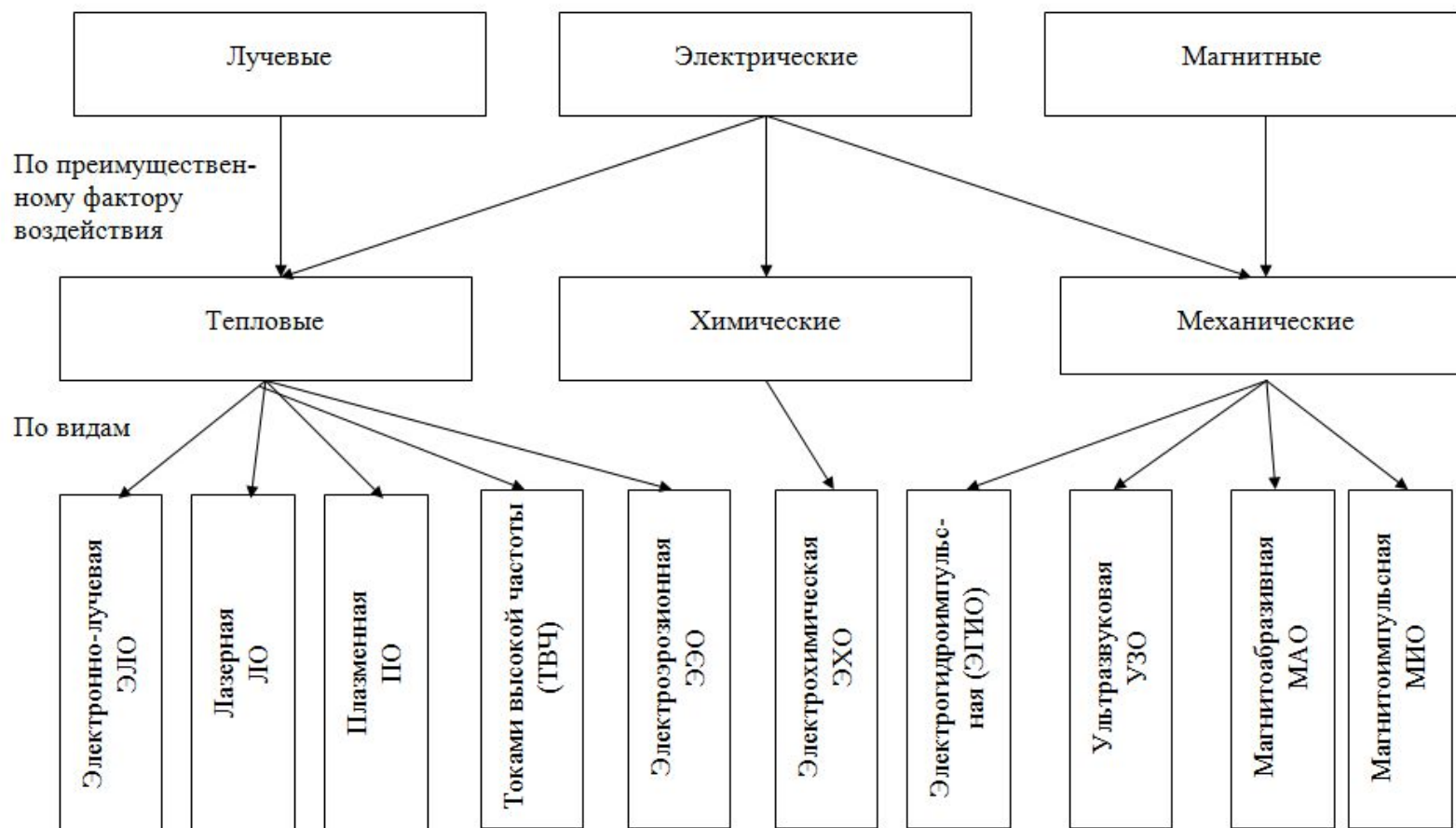
ЭХ и ЭХ МО разделяют на (окончание):

- высокочастотную обработку (ТВЧ – тепловое воздействие);
- магнитноабразивную обработку (МАО – механическое воздействие магнитного поля);
- ультразвуковую обработку (УЗО – механическое воздействие ультразвуковых колебаний);
- импульсную обработку (ИО – механическое воздействие поля):
 - электрогидроимпульсную обработку (ЭГИО);
 - магнитоимпульсную обработку (МИО);
- комбинированные методы обработки.

Электрохимические и электрофизические методы обработки заготовок

Классификация ЭХ и ЭФ МО

По непосредственной природе источника воздействия



Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

ЭХО использует анодное растворение металла заготовки.

Растворение (съем) металла происходит в результате электролиза материала электродов, соединенных с источником постоянного тока и погруженных в токопроводящий раствор – электролит.

Электрод, соединенный с положительным выводом источника тока, является анодом (заготовка).

Второй электрод (катод) соединен с отрицательным выводом источника тока и является инструментом.

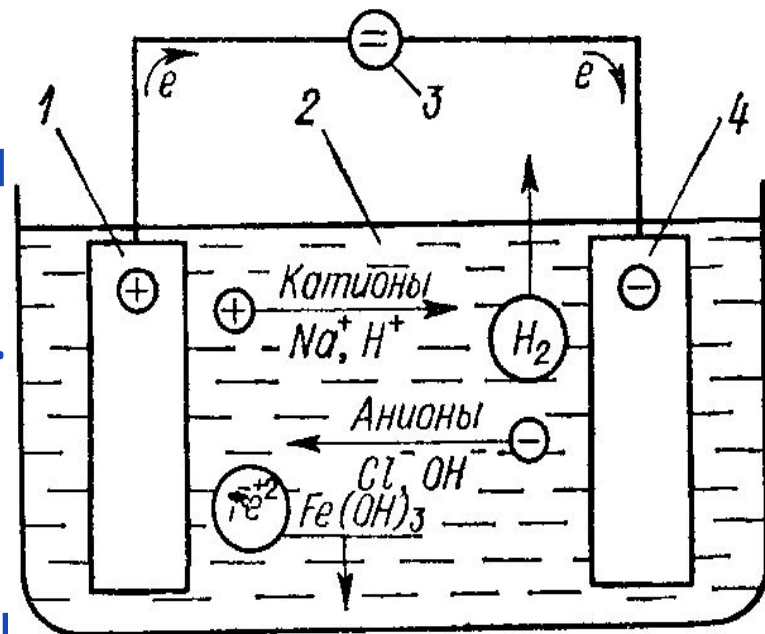
Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

При прохождении электрического тока через электролит происходит растворение анода и осаждение металла на катоде.

Используют такие электролиты которых катионы не доходят до катода и не осаждаются на нем.

При этом потенциал материала инструмента (катода) должен быть более положительным, чем потенциал осаждения катионов на инструменте.



1 – электрод-анод; 2 – электролит;
3 – источник питания; 4 –
электрод-катод

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

Только это обеспечивает сохранность формы электрода-инструмента.

Для стабилизации обработки и удаления снятого металла часто используют прокачку электролита между заготовкой и инструментом.

Для обеспечения устойчивости обработки необходимо создать течение электролита между заготовкой и инструментом, удаляющее снятый металл и газы, предотвращающее нагрев электролита.

Наибольшее влияние на точность обработки оказывает газосодержание электролита.

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

Исходя из этого, необходимо обеспечивать определенную скорость течения электролита.

Для этого электролит должен иметь определенное давление на входе в зазор между заготовкой и инструментом, обеспечивающее необходимую скорость его протекания.

Его определяют исходя из величины давления на выходе из зазора, принятого по условиям работы установки, и значения падения давления в зазоре.

Точность электрохимической обработки зависит как от обычных причин (погрешности технологической системы), так и от стабильности параметров процесса обработки – напряжения, электропроводности,

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

При высокой стабильности параметров установки ЭХО и зазорах $\delta < 0,02$ мм достигается точность до 5 мкм.

При ЭХО шлифовании точность соизмерима с обычными методами.

Шероховатость поверхностей при ЭХО зависит от состава электролита, температуры, скорости его протекания и анодной плотности тока.

Электролизом получают шероховатость с $Ra=2,5 \dots 0,63$ мкм, при комбинированных методах – до 0,02 мкм.

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

Снижение температуры электролита, повышение плотности тока и скорости подачи электролита снижают шероховатость.

Качество поверхности можно улучшить также введением в электролит сжатого воздуха под давлением на 50...100 кПа выше давления электролита.

Некоторые операции ЭХО осуществляют при неподвижных заготовке и инструменте (например, калибрование и маркировку), но большинство разновидностей ЭХО осуществляется при перемещении инструмента относительно заготовки₁₄
реже — заготовки относительно инструмента

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

При точении и абразивной обработке перемещают и заготовку, и инструмент.

При перемещении инструмента относительно заготовки используют непрерывный, циклический или импульсно-циклический режимы.

При непрерывном режиме обработки рабочая подача инструмента выполняется с постоянными скоростью и напряжением (требуется стабилизация напряжения в пределах 1...3 %).

В этом режиме обрабатываются отверстия и полости с точностью до 0,05...0,15 мм.

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

При циклическом режиме вначале без напряжения устана-вливают инструмент с зазором от заготовки на 0,2...0,5 мм.

Затем на 5...30 секунд подают напряжение и работают с рабочей подачей инструмента, снимая припуск.

Затем выключают напряжение и вновь выставляют зазор 0,2...0,5 мм и повторяют обработку.

Стабилизация напряжения может быть более грубой.

В этом случае обрабатываются поверхности сложной формы с точностью 0,15...0,8 мм.

Скорость подачи инструмента должна равняться

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Физическая сущность процесса ЭХО

При импульсно-циклическом режиме инструмент без напряжения устанавливают с зазором от заготовки на 0,03...0,1 мм.

Затем в течение 0,1...0,8 секунд подается напряжение импульсной формы и происходит обработка.

После этого напряжение снимается, инструмент отводят и прокачивают электролит, затем цикл повторяется.

При такой обработке отсутствуют погрешности и не требуется стабилизация напряжения.

Обрабатываются поверхности сложной формы с

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Электролиты

В качестве электролитов в ЭХО используют:

- водные растворы кислот, солей и щелочей (хлориды, нитраты и сульфаты натрия и калия с добавками борной, лимонной или соляной кислот, ингибиторов коррозии);
- поверхностно-активные вещества (ПАВ), снижающие гидравлические потери (ОП-7, ОП-10 и др.);
- коагуляторы и т.д.

Электролиты обеспечивают прохождение электрического тока в зазоре между заготовкой и инструментом, необходимые химические реакции на

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Электролиты

Электролиты должны обладать следующими свойствами:

- иметь невысокую вязкость, быть нетоксичными, взрыво- и пожаробезопасными, некоррозиоактивными;
- не вступать в побочные реакции;
- обеспечивать анодное растворение металла заготовки только в зоне обработки (обладать локализирующей способностью).

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Инструменты ЭХО

Конструкция электрода-инструмента для ЭХО определяется:

- видом обработки;
- типом и материалом самого инструмента;
- его способом крепления и установки;
- размерами своих рабочих поверхностей;
- необходимостью электроизоляционного покрытия;
- механической прочностью.

Инструменты состоят из рабочих (активных) и пассивных поверхностей.

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Инструменты ЭХО

Активные элементы всегда токопроводящие, пассивные могут быть и непроводниками электрического тока.

Материал активных частей должен иметь малое удельное электросопротивление, коррозионную стойкость к действию электролита, высокую адгезию к электроизоляциям, механическую прочность, хорошую обрабатываемость.

Для выделения обрабатываемых поверхностей и концентрации обработки в нужных местах под инструментом и предотвращения влияния пассивных и конструктивных элементов нерабочие поверхности

Электрохимическая обработка (ЭХО)

Технологические процессы ЭХО

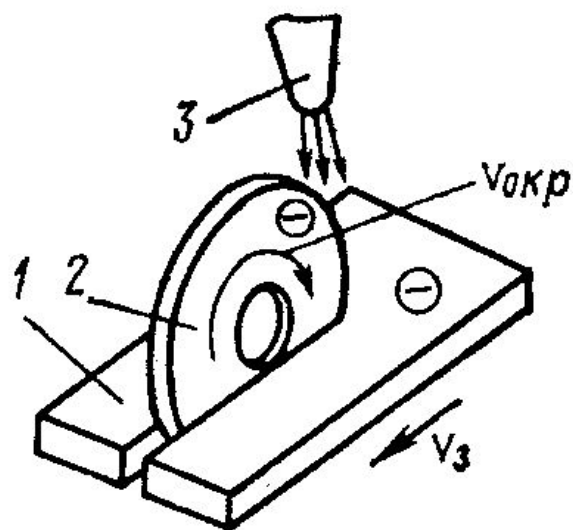
С помощью ЭХО могут реализовываться различные виды обработки:

- отрезка;
- объемное копирование;
- точение;
- прошивание;
- калибрование;
- удаление заусенцев;
- маркировка деталей;
- полирование;
- анодно-механическая отрезка;
- шлифование;
- заточка инструмента;
- доводка отверстий сложной формы;
- суперфиниширование, хонингование.

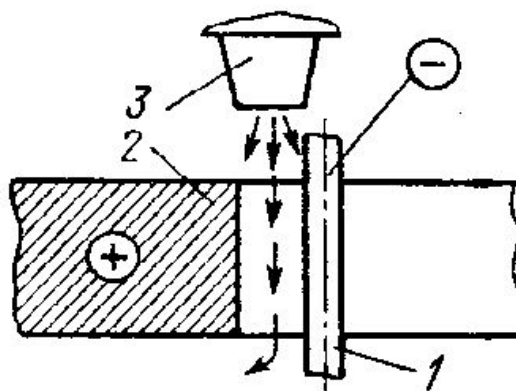
Электрохимическая обработка (ЭХО)

Схемы видов ЭХО

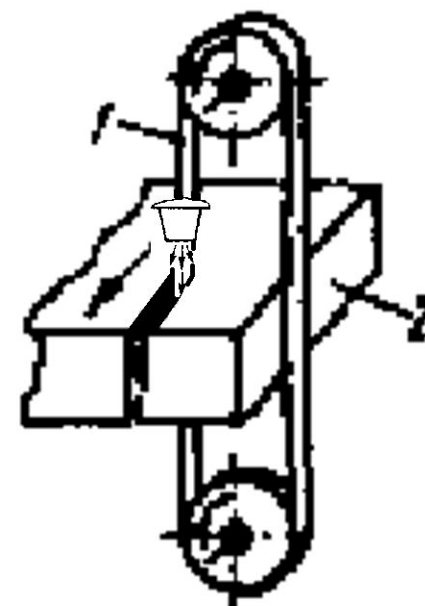
Отрезка
металлическим
диском, абразивным
или алмазным кругом
с электропроводной
связкой



Отрезка
металлической
проволокой



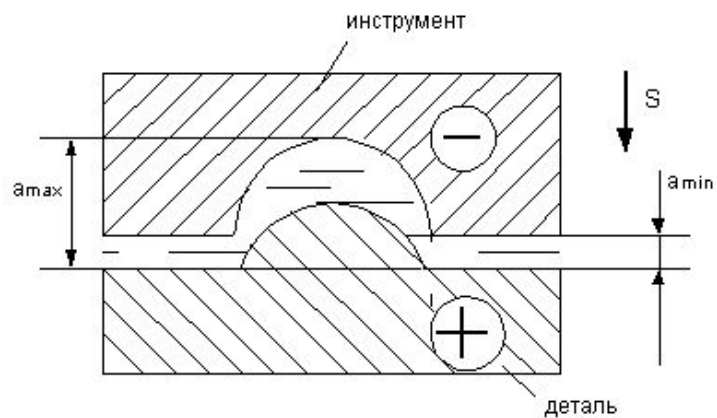
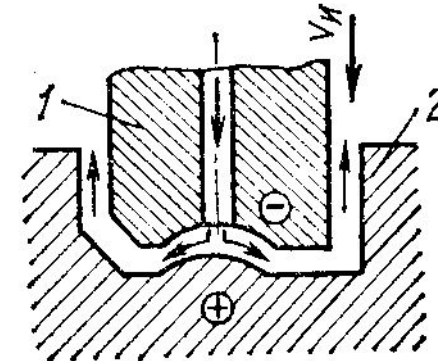
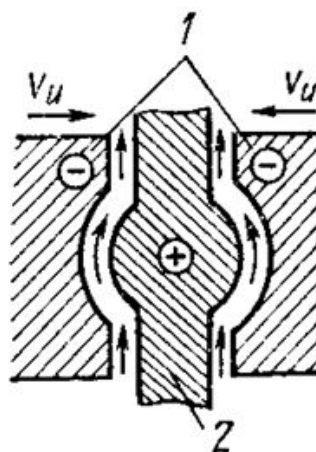
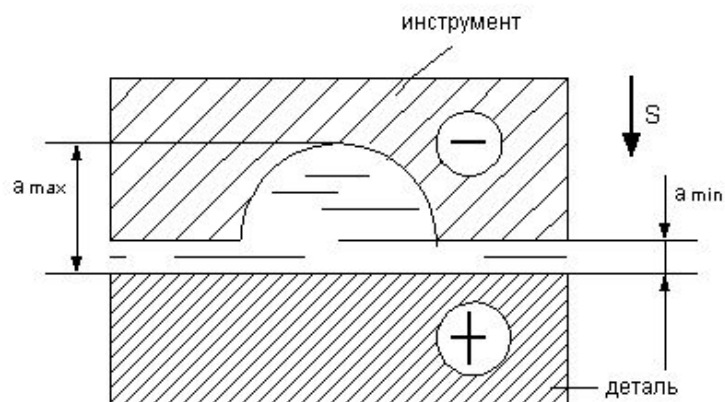
Отрезка
металлической
лентой



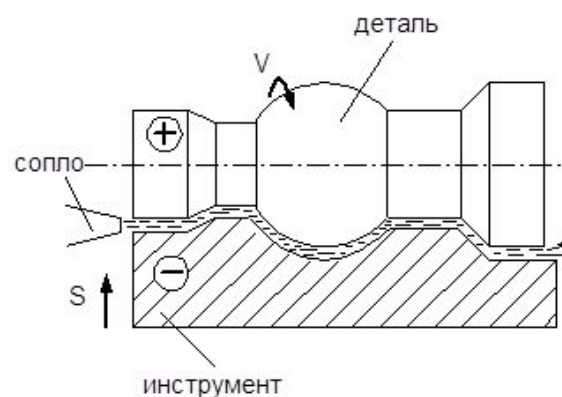
Электрохимическая обработка (ЭХО)

Схемы видов ЭХО

Объемное копирование



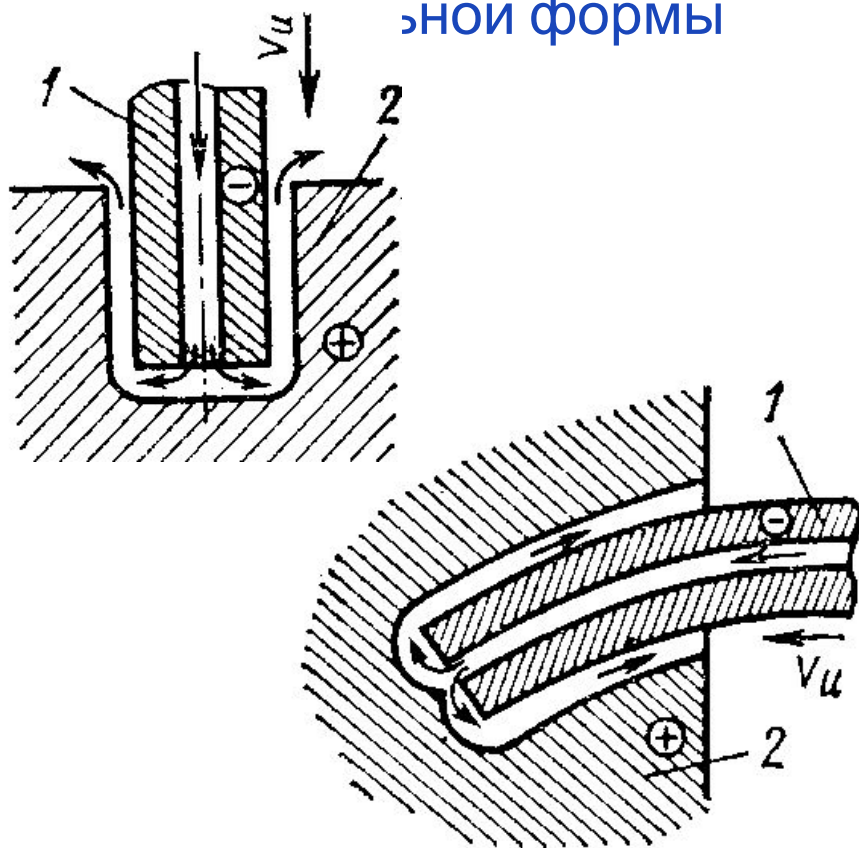
Точение



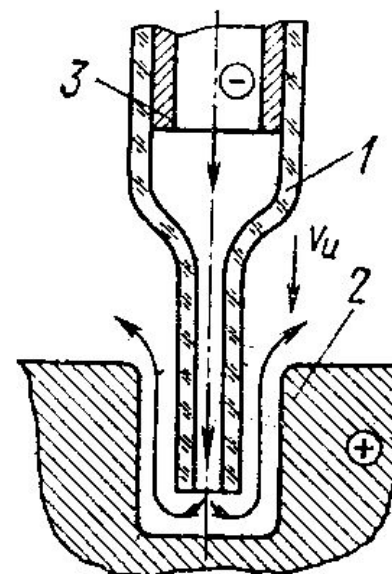
Электрохимическая обработка (ЭХО)

Схемы видов ЭХО

Прошивание сквозных и
глухих отверстий
электродной формы



Прошивание сквозных и
глухих отверстий малого
диаметра струей
электролита, по которой
пропущен ток

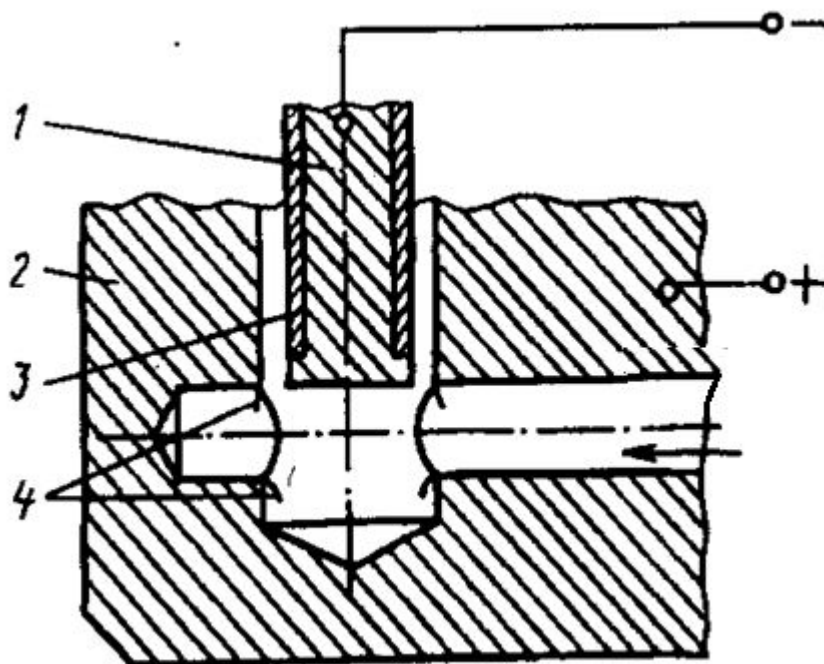


Электрохимическая обработка (ЭХО)

Схемы видов ЭХО

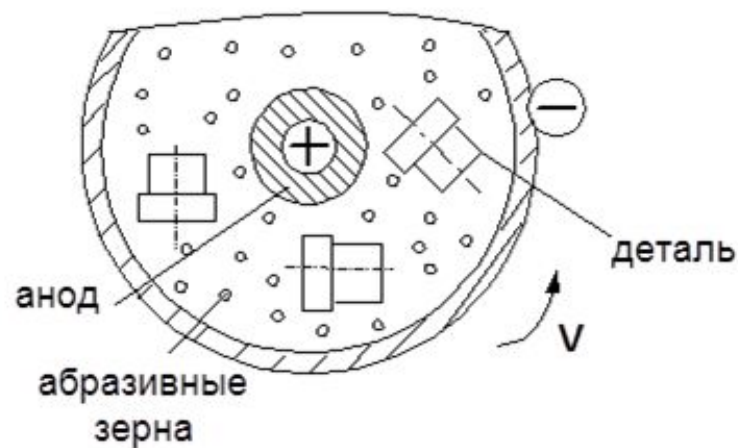
Удаление заусенцев в

отверстиях



1 – инструмент; 2 – заготовка;
3 – изоляция; 4 – заусенцы

Электрохимическая
галтовка деталей



Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

ЭЭО заключается в изменении формы, размеров, шеро-ховатости и свойств поверхности заготовки в результате электрической эрозии, возникающей при повторяющихся импульсных электрических разрядах между заготовкой и инструментом, погруженными в жидкость.

Разряд – импульс электротока в зазоре между заготовкой и инструментом, при котором в малых объеме и времени электроэнергия переходит в тепловую.

В канале разряда происходит нагрев, расплавление и выброс материала электродов, его выброс с

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

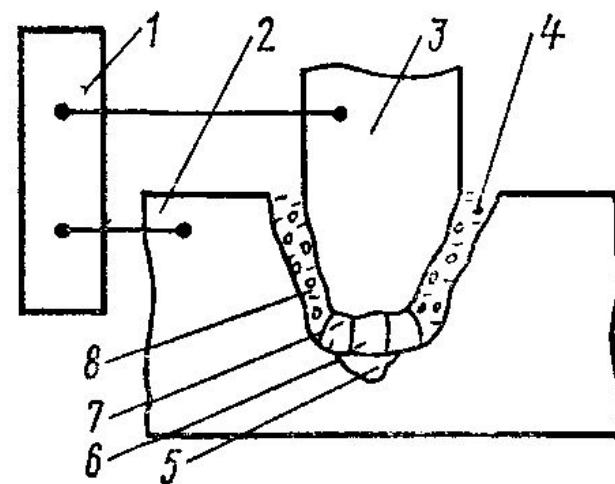
Физическая сущность процесса ЭЭО

При этом образуются также волны, выносящие частицы заготовки из-под инструмента.

Рабочая жидкость в зазоре концентрирует действие разряда, сжимает его и делает более кратковременным.....

Гидродинамические силы выбрасывают частицы металла из зоны разряда.

Разряды инициируются вибрацией инструментов и импульсным питанием от источника тока.



- 1 – генератор импульсов;
- 2 – заготовка;
- 3 – инструмент; 4 – капли расплавленного металла;
- 5 – эрозионная лунка;
- 6 – плазменный канал разряда;
- 7 – газовый пузырь;
- 8 – рабочая жидкость

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

Режим ЭЭО подбирается так, чтобы разрушение происходило только на поверхности заготовки, что зависит от материала, инструмента, полярности и формы импульсов.

Производительность ЭЭО и шероховатость обработанных поверхностей зависит от:

- свойств материала инструмента;
- энергии, выделяемой при разрядах (или, иначе, от силы тока в разряде);
- свойств рабочей жидкости.

С увеличением среднего значения силы тока производительность растет до определенного предела, увеличивается шероховатость поверхности заготовки и

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

С помощью ЭЭО можно обрабатывать токопроводящие материалы любой механической прочности, твердости, вязкости и хрупкости.

При этом нет необходимости в механических усилиях, значительно снижены отходы.

В зависимости от длительности и периодичности импульсов, вырабатываемых источником тока, и способов их формирования различают следующие способы обработки:

- электроискровой;
- электроимпульсный;
- электроконтактный.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

В *электроискровом* режиме напряжение пробоя $U = 40 \dots 180$ В, длительность импульса $\tau_{\text{имп}} = 5 \dots 200$ мкс, сила тока $I = 0,5 \dots 5$ А.

При *электроимпульсном* режиме $U = 18 \dots 36$ В, $\tau_{\text{имп}} = 500 \dots 10000$ мкс, сила тока $I = 20 \dots 120$ А.

Максимальная производительность достигается при отношении $I / \tau_{\text{имп}} = 5 \dots 8$ мА/с.

Полярность подключения источника тока зависит от длительности импульсов и материала электрода-инструмента.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

Прямая полярность (на инструмент-электрод подается напряжение от отрицательного полюса источника питания) применяется при обработке с малой длительностью импульсов (электроискровая).

В электроимпульсном режиме применяется обратная полярность.

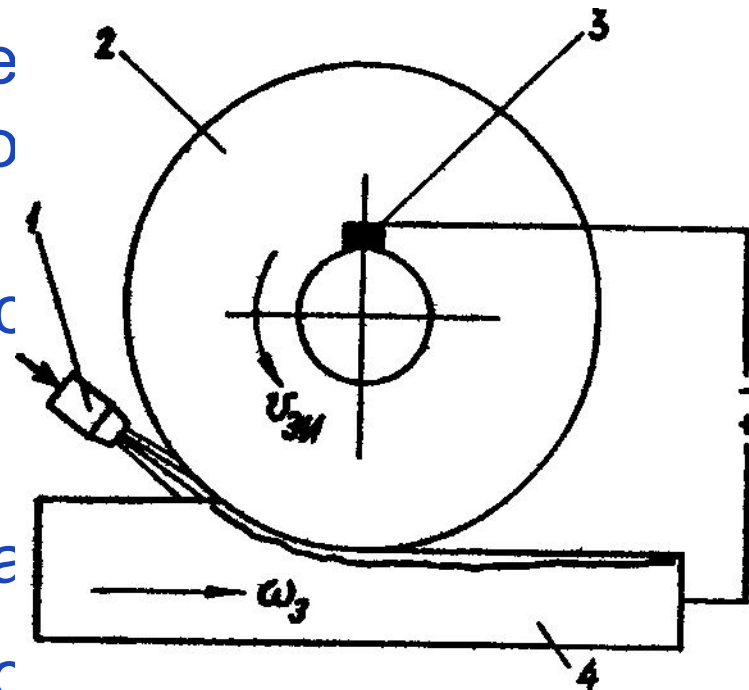
Правильно выбранная полярность существенно снижает износ инструмента, который может составлять от 5 до 300 % массы удаленного с заготовки материала.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Физическая сущность процесса ЭЭО

При *электроконтактном* режиме импульсы тока формируются непосредственно в промежутке между инструментом и заготовкой вследствие их относительного движения и наличия микровыступов на рабочей поверхности инструмента

Для ЭЭО используется преимущественно постоянный ток, заготовка имеет положительную полярность, инструмент – отрицательную.



- 1 – сопло подачи РЖ;
- 2 – инструмент;
- 3 – щеточное устройство;
- 4 – заготовка

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Рабочие жидкости для ЭЭО

Рабочая жидкость, находящаяся в зазоре между заготовкой и инструментом:

- формирует узкий канал разряда, концентрирующий большие плотности энергии;
- создает ударные гидродинамические поля, удаляющие продукты эрозии заготовки;
- стабилизирует процесс разряда, обеспечивая непрерывную последовательность импульсов;
- и охлаждает инструмент.

Вследствие электронного механизма пробоя жидкости диаметр канала сначала имеет размер несколько мкм и плотности энергии в нем велики, а температура достигает 30.000°C .

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Рабочие жидкости для ЭЭО

В ходе развития разряда происходит разрыв сплошности рабочей жидкости и возникают ударные волны, распространяющиеся от канала разряда.

Жидкость должна иметь:

- термическую стабильность физико-химических свойств;
- низкую коррозионную активность к материалам заготовки и инструмента;
- высокую температуру вспышки;
- низкую испаряемость;
- легко очищаться;
- быть экологически безвредной.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Рабочие жидкости для ЭЭО

В качестве рабочих жидкостей используют низкомолекулярные углеводородные жидкости (керосин, индустриальные масла И12А, ИС20А, их смеси, трансформаторное масло, жидкости РЖ-3, РЖ-8) и воду.

Для черновой обработки используют более вязкие жидкости (с высокой вязкостью: И12А, ИС20А, РЖ-8).

Для чистовой обработки используют жидкости с малой вязкостью (керосин, трансформаторное масло, РЖ-3, вода).

Электроконтактную обработку можно выполнять в ³⁶

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Инструменты ЭЭО

Инструменты ЭЭО должны быть достаточно жесткими и противостоять различным условиям деформаций (усилиям прокатки РЖ, высокой температуре).

Конструкция инструментов зависит от вида операций, причем в ряде случаев в них предусматриваются каналы для подачи рабочей жидкости.

В других случаях подача и отсос выполняются через специальную подставку или обработка ведется в ванне с прокаткой или без нее.

Профиль и геометрия рабочей части инструмента выполняются как зеркальное отображение полости

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Инструменты ЭЭО

При этом размеры уменьшаются на величину межэлект-родного зазора и припуска на последующую обработку.

В общем случае величина торцового зазора составляет 0,02...0,15 мм, бокового – 0,04...0,45 мм в зависимости от величины и частоты импульсов.

Уменьшение износа инструментов достигается правиль-ным выбором материала, параметров импульса тока, свойств рабочей жидкости, снижением вибрации инстру-мента и площади обрабатываемой поверхности.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Технологические процессы ЭЭО

С помощью ЭЭО могут реализовываться следующие виды обработки:

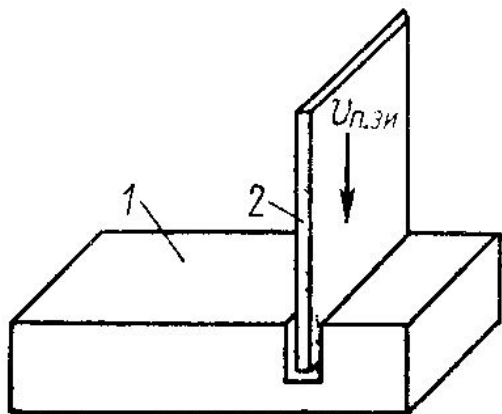
- отрезка;
- объемное копирование;
- прошивание;
- вырезание;
- шлифование;
- упрочнение;
- шаржирование.

ЭЭО широко используется: для обработки матриц и пуансо-нов штампов, внутренних отверстий фильер; извлечения сломанных сверл, метчиков, крепежа; изготовления сеток и решеток.

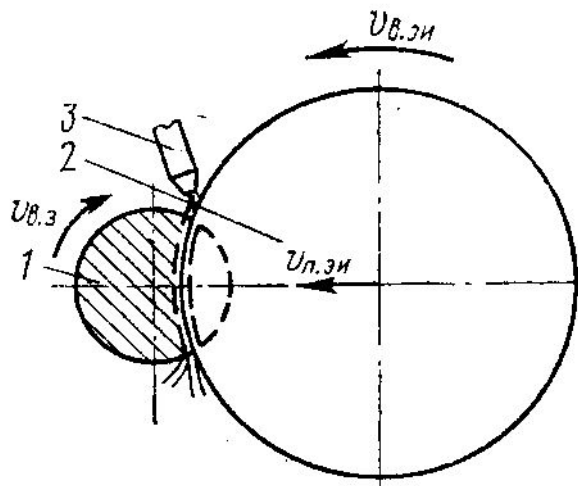
Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Схемы видов ЭЭО

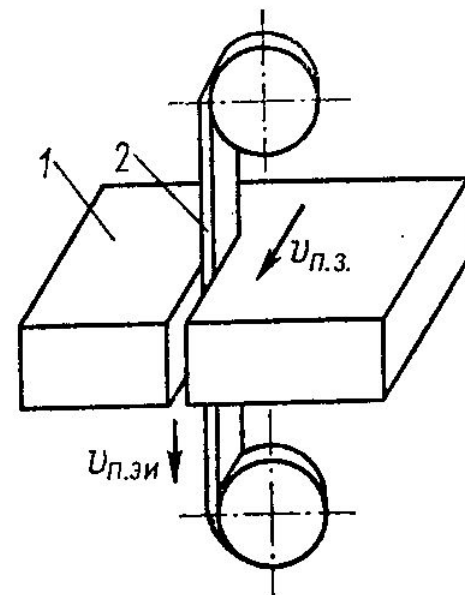
Отрезка пластиной



Отрезка
вращающимся
диском



Отрезка движущейся
лентой или проволокой

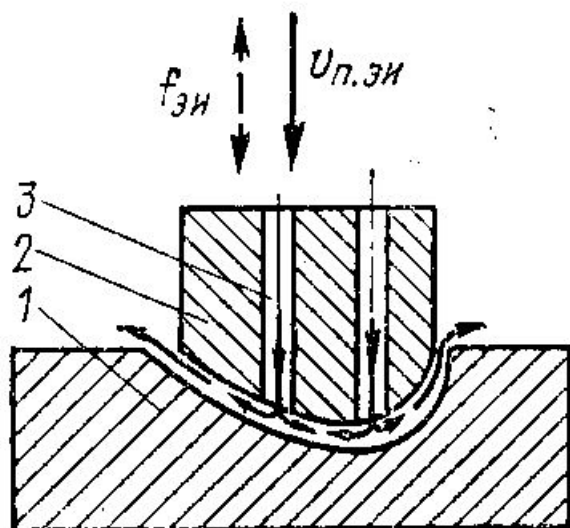


- 1 – заготовка;
- 2 – инструмент;
- 3 – сопло для подачи технологической среды

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

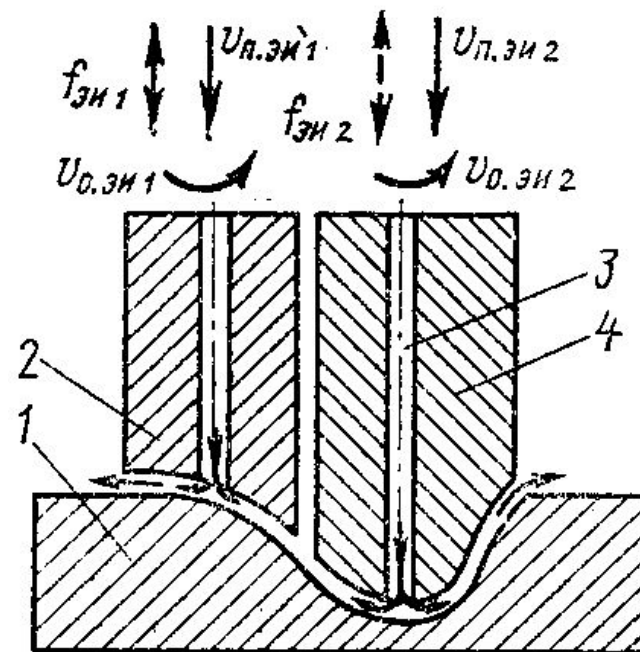
Схемы видов ЭЭО

Объемное копирование
одним инструментом



1 – заготовка;
2, 4 – инструменты;
3 – каналы для подачи
технологической среды

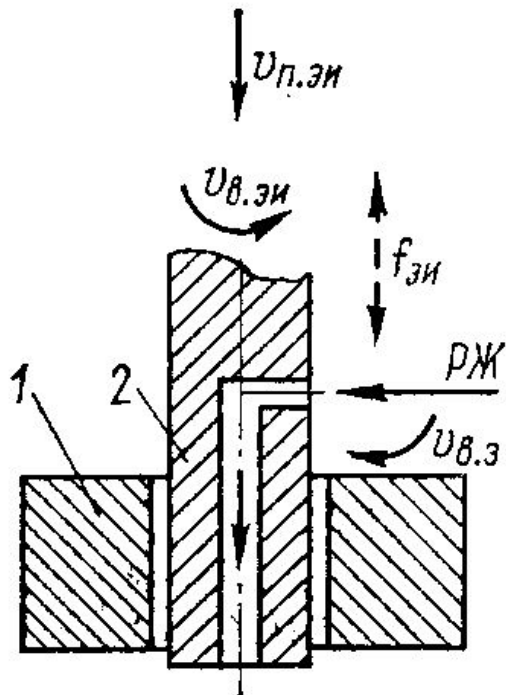
Объемное копирование
несколькими (двумя)
инструментами



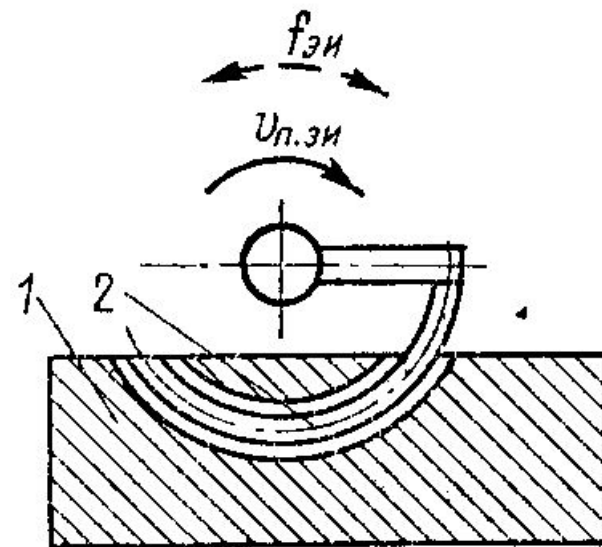
Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Схемы видов ЭЭО

Прошивание сквозных и глухих отверстий, окон, полостей и щелей



Прошивание криволинейных сквозных и глухих отверстий

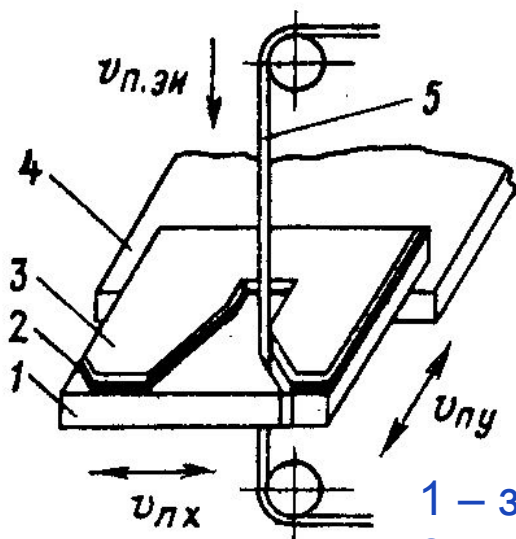


1 – заготовка;
2 – инструмент

Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

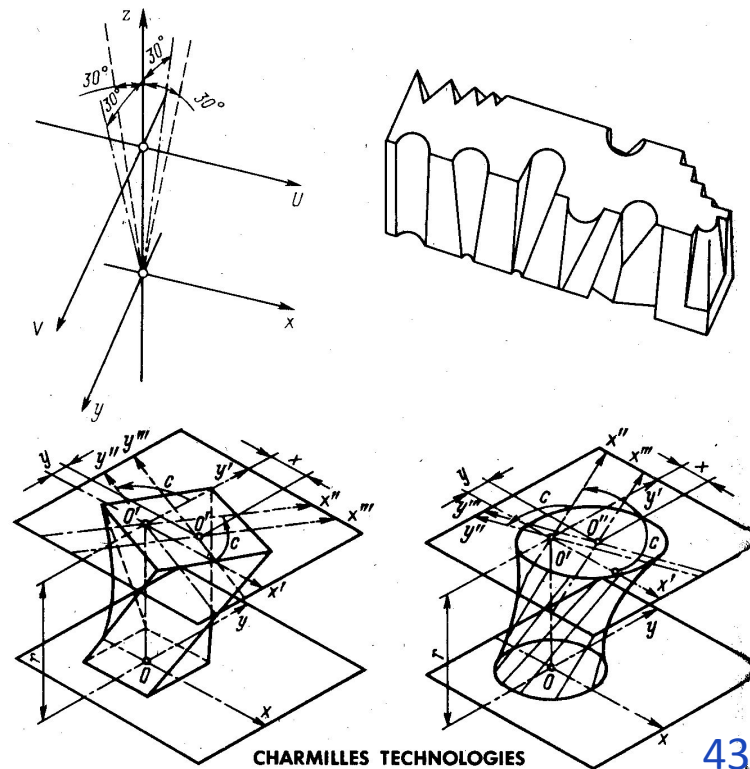
Схемы видов ЭЭО

Вырезание проволокой по двум координатам с использованием копира или УП



- 1 – заготовка;
- 2 – прокладка;
- 3 – копир;
- 4 – стол;
- 5 – инструмент

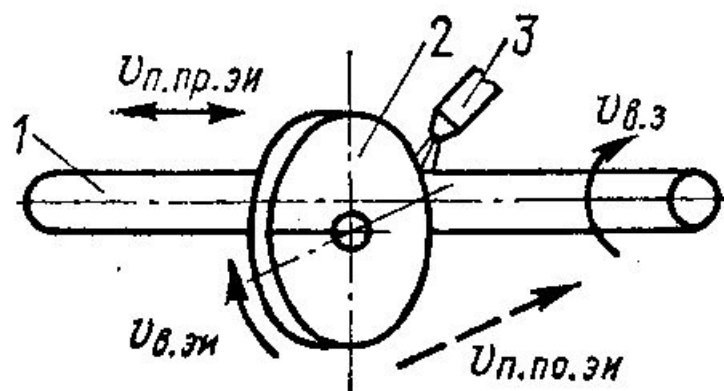
Вырезание на станках с ЧПУ сложных линейчатых поверхностей



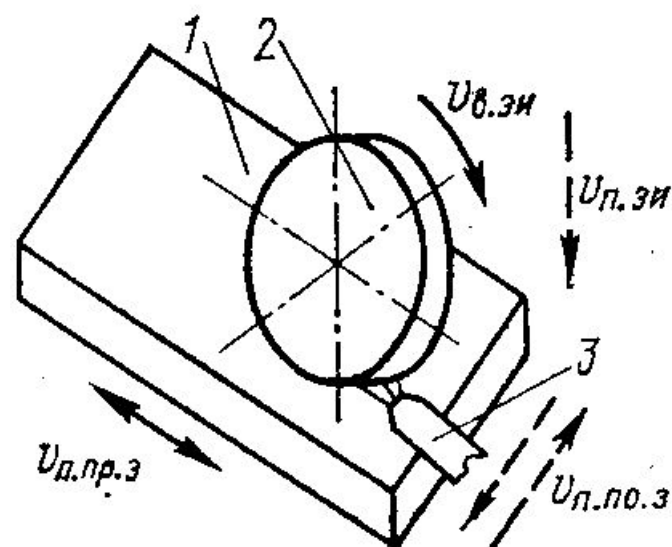
Электроэрозионная обработка (ЭЭО)

Схемы видов ЭЭО

Круглое
шлифование



Плоское
шлифование



- 1 – заготовка;
- 2 – инструмент;
- 3 – сопло для подачи технологической среды

Электроконтактная обработка (ЭКО)

Технологические процессы ЭКО

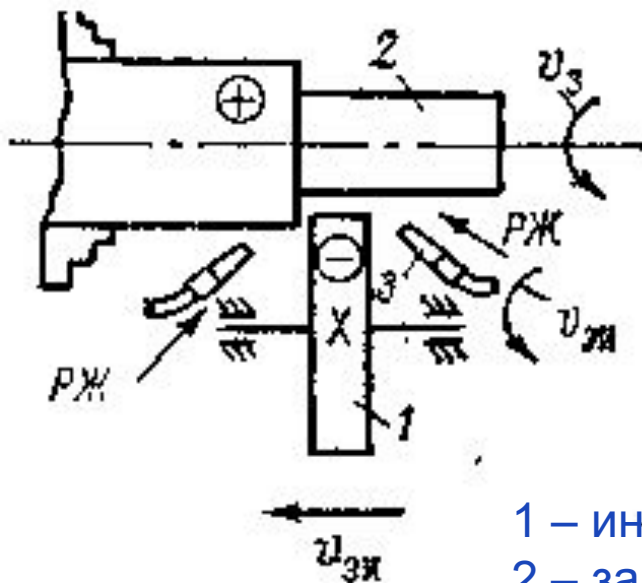
С помощью ЭКО могут реализовываться следующие виды обработки:

- резка (в ванне с РЖ или при подаче РЖ через сопло на инструмент);
- обработка тел вращения (дисковым инструментом);
- формообразование внутренних полостей трубчатым инструментом (он вращается и имеет осевую подачу, возможен вариант обработки в ванне);
- нарезка зубьев (дисковым модульным инструментом);
- обработка плоскостей (цилиндрическим или чашечным инструментом, на воздухе или с подачей

Электроконтактная обработка (ЭКО)

Схемы ЭКО тел вращения

Обработка
цилиндрической
ступени



1 – инструмент;
2 – заготовка;
3 – сопла для подачи
технологической среды

Обработка
конической
поверхности

