

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
Направление 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
Профиль «Технология автоматизированного машиностроения»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка технологии изготовления объемных штампов методом электрохимического оборудования»

Студент(ка)

Е.Н. Касаткин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель
Консультанты

О.И. Драчев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель магистерской
программы
д.т.н., доцент

Н.М. Бобровский

(личная подпись)

«_____» _____ 2016 г.

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой
к.т.н., доцент

А.В. Бобровский

(личная подпись)

«_____» _____ 2016 г.

Тольятти 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1 Общие сведения по электрохимической обработке.....	5
1.1 Классификация методов электрообработки.....	5
1.2 История появления метода ЭХО.....	6
1.3 Анализ существующих способов ЭХО	10
1.4 Выводы по первой главе, цель и задачи.....	39
Глава 2 Расчет основных технологических показателей электрохимической обработки.....	40
2.1 Механизм анодного растворения.....	40
2.2 Съём металла при размерной электрохимической обработке.....	40
2.3 Пассивация обрабатываемой поверхности.....	43
2.4 Подбор электролита.....	45
2.5 Гидродинамические процессы в межэлектродном промежутке.....	46
2.6 Напряжение.....	52
2.7 Особенности ЭХО импульсным напряжением.....	53
2.8 Межэлектродный зазор.....	57
2.9 Точность обработки.....	58
2.10 Качество поверхности.....	61
2.11 Проектирование технологического процесса.....	62
Глава 3 Разработка установки для электрохимической обработки штампов.....	84
3.1 Функциональная схема.....	84
3.2 Принципиальная схема.....	86
3.3 Выводы.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	91

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении немало обрабатываемых деталей относятся к объемным штампам. К данным изделиям предъявляются высокие требования к параметрам точности геометрических форм и взаимному расположению поверхностей, линейных размеров и качеству поверхностей. В странах ЕС расходуется (30-35) % от общих затрат на производство технологического процесса изготовления изделия, так как при проектировании технологического процесса «закладывается» до 80 % дефектов.

Анализ производственного опыта обработки штампов в индивидуальном и мелкосерийном производствах показал, что традиционные способы изготовления деталей, а именно процессы резания, малоэффективны для производства.

Технологический цикл изготовления деталей, как правило, содержит ряд операций: термообработку, механообработку. Каждая из операций вносит свои остаточные напряжения, разные по знаку, направлению и величине, которые вызывают деформации деталей, как на стадии изготовления, так и при их эксплуатации.

Отсюда совершенно очевидна актуальность проблемы повышения точности и производительности бессиловой обработки деталей с помощью метода электрохимической обработки (ЭХО). При применении метода ЭХО формируется поверхность бессиловым способом, а это значит, что в структуре изделия отсутствуют остаточные напряжения, которые приводят к короблению изделий.

Кроме того, проведенный в первой главе анализ работ, в которых исследуется повышение точности обработки деталей и автоматическое управление факторами, которые влияют на точность обработки, показывает, что все используемые в них модели и математические описания технологической системы недостаточно полно отражают поведение заготовки при ЭХО. Как правило, в этих моделях никак не учитываются параметры жесткости деталей; и рассматриваются методы обработки деталей без

применения каких-либо систем автоматического управления факторами, которые определяются параметрами заготовок.

Целесообразно создание более совершенной модели объекта управления детали в процессе безсиловой обработки, и на этой основе проведенных исследований, разработок и реализаций систем автоматического управления положением детали в процессе электрохимической обработки. Наиболее перспективным является направление с применением систем автоматического управления (САУ).

Глава 1 Общие сведения по электрохимической обработке

1.1 Классификация методов электрообработки

Под общим названием электрофизические и электрохимические методы обработки материалов объединены: электрохимические, электро-химико-механические (анодно-механические), электроэрозионные, электрогидравлические, электронно-лучевые, плазменные, ультразвуковые, светолучевые и ряд других методов (см. общую классификационную схему, рисунок 1.1), основным отличием которых от механической обработки резанием или давлением является непосредственное использование в роли обрабатывающего инструмента электрической энергии или специфических физических явлений, создаваемых этой энергией [1-7].

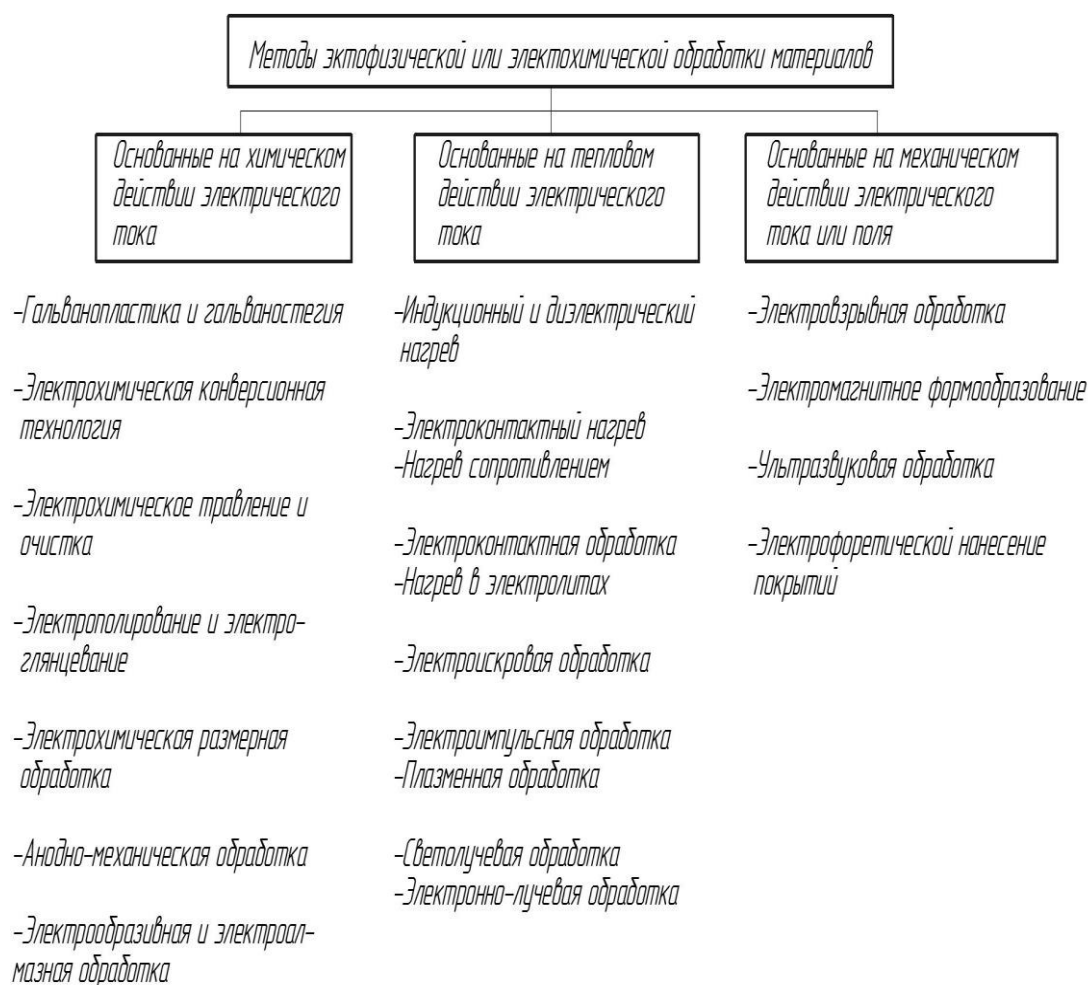


Рисунок 1.1 - Общая классификация электрофизических и электрохимических методов обработки материалов

1.2 История появления метода ЭХО

Честь открытия почти всех известных в настоящее время процессов, в которых использовано электрохимическое воздействие на заготовку, принадлежит русским и советским ученым. Известный русский химик Е. И. Шпитальский еще в 1911 г. разработал процесс электролитического полирования. В 1928 г. В. Н. Гусев применил этот процесс для размерной обработки станин крупных металлорежущих станков. Катодом служила шабровочная плита, установленная над обрабатываемой поверхностью. Промежуток между катодом и анодом (заготовкой) заполнялся электролитом. Анодная поверхность в процессе обработки покрывалась слоем продуктов растворения, и скорость съема металла с анода быстро падала.

Значительные успехи в развитии теории и совершенствовании технологии были достигнуты благодаря работам Ю. Н. Петрова, И. И. Мороза, Л. Б. Дмитриева, В. Д. Кашеева, Д. Я. Длугача, В. В. Любимова и др. Существует несколько основных схем ЭХО [1-10].

Методы электротехнологии характеризуются рядом особенностей, выгодно отличающих их от других методов обработки материалов [9].

1. Практическая независимость скорости, качества и производительности обработки от физико-механических свойств обрабатываемых материалов. Возможность обработки материалов с любыми механическими свойствами без приложения значительных механических усилий.

Это не значит, однако, что обработка электрохимическими методами различных материалов происходит одинаково. Но на производительность этих методов влияют уже не механические, а физические и химические свойства материалов, например валентность при электрохимической обработке.

Возможность обработки появившихся в последнее время в промышленности труднообрабатываемых материалов - одно из наиболее важных преимуществ электрофизических и электрохимических методов.

2. Высокая точность изготовления деталей даже в тех случаях, когда механическая обработка невозможна или трудновыполнима.

В современном машиностроении часто необходима обработка деталей с весьма высокой точностью. Таковы плунжерные пары, форсунки, распылители топливной аппаратуры, магнитопроводы прецизионных электродвигателей, цанги малого диаметра. Требуемая точность обработки этих деталей находится в пределах 2—5 мк. Достижение такой точности механической обработкой сопряжено с большими трудностями, а использование электрофизических и электрохимических методов позволяет успешно решить эту задачу.

Изготовление точных миниатюрных деталей, невозможное или трудно-выполнимое механическим путем, также одна из основных областей применения электротехнологических методов.

3. Возможность полной механизации и автоматизации.

Электрохимические методы благодаря своим особенностям могут быть весьма гибкими системами, которые позволяют создать автоматизацию и механизацию технологических процессов более простыми средствами, чем при обычной механической обработке.

4. Высокая производительность и экономическая эффективность. Уменьшение брака. Снижение трудоемкости обработки.

В некоторых процессах механической обработки в настоящее время получены технологические параметры, близкие к предельно возможным. Применение в таких случаях в качестве вспомогательного электрофизического или электрохимического метода может существенно улучшить параметры обработки. Таковы, например, точение резанием, при наложении ультразвука, анодно-механическая обработка вязких металлов с чистотой до 11 —12-го класса, электроалмазное шлифование твердого сплава и др.

Методы электрохимической обработки материалов основаны на химических процессах, возникающих в результате прохождения электрического тока через цепь, образованную проводниками (электродами) и находящейся между ними проводящей ток жидкостью (электролитом).

В этой работе рассмотрены лишь те методы электрохимической обработки (см. схему классификации), при которых происходит удаление

некоторых количеств металла с обрабатываемой заготовки и их переход в неметаллическое состояние (химические соединения). Основное внимание уделено размерной электрохимической обработке.

Особенности электрохимической обработки [11]:

- производительность обработки достигает 50 000 мм³/мин и выше; чистота обработанной поверхности обычно находится в пределах 7-9-го классов;
- отсутствие износа электрода-инструмента;
- с увеличением производительности повышаются чистота поверхности и точность обработки;
- простота осуществления процесса;
- необходимость очистки электролита центрифугированием или отстоем в баках;
- необходимость удаления водорода из рабочей камеры (при удалении 1 кг стали выделяется около 0,5 м водорода);
- высокая энергоемкость процесса (1000 а-ч на 1 кг снятого металла).

Принципиально механизм электрохимического профилирования изображен на рисунке 1.2 и состоит в том, что поверхность заготовки, подвергаясь электрохимическому растворению в качестве анода, получает на различных участках разную плотность тока, соответственно расстояниям от профильного катода. В результате растворение на этих участках происходит с различной скоростью и приводит к образованию профиля, представляющего собой обратное (негативное) изображение катода. Соответственно этой схеме осуществляются все операции электрохимического профилирования, копирования и т. п., приводящие к изменению формы заготовок [11-14].

Шероховатость поверхности, достигаемая при электрохимической обработке, существенно зависит от структуры обрабатываемого металла, в частности от величины зерен. С уменьшением зернистости шероховатость поверхности повышается. На рисунке 1.3 показана зависимость шероховатости

поверхности от плотности тока и величины зерна для одной и той же марки стали после различной термообработки.

В общем случае чистота поверхности с повышением плотности тока вначале резко улучшается, затем остается почти неизменной или даже несколько ухудшается.

Все зависимости, устанавливаемые при электрохимической размерной обработке, исходят из предположения об однородности обрабатываемого материала, рассматривая его как одно целое. В реальных условиях приходится обрабатывать сплавы, состоящие из различных по своему электрохимическому поведению составляющих. В этих случаях при неправильном выборе режима обработки неоднородность структуры может проявиться в виде повышенной шероховатости, растравливании поверхности и других дефектов. Вероятность возникновения дефектов повышена при низких плотностях тока и малых подачах [14].

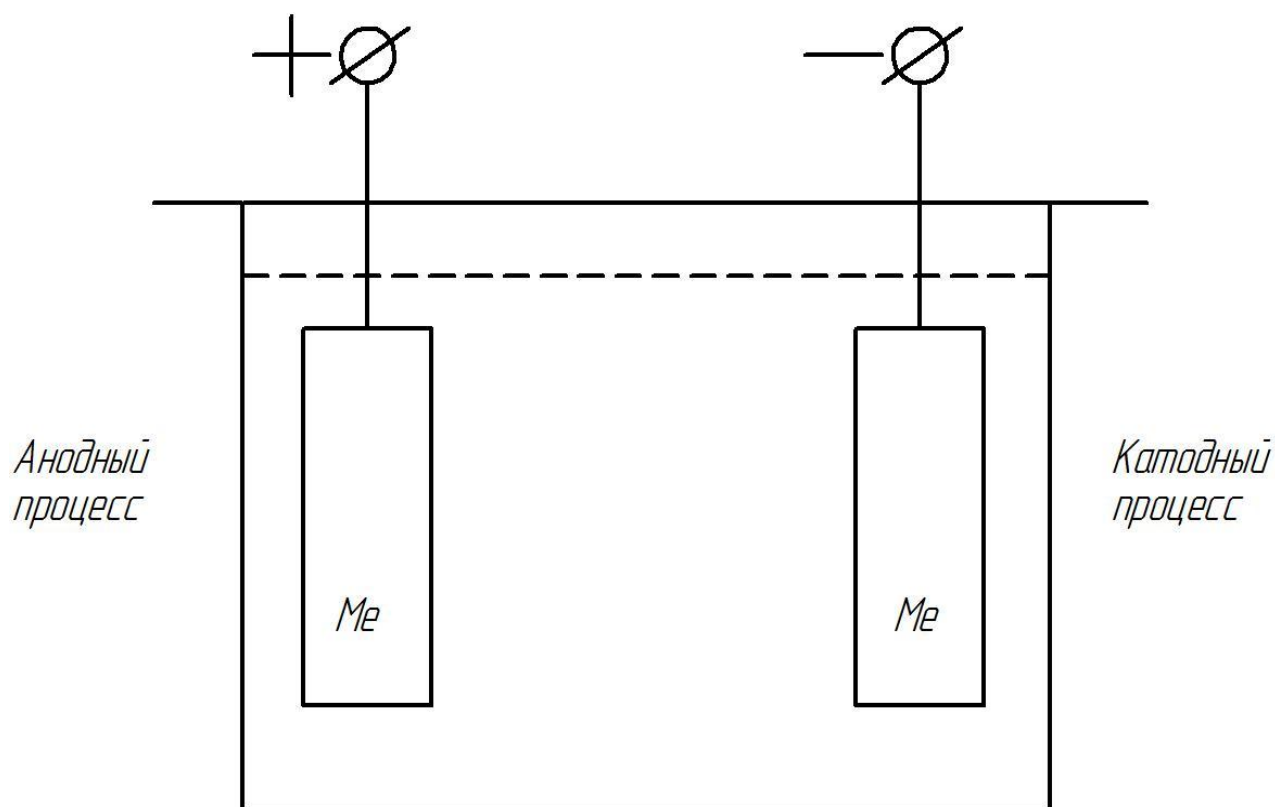
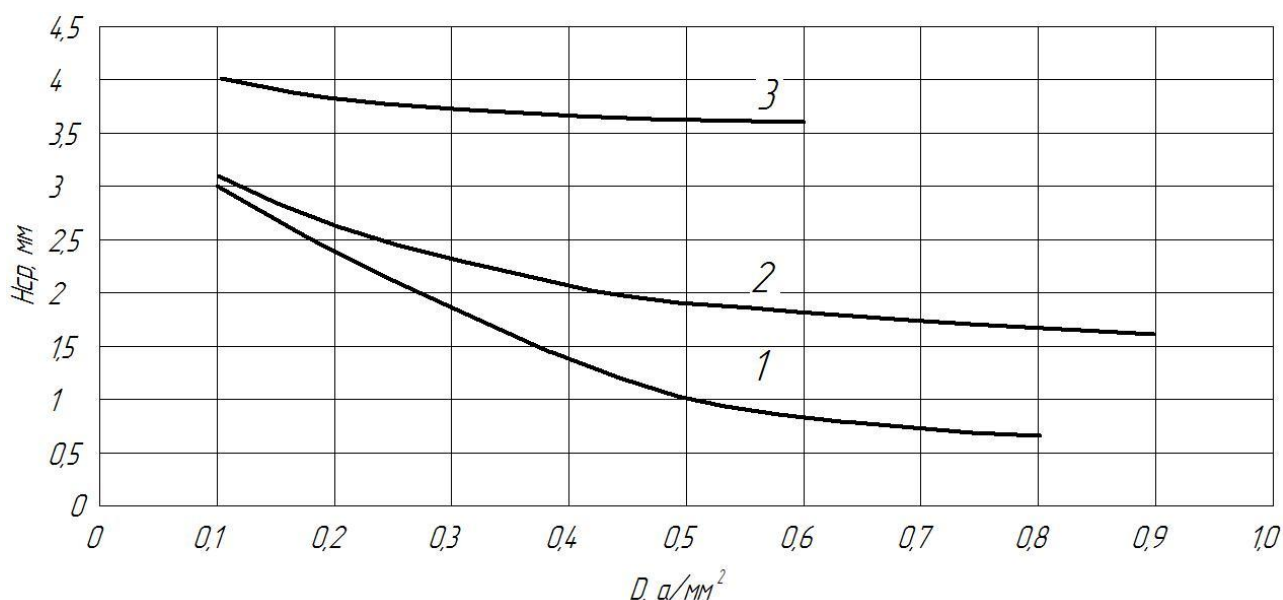


Рисунок 1.2 - Принципиальная схема электролиза водного раствора хлористого натрия



1 - закаленная сталь; 2 - нормализованная сталь; 3 - отожженная сталь

Рисунок 1.3 – Зависимость шероховатости поверхности изделия от плотности тока и величины зерна (условия обработки). Электролит NaNO_3 ; $X = 0,1$ см/см; $P = 9$ кГ/см²; $Q = 3$ Ол/мин; u и v - const;

1.3 Анализ существующих методов ЭХО

Установка ручного инструмента-электрода [15] для электрохимического полирования относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для ручного электрохимического полирования различных изделий, в том числе с пространственно-сложными поверхностями. Инструмент-электрод содержит корпус 1 эргономичной формы из диэлектрического материала с прикрепленным к нему пластинчатым электродом 2, подключаемым при помощи электрического контакта 4 и провода 5, проходящего через отверстие с уплотнителем 6 в стенке корпуса 1, к отрицательному полюсу источника постоянного тока, при этом к корпусу 1 при помощи штуцера 7 присоединена гибкая трубка 8 для непрерывной подачи электролита в полость корпуса 1. Пластинчатый электрод 2 изготовлен с множеством отверстий, расположенных через равный шаг, а с внешней стороны к нему прикреплена дистанционная прокладка 3, создающая зазор между пластинчатым электродом 2 и

обрабатываемой деталью, подключаемой к положительному полюсу источника постоянного тока. Пластинчатый электрод может быть изготовлен вогнутой формы в виде сегмента сферы или выпуклой формы в виде сегмента сферы. Электрохимическое полирование предложенным ручным инструментом-электродом обеспечивает высокую производительность, качественное выполнение операций и достижение шероховатости поверхностей $Ra\ 0,4...0,2$, при универсальности, доступности, невысокой себестоимости и способности вручную перемещать инструмент-электрод по любой поверхности.

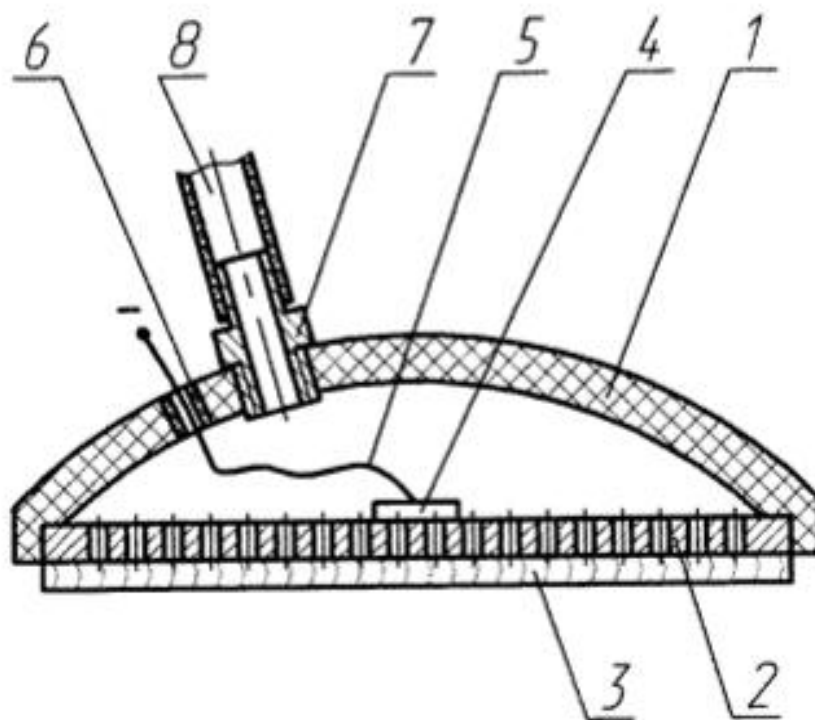


Рисунок 1.4 - Ручной инструмент-электрода для электрохимического полирования

Изобретение инструмента-электрода для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей [16] относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Инструмент-электрод содержит корпус 1 с отверстиями, расположенными

через равный шаг, при этом корпус 1 образует полость, внутри которой соосно с отверстиями расположены разрезные втулки 3 со стержневыми электродами 4, которые подключены к электрическим проводам 5 и выполнены с возможностью свободного перемещения вдоль своей оси по внутренним поверхностям разрезных втулок 3 для самоустанавливания по обрабатываемой поверхности детали. Отверстия в корпусе 1 выполнены сквозными, его полость заполнена гидропластом 2, а в стенке корпуса 1 расположен зажимной винт 6, воздействующий на гидропласт 2, обжимающий разрезные втулки 3, для закрепления стержневых электродов 4 и фиксирования их с образованием ими поверхности, ответной по отношению к обрабатываемой поверхности детали. Инструмент-электрод позволяет обеспечить быстрое формирование любых пространственно-сложных поверхностей и равномерный зазор между электродом и обрабатываемой поверхностью.

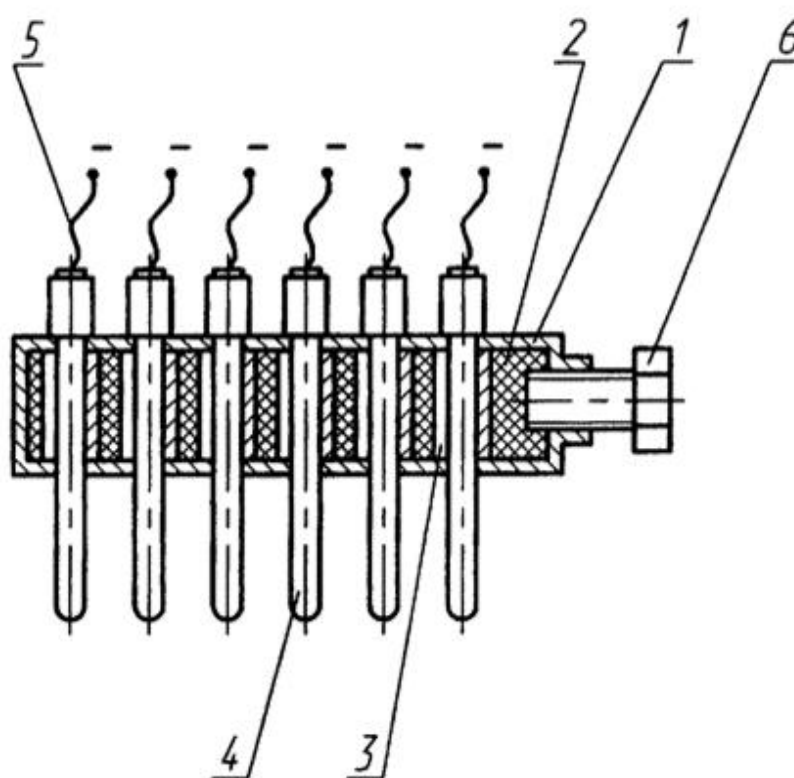


Рисунок 1.5 - Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей

Изобретение ручного инструмента-электрода для электрохимического полирования металлов [17] относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для ручного электрохимического полирования различных деталей, в том числе с пространственно-сложными поверхностями. Ручной инструмент содержит корпус из диэлектрического материала, закрепленный в нем электрод, подключенный к отрицательному полюсу источника постоянного тока, гибкую трубку для непрерывной подачи электролита в зазор между ним и обрабатываемой деталью, подключаемой к положительному полюсу источника постоянного тока. Электрод состоит из стационарной части и съемной, выполненной в виде насадки с отверстиями. Корпус и стационарная часть электрода выполнены в виде пустотелых цилиндров, стационарная часть электрода впрессована в корпус с образованием выступа для закрепления на нем насадки, при этом одна часть отверстий в насадке используется для прохождения электролита, а другая - для монтажа средств для создания указанного зазора, выполненных в виде дистанционных упоров и из диэлектрического материала, каждый из которых состоит из двух частей в виде цилиндрической части, запрессованной в насадку, и полусферической части (рисунок 1.6).

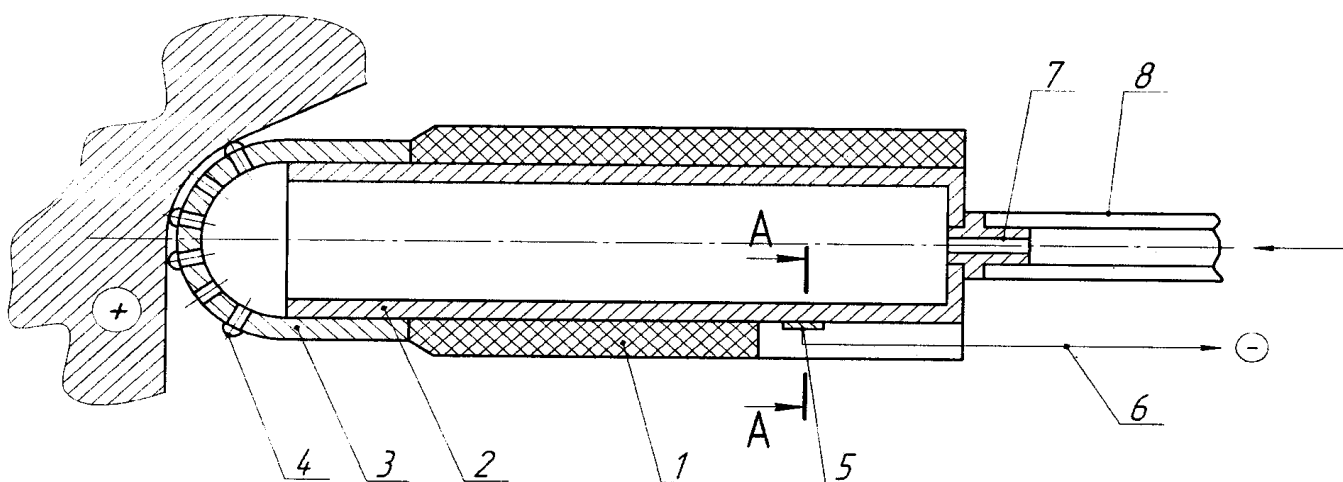


Рисунок 1.6 - Ручной инструмент-электрод для электрохимического полирования металлов

Насадки могут быть изготовлены в виде полусферы, прямоугольной призмы, конуса и цилиндра. Изобретение позволяет повысить качество обработки металлических поверхностей при сохранении геометрических параметров детали, полученных до электрохимического полирования.

Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей [18] относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Инструмент содержит корпус из диэлектрического материала, закрепленный на нем инструмент-электрод, подключаемый к отрицательному полюсу источника постоянного тока, при этом инструмент-электрод с внешней стороны снабжен средствами для создания зазора между ним и обрабатываемой заготовкой, подключаемой к положительному полюсу источника постоянного тока. Инструмент-электрод выполнен в виде насадки с мягкой трехслойной оболочкой, жестко закрепляемой на корпусе, причем первый слой оболочки выполнен из резины, образующей замкнутую камеру, второй слой - из металлической мелкоячеистой сетки, а третий - из неметаллической сетки, при этом в корпусе выполнены два отверстия, одно из которых выполнено с возможностью подключения к выходу насоса-компрессора, нагнетающего воздух, а второе - с возможностью подключения к входу вакуумного насоса. Изобретение обеспечивает повышение качества электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей при сохранении полученных до обработки ее геометрических параметров за счет быстрого формирования любых пространственно-сложных поверхностей и поддержания равномерного зазора между электродом и обрабатываемой поверхностью в трехкоординатном пространстве.

Изобретение инструмента-электрода для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей [19] относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для

электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Инструмент содержит корпус из диэлектрического материала, закрепленный на нем инструмент-электрод, подключаемый к отрицательному полюсу источника постоянного тока, при этом инструмент-электрод с внешней стороны снабжен средствами для создания зазора между ним и обрабатываемой заготовкой, подключаемой к положительному полюсу источника постоянного тока. Инструмент-электрод выполнен в виде насадки с мягкой трехслойной оболочкой, жестко закрепляемой на корпусе, причем первый слой оболочки выполнен из резины, образующей замкнутую камеру, второй слой - из металлической мелкоячеистой сетки, а третий - из неметаллической сетки, при этом в корпусе выполнены два отверстия, одно из которых выполнено с возможностью подключения к выходу насоса-компрессора, нагнетающего воздух, а второе - с возможностью подключения к входу вакуумного насоса. Изобретение обеспечивает повышение качества электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей при сохранении полученных до обработки ее геометрических параметров за счет быстрого формирования любых пространственно-сложных поверхностей и поддержания равномерного зазора между электродом и обрабатываемой поверхностью в трехкоординатном пространстве (рисунок 1.7).

Изобретение относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для электрохимического полирования различных деталей с внутренними пространственно-сложными поверхностями с внутренними уклонами.

Данное устройство имеет недостатки. На каждую форму поверхности необходима своя насадка. Низкая производительность обработки вследствие ручной доводки. Высокая цена изготовления инструмента электрода.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, заключается в повышении эффективности обработки пространственно-

сложных поверхностей с достижением следующих технических результатов: повышение производительности и качества обработки металлических поверхностей за счет одновременной обработки всей поверхности детали; сохранение геометрических параметров, полученных до электрохимического полирования в труднодоступных местах перехода поверхностей за счет гибкости инструмента-электрода.

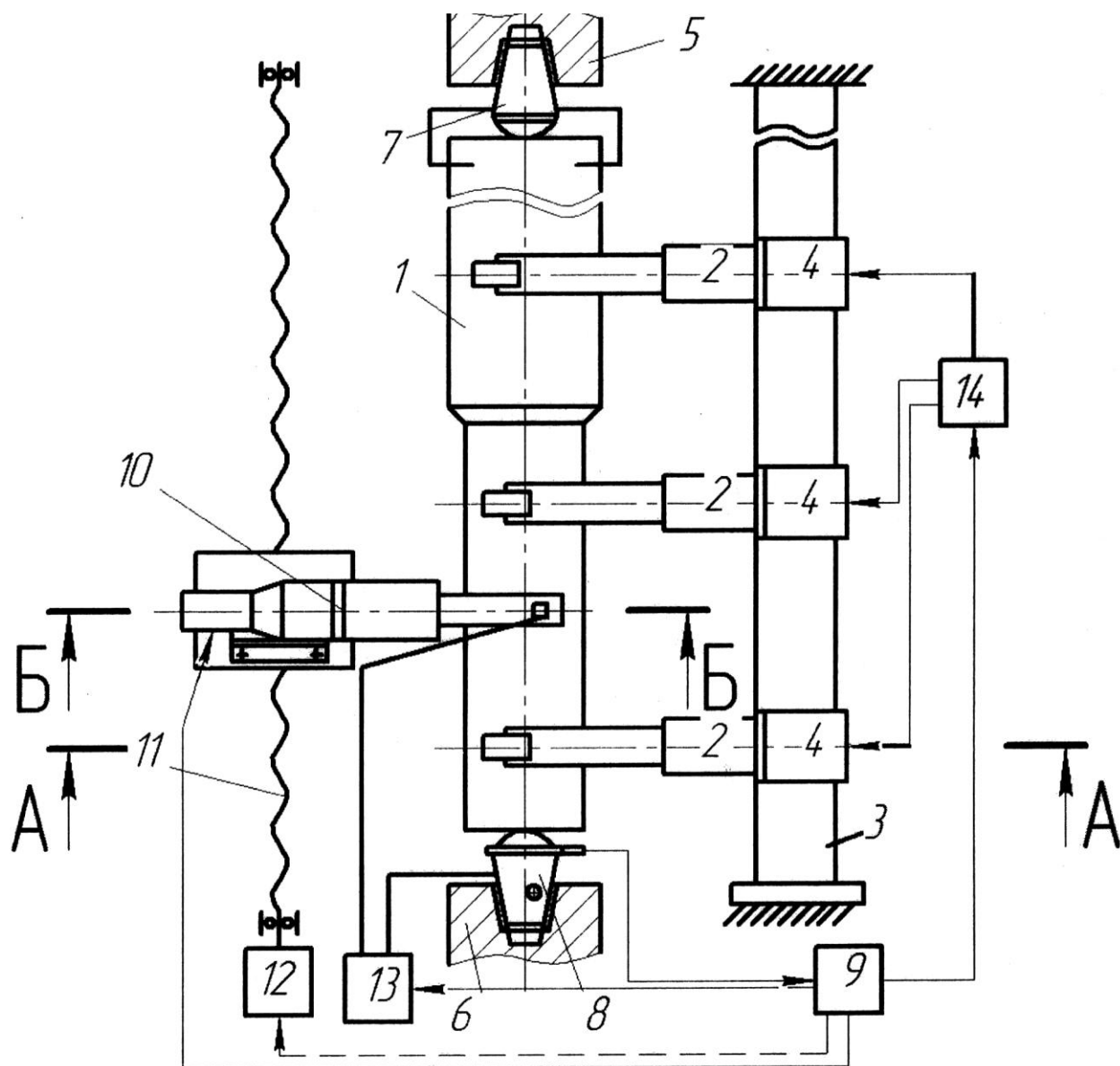


Рисунок 1.7 - Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей

Эта задача решается тем, что инструмент для электрохимического полирования металлов содержит корпус из диэлектрического материала, закрепленный на нем инструмент-электрод, подключаемый к отрицательному полюсу источника постоянного тока, при этом инструмент-электрод с внешней стороны снабжен средствами для создания зазора между ним и обрабатываемой заготовкой, подключаемой к положительному полюсу источника постоянного тока, инструмент-электрод выполнен в виде насадки с мягкой трехслойной оболочкой, жестко закрепляемой на корпусе, причем первый слой оболочки выполнен из резины, образующей замкнутую камеру, второй слой - из металлической мелкоячеистой сетки, а третий - из неметаллической сетки, при этом в корпусе выполнены два отверстия, одно из которых выполнено с возможностью подключения к выходу насоса-компрессора, нагнетающего воздух, а второе - с возможностью подключения к входу вакуумного насоса. Радиусы сгиба трехслойной оболочки должны быть не меньше пяти миллиметров.

Выполнение инструмента-электрода в виде насадки с мягкой трехслойной оболочкой обеспечивает расширение технологических возможностей за счет возможности обработки различных заготовок сложной формы, в том числе с внутренними теневыми уклонами.

Жесткое закрепление мягкой трехслойной оболочки на корпусе обеспечивает равномерность прилегания поверхности инструмента-электрода по всей внутренней поверхности обрабатываемой заготовки.

Выполнение первого слоя резиновым, образующим замкнутую камеру, обеспечивает герметичность внутреннего объема инструмента-электрода, что позволяет изменять его объем в сторону увеличения.

Выполнение второго слоя из металлической мелкоячеистой сетки создает катод с максимальной рабочей площадью, что обеспечивает равномерный по поверхности процесс электрохимической обработки.

Выполнение третьего слоя из неметаллической сетки обеспечивает равномерность зазора между инструментом-электродом и поверхностью

заготовки, из-за этого обработка происходит равномерно по всей поверхности, на которой находится мягкий инструмент-электрод, что обеспечивает качество полирования.

Выполнение в корпусе двух отверстий: одного для подключения выхода насоса-компрессора, нагнетающего воздух, другого - входа вакуумного насоса, обеспечивает быстрое образование поверхности инструмента-электрода эквидистантной обрабатываемой поверхности для обработки, в том числе с внутренними уклонами, и извлечение электрода после обработки из полости заготовки.

Радиус сгиба трехслойной оболочки величиной не меньше пяти диаметров обеспечивает технологичность инструмента-электрода, так как меньшие закругления могут привести к заломам металлической сетки [19].

Устройство содержит корпус 1 из диэлектрического материала, в центре которого выполнен выступ, на который крепится мягкий инструмент-электрод, состоящий из трехслойной оболочки, первый слой 2 которого изготовлен из неметалла с большим коэффициентом упругости, например из резины; второй слой 3 изготовлен из металлической мелкоячеистой сетки, например из медной проволоки; третий слой 4 изготовлен из неметаллической сетки, например прорезиненной ткани, ячеистая площадь которой в 10-20 раз больше, чем у металлической сетки. К отверстиям 5 корпуса 1 подключаются два насоса. Насос-компрессор 6 создает давление внутри оболочки. Вакуумный насос 7 откачивает среду из нее. На корпусе 1 установлены штифты 8, винты 9, прикреплен провод 10 от отрицательного полюса источника тока (не показан), который соединен с металлической сеткой 3. Провод 11 от положительного полюса источника питания постоянного тока прикреплен к заготовке 12. Для подачи электролита используются отверстия 13, для отвода - отверстия 14.

Устройство работает следующим образом. Для выполнения электрохимического полирования заготовка 12 подключается проводом 11 к положительному полюсу источника постоянного тока, а инструмент-

электрод - через провод 10 к отрицательному полюсу. Корпус 1 с закрепленным мягким трехслойным инструментом-электродом крепят на верхнем торце заготовки 12 с помощью штифтов 8 и винтов 9, и с помощью насоса-компрессора 6 нагнетают давление внутри инструмента-электрода до полного облегания внутренней поверхности заготовки 12 с эквидистантным зазором по всему объему, который обеспечивает третий слой 4. Далее через отверстия 13 подается электролит, который выливается через отверстия 14 в сливной бак (не показан). При наполнении всего зазора между заготовкой 12 и инструментом-электродом включается источник постоянного тока, происходит замыкание электрической цепи и начинается процесс электрохимического полирования. Время полирования, сила тока, плотность электролита подбираются опытным путем в зависимости от обрабатываемого материала и шероховатости обрабатываемой поверхности. Через определенные промежутки времени процесс полирования прерывается, устройство обесточивается и происходит прокачка электролита, т.к. на дне матрицы собирается продукт реакции - шлам, который затрудняет процесс полирования. Одновременно включается вакуумный насос 7 и происходит вакуумизация мягкого инструмента-электрода, и он сжимается, зазор увеличивается, обеспечивая свободный проток электролита. Затем после включения насоса-компрессора 6 включается источник постоянного тока и процесс повторяется.

При силе тока 200-300 ампер анодному растворению подвергаются в первую очередь выступы шероховатости на обрабатываемой поверхности, а основной металл детали не успевает вступить в реакцию. Вследствие этого выступы удаляются электрическим путем и шероховатость поверхности снижается. При отключении электрического питания электрохимическая обработка прекращается. После полирования деталь промывается водой.

Изобретение [20] относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Инструмент-электрод содержит

корпус с зафиксированным на нем симметрично относительно вертикальной оси пустотелым коробом, на котором крепится модель из отвердевшего неметаллического, стойкого к воздействию электролита, материала, на наружной объемной поверхности которой смонтирована металлическая безъячеистая сетка, подключаемая к отрицательному полюсу источника питания. В основании корпуса установлены штифты и регулировочные винты, обеспечивающие установку зазора между моделью и заготовкой детали, причем упомянутая модель изготовлена по внутренней поверхности мастер-модели, которой является обрабатываемая заготовка детали, с учетом величины зазора для прокачки электролита и диаметра проволоки упомянутой сетки. Изобретение обеспечивает экономию металла при изготовлении инструмента-электрода сложной формы, позволяющего осуществлять электрохимическую обработку любых пространственно-сложных поверхностей с равномерным зазором по всей поверхности. 2 ил.

Изобретение относится к области электрохимической обработки металлов и может применяться для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей, т.е. поверхностей, имеющих нерегулярный, сложный профиль, изменяющийся сразу в трех координатах и представляющий собой совокупность выпуклых, вогнутых, сферических, цилиндрических, конических и плоских участков.

Монтаж на наружной объемной поверхности модели металлической безъячеистой сетки, подключаемой к отрицательному полюсу источника питания, обеспечивает быстрое и мало затратное изготовление электродов любой конфигурации с качественным протеканием процесса электрохимической обработки.

Установка в основании корпуса штифтов и регулировочных винтов обеспечивает установку зазора между моделью и заготовкой детали заданной величины.

Изготовление модели по внутренней поверхности мастер-модели, которой является обрабатываемая заготовка детали, с учетом величины

зазора для прокачки электролита и диаметра упомянутой сетки, создает равномерный зазор по всей любой по конфигурации сложности поверхности.

Устройство содержит корпус 1 с зафиксированными на нем симметрично относительно вертикальной оси пустотелыми коробами 2, на которых крепится модель 3, состоящая из отвердевшего неметаллического материала (например, полиуретан), на наружной объемной поверхности которой смонтирована металлическая безъячеистая сетка 4. Последняя присоединена проводом 5 к отрицательному полюсу источника питания. В основании корпуса установлены штифты 6 и регулировочные винты 7. Заготовка 8 подключается проводом 9 к положительному полюсу источника питания. Между заготовкой 8 и корпусом 1 проходит система каналов подвода 10 и отвода 11 электролита.

Устройство работает следующим образом: корпус 1 с моделью 3, на поверхности которой смонтирована сетка 4, устанавливается на торце заготовки 8. С помощью штифтов 6 и регулировочных винтов 7 обеспечивают установку зазора между моделью 3 и заготовкой 8.

При изготовлении модели 3 на заготовку 8, которая является мастер-моделью для модели 3, наносят тонким слоем силиконовую жидкость или техническое масло и устанавливают на торце заготовки 8 корпус 1 с пустотелым кожухом 2 на штифты 6 без зазора относительно рабочей внутренней поверхности заготовки 8. Далее объем между внутренней поверхностью матрицы 8 и корпусом 1 с пустотелым кожухом 2 заполняют жидким неэлектропроводящим материалом, например эпоксидной смолой с отвердителем или другим полимерным материалом, стойким к действию электролита.

После затвердевания корпус 1, пустотелый кожух 2 и модель 3 представляют единый монолитный инструмент - электрод, трехкоординатная пространственно-сложная поверхность которого механически обрабатывается на фрезерном станке. Глубина снимаемого

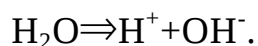
поверхностного слоя эквидистантна величине z_3 , которая включает зазор z_1 для прокачки электролита, необходимый для процесса электрохимического полирования (0,2...2 мм), и глубине z_2 , равной диаметру проволоки сетки (0,5...1 мм). Проволока сетки может быть изготовлена из меди, коррозионно-стойкой стали и т.д. Сетка изготавливается по выкройке с учетом объемной конфигурации обрабатываемой полости. Соединяют сетку путем пайки.

Для выполнения электрохимического полирования на заготовку 8, которая прошла механическую обработку и качество поверхности которой не соответствует требованиям, представленным на чертежах, устанавливают на штифты модуль-пуансон с зазором z_3 с помощью регулировочных винтов 6. Далее заполняют зазор между обрабатываемой заготовкой 8 и моделью 3. В качестве электролита используются водные растворы солей, кислот, щелочей, например поваренная соль.

Затем плюс источника постоянного тока соединяют с заготовкой 8 через провод 9, минус - к проводу 5. В процессе электрохимического полирования заготовка 8 и инструмент-электрод неподвижны. Между инструмент-электродом и заготовкой равномерный зазор по всей поверхности заготовки.

В качестве электролита будем использовать так называемый водный раствор поваренной соли (NaCl), при растворении которой в воде могут образовываться положительные ионы натрия Na^+ , а также отрицательно заряженные ионы хлора Cl^- . При включении источников питания между обрабатываемой деталью и инструментом-электродом возникает постоянный ток, а в электролите происходят некоторые химические реакции.

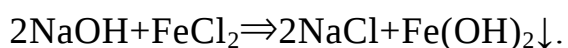
Вода частично диссоциирует на ионы водорода и гидроксильной группы:



Анионы хлора движутся к детали, так как она является анодом, и соединяются с железом, образуя растворимый в воде хлорид железа:

Катионы натрия движутся к катоду, получают от него недостающие электроны и образуют металлический натрий. Натрий - очень активный элемент, поэтому он сразу же реагирует с водой, образуя растворимый гидроксид натрия и газообразный водород:

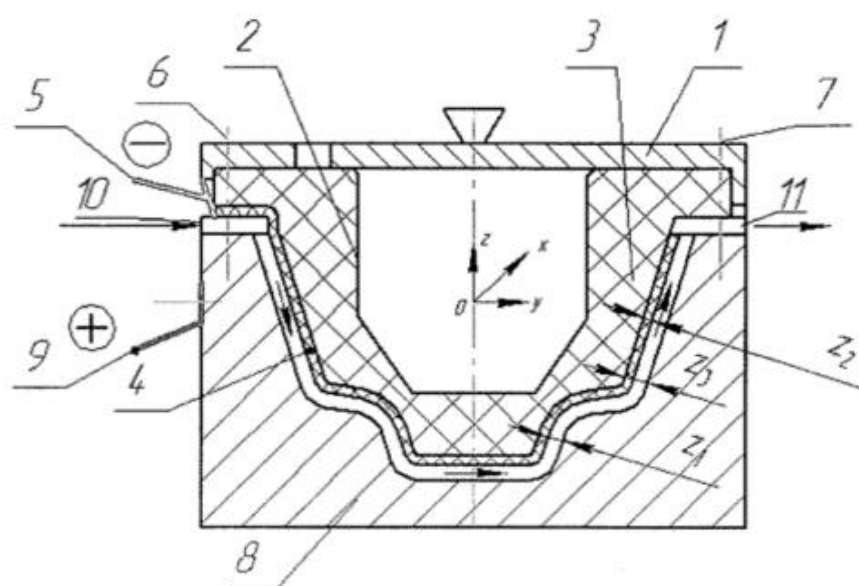
Гидроксид натрия и хлорид железа в водном растворе реагируют друг с другом, образуя вновь растворимую поваренную соль и нерастворимый гидроксид железа. Нерастворимое соединение выпадает в осадок и далее в реакциях не участвует:



При небольшой силе тока (50...100 ампер) анодному растворению подвергаются в первую очередь выступы шероховатости на обрабатываемой поверхности. Вследствие этого выступы удаляются электрохимическим путем и шероховатость поверхности снижается. Так как зазор между инструментом-электродом и обрабатываемой поверхностью является равномерным, то и обработка происходит равномерно по всей поверхности. Для поддержания равномерности процесса электрохимического полирования и удаления осадков из рабочей зоны электролит прокачивается. Для предотвращения коррозии обрабатываемой детали в электролит добавляются химические вещества - ингибиторы коррозии, например нитрид натрия Na_2N . После полирования инструмент-электрод извлекается из заготовки 8 путем съема со штифтов и промывается водой полированная поверхность матрицы.

Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей детали, содержащий корпус, отличающийся тем, что на корпусе зафиксирован симметрично относительно вертикальной оси пустотелый короб, на котором крепится модель из отвердевшего неметаллического, стойкого к воздействию

электролита, материала, на наружной объемной поверхности которой смонтирована металлическая безъячеистая сетка, подключаемая к отрицательному полюсу источника питания, при этом в основании корпуса установлены штифты и регулировочные винты, обеспечивающие установку зазора между моделью и заготовкой детали, причем упомянутая модель изготовлена по внутренней поверхности мастер-модели, которой является обрабатываемая заготовка детали, с учетом величины зазора для прокачки электролита и диаметра проволоки упомянутой сетки.



фиг. 1

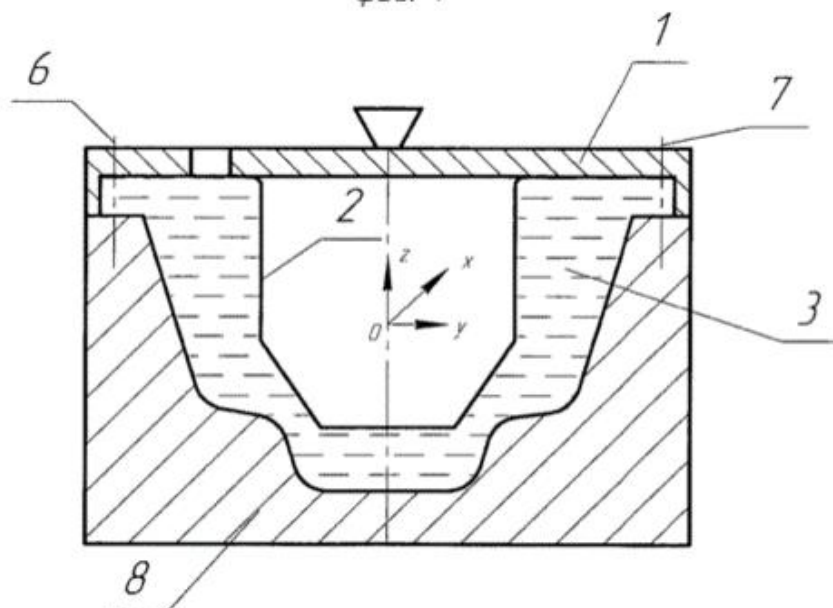


Рисунок 1.8 - Инструмент-электрод для электрохимического полирования
пространственно-сложных поверхностей детали

Изобретение [21] относится к размерной электрохимической обработке металлов и сплавов для формирования на сложнофасонной поверхности регулярного нано- и микрометрического слоя. Способ включает электрохимическую обработку металлов и сплавов в нейтральных электролитах на малых межэлектродных зазорах с применением импульсов тока, которые синхронизируют с фазами колебания электрода-инструмента φ^* , которые соответствуют максимуму давления электролита в межэлектродном промежутке, форму колебания инструмента и скорость сближения электродов выбирают таким образом, чтобы продолжительность импульса повышенного давления была равна или превышала длительность импульса тока. Устройство для электрохимической обработки импульсным током с периодическим изменением межэлектродного зазора, содержит вибратор, привод подач, состоящий из двигателя, тягового устройства в виде пары винт-гайка, полой пиноли, выполненной с возможностью вертикальной подачи по направляющим портальной стойки и датчика перемещений, при этом на нижнем конце полой пиноли на центрирующих мембранах подвешена несущая электрододержатель обойма с плоскими упорами, охватывающая подшипники эксцентриковой шейки вала вибратора с возможностью возвратно-поступательного перемещения в направлении подачи. Изобретение позволяет повысить точность и производительность обработки вибрирующим электродом-инструментом, за счет снижения погрешностей в приводе подач электрода-инструмента, получения возможности подачи импульсов тока в моменты достижения оптимального сочетания межэлектродного зазора и наибольшего давления электролита.

Изобретение относится к области электрохимической обработки (ЭХО) металлов и сплавов, в частности к прецизионной размерной электрохимической обработке, в частности для формирования на

сложнофасонной поверхности регулярного нано- и микрометрического слоя.

Известен способ электрохимической обработки [22], при котором для ведения процесса на малых межэлектродных зазорах используют сигнал, характеризующий искажение формы импульса напряжения (при использовании источника тока). В частности, используют сигнал, пропорциональный максимальному значению второй производной по напряжению на электродах в импульсе.

Недостатком данного способа является то, что при обработке ряда деталей, имеющих значительные неизолированные боковые поверхности, через которые протекают значительные токи, шунтирующие рабочий ток. В этом случае сигнал, характеризующий искажение формы импульса, вызванное процессами в торцевом межэлектродном промежутке (МЭП), будет весьма мал. Например, такие ситуации возникают на стадии врезания сложнопрофильного трехмерного электрода-инструмента (ЭИ) в заготовку или при прошивке отверстий малого диаметра трубкой с неизолированными боковыми поверхностями и др. Другой проблемой является недостоверная информация о величине зазора, вызванная тем, что характерные искажения формы импульса напряжения зачастую возникают не вследствие изменения межэлектродного зазора (МЭЗ), а вследствие кавитационных явлений либо локальных изменений проводимости электролита, вызванных появлением застойных зон и др.

Известен способ [23] электрохимической размерной обработки, в котором при использовании импульсного источника питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой, обработку выполняют при вибрации одного из электродов и подаче импульсов напряжения в фазе сближения электродов, при котором контролируют текущее значение импульсов напряжения, выделяя выбросы напряжения на участках сближения и удаления электродов, значения которых регулируют, изменяя давление электролита на входе межэлектродного зазора.

Основным недостатком данного способа является то, что не учитываются особенности критической ситуации, возникающие при реализации процесса на ($<0,02$ мм) малых МЭЗ при ЭХО относительно больших площадей (особенно >15 см²) обработки, которые проявляются внешне в виде искажения осциллограммы импульса напряжения, сопротивления или тока. Эти особенности протекания процесса отражают проявление конкретных динамических характеристик и податливости механической системы станка при ЭХО на малых МЭЗ, в частности в виде существенного искажения синусоидального закона колебаний электрода и соответственно закона изменения МЭЗ на участке траектории электрода, прилегающей к фазе его нижнего положения. Причем эти особенности протекания процесса, которые внешне проявляются, например, в виде искажения правильной формы осциллограммы определенных параметров, являются предвестниками короткого замыкания в МЭП.

Однако известный способ не позволяет учитывать при ведении процесса на малых МЭЗ аварийную ситуацию в МЭП из-за отсутствия характерного показателя (сигнала), информирующего о наступлении критической ситуации в МЭП. Отсутствие такой информации не позволяет обеспечить стабильность технологического результата по основным выходным показателям, вынуждает вести обработку на повышенных МЭЗ, что также снижает абсолютные значения показателей процесса по производительности, точности и качеству обработки и повышает энергоемкость процесса ЭХО.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является способ электрохимической размерной обработки с использованием импульсного источника питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой. Обработку выполняют при вибрации одного из электродов и подаче импульсов напряжения в фазе сближения электродов, контролируя текущее значение напряжения импульса, особо выделяя выбросы напряжения по переднему фронту на

участке сближения и по заднему фронту импульса на участке разведения электродов, и регулируют момент подачи импульса относительно момента максимального сближения электродов, соблюдая при этом равенство выбросов по переднему и заднему фронтам, причем задерживают подачу импульса при преобладании выбросов напряжения на участке сближения и подают импульсное напряжение с опережением при преобладании выброса на участке разведения, при этом скорость подачи электрода-инструмента или заготовки увеличивают до образования третьего локального экстремума напряжения в середине импульса и поддерживают эту скорость при соблюдении соотношения.

Недостатком данного способа, равно как и предыдущих, является попытка оценить состояние межэлектродной среды и/или величину межэлектродного зазора по косвенным электрическим параметрам, которые существенно зависят от целого ряда гидродинамических и теплофизических состояний межэлектродной среды. В результате система управления процессом производит регулирование на основе недостоверной информации, что приводит к невозможности обработки на минимально возможных межэлектродных зазорах.

Известно устройство для электрохимической обработки, содержащее отдельный привод подач стола с обрабатываемой заготовкой, а периодическое изменение МЭЗ обеспечивается вибратором, установленным на портале, содержащим связанный с электродвигателем эксцентриковый вал, соединенный посредством упругой рессоры шатуна со штосселем, возвратно-поступательно перемещаемым на шариковых направляющих и несущим ЭИ (каталог товаров Троицкого станкостроительного завода, электрохимический копировально-прошивочный станок модели 4420Ф11М).

Недостатком данного устройства является высокая энергоемкость и низкое быстродействие привода подач, перемещающего массивный стол с заготовкой. Кроме того, шариковые направляющие штосселя,

совершающего возвратно-поступательное перемещение в направлении подачи с амплитудой и частотой колебаний ЭИ, подвержены повышенному износу и не обеспечивают необходимой центрации электрода-инструмента.

Известно устройство для размерной ЭХО с вибрирующим ЭИ, содержащее приводимый от электродвигателя через угловую шарнирную муфту эксцентриковый вал, соединенный посредством рессоры со штосселем, несущим электрод-инструмент, форма колебаний и скорость движения которого задается неравномерным вращением ведомой вилки муфты, обеспечивая выдержку на минимальном зазоре, что позволяет увеличивать время пропускания технологического тока.

Недостатком данного устройства является сложность конструкции, а также неизменность закона неравномерного вращения эксцентрикового вала, что ограничивает возможность подачи импульса тока на оптимальном МЭЗ и давлении электролита.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому является также устройство для ЭХО с использованием импульсного тока, обеспечивающее периодическое изменение МЭЗ, содержащее двигатель привода подач ЭИ, тяговое устройство в виде пары "винт-гайка", датчик перемещений и установленную с возможностью вертикальной подачи по направляющим портальной стойки полую пиноль, к нижнему концу которой на центрирующих мембранах подвешен электрододержатель, жестко соединенный со штоком шатуна, смонтированного на подшипниках качения эксцентриковой шейки вала вибратора, установленного на верхнем конце пиноли и приводимого от электродвигателя (патент DE №2903873, B23H 7/30, 1979).

Недостатком этого устройства является то, что в приводе подач тяговое устройство соединяется с пинолью с помощью консольного кронштейна и от действия усилия подачи возникает опрокидывающий момент, вызывающий перекосячивание пиноли, что снижает точность обработки.

Кроме того, жесткое крепление нижнего конца штока шатуна и мембранной подвески электрододержателя при вращении эксцентрикового вала передает электроду-инструменту помимо осевых колебаний в направлении подачи также и радиальные смещения, которые отрицательно сказываются на достигаемой точности обработки. Длина шатуна вибратора, которая зависит от длины пиноли и при больших ее ходах может быть весьма значительной, увеличивает податливость и температурные деформации, вызывая погрешности расположения ЭИ относительно заготовки. Погрешность заданного расположения ЭИ относительно заготовки обусловлена и тем, что датчик перемещений контролирует только подачу пиноли, а изменения МЭЗ от работы вибратора оцениваются косвенно исходя из величины эксцентриситета и угла поворота вала вибратора без учета податливости его элементов.

Общим недостатком известных устройств и способов для ЭХО с вибрацией ЭИ является неопределенность положения электрода-инструмента в момент подачи импульсов технологического тока, сложность поддержания в процессе обработки постоянной амплитуды колебаний, оптимального давления электролита и минимального фиксированного значения МЭЗ в связи с наличием большого числа кинематических звеньев, податливости и инертности исполнительных механизмов, влиянием температурных деформаций.

Задачей изобретения является повышение точности и производительности обработки вибрирующим электродом-инструментом, за счет снижения погрешностей в приводе подач электрода-инструмента, получения возможности подачи импульсов тока в моменты достижения оптимального сочетания минимально возможного межэлектродного зазора и наибольшего давления электролита.

Поставленная задача решается тем, что:

- в способе электрохимической обработки в нейтральных электролитах на малых межэлектродных зазорах с применением импульсов

тока, которые синхронизируют с определенными фазами колеблющегося электрода-инструмента, в отличие от прототипа, импульсы тока синхронизируют с фазами колебания, которые соответствуют максимуму давления электролита в межэлектродном промежутке;

- кроме того, в отличие от прототипа, для заданной частоты и амплитуды форму колебания инструмента и скорость сближения электродов выбирают таким образом, чтобы продолжительность импульса повышенного давления была равна или превышала длительность импульса тока, а максимальная амплитуда давления достигалась на минимально возможном межэлектродном зазоре;

- кроме того, в отличие от прототипа, давление в межэлектродном промежутке оценивают по величине усилия подачи, отнесенной к рабочей площади электрода-инструмента;

- кроме того, в отличие от прототипа, фазу подачи импульса тока относительно максимума давления регулируют таким образом, чтобы площадь, ограниченная кривой изменения электрического сопротивления межэлектродного промежутка, за время действия импульса тока была минимальной;

- в устройстве для электрохимической обработки с использованием импульсного тока, обеспечивающем периодическое изменение межэлектродного зазора, содержащем вибратор, привод подач, состоящий из двигателя, тягового устройства в виде нары "винт-гайка", полый пиноли с возможностью вертикальной подачи по направляющим порталной стойки и датчика перемещений, при этом в отличие от прототипа на нижнем конце полый пиноли на центрирующих мембранах подвешена несущая электрододержатель обойма с плоскими упорами, охватывающая подшипники эксцентриковой шейки вала вибратора с возможностью возвратно-поступательного перемещения в направлении подачи;

- кроме того, в отличие от прототипа, двигатель вибратора выполнен в виде малоинерционного синхронного электродвигателя переменного тока с

возможностью регулирования в течение одного оборота угловой скорости вращения эксцентрикового вала;

- кроме того, в отличие от прототипа, линия измерения датчика перемещений, оси полой ниноли и винта тягового устройства в соответствии с принципом совпадают;

- кроме того, в отличие от прототипа подвижная часть датчика перемещений установлена внутри полой ниноли с возможностью измерения подачи ниноли и относительных колебаний электрододержателя;

- кроме того, в отличие от прототипа, между электрододержателем и обоймой введен динамометр усилия подачи;

- кроме того, в отличие от прототипа, динамометр усилия подачи может быть выполнен в виде пьезокерамического датчика;

Существо изобретения поясняется чертежами. На рисунке 1.9 показано устройство для электрохимической обработки.

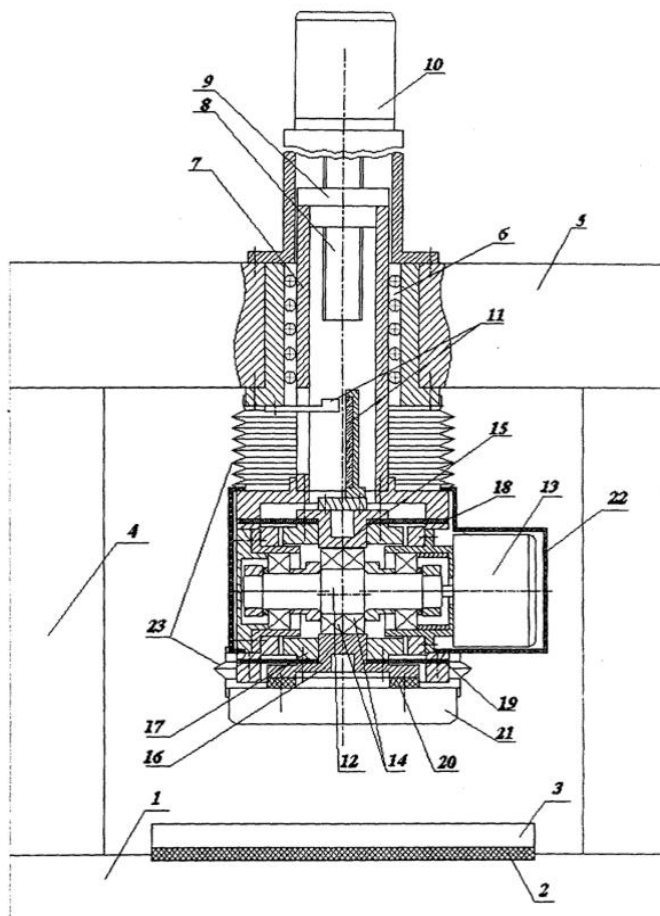


Рисунок 1.9 - Устройство для электрохимической обработки

Сущность изобретения СПОСОБ - заключается в следующем. Через межэлектродный промежуток под давлением P_0 прокачивают электролит (водный раствор центральной кислородосодержащей соли). Электрод-инструмент совершает гармонические колебания $S(t)$, соосные с направлением подачи. Заготовка и ЭИ соединены с импульсным униполярным источником питания, имеющим «крутопадающую» вольт-амперную характеристику. Результаты экспериментов и расчетов показывают, что при сближении электрода-инструмента и детали в области предшествующей фазе нижнего положения ЭИ (ϕ_{ls}), за счет вязкого трения, вытесняемого из МЭП электролита, давление $P_e(t)$ в МЭП проходит через максимум. При повышении давления электролита уменьшается объем газовой фазы $K_g(t)$ в межэлектродной среде (среда становится гомогенной) и увеличивается температура электролита $T(t)$. Оба у казанных фактора способствуют повышению проводимости межэлектродной среды (электролита) при протекании импульсов тока $I(t)$ высокой плотности на малых межэлектродных зазорах S_t . Очевидно, что снижение электрического сопротивления МЭП $R(t)$ при подаче импульса тока будет способствовать снижению энергоемкости процесса. В совокупности с высоким давлением в жидкости, мы при прочих равных условиях получим возможность работать на более высоких плотностях тока без опасности вскипания межэлектродной среды или заполнения МЭП газом. Возможность достигать более высоких плотностей тока на малых межэлектродных зазорах для большинства материалов гарантирует снижение шероховатости обработанной поверхности.

В отличие от способов-аналогов заданный технологом импульс тока $I(t)$ и напряжение $U(t)$ синхронизируются не с фазой наибольшего сближения ЭИ с заготовкой ϕ_{ls} , а с фазой колебания ЭИ ϕ^* , в которой достигается максимум давления электролита P_{max} в МЭП. С физической точки зрения в окрестности фазы наибольшего теоретического сближения электродов S_{min} (точка минимума на синусоиде) уменьшается и скорость их

взаимного сближения (V_k), а следовательно уменьшается до нуля скорость вытеснения электролита из МЭП. Давление в этот момент падает, увеличивается объем газовой фазы и вскипает электролит. Несмотря на малую величину МЭЗ, протекание тока через него затруднено и неэффективно с энергетической точки зрения. Последовательно изменяя скорость сближения электродов и фазу подачи импульса тока относительно максимума давления и вычисляя площадь, ограниченную кривой электрического сопротивления МЭП за время действия импульса тока, определяют такое значение фазы, при которой эта площадь будет минимальна. Таким образом, как отмечено выше, достигают оптимальных, с точки зрения энергоемкости, условий осуществления процесса ЭХО.

Сущность изобретения УСТРОЙСТВО - заключается в том, что для снижения ошибок от кинематических зазоров, нежесткости, температурных деформаций звеньев привода подач и вибратора, сохранения стабильной амплитуды колебательных движений в направлении подачи применяется привод подач, в котором, в соответствии с принципом Аббе, ось тягового устройства и линия измерения датчика перемещений совпадают с осью полой пиноли, используется бесшатунный эксцентриковый вибратор, обеспечивающий возвратно-поступательное перемещение электрода-инструмента строго в направлении подачи. Двигатель привода подач вибратора позволяет в течение одного оборота управляемо изменять угловую скорость вращения эксцентрикового вала. Введен динамометр усилия подачи, который контролирует изменение давления электролита, обеспечивая синхронизацию подачи импульсов технологического тока на фиксированном оптимальном межэлектродном зазоре.

Устройство содержит основание 1, на котором через изоляционную проставку 2 установлен стол 3, закреплены стойки 4, стянутые поперечиной 5, на которой расположены направляющие 6 полой пиноли 7 и привод подач, содержащий тяговое устройство в виде пары "винт-гайка" 8, 9, электродвигатель 10 с датчиком перемещений 11. На нижнем торце полой

пиноли закреплен электромеханический вибратор, который содержит эксцентриковый вал 12, соединенный с электродвигателем вибратора 13, в качестве которого может быть использован малоинерционный синхронный двигатель переменного тока с сервоприводом, позволяющим в течение одного оборота менять угловую скорость вращения ротора. Подшипники 14, смонтированные на эксцентриковой шейке вала, находятся в постоянном контакте с верхним 15 и нижним 16 упорами обоймы 17, охватывающей подшипники эксцентриковой шейки вала 12. К обойме 17, которая сцентрирована относительно оси пиноли 7 с помощью двух мембран 18, 19, закреплен динамометр усилия подачи 20 электрододержателя 21. Для защиты вибратора и направляющих от воздействия электролита используются кожух 22 и гофры 23. Датчик перемещений 11 и динамометр усилия подачи 20 (фиг.3) соединены со входом блока управления 24, выходы которого подключены к источнику технологического тока 25 и блоку управления 26, связанного с электродвигателем 13.

Устройство работает следующим образом.

Величина межэлектродного зазора, контролируемая датчиком перемещений 11, формируется в результате сложения подачи полой пиноли 7 по направляющим 6, осуществляемой тяговым устройством в виде пары "винт-гайка" 8, 9 от электродвигателя 10, с возвратно-поступательным движением электрододержателя 21 с обоймой 17, сцентрированной мембранами 18, 19 по оси полой пиноли 7 и охватывающей верхним и нижним упорами 15, 16 подшипники 14, смонтированные на эксцентриковой шейке вала 12, который приводится от электродвигателя вибратора 13. Изменение величины межэлектродного зазора с различной скоростью позволяет варьировать характером пульсации силы давления электролита, который фиксируется динамометром усилия подачи 20 и регистрируется блоком управления 24, определяющим оптимальный для подачи импульса технологического тока момент времени.

Пример конкретной реализации способа.

Производилась электрохимическая обработка заготовки из высоколегированной хромистой стали 40X13 в 10%-ном водном растворе азотнокислого натрия с использованием электрода-инструмента площадью 200 кв.мм. Перед началом обработки, без подачи импульсов технологического тока колеблющийся электрод-инструмент и обрабатываемую заготовку сближают до касания и отводят на заданную величину минимального межэлектродного зазора S_{min} (см. фиг.1). Затем устанавливают следующий режим обработки: давление электролита на входе межэлектродного промежутка 0,25 МПа; температура электролита 18 С°; частота импульсов тока и колебаний электрода-инструмента 50 Гц; длительность импульса тока 4 мс; амплитуда колебаний электрода-инструмента 0,2 мм; амплитуда импульса напряжения в момент максимального давления электролита P_{max} в МЭП 10 В.

В начале обработки, в процессе врезания электрода-инструмента в заготовку до глубины 0,3-0,5 мм, амплитуду напряжения синусоидальной формы синхронизировали с моментом максимального сближения электродов. Затем по мере дальнейшего углубления электрода-инструмента в заготовку и образования выбросов импульса напряжения подачу импульсов тока осуществляли с опережением, синхронизируя с моментом максимального давления электролита P_{max} в МЭП. При этом значение выбросов напряжения по переднему и заднему фронтам импульса равнялось 12 В. Максимальное значение выброса напряжения в середине 11 В. Процесс образования этих выбросов напряжения наблюдали и фиксировали на осциллографу.

Получены следующие выходные показатели технологического процесса: погрешность формы при копировании 1...5 мкм, повторяемость размеров в партии из 10-ти деталей 2...10 мкм; шероховатость торцевой поверхности улучшилась до $Ra=0,16$ мкм (т.е. на 15% ниже чем достигаемая

по способу-аналогу), при этом максимальная скорость подачи достигала 0,8 мм/мин, т.е. увеличилась на 13%.

Оптимальное сочетание параметров импульса напряжения с фазой максимального давления электролита гарантирует ведение процесса с минимальным значением $S_{\min}$ зазора в пределах 0,01-0,02 мм без повреждения поверхности электрода инструмента и обрабатываемой заготовки, причем предлагаемый способ легко осуществляется с использованием известных в технике контролирующих и управляющих устройств.

Итак, заявляемое изобретение позволяет повысить точность и производительность обработки вибрирующим электродом-инструментом, за счет снижения погрешностей в приводе подач электрода-инструмента, получения возможности подачи импульсов тока в моменты достижения оптимального сочетания минимально возможного межэлектродного зазора и наибольшего давления электролита.

Кроме того, изобретение позволяет осуществлять прецизионную размерную электрохимическую обработку, в частности для формирования на сложнофасонной поверхности регулярного нано- и микрометрического слоя.

Формула изобретения

1. Способ электрохимической обработки металлов импульсным током, включающий обработку металлов в нейтральных электролитах на малых межэлектродных зазорах с применением импульсов тока, которые синхронизируют с определенными фазами колеблющегося электрода - инструмента, отличающийся тем, что импульсы тока синхронизируют с фазами колебания электрода-инструмента φ^* , которые соответствуют максимуму давления электролита в межэлектродном промежутке.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что для заданной частоты и амплитуды форму колебания инструмента и скорость сближения электродов выбирают таким образом, чтобы продолжительность импульса

повышенного давления была равна или превышала длительность импульса тока.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что давление в межэлектродном промежутке оценивают по величине усилия подачи, отнесенной к рабочей площади электрода-инструмента.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что фазу подачи импульса тока относительно максимума давления регулируют таким образом, чтобы площадь, ограниченная кривой изменения электрического сопротивления межэлектродного промежутка, за время действия импульса тока была минимальной.

5. Устройство для электрохимической обработки металлов импульсным током с периодическим изменением межэлектродного зазора, содержащее вибратор, привод подач, состоящий из двигателя, тягового устройства в виде пары винт-гайка, полый пиноли, выполненной с возможностью вертикальной подачи по направляющим порталной стойки и датчика перемещений, отличающееся тем, что на нижнем конце полый пиноли на центрирующих мембранах подвешена несущая электрододержатель обойма с плоскими упорами, охватывающая подшипники эксцентриковой шейки вала вибратора с возможностью возвратно-поступательного перемещения в направлении подачи.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что двигатель вибратора выполнен в виде малоинерционного синхронного электродвигателя переменного тока с возможностью регулирования в течение одного оборота угловой скорости вращения эксцентрикового вала.

7. Устройство по п.5, отличающееся тем, что линия измерения датчика перемещений, оси полый пиноли и винта тягового устройства в соответствии с принципом Аббе, совпадают.

8. Устройство по п.5, отличающееся тем, что подвижная часть датчика перемещений установлена внутри полый пиноли с возможностью измерения подачи пиноли и относительных колебаний электрододержателя.

9. Устройство по п.5, отличающееся тем, что между электрододержателем и обоймой введен динамометр усилия подачи.

10. Устройство по п.9, отличающееся тем, что динамометр усилия подачи может быть выполнен в виде пьезокерамического датчика.

1.4 Выводы по первой главе, цель и задачи

Основным выводом по первой главе является доказанная уникальность и перспективность применения ЭХО для решения задачи повышения качества обработанных пространственных поверхностей на примере штампов.

Уникальность применения ЭХО можно характеризовать такими особенностями, как:

- малая зависимость производительности технологического процесса от механических свойств обрабатываемого материала;
- практически полное отсутствие износа инструмента;
- достаточно слабое влияние характеристики поверхностного слоя на физико-механические свойства, которое уменьшается с повышением степени интенсификации процесса;
- относительная универсальность и простота оборудования для реализации метода, а также достаточно низкая трудоемкость его переналадки.

Исходя из вышеперечисленного сформулирована цель магистерской диссертации: повышение качества обработанных пространственных поверхностей на примере штампов путем внедрения технологии ЭХО.

В соответствии с поставленной целью сформулированы следующие задачи:

- изучение теоретических основ ЭХО;
- разработка технологического процесса ЭХО;
- разработка установки ЭХО;
- разработка системы автоматизированного управления процессов ЭХО.

Глава 2 Расчет основных технологических показателей электрохимической обработки

2.1 Механизм анодного растворения

На катоде происходит ускоренное разложение молекул воды с выделением молекулярного водорода $H_2O + e \rightarrow H + OH$. На аноде $Me - ne \rightarrow Me^{n+}$, одновременно образуется молекулярный кислород: $2OH - 2e \rightarrow H_2O + O_2$.

Таким образом, в результате реакции на катоде выделяется газ (водород), на аноде - осадок (гидроксид металла) и газ (кислород). Продукты обработки выносятся потоком электролита из промежутка. При большой силе тока возможны также и другие реакции, в ходе которых на поверхности анода могут образовываться оксиды. Они снижают скорость растворения металла с заготовки и ухудшают ее обрабатываемость [16-18].

2.2 Съем металла при размерной электрохимической обработке

Если на электроде протекает только один электрохимический процесс, например растворение металла, то он описывается законами Фарадея. Согласно первому закону Фарадея,

$$m = \varepsilon Q \quad (2.1)$$

где m - масса материала, растворенного с анода; Q - количество электричества, пропущенное через электролит; ε - коэффициент пропорциональности. При постоянном токе $Q = It$, где I - сила тока, t - время его прохождения [19].

Коэффициент ε - электрохимический эквивалент:

$\varepsilon = An/F$, A - атомная масса; n - валентность; $F = 96500$ - число Фарадея.

В таблице 2.1 приведены расчетные значения электрохимических эквивалентов некоторых сплавов.

В действительности каждый компонент сплава имеет свой электрохимический эквивалент, т. е. свою скорость анодного растворения. За

счет этого в процессе обработки возникают углубления и выступы, формирующие макропрофиль и шероховатость поверхности [21].

Таблица 2.1 Расчетные значения электрохимических эквивалентов

Материал	ε_c , мг/(А*с)
Сталь 45	0,223
Сталь 12Х18Н9Т	0,165
Жаропрочные сплавы	0,26 ... 0,29
Титановые сплавы	0,158 ... 0,162
Алюминиевые сплавы	0,092 ... 0,093

Для практических целей необходимо знать скорость линейного растворения, которая позволяет найти скорость подачи инструмента при изготовлении деталей. Если в уравнении (2.1) массу материала записать через площадь обрабатываемого участка S и перемещение / электрода-инструмента к детали, то $m = Sl\rho$, где ρ — плотность материала [22].

Силу тока можно выразить через площадь участка S и плотность тока: $I = JS$. Тогда уравнение (2.1) примет вид:

$$S \cdot l \cdot \rho = \varepsilon \cdot J \cdot S \cdot \tau \quad (2.2)$$

Если левую и правую части выражения (2.2) разделить на время τ , то отношение $l / \tau = v$ называется скоростью линейного растворения материала анода:

$$v = \varepsilon \cdot J / \rho \quad (2.3)$$

Плотность тока по закону Ома может быть выражена через напряжение U и удельную проводимость χ . В расчет принимается только та часть напряжения, которая используется для протекания электрохимической реакции. Сюда не входят потери напряжения на электродах и в токоподводящих цепях [23]:

$$J = U \cdot x / s \quad (2.4)$$

С учетом формул (2.3) и (2.4) закон анодного растворения может быть записан в виде

$$v = \varepsilon \cdot U \cdot x / (\rho \cdot s) \quad (2.5)$$

Если зазор S не изменяется в процессе анодного растворения, то режим ЭХО стационарный, в случае переменного, неуставившегося зазора - нестационарный. В зависимости (2.5) учитывается действие только электрического поля. Однако, как следует из определения процесса, необходимым условием его осуществления является удаление продуктов обработки из прианодной и прикатодной областей. В большинстве случаев это достигается принудительной прокачкой электролита. Следовательно, помимо электрического поля определяющее влияние на процесс оказывают гидродинамические факторы.

Если измерить массу металла, растворенного с анода, то она окажется меньше, чем, по формуле закона Фарадея. Это объясняется тем, что часть количества электричества тратится на побочные реакции на электродах, образование газов, вторичные реакции. Эти потери можно учесть, введя коэффициент, который называют выходом по току η . Выход по току представляет отношение действительного и теоретически ожидаемого количества растворенного вещества и характеризует долю полезного использования тока [24]. Тогда закон анодного растворения (2.5) может быть записан в виде

$$v = \eta \cdot \varepsilon \cdot U \cdot x / (\rho \cdot s) \quad (2.6)$$

Выход по току при ЭХО зависит от ряда взаимосвязанных факторов - плотности тока, материала заготовки, скорости прокатки, температуры и степени защелоченности электролита и др.

При использовании электролитов на базе растворов хлорида натрия выход по току для конструкционных низколегированных сталей η - 0,8...0,85; для жаропрочных сплавов η = 0,85...0,93; для титановых сплавов η = 0,83...0,85. Если процесс ЭХО осуществляют в среде нитрата натрия, то для большинства сталей выход по току снижается (η = 0,6...0,7). Для алюминиевых сплавов, которые обрабатываются преимущественно в растворах нитрата натрия, выход по току может составлять η = 1,1... 1,35. Принимаем η = 0,8

Для нормального протекания электрохимических реакций необходимо обеспечить интенсивный вынос продуктов обработки из межэлектродного промежутка, поэтому электролит должен протекать со скоростью, достаточной для захвата и удаления твердых и газообразных частиц, образующихся в ходе реакций. При расчете скорости следует учитывать свойства электролита: его вязкость, состав, стабильность характеристик и др. [25].

Электролит может иметь ламинарный или турбулентный характер течения. При ламинарном потоке жидкость не перемешивается и вынос продуктов обработки из межэлектродного промежутка происходит медленнее, чем в случае турбулентного течения. Однако расчет ламинарного потока значительно проще, и в технологических расчетах обычно принимают течение ламинарным. Если скорость электролита мала, то часть продуктов обработки не успеет покинуть межэлектродный промежуток и будет в нем накапливаться вблизи рабочей поверхности электрода-инструмента и заготовки [26-28].

2.3 Пассивация обрабатываемой поверхности

На рисунке 2.2 схематически показана зависимость силы тока от напряжения при постоянной площади обрабатываемой поверхности. На участке АБ с возрастанием напряжения ток увеличивается. Это так называемая активная область. Участок АБ характеризует анодное растворение элементов сплава заготовки с низкой валентностью. Сила тока здесь незначительна и

высокой скорости обработки заготовки достичь не удастся. Поэтому в процессе ЭХО область активного растворения практически не используют. На участке БВ возрастание напряжения вызывает снижение силы тока. Наступает пассивация обрабатываемой поверхности, т. е. образование на ней оксидной пленки [29]. С увеличением напряжения растет толщина пленки, обладающей большим сопротивлением. При дальнейшем увеличении напряжения сила тока сначала остается неизменной (участок ВГ), а затем вновь начинает расти (участок ГД). Этот участок называют перепассивной областью. Рост силы тока объясняется химическими превращениями в пленке и ее разрушением при повышенных напряжениях. В перепассивной области атомы металла переходят в ионы высшей валентности. Здесь можно получить большую силу тока, а значит и большую скорость растворения заготовки. Этот участок, как правило, и используют для ЭХО. После точки Д может начаться новый спад силы тока, т. е. снова возникает пассивация. При дальнейшем увеличении напряжения возможны электрические пробой межэлектродного промежутка.

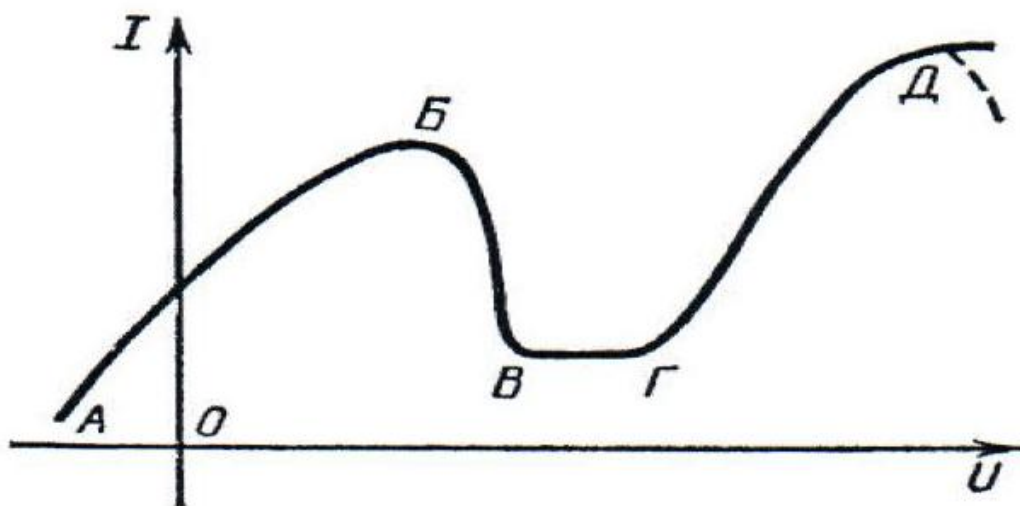


Рисунок 2.2 – пассивация поверхности при ЭХО

Для различных сплавов пассивация наступает при различном напряжении в зависимости от химического состава материала заготовки, состава электролита, его температуры, условий течения жидкости в межэлектродном

промежутке, плотности тока. Для титановых, вольфрамокобальтовых и других сплавов наблюдается значительная пассивация. С целью улучшения анодного растворения таких сплавов в электролит вводят активирующие ионы брома, йода. Механизм активации объясняют тем, что активирующие ионы проникают к поверхности металла и вытесняют кислород из пленки, устраняя ее пассивирующее действие. Скорость анодного растворения в таких электролитах значительно выше. С другой стороны, высокоактивные электролиты вызывают интенсивное растворение не только обрабатываемого участка, но и всей окружающей его зоны, что снижает точность обработки. Повышение температуры электролита до 315...325 К вызывает рост активности анионов и растворение оксидной пленки. Для устранения пассивации поверхности применяют колебания электродов с ультразвуковой частотой. При воздействии ультразвука прочность пленки снижается, ее легче удалять с поверхности. Можно механически удалять пленку различными скребками, абразивным инструментом. При этом ускоряется растворение металла с участков, которых снята пленка,— можно добиться избирательного удаления припуска с заготовки, т. е. повысить точность формообразования [30].

2.4 Подбор электролита

Для разрабатываемой установки применим 15% раствор хлорида натрия.

С увеличением концентрации электролита удельная проводимость растет, достигает максимального значения, а затем снижается. Это объясняется тем, что по мере увеличения концентрации все сильнее проявляется взаимное притяжение ионов, которое снижает их подвижность и возможность переноса зарядов.

Удельная проводимость κ (См/м) для растворов хлорида натрия и нитрата натрия различной концентрации (г/л) имеет следующие значения (см. таблицу 2.2)[31-32].

Таблица 2.2 - Удельная проводимость для растворов хлорида натрия и нитрата натрия различной концентрации

Концентрация	50	100	150	200
Хлорид натрия	6,7	12,1	16,4	19,6
Нитрат натрия	4,36	7,82	11	13

В соответствии с выбранным электролитом удельная проводимость $\kappa=16,4 \text{ См/м}$

При анодном растворении в межэлектродном промежутке выделяются газообразные и твердые нерастворимые продукты обработки. Все они выносятся потоком жидкости и поступают в ванну для хранения электролита. Там нерастворимые продукты удаляют из электролита отстоем, центрифугированием и другими способами, а газы удаляются в окружающую среду.

В ходе реакции водород уходит в атмосферу и электролит защелачивается. Как известно, нейтральные электролиты имеют водородный показатель $\text{pH} = 7$. Возрастание показателя pH снижает скорость анодного растворения, а при обработке алюминия вызывает химическое травление заготовки вне зоны обработки. В процессе ЭХО раствор необходимо подкислять до получения нейтрального состояния. Исследования показали, что изменение свойств электролита влияет на производительность, точность обработки и качество поверхности. Для получения высоких технологических показателей стремятся контролировать изменение характеристик электролита, сохраняя постоянной его удельную проводимости на всех участках обрабатываемой поверхности в течение всего периода обработки.

2.5 Гидродинамические процессы в межэлектродном промежутке

В результате реакций на обрабатываемой поверхности заготовки образуются продукты обработки, в том числе нерастворимые гидроксиды. Количество продуктов обработки в прианодной и прикатодной областях будет

зависеть от скорости анодного растворения и скорости выноса частиц потоком жидкости. Если электролит протекает со скоростью ниже некоторого критического значения (менее 1...2 м/с), то он не успевает вынести из промежутка все продукты обработки и скорость анодного растворения через некоторое время после начала процесса снижается. Для поддержания скорости съема металла с заготовки необходимо иметь скорость потока, достаточную для выноса из промежутка всех продуктов обработки, т. е. в каждый момент времени требуется обеспечить условие [33]:

$$dm_1 / d\tau \geq dm_2 / d\tau \quad (2.7)$$

где $dm_1/d\tau$ и $dm_2/d\tau$ — соответственно скорость выноса продуктов обработки из промежутка и скорость образования продуктов обработки в результате анодного растворения. Превышение скорости выноса частиц над скоростью их образования должно быть незначительным, иначе неоправданно увеличится мощность насосов для перекачки электролита. С увеличением скорости протекания электролита выше критической скорость съема металла с заготовки растет до тех пор, пока не будет достигнуто состояние, соответствующее равенству левой и правой частей в выражении (3.7), далее съем стабилизируется или снижается из-за явлений, вызывающих местное прекращение процесса анодного растворения. При этом характер зависимости сохраняется при различных плотностях тока.

Скорость растворения металла на разных участках обрабатываемой поверхности различна, поэтому расчет ведут по максимальной скорости. Для нее определяют скорость потока электролита и находят требуемый напор и подачу насоса. На всех остальных участках скорость потока будет несколько превышать требуемую для выноса продуктов обработки [34-36].

Таким образом, расчет выполняют в такой последовательности: по зависимости (2.6) устанавливают скорость анодного растворения металла в предположении, что отсутствуют какие-либо ограничения по выносу продуктов

обработки из межэлектродного промежутка; находят показатели потока жидкости, при которых обеспечивается полный вынос продуктов обработки.

Скорость образования продуктов обработки находят из закона анодного растворения (2.7)

$$\frac{dm_2}{d\tau} = \frac{\eta \varepsilon x U}{s} \quad (2.8)$$

где η - выход по току; ε - электрохимический эквивалент материала заготовки; x - удельная проводимость электролита; U - напряжение на электродах; s - межэлектродный зазор. Скорость dm_2/dx выноса продуктов обработки из промежутка рассчитывают через концентрацию частиц и скорость диффузии их в поток с горизонтальной поверхности. Если обрабатывают боковые участки заготовки, то скорость диффузии будет изменяться по высоте обрабатываемой поверхности. В этом случае в формуле (2.8) учитывают количество продуктов обработки в направлении течения потока жидкости. Принимаем электролит в межэлектродном промежутке однородной средой, а его поток близким к ламинарному. Приводимые ниже зависимости относятся к стационарному состоянию, когда градиент концентрации не меняется, во времени, а толщина диффузионного слоя сохраняет постоянное значение. Тогда

$$\frac{dm_1}{d\tau} = \rho D \frac{dc}{dy} \quad (2.9)$$

где ρ - плотность продуктов обработки (она превышает плотность электролита и по экспериментальным данным может быть принята в пределах 2500...3000 кг/м³); D - коэффициент диффузии, изменяется в зависимости от концентрации электролита и его температуры; c - массовая концентрация продуктов обработки; y - длина по направлению, перпендикулярному обрабатываемой поверхности.

Для установившегося режима диффузии

$$\frac{dc}{dy} \approx (c_a - c_{ax}) / \delta \quad (2.10)$$

где c_a - массовая доля продуктов обработки на аноде (изменяется в широких пределах в зависимости от режима протекания процесса ЭХО, скорости выноса продуктов обработки, $c_a = 0,92...0,97$; c_{ax} - массовая доля продуктов обработки в электролите на входе в зазор (зависит от степени очистки электролита после прокачки через рабочую зону, $c_{ax} = 0,02...0,005$); δ — толщина диффузионного слоя. Получим

$$\eta \varepsilon x U / s = \rho D (c_a - c_{ax}) / \delta \quad (2.11)$$

Откуда

$$\delta = \rho D (c_a - c_{ax}) \cdot s / (\eta \varepsilon x U) \quad (2.12)$$

Из гидродинамики известно, что для однофазной диффузионного слоя выражается эмпирической зависимостью

$$\delta = k \sqrt{v l_p / v_a^1} / \sqrt[3]{v / D} \quad (2.13)$$

где $k = 4,64$ - безразмерный коэффициент; v - кинематическая вязкость электролита в пределах диффузионного слоя: $v = 1,2...1,8$ мм²/с; l_p — длина участка заготовки, на котором происходит анодное растворение в направлении течения электролита, мм; v_a - средняя по потоку скорость течения электролита, мм/с; D - коэффициент диффузии.

Получим формулу для расчета v_a :

$$v_a^{-1} \geq k^2 v \cdot l_p \cdot \eta^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot x^2 \cdot U^2 / (\rho^2 \cdot D^2 (c_a - c_{ax})^2 \cdot s^2 (v/D)^{2/3}) \quad (2.14)$$

Формула (2.14) получена для плоских горизонтальных электродов. Однако, при ЭХО криволинейных поверхностей размер зазора на 1...2 порядка меньше радиуса кривизны обрабатываемого участка заготовки, а скорость выноса продуктов обработки на несколько порядков превышает скорость их диффузии [34].

Средняя скорость электролита может изменяться в широких пределах $v_a^{-1} = 5...40$ м/с. При таких скоростях, критерий Рейнольдса Re , определяющий характер течения электролита, может быть больше критического значения ($Re > 2000$), Тогда поток жидкости будет турбулентным и рассчитанные скорости течения будут несколько завышенными [35].

Если длина участка по направлению потока электролита достаточно велика, то необходимо, чтобы при вычисленной по формуле (2.14) скорости v_a^{-1} температура электролита в промежутке оставалась постоянной. Это позволяет поддерживать расчетную удельную проводимость, определяющую точность обработки и другие технологические показатели процесса. Проверку условия, выражаемого формулой (2.14), ведут, учитывая, что вся теплота при анодном растворении заготовки переходит в раствор, а нагрев за счет гидравлических потерь пренебрежимо мал. Тогда можно приравнять количество теплоты, выделившейся по закону Джоуля — Ленца при прохождении тока, количеству теплоты, перешедшей в электролит:

$$IU - cm_t \Delta T \quad (2.15)$$

где c - удельная теплоемкость электролита; m_t - массовый расход электролита через межэлектродный промежуток; ΔT — разность температур на выходе из зазора ($T_{вых}$) и на входе в него ($T_{вх}$).

Силу тока I в левой части уравнения (2.15) запишем через его плотность J и площадь S обрабатываемой поверхности заготовки. В свою очередь, $S = b l_p$, где

b - ширина межэлектродного промежутка; l_p - длина рабочей части электрода-инструмента.

В правой части уравнения (2.15) массовый расход выразим через объемный:

$$m_t = V_t \cdot \rho_{\text{э}}, \quad (2.16)$$

где $\rho_{\text{э}}$ - средняя плотность электролита. Величина V_t представляет произведение скорости электролита V_a на площадь S' сечения промежутка; $S' = bs$, где b - ширина межэлектродного промежутка; s - межэлектродный зазор. Тогда уравнение (2.16) может быть представлено в виде

$$JSU = cvS' \rho_{\text{э}} \Delta T \quad (2.17)$$

Напряжение U запишем через плотность тока:

$$J = Ux/s \quad (2.18)$$

откуда скорость электролита

$$v_a = J^2 \cdot l_p / (x \cdot \rho_{\text{э}} \cdot c \cdot \Delta T) \quad (2.19)$$

Если инструменту придают вращательное движение, как при разрезании диском, точении, шлифовании, то электролит подают поливом. Он приобретает необходимую скорость за счет контакта частиц жидкости с вращающимся инструментом

$$v = k_n \pi D n \quad (2.20)$$

Где $k_n = 0,18...0,5$ - коэффициент, характеризующий отставание частиц жидкости от инструмента; D - диаметр инструмента; n - частота вращения инструмента. По скорости электролита определяют характеристики насоса.

2.6 Напряжение

При прохождении тока через токоведущие шины, электрод-инструмент, межэлектродный промежуток и заготовку происходят потери. Если обозначить напряжение на зажимах источника питания через U_0 , то

$$U_0 = U + \Delta U_t + \Delta U + \Delta U_3 \quad (2.21)$$

где U - напряжение, используемое на анодное растворение металла заготовки (расчетное напряжение); ΔU_t - потери напряжения в зажимах и токоведущих шинах; ΔU - потери напряжения в двойном электрическом слое; ΔU_3 - потери напряжения при прохождении тока через заготовку.

Потери ΔU_t в зажимах и шинах обычно удается снизить до долей процента и их, как правило, в расчетах не учитывают. Потери напряжения в заготовке ΔU_3 принимают во внимание, только, когда деталь имеет большие размеры, а ее конструкция не позволяет разместить токоподводы вдоль ее длины. Примером таких деталей являются лопатки энергетических турбин с длиной свыше 1000 мм и площадью сечения профиля не более 200...250 мм², где подвод тока возможен только через замок на конце лопатки. В этом случае напряжение $\Delta U_3 = 4...5$ В и его следует учитывать в расчетах.

Напряжение, используемое на анодное растворение,

$$U = U_0 - \Delta U \quad (2.22)$$

Потери напряжения ΔU зависят от режима обработки, состава металла заготовки и состава электролита, напряжения и других факторов. Среднее значение потерь напряжения для рабочего диапазона режимов обработки

составляет 2...5 В. Нижний предел напряжения ΔU в расчетах ограничивают значением 5 В. Для того чтобы процесс анодного растворения шел интенсивно, необходимо повысить напряжение на электродах по сравнению с потенциалом разложения электролита ($\varphi_a - \varphi_k$). Однако при напряжении выше 18 В начинают возрастать потери в приэлектродных слоях - подводимая мощность растет быстрее, чем полезная. Кроме того, с увеличением напряжения снижается точность за счет растворения металла на участках заготовки, удаленных от обрабатываемой зоны. При напряжении свыше 30 В могут возникнуть пробой межэлектродного промежутка. Для большинства схем обработки используют диапазон напряжений 9...18 В (для титановых сплавов $U = 25...30$ В). Разрезку материалов выполняют при напряжении 25...30 В. При шлифовании напряжение снижают до 6...8 В.

Для разрабатываемой установки выбираем напряжение равное 12 В.

2.7 Особенности ЭХО импульсным напряжением

При таком процессе напряжение подают в межэлектродный промежуток отдельными импульсами. В паузах между импульсами анодного растворения металла не происходит, а электролит протекает. За счет этого межэлектродный промежуток освобождается от продуктов обработки, выравнивается температура электролита. Это способствует поддержанию расчетного режима ЭХО в течение всего периода работы на станке, повышаются технологические показатели процесса. Чем больше скважность импульсов, тем меньше изменяются условия протекания процесса. Одновременно с этим снижается скорость съема металла, и усложняются источники питания (для компенсации снижения производительности приходится работать на токе большей силы), снижается их надежность.

При рассмотрении процесса ЭХО импульсным напряжением следует учитывать изменение следующих показателей по сравнению с обработкой постоянным напряжением:

1. уменьшение зазоров за счет лучшего удаления продуктов обработки из межэлектродного промежутка и возможности сближения электрода-инструмента с заготовкой во время пауз без опасения получить короткие замыкания;

2. снижение потерь напряжения в приэлектродных слоях за счет меньшего газонаполнения межэлектродного промежутка в период протекания тока;

3. уменьшение пассивационных ограничений при анодном растворении и увеличение выхода по току. Это объясняется лучшим удалением продуктов обработки из межэлектродного промежутка;

4. рост плотности тока в момент подачи импульса, что способствует повышению качества поверхности.

На доводочных стадиях наработка осуществляется импульсами миллисекундной длительности, и на предварительных стадиях обычно используется постоянный ток. При этом возможно использование длительности рабочего периода порядка десятых долей секунды. В то же время результаты ряда теоретических и экспериментальных исследований показывают, что в электролизере имеют место переходные процесс плотности тока, связанные с пассивацией и поляризацией анодной поверхности, длительность которых имеет тот же порядок. Поэтому обработку постоянным током при длительности рабочего периода менее десятой доли секунды, можно отнести к разновидности импульсной ЭХО. Вместе с тем, если импульсная ЭХО в диапазоне длительностей импульса порядка $1 - 10$ мс исследована полно, то диапазоне длительностей импульса напряжении от $0,01$ до $0,1$ мс она изучена недостаточно.

Наибольший интерес при этом представляют вопросы локализации процесса анодного растворения. От степени локализации в значительной мере зависит форма участков анодной поверхности, соответствующих участкам катода, параллельным направлению подачи. В то же время доводка таких участков при ЭХО с помощью импульсов миллисекундной длительности на

окончательных стадиях затруднена, и обычно имеет место их окончательное формирование импульсами (периодами) длительностью 0,01 - 0,1 с. Исследование выполнено по известной методике при следующих постоянных условиях: скорость течения электролита $V = 50$ м/с, $pH = 9$, температура электролита $T = 20^{\circ}C$. В результате исследований установлено, что степень влияния длительности импульса на локализацию различна в различных электролитах и для различной термообработки исследуемого материала. Однако при любых условиях обработки уменьшение длительности импульса приводит к повышению локализации (рисунок 3.3). Это объясняется тем, что диапазон изменения длительности импульса находится в пределах длительности переходного, процесса пассивации анодной поверхности, поэтому изменение длительности импульса приводит и изменению степени пассивации анодной поверхности, что в свою очередь, вызывает деформацию поляризационной кривой, способствующую повышению локализации.

Наименьшая степень повышения локализации обработки при уменьшении длительности импульсов наблюдалась в активном хлоридном электролите. В кислородсодержащем нитратном электролите повышение локализации существеннее. Это объясняется особенностями формы зависимости выхода по току от плотности тока в кислородсодержащих электролитах, вызывающими усиление влияния деформации поляризационной кривой на локализацию процесса.

Некоторое влияние на степень повышения локализации растворения оказывает также состояние обрабатываемого материала. Так, при обработке стали 5ХНМ в закаленном состоянии степень повышения локализации значительно больше, чем в отожженном состоянии. При исследованиях влияния скважности импульсов на локализацию обработки было отмечено довольно существенное повышение локализации при использовании импульсного тока, причем это повышение наиболее значительно в нитратном электролите, а также при обработке стали 5ХНМ в закаленном состоянии. Влияние скважности импульсов на локализацию обработки заметно только до скважностей порядка

2 - 3, дальнейшее повышение скважности практически не оказывает влияния на локализацию.

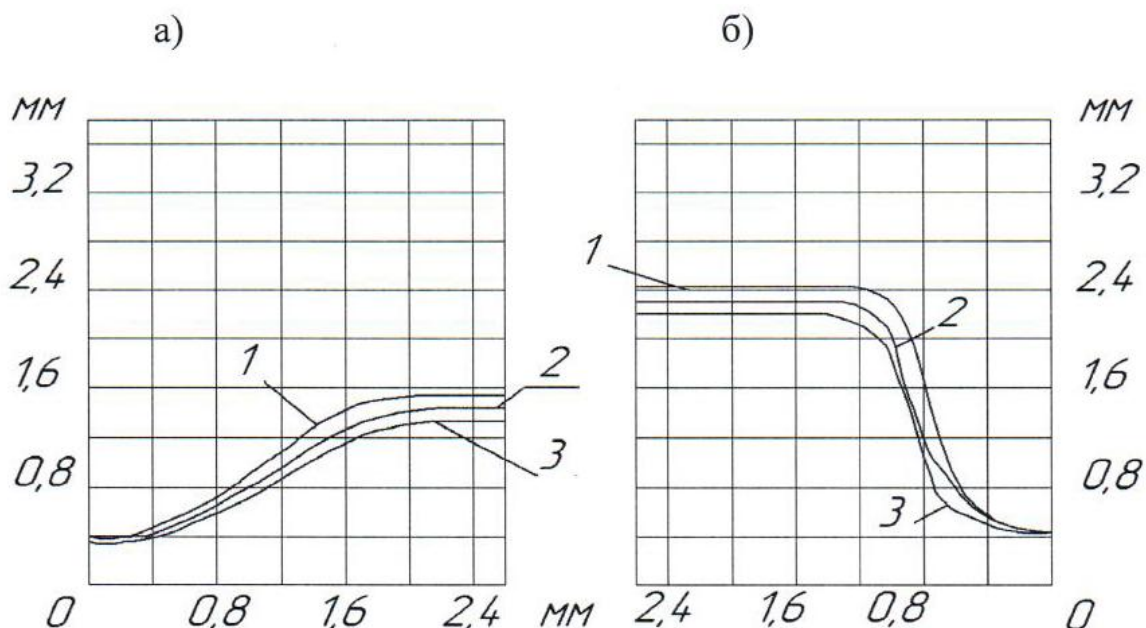


Рисунок 2.3 - Влияние длительности импульсов на локализацию при ЭХО стали 5ХНМ в отожженном состоянии (НВ 198)

а - 15%NaCl; б - NaNO₃

Это согласуется с теоретическими выводами о том, что влияние скважности на локализацию должно наблюдаться только в тех областях, где длительность паузы имеет величину, близкую к необходимой для полной промывки межэлектродного пространства, и дальнейшее увеличение длительности паузы (увеличение скважности) не оказывает влияния на степень депассивации анодной поверхности и деформацию мгновенной поляризационной кривой.

При исследовании влияния скважности импульсов на локализацию обработки было отмечено довольно существенное повышение локализации при использовании импульсного тока, причем это повышение наиболее значительно в нитратном электролите, а также при обработке стали 5ХНМ в закаленном состоянии. Влияние скважности импульсов на локализацию обработки заметно только до скважностей порядка 2 - 3, дальнейшее повышение скважности практически не оказывает влияния на локализацию.

Это согласуется с теоретическими выводами о том, что влияние скважности на локализацию должно наблюдаться только в тех областях, где длительность паузы имеет величину, близкую к необходимой для полной промывки межэлектродного пространства, и дальнейшее увеличение длительности паузы (увеличение скважности) не оказывает влияния на степень депассивации анодной поверхности и деформацию мгновенной поляризационной кривой.

Таким образом, в результате экспериментального исследования выявлена связь локализующей способности с формой поляризационной кривой и зависимостью выхода по току от плотности тока. Установлено, что при использовании импульсного тока с длительностью импульсов в диапазоне 0,01 - 0,1 с локализацией обработки выше, чем при обработке постоянным током,

Для достижения наибольшего повышения локализации импульсный ток необходимо использовать совместно с кислородсодержащими пассивирующими электролитами типа нитратных.

2.8 Межэлектродный зазор

Для разработанной установки выбирается зазор 0,2 мм.

При постоянной скорости подачи инструмента режим обработки с течением времени становится близким к стационарному. Рассмотрим схему прошивания при скорости подачи $v_{и} = \text{const}$. Если выбранная скорость подачи меньше, чем скорости, растворения металла, то зазор постепенно увеличивается. Это приводит к снижению скорости удаления материала. Через некоторое время скорость подачи инструмента и скорость растворения материала заготовки выравниваются и режим становится стационарным. При превышении скорости подачи электрода-инструмента над скоростью растворения металла также происходит саморегулирование зазора. Устанавливается стационарный режим $v_{и} = \text{const}$. Тогда:

$$s_y = \eta \epsilon x U \tau / (\rho \cdot v_u) \quad (2.23)$$

Если постоянная скорость подачи электрода-инструмента близка к скорости анодного растворения материала $y_1 = v_u \cdot \tau$. Тогда:

$$y_1 = \eta \epsilon x U \tau / (s_y \rho) \quad (2.24)$$

После нахождения значения y_1 определяют $z_{\min}$ и корректируют чертеж детали с учетом обеспечения минимального припуска. Минимальный припуск при точении и шлифовании с постоянной подачей, минимальный припуск при межэлектродных зазорах до 0,5 мм изменяется в пределах 0,1...0,5 мм.

2.9 Точность обработки

В конце обработки погрешность детали $\Delta_{\text{дет}}$ должна быть в пределах допуска $[\delta_{\text{дет}}]$, т. е. $\Delta_{\text{дет}} < [\delta_{\text{дет}}]$. Для идеального процесса ЭХО погрешность детали может быть представлена через погрешность заготовки Δ_0

$$\Delta_{\text{дет}} = \Delta_0 - [y_1(\tau) - y_2(\tau)] \quad (2.25)$$

где y_1 и y_2 — съем металла в конце обработки на участках с зазорами s_1 и s_2 ; τ - время обработки.

При обработке с подвижным электродом-инструментом (схемы прошивания, точения, шлифования на врезание) скорость подачи инструмента v_u принята постоянной [31].

Погрешность детали находят из выражения (2.25), где съем металла берут по формуле (2.24) для установившегося зазора. Приближенно погрешность детали можно найти в предположении, что зазор $s_2 = s_1 + (\Delta_0 + \Delta_{\text{дет}})/2$. Тогда согласно формуле (2.25)

$$v_u = 2\eta \epsilon x U \tau / (\rho \cdot s_1) \quad (2.26)$$

$$\Delta_{\text{дет}} = \Delta_0 + \Delta_2 z_1 s_1 / (2s_1 + \Delta_0 + \Delta_{\text{дет}}) - z_1 \quad (2.27)$$

Отсюда

$$\Delta_{det} = -\frac{2s_1 + z_1}{2} \pm \sqrt{(2s_1 + z_1)^2 + \Delta_0(2s_1 + \Delta_0 - z_1)} \quad (2.28)$$

Из уравнения (2.28) следует, что погрешность размеров детали зависит от начальной погрешности размеров заготовки, зазора и припуска на обработку. Кроме того, рабочей поверхности электрода-инструмента придают форму, несколько отличающуюся от той, которую требуется получить в детали. Этот процесс называют корректированием электрода-инструмента. Точность процесса не всегда удовлетворяет требованиям современной технологии, и это сдерживает его использование для получения прецизионных изделий.

Повысить точность обработки можно за счет уменьшения межэлектродного зазора. При использовании схемы с неподвижными электродами целесообразно вести обработку с периодической перестановкой электродов, например периодическим соприкосновением инструмента с заготовкой при выключенном рабочем токе с последующим разведением электродов на начальный зазор. Очевидно, чем чаще повторяется такой процесс, тем точнее можно получить деталь. Но при этом возрастает время обработки. Малые зазоры (0,02...0,05 мм) получают установкой на поверхности инструмента твердых упоров из изоляционных материалов (алмазных игл, абразивных зерен).

Одним из способов снижения межэлектродного зазора является применение импульсного напряжения. В период пауз удается добиться полного выноса продуктов обработки из зазора, стабилизировать температуру, состав электролита.

Успешно используется локализация процесса введением в электролит воздуха и других газов под напором, превышающим напор при входе в зазор. Использование такого приема при обработке, например полостей ковочных

штампов, позволило снизить погрешность формы профиля с 0,2...0,5 до 0,05...0,1 мм.

Применяется локальная обработка заготовки отдельными секциями электрода-инструмента, на которые последовательно подают напряжение. Последовательность включения секций направлена против движения электролита, поэтому все продукты обработки удаляются из зазора, минуя работающую секцию.

Наиболее сложно добиться постоянства электропроводности электролита, которая зависит от температуры, количества газообразных продуктов обработки и др. Задача облегчается, если в межэлектродном промежутке отсутствуют газообразные продукты обработки. В работах [10-18] предлагаются электролиты, в которых водород в атомарном виде сразу вступает в реакцию — такие электролиты называют безводородными. В них обычно входят хлорид аммония, дихлорид железа, которые вызывают активную коррозию оборудования. Поэтому при использовании безводородных электролитов нужно предусматривать меры по защите от коррозии.

Удалять газообразные продукты обработки можно, отсасывая их по длине зазора. Для этого в электроде-инструменте выполняют узкие щели, через которые газ поступает в полость, откуда удаляется вытяжной вентиляцией. Опыт показывает, что за счет отсоса газов удается значительно стабилизировать электропроводность и снизить погрешность в 2...3 раза. Несмотря на такие достоинства метода, его применяют весьма ограниченно из-за сложности изготовления щелей в электродах и систем отсоса.

Большое развитие получил метод компенсации изменения параметров воздействием факторов, снижающих эти изменения. Если, например, необходимо снизить скорость съема металла, на каком-либо участке поверхности, то можно здесь увеличить зазор за счет удаления противоположного участка электрода-инструмента. Размер корректирования зависит от зазоров и снижается по мере их уменьшения.

Применение комбинированных способов обработки (электроабразивного и др.) с механической депассивацией поверхности также позволяет повысить точность ЭХО. Механическое воздействие абразивных зерен позволяет устранить погрешности, возникающие при анодном растворении из-за неодинаковых условий протекания процесса на различных участках поверхности. В настоящее время ЭХО позволяет получить: при обработке схемой точения точность по 8... 10-му качеству СЭВ;

2.10 Качество поверхности

У образцов из сплавов, склонных к межкристаллитному растравливанию (никелевых, титановых и др.), предел прочности на растяжение и угол загиба после ЭХО снижаются по сравнению с механически обработанными на 10... 15%, поэтому для деталей высоконагруженных конструкций после электрохимической обработки необходимо механически удалять припуск на глубину растравливания. Для никелевых сплавов этот припуск должен быть не менее 0,15 мм, титановых — не менее 0,3 мм. Предел прочности образцов из никелевых и титановых сплавов при сжатии и кручении после ЭХО близок к тем же показателям образцов после механической обработки [28].

Испытания образцов на ударную вязкость показывают, что их результаты не зависят от сравниваемых видов обработки, поэтому детали после ЭХО можно использовать в конструкциях, работающих при ударных нагрузках.

Производительность процесса можно выразить через скорость подачи электрода-инструмента при схемах прошивания, разрезания, точения и шлифования на врезание производительность оценивают скоростью подачи:

$$v_u = \eta \epsilon x U / (\rho \cdot s) \quad (2.29)$$

В зависимости от вида обрабатываемой поверхности скорость подачи $v_u = 0,005 \dots 0,1$ мм/с. Время обработки

$$\tau = z / v_u \quad (2.30)$$

Если используется импульсный ток, то скорость подачи

$$v_u^1 = v_u / q \quad (2.31)$$

Где v_u^1 - скорость подачи для постоянного тока; q - скважность.

2.11 Проектирование технологического процесса

ЭХО обычно включается как составная часть в процесс механической обработки деталей. При выполнении операций ЭХО следует предусматривать этапы, которые могут быть самостоятельными операциями или переходами: подготовительный, обработки на станке, промывки и консервации детали, ее контроля.

Подготовительный этап включает очистку заготовок от консервирующих смазок, создание базовых поверхностей для установки заготовки и подвода тока, удаление неэлектропроводных участков и покрытий, проверку размеров.

Расконсервацию заготовок, например, после транспортировки, хранения на складе проводят, помещая их в горячее масло ($T = 370...390 \text{ K}$) на 10... 15 мин.

Если на детали не предусмотрены базовые поверхности, то их изготавливают на операциях, предшествующих ЭХО. Шероховатость таких поверхностей не хуже $Ra=5 \text{ мкм}$, точность 8... 10-й квалитет СЭВ. Размеры участков для подвода напряжения рассчитывают в зависимости от силы тока, применяемого при обработке. Для этого вычисляют площадь участка как отношение силы тока к его плотности в местах контакта деталей: $S=I/J_k$. Плотность тока (А/мм^2) выбирают в зависимости от материала токопроводящего элемента станка (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.3 - Плотность тока для различных материалов

Медь	<3	Бронза, латунь	<0,8
Алюминиевые сплавы	<1,5... 2	Нержавеющие стали	<0,3

Расчет электрод-инструмента

Электрод-инструмент проектируют и изготавливают, как правило, для каждого типоразмера детали. Точность формы и размеров его рабочего профиля должна быть на один квалитет выше, чем обрабатываемой детали (6...8-й квалитет СЭВ). Шероховатость поверхности рабочей части не влияет на качество обрабатываемой поверхности, но определяет характер течения электролита, интенсивность загрязнения зазора продуктами обработки. Шероховатость рабочей поверхности $Ra < 2,5$ мкм. При проектировании электродов-инструментов необходимо предусмотреть, чтобы электролит протекал плавно, без резких поворотов, поскольку это приводит к срывам потока и появлению местных необработанных участков. При разработке рабочей части следует учитывать возможность многократной ее корректировки по результатам экспериментов и оставлять припуск для ремонта после коротких замыканий.

Электроды-инструменты проектируют по результатам расчета профиля рабочей части. Заготовками для них могут служить стандартный прокат, литье, штампованные изделия, поковки, формы, полученные гальванопластикой и напылением.

Для электродов-инструментов необходимо выбирать сплавы, обладающие коррозионной стойкостью, высокой электропроводностью, хорошей сопротивляемостью местному разрушению при коротких замыканиях, высокой адгезией к диэлектрическим покрытиям, достаточной механической прочностью и обрабатываемостью, низкой стоимостью. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют медь, медные сплавы, нержавеющие стали; в меньшей степени - титановые сплавы. Медь и ее сплавы имеют высокую электропроводность, свариваемость, удовлетворительную адгезию к покрытиям, достаточную механическую прочность. Главным их недостатком является высокая чувствительность к коротким замыканиям, при которых выплавляются большие участки рабочей поверхности, что затрудняет их

восстановление. Если заготовку электрода-инструмента получают литьем, то в качестве материала используют латунь или бронзу.

Электроды-инструменты повышенной прочности изготавливают из нержавеющей сталей, например 12Х18Н9Т, которые не разрушаются при коротких замыканиях, имеют предел прочности в 2...3 раза выше, чем медь, обладают высокой адгезией к покрытиям. При этом следует учитывать низкую удельную электрическую проводимость (в 30...50 раз меньше, чем у меди). Поэтому контактные участки для подвода напряжения у таких инструментов должны быть большими.

Покрытия должны обладать высокой адгезией к металлам, механической прочностью, хорошей износостойкостью в условиях трения, стабильными диэлектрическими свойствами. Технология нанесения их на поверхность металла должна быть простой. Покрытия должны создавать плотную беспористую пленку, исключаящую проникновение электролита к металлу, не разбухать под действием жидкости. В качестве покрытий используют эпоксидные смолы, лаки, керамические эмали, капрон в порошке, полиэтилен. Поверхность детали предварительно обрабатывают для повышения шероховатости: царапают металлическими щетками, обдувают дробью, накатывают канавки.

Конструкционные элементы из диэлектриков применяют для переходников, крепежных частей, направляющих для электродов инструментов, работающих по схеме протягивания, упоров и других деталей. Они должны быть прочны, способны работать при высоких температурах (свыше 320К), обладать слабой водопоглощаемостью. Чаще всего применяют резину, стеклотекстолит, текстолит, фторопласт, капролон. Стеклотекстолит и текстолит, несмотря на хорошие характеристики, набухают в электролите. Для ликвидации этого недостатка изготовленные из них детали до сборки проваривают в масле в течение 3...5 ч. Резина может работать при температуре не выше 325...330 К. При коротких замыканиях температура превышает 1500 К и резина разрушается. Кроме того, резиновые детали не позволяют точно

базировать заготовку, поскольку резина очень упруга и изменяет форму при усилиях закрепления.

Форма обработанной поверхности неэквилистантна форме электрода-инструмента. Это объясняется, во-первых, непостоянством режима обработки из-за колебания температуры, защелоченности электролита, напряжения и др. Во-вторых, даже при плоских, параллельных поверхностях заготовки и инструмента электрическое поле в межэлектродном зазоре неоднородно вблизи краев. Здесь плотность тока и съем металла будут другими, чем на основной части детали. Такое отличие будет тем заметнее, чем дальше отстоят друг от друга заготовка и электрод-инструмент.

Приблизить форму детали к требуемой чертежом можно либо нанесением слоя изоляции на электрод-инструмент или деталь, либо коррекцией формы рабочей поверхности инструмента по результатам расчетов и экспериментов. При расчете формы электрода-инструмента в общем случае принимают режим обработки стабильным, а начальный (до корректировки) профиль инструмента эквилистантным профилю детали. Методика расчета выбирается в зависимости от схемы ЭХО.

По схеме точения обрабатывают как наружные, так и внутренние поверхности. Для электродов-инструментов рассчитывают площадь рабочей части. При длине электрода l_p и силе тока I источника питания наибольшая ширина рабочей части

$$h \leq I \eta_{\varepsilon} / (J l_p) \quad (2.32)$$

где η_{ε} - коэффициент допустимой загрузки источника тока при длительной работе; J - плотность тока по результатам расчета технологических показателей процесса.

Если h составляет 0,1...0,15 длины периметра детали, то рабочий торец электрода-инструмента можно оставлять плоским, а боковые поверхности

покрыть слоем изоляции. Подвод электролита осуществляют вдоль электрода-инструмента через плоский патрубок.

В случае большей ширины h необходимо изготовить рабочий профиль по радиусу заготовки R . Угол охвата детали $\varphi < 180^\circ$ $S / (\pi L_p R)$, где S - площадь рабочей поверхности электрода-инструмента: $S = h L_p$

Для обработки торцов используют электроды, имеющие коробчатую форму. Их рабочая часть может иметь форму диска с радиальными парами для подвода электролита. Если мощность источника питания недостаточна для обеспечения расчетной плотности тока, то рабочую часть делают в форме сектора.

Типовая структура оборудования

Источники питания (ИП) электрохимических станков преобразуют переменное напряжение электрической сети в постоянное или униполярное импульсное. В отдельных случаях для ЭХО используют и переменный ток. Но во всех случаях, кроме обработки струйным методом, выходное напряжение источника питания обычно не превышает 36 В. Сила тока может достигать 30 000 А (в зависимости от мощности ИП). Источники могут быть со ступенчатым и плавным регулированием силы тока или напряжения, со стабилизацией выходных параметров.

Время срабатывания таких схем составляет 0,008 с, поэтому отключение источника питания происходит до контакта электродов.

Простейшими статическими источниками питания являются селеновые неуправляемые выпрямители типа ИПП, состоящие из трансформатора и выпрямителя. Устройства для автоматического поддержания заданной силы тока, напряжения, плотности тока, дают возможность регулировать напряжение от нескольких вольт до 36 или 48 В. Чтобы получить импульсное напряжение, используют специальные источники питания или приставки, подключаемые к источникам питания с постоянным напряжением.

Для правильного выбора промышленного источника питания необходимо учитывать потребность в реверсировании, рассчитать максимальную силу

выходного тока. При изготовлении деталей из различных сплавов напряжение источника берут по наибольшему граничному значению для всех материалов. При определении силы тока I на выходе источника питания расчет следует выполнять для детали, обработка которой потребует наибольшего тока

$$I = I_T / \eta_3 \quad (2.33)$$

где I_T - сила тока, необходимая для анодного растворения обрабатываемой поверхности заготовки; η_3 — коэффициент загрузки источника питания при режиме длительной работы (для источников питания типа ИПП $\eta_3=0,65...0,7$; для типа ВАК $\eta_3 = 0,8...0,98$).

Расчет силы тока для осуществления процесса ЭХО выполняется по формуле

$$I_T = JS = v_{расч} S \rho / (\varepsilon \eta) \quad (2.34)$$

где $v_{расч}$ - расчетная скорость съема металла с заготовки; S - площадь рабочей части электрода-инструмента.

Для схем прошивания (с периодическим сближением электродов), точения и протягивания скорость съема находят для минимального зазора s_0

$$v_{расч0} = \eta \varepsilon x U / (\rho s_{min}) \quad (2.35)$$

По известным напряжению и силе тока источника питания можно найти потребляемую им мощность

$$P_n = I \cdot U / \eta_n \quad (2.36)$$

где η_n — КПД источника питания.

Выбор токоподводов

Ток от источника питания к механической части станка передают по гибким или жестким шинам. При силе тока до 100 А можно использовать отдельные провода большого сечения или их наборы. Если сила тока не превышает 1000...1200 А, то применяют наборы гибких медных оплеток или пакеты медной фольги. При большей силе тока используют шины в виде полос из меди, алюминия или их сплавов. Иногда токоподводы делают охлаждаемыми (воздухом или водой).

Площадь сечения токоподвода S_T находят из условия прохождения по нему тока с предельной плотностью J_n :

$$S_T = I_T / J_n \quad (2.37)$$

Для медных токоподводов без охлаждения $J_n = 1...2$ А/мм², для алюминиевых $J_n = 0,8...1,5$ А/мм². При охлаждении водой $J_n = 3...6$ А/мм² и $J_n = 2...3$ А/мм² соответственно для медных и алюминиевых проводов. Для надежной передачи тока следует правильно выбрать силу прижима и размеры контактных площадок. От этого будут зависеть потери напряжения, которые при нормальных условиях эксплуатации не должны превышать $(0,03...0,05) U_L$, где U - номинальное напряжение, В; L - длина токоведущих шин, м, и потери мощности, которые составляют $(0,1...1) PL$, где P - мощность установки, кВт; L - длина проводов, м. Для снижения потерь напряжения и мощности необходимо обеспечить плотность прижима в контактных соединениях для меди $(60... 100) \cdot 10^5$ Па, для алюминия $250 \cdot 10^5$ Па.

Площади контакта S_K в местах соединений рассчитывают по формуле

$$S_k = I_T / J_k \quad (2.38)$$

где J_k - предельная плотность тока через контакт (без охлаждения $J_k < 1$ А/мм², с охлаждением $J_k < 8$ А/мм²). По формуле (2.38) кроме соединений шин рассчитывают условия закрепления деталей в базовых элементах механической

части станка. Эффективно использование тонких металлических прокладок в местах токопроводов путем их плотного обжатия обеими поверхностями (заготовки и токопровода). Если процесс ЭХО протекает в течение нескольких секунд, например, при маркировании деталей по схеме с неподвижными электродами, то электролит не успевает загрязниться продуктами обработки. В этих условиях электролит не прокачивают. При времени процесса до 8...10 с для перемещения электролита могут быть использованы ультразвуковые или низкочастотные вибрации электродов или влажные ленты, перемещаемые через межэлектродный зазор. Если обрабатывают детали, предназначенные для перемещения газов или жидкостей (крыльчатки компрессоров, насосов, шнеков и др.), то электролит можно перемещать за счет вращения самой заготовки. Жидкость протекает по зазору между электродами со скоростью, регулируемой частотой вращения заготовки.

Для прокачки электролита используют насосы. Наиболее широко применяются центробежные насосы, выполняемые из нержавеющей стали. Они не боятся загрязнения перекачиваемой жидкости и надежны в работе. Для подбора промышленного насоса необходимо рассчитать его напор и подачу.

Расчет характеристик насоса

Подачу насоса Q_H находят через среднюю скорость v и площадь поперечного сечения межэлектродного промежутка S_H :

$$Q_H = k_H v S_H \quad (2.39)$$

где k_H - коэффициент, учитывающий степень износа насоса (новый, бывший в употреблении). Обычно $k_H = 1,5 \dots 2,0$.

$$\text{Площадь } S_n = b s_{\max} \quad (2.40)$$

где b - ширина промежутка; $s_{\max}$ - наибольший межэлектродный зазор. Для схемы с неподвижными электродами, кроме того, учитывают припуск на обработку:

$$S_n = b(s + z) \quad (2.41)$$

где s - начальный зазор; z - припуск.

Для нахождения напора насоса H необходимо знать перепад давлений $\Delta p + \Delta p_{\Gamma}$ на входе в межэлектродный промежуток и на выходе из него, необходимый для перемещения электролита и выноса газообразных продуктов обработки. Кроме того, следует учесть местные $\Delta H_{мест}$, путевые $\Delta H_{пут}$ потери напора, противодействие на выходе $p_{вых}$, дополнительный напор ΔH для перемещения электролита от насоса к заготовке и вдоль нее (если заготовка установлена не горизонтально):

$$H = (\Delta p + \Delta p_{\Gamma} + p_{вых}) / (\rho g) + \sum \Delta H_{пут} + \sum \Delta H_{мест} + \Delta H \quad (2.42)$$

где ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

Перепад давления Δp находят через среднюю скорость электролита v_s , если: обрабатываемый участок вдоль направления течения электролита имеет небольшую длину ($l_p < 300s$, где s - размер зазора) и плоскую форму (или расположен горизонтально), то

$$\Delta p = 12 \mu l_p v_s / S^2 \quad (2.43)$$

где μ - динамическая вязкость;

Перепад давления Δp_{Γ} , необходимый для выноса газообразных продуктов обработки (главным образом водорода), находят по формуле

$$\Delta p_{\Gamma} = \sqrt{p_{вых}^2 / 2 + k J S p_{вых}} + p_{вых} / 2 \quad (2.44)$$

где $k = 0,11 \dots 0,12$ - коэффициент, учитывающий соотношение между объемом твердых и газообразных продуктов обработки; J - плотность тока на аноде; S - площадь обрабатываемой поверхности.

Противодавление на выходе электролита из зазора рвых создают для устранения разрыва струи. Для схемы прошивания и протягивания рвых < 150 кПа; при точении и при обработке неподвижными электродами рвых < 50 кПа.

Путевые потери $\Sigma \Delta H_{\text{пут}}$, зависящие от конструкции трубопроводов, их длины, скорости и вязкости электролита, рассчитывают для конкретных установок по уравнениям гидродинамики. Местные потери напора рассчитывают по значениям коэффициентов местных сопротивлений трубопровода и скорости жидкости:

$$\sum \Delta H_{\text{мест}} = \sum_{i=1}^n \xi v_{\text{э}i}^2 / (2g) \quad (2.45)$$

где g - ускорение свободного падения. Дополнительный напор ΔH зависит от высоты ΔH_1 расположения насоса относительно обрабатываемой заготовки и положения заготовки при обработке ΔH_2 :

$$\Delta H = \pm \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (2.46)$$

Знак « + » употребляют, если заготовка расположена выше насоса и если подвод электролита осуществляют через нижний конец заготовки.

Рассмотрим пример расчета режима обработки для схемы протягивания трубы из стали 45 с внутренним диаметром $d_3 = 27$ мм электродом-инструментом диаметром $d_0 = 25$ мм и длиной $l_p = 400$ мм. Труба расположена горизонтально на 1 м выше насоса. Электролит -10%-ный раствор хлорида натрия ($\chi = 0,0126$ См/мм); напряжение $U = 9$ В; выход по току $\eta = 0,91$. Кинематическая вязкость среды $\nu = 1,5$ мм²/с; плотность $\rho = 2,8 \cdot 10^3$ кг/м³, $\sigma_a = 0,95$; $\sigma_{\text{вх}} = 0,04$; $T = 293$ К.

По формуле (2.9) находят коэффициент диффузии $D = 1,52 \cdot 10^{-3}$ мм²/с. По формуле (2.14) определяют среднюю скорость электролита $v_{\text{э}}' = 9,4$ м/с. По зависимости (2.19) находят $v_{\text{э}}'' = 4,8$ м/с. В качестве расчетной выбирают $v_{\text{э}}'$.

Находят площадь кольцевого зазора между трубой и электродом-инструментом в начальный момент обработки и по формуле (3,39) определяют подачу насоса $Q_H=1,5 \cdot 10^3$ м³/с. По формулам (3,43), (3,44) вычисляют

$\Delta p=1,6 \cdot 10^5$ Па, $\Delta p_r=1,08 \cdot 10^5$ Па. Путевые и местные потери не рассматриваются, так как в принятой системе они пренебрежимо малы.

При противодавлении $r_{вх}=1,5 \cdot 10^5$ Па напор насоса по формуле (2.42) составит $H=42,8$ м.

В таблице 2.4 приведены рекомендуемые для схемы течения ЭХО диапазоны скоростей электролита и напоров.

Полученный расчетом напор укладывается в рекомендуемый диапазон. Из каталога серийно выпускаемых насосов подбирают марку с характеристиками, близкими к расчетным.

Таблица 2.4 - Диапазоны скоростей электролита и напора при тчении с помощью ЭХО

Схема обработки	Средняя скорость течения электролита ш', м/с	Противодавление, Па	Напор насоса Н, м
Подача электролита осуществляется поливом	10...15	$(0...0,5) \cdot 10^5$	30...50

Ванны служат для хранения и приготовления электролита, промывки, консервации и пассивации деталей. Форма и размеры ванн для хранения электролита обусловлены необходимостью отстоя продуктов обработки, периодического их удаления, стабилизации температуры жидкости. В ваннах устанавливают теплообменники для подогрева и охлаждения электролита. Регулирование температуры и состава жидкости осуществляют автоматическими системами.

Ванны обычно изготавливают из нержавеющей стали или химически стойких диэлектриков. Они могут иметь одну или несколько секций. Для удобства транспортировки и монтажа ванны вместимостью до 1,5 м³ обычно делают односекционными, более вместительные — двухсекционными. При большом числе станков электролит хранят в бетонных емкостях или в бассейнах. Бассейны удобны тем, что в них электролит методом отстаивания очищается от продуктов обработки, имеет стабильный состав, температуру. Бассейны чистят не чаще одного раза в год.

Открытые бассейны занимают большую площадь, велика длина трубопроводов, трудно регулировать состав и температуру жидкости. Нагрев и охлаждение больших емкостей требуют дополнительных затрат энергии, занимают много времени, а зимой бассейны замерзают. Поэтому для хранения больших масс электролита чаще используют бетонные емкости, расположенные в закрытых помещениях. Если число станков не превышает 10... 12 шт., то используют индивидуальные ванны.

Максимальная сила тока, необходимая для обработки деталей и рассчитываемая по формуле (2.37), связана с объемом ванны V соотношением

$$I_T = V/v_{\text{уд}}$$

где v - удельный объем ванны. В зависимости от объема ванны удельный объем (см. таблицу 2.5):

Таблица 2.5 Зависимость удельного объема от объема ванны

Объем ванны	$V, \text{ м}^3$	<1	$1...2,5$	$>2,5$
Удельный объем	$v_{\text{уд}} \text{ м}^3/\text{А}$	$(0,5 \dots 0,6) \cdot 10^3$	$(0,3 \dots 0,35) \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^3$

Агрегаты очистки электролита от продуктов обработки

При ЭХО в электролите происходит накопление продуктов обработки. При малых межэлектродных зазорах в загрязненном электролите между электродом-инструментом и деталью происходят пробой промежутка и короткое замыкание. При нормальном протекании процесса ЭХО допустимая массовая концентрация твердых продуктов обработки в электролите зависит от размера зазора представленных в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Массовая концентрация твердых продуктов обработки в электролите от размера зазора

Зазор S, мм	>0,05	>0,2	>0,3	>0,5
Допустимая концентрация продуктов обработки, кг/м ³	0,5	3	6	10

Очистка электролита может выполняться несколькими способами. Наиболее часто применяют отстой. Однако для ванн объемом $V > 0,4 \dots 0,5 \text{ м}^3$ отстой занимает слишком много времени и его используют в комбинации с другими способами: центрифугированием, очисткой пресс-фильтрами и вакуумными фильтрами, электрофлотацией или осаждением продуктов обработки с помощью коагуляторов.

Для отдельных станков и небольших участков (до 3...4) станков используют центрифугирование. Центрифуги должны быть оснащены устройством для автоматической выгрузки отходов. Серийно выпускают отстойные центрифуги периодического действия типа ОМД, ОТН, шнековые, осадительные центрифуги непрерывного действия типа ОГШ, НОГШ. Они обеспечивают очистку электролита с концентрацией продуктов обработки до 3 кг/м³. Если на участке работает более пяти станков, то целесообразно применять вакуумный фильтр. Электролит поступает во вспомогательную ванну. В эту же ванну частично погружен вращающийся барабан, наружная

поверхность которого покрыта мелкой сеткой. Воздух из внутренней полости барабана откачивают вакуумным насосом через центральное отверстие.

Пресс-фильтры представляют собой систему уловителей (фильтровальной ткани, бумаги), через которую под давлением прокачивают электролит. Такие агрегаты имеют высокую производительность, полностью механизированы, позволяют получить высокую чистоту электролита (содержание примесей 0,05... 5 кг/м³). К их недостаткам следует отнести большие габариты, необходимость замены фильтрующих элементов после их загрязнения.

Очистка электрофлотацией заключается в отделении продуктов обработки с помощью электрического поля, создаваемого в ванне, после чего продукты обработки вместе с частью электролита сливают в отстойник или центрифугируют. Процесс длится несколько десятков секунд. Способ позволяет получить электролит с загрязненностью в пределах 0,05...0,2 кг/м³. К сожалению, этот способ недостаточно надежен и требует дополнительных затрат энергии на флотацию. Для удаления продуктов обработки используются химические вещества - коагуляторы, способствующие их переходу в нерастворимое состояние и выпадению в осадок. Коагуляторы вызывают образование пены, которая может нарушать стабильность процесса анодного растворения, поэтому для больших ванн (объемом более 1 м³) их не используют. Электрохимические станки могут комплектоваться также тарельчатыми сепараторами, пластинчатыми отстойниками и другими устройствами для очистки электролитов.

Система управления режима ЭХО

В качестве основного параметра режима в зависимости от схемы обработки используют:

1. при необходимости удалить определенный объем металла - количество электричества;
2. в случае обработки заготовок с переменной площадью - минимальный межэлектродный зазор.

Постоянство плотности тока осуществляют пропорциональным увеличением напряжения по мере анодного растворения металла заготовки, т. е. с ростом межэлектродного зазора.

Постоянство силы тока поддерживают изменением скорости подачи электрода-инструмента к заготовке. Если ток увеличивается, то скорость подачи снижают, пока сила тока не достигнет установленного значения. Скорость подачи регулируют вручную или с помощью автоматических систем, которые находят применение при прошивании отверстий, протягивании, шлифовании, точении, разрезании.

Дозирование количества электричества осуществляют с помощью прибора типа ваттметров с выключателями. После прохождения заданного количества электричества ток автоматически выключается. Эта система используется для чистовой обработки каналов, полостей и других деталей.

Чем чаще происходит регулирование зазора, тем выше точность формообразования детали, но при этом снижается производительность процесса, так как растворение металла происходит только при протекании рабочего тока. На практике зазор регулируют через 3...5 с. Широкое распространение находит импульсно-циклическая схема регулирования, при которой после касания при отводе электрода-инструмента включается рабочий ток, а отвод продолжается до заданного зазора. Такая схема позволяет добиться высокой точности копирования электрода-инструмента на детали. Вместе с тем такая система конструктивно сложна.

Гибкий инструмент-электрод

Методика изготовления гибкого инструмента электрода для ЭХО пространственных сложных поверхностей:

- 1 Отливается резиновый мешок со встроенной металлической втулкой, для установки насоса (гидро-цилиндр) и встроенных обратным (вентелем) для слива жидкости.

Объем мешка $V_m < V_d$ - объем матрицы или детали. Форма мешка эквивалентна форме обрабатываемого изделия.

Модуль упругости должен позволить мешку деформировать на 10+15% в сторону увеличения.

2 Такой же формы изготавливается же сетка из металла, с мелкой ячейкой (чем меньше, тем лучше) в виде сетки Рабица, которая позволяет увеличиться в объеме резиновому мешку. Диаметр проволоки должен быть 0,2-0,5 мм при токе 300-500А, чтобы она не грелась и не пригорала.

3 Такой же формы и конструкции (т.е. сетка Рабица) изготавливают изоляционную сетку из капрона. С ячейкой больше, чем металлическая в 10-15 раз. Из материала сетки делают узлы в виде шара, диаметр которых в 3-4 раза меньше диаметра капрона.

4 На резиновый мешок надевают металлическую сетку, затем не металлическую сетку, крепят на крышке с вмонтированным насосом, объем гидроцилиндра-насоса должен быть больше объема зазора на 10% для обеспечения натяжного резинового мешка, в мешок заливают жидкость, соединяют насос и обратный клапан слива, и вставляют в деталь.

5 С помощью гидроцилиндра натягивают мешок так, чтобы неметаллическая сетка и металлическая сетка облегли весь объем заготовки.

6 Заливают раствор и зазор между мешком и поверхностью внутри детали.

7 Закрепить заготовку над ванной дном сверху, вставить инструмент пуансон до упора и зацепить на заготовке и подать постоянное напряжение (запустить процесс полирования). Жидкость – соляной раствор HCl, будет вымывать отходы от процесса травления в ванну сбора.

8 Для очистки зазора от осадка металла периодически через каждые 10-15 минут промывают зазор (т.е. под давлением подают раствор, который и вымывает осадок с нижней части корпуса заготовки).

Такая же сетка по конструкции, что и неметаллическая, но изготовленная из металла и ячейки в 10-20 раз меньше.

Резиновый мешочек должен растягиваться (Гук) на 10% от объема литой стали. Штампы матрицы изготавливаются с учетом уклонов – положительного и отрицательного.

Основные проблемы изготовления гибкого инструмента электрода для ЭХО пространственных сложных поверхностей:

1 Металлическая сетка может выпучиваться и неравномерно снимать слой поверхности заготовки.

2 Можно армировать стальным каленым обручем - незамкнутым по диаметру эта проволока по диаметру мешка не даст выпучиваться, даже если будет сложная форма.

Инструмент – электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей.

2.0 Поменяем полюса деталь -, электрод +.

2.1 Не вынимая электрода только промыв зазоры поменяем полюса: деталь -, электрод +.

Рабочая поверхность штампа покрывается мягким металлом. Это значит, что смазывать рабочую поверхность не надо. Царапин, риск и т.д. не будет.

Изготовление инструмента-электрода

1. Внутреннюю поверхность матрицы или литой детали смазать графитовой смазкой.

2. Залить матрицу (литую деталь) неметаллическим материалом (например, полипропиленом) получим пуансон-инструмент. После затвердевания вытащить пуансон-инструмент. Объемную поверхность пуансона уменьшить на величину $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$, где Δ_1 – необходимый зазор между матрицей и пуансоном; Δ_2 – толщина токопроводящего материала (рисунок 2.4).

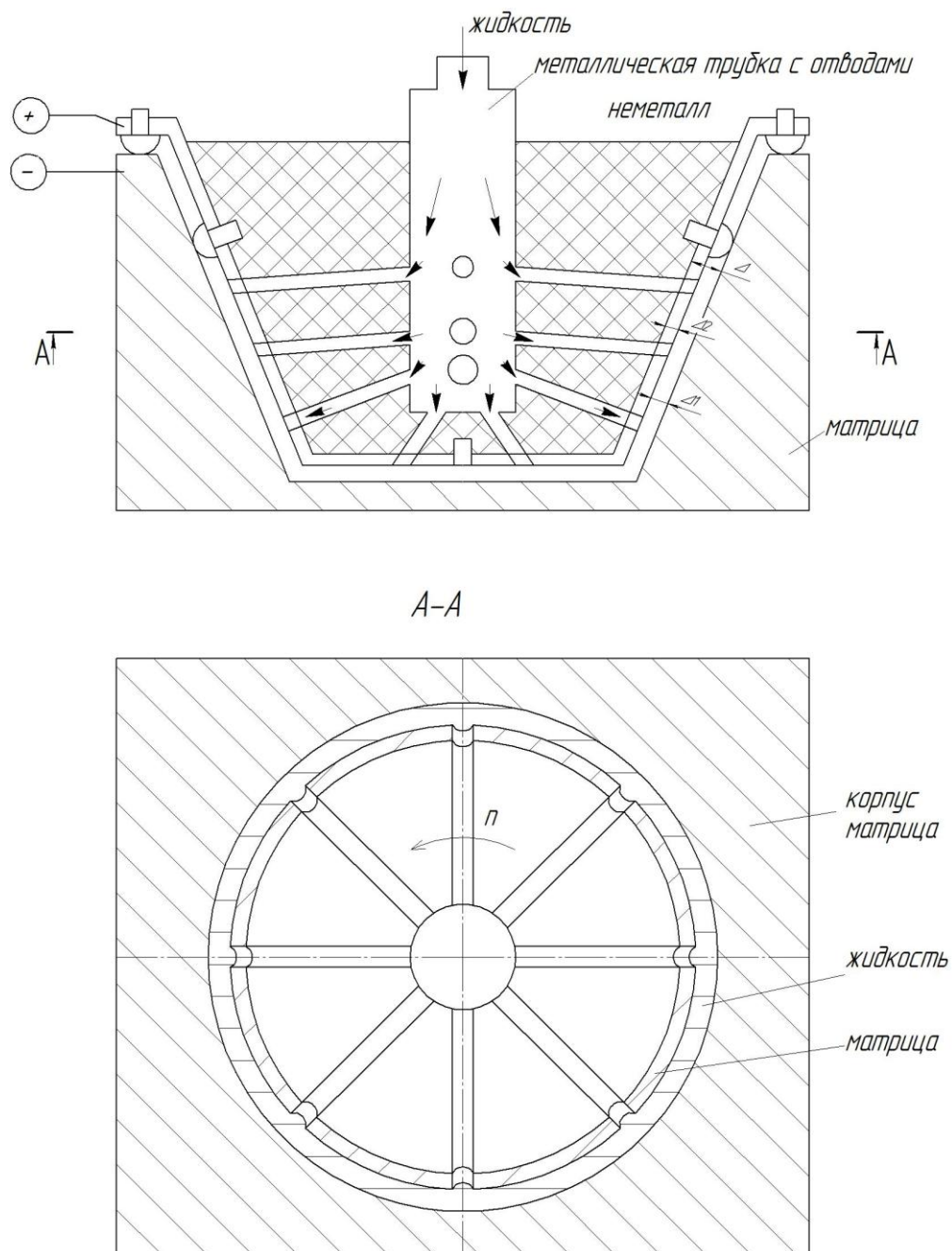


Рисунок 2.4 – Матрица

3. Залить жидкий металл – свинец, мед, серебро и т.д. – объемом равным объему нужного зазора между матрицей и пуансон-инструментом.
4. Поверхность пуансона должна иметь поверхность (из-под фрезы) с канавками для лучшего сцепления металла с неметаллом.
5. Зацепить на пуансоне дистанционные упоры так, чтобы эквидистантный зазор по всему объему по 3^x координатам. YZX.

6. Проверить в корпусе инструмент-пуансона отверстие для подачи раствора в зазор.

Можно не переворачивать для слива раствора, а периодически промывать, т.е. прерывистое травление.

Устройство позволяет проводить электрохимическое полирование как для матрицы, так и для пуансона.

Выводы

Проведено исследование размерной ЭХО, в соответствии с теоретическими показателями был выбран режим обработки, межэлектродный зазор и разработан специальный электрод-инструмент. Описаны все механические показатели и формулы их расчета.

Одним из основных методов повышения механических свойств материалов после ЭХО является последующее полирование. Это довольно трудоемкий процесс, используемый обычно для снижения шероховатости поверхности. Для деталей после ЭХО наиболее приемлемо виброполирование, которое позволяет снять растравленный слой и выполнить наклеп поверхности, необходимый для получения высоких механических свойств.

Рассчитанные параметры электрохимической обработки штампов показаны в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Сводная таблица рассчитанных параметров системы

Параметр	Значение	Величина в системе СИ
1	2	3
Сила тока	100	А
Напряжение на электродах	12	В
Плотность тока	0,05	А/мм ²
Удельная проводимость	16,4	См/см

Продолжение таблицы 2.7

1	2	3
NaCl	0,06	Ом см
Выход по току	77	%
Толщина снимаемого слоя	0,1	мм
Время обработки	6-8	мин
Производительность	103	мм ³ /А*ч
Плотность 15% NaCl	1,105	г/мл
Напор насоса	50	Н, м
Температура электролита	293К=20С	
Скорость подачи электрода-инструмента	0,008	мм/сек , при 0,5 мм/мин(1 мм/мин=0,016 мм/с)
Емкость	11	кВт*ч
Зазор	0,2	мм
Средняя скорость течения электролита	15	м/с
Шероховатость	0,1	мкм
Весовой электрохимический эквивалент для стали 45	0,223	Мг/(А*с)

Схема технологического процесса электрохимической обработки штампов показана в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Схема технологического процесса электрохимической обработки штампов

Наименование операции	Состав раствора		Режим работы	
	Наименование компонента	Содержание в литре раствора	Температура в градусах	Длительность в минутах
Монтаж на приспособления	-	-	-	-
Электрообезжиривание	углекислый натрий	25 г	20-25	2-2,5
Промывка в горячей воде	-	-	70-80	0,5- 1,0
Электрополирование	15% - Хлорид натрия	150 мл/л	70-90	3-4
Промывка в холодной воде	-	-	15-20	0,5- 1,0
Нейтрализация	Сода кальцированная	25 г.	15-20	0,5- 1,0
Промывка в горячей воде	-	-	90-95	0,5- 1,0
Высушивание в сушилках	-	-	40-50	-
Консервация маслом	Минеральное масло	-	110-120	0,5- 1,0

ЭХО часто используют взамен точения, фрезерования, долбления и других операций, после которых шероховатость составляет $R_z=20\ldots40$ мкм. В процессе ЭХО шероховатость может быть $R_a<0,3$ мкм. Таким образом, после

ЭХО высота неровностей заметно ниже, что способствует повышению сопротивления усталости сплавов. Необходимо на стадии проектирования детали учитывать возможность снижения сопротивления усталости после ЭХО и компенсировать это снижение уменьшением шероховатости поверхности.

Глава 3 Разработка установки для электрохимической обработки штампов

3.1 Функциональная схема

Изобретение относится к металлообработке, конкретно к электрохимической обработке и предназначено для размерной обработки как осесимметричных заготовок, так и заготовок пространственно сложных форм.

Известно устройство из способа электрохимической обработки заготовок типа тел вращения, бандажей железнодорожных колес. Способ включает обработку поверхности заготовки при постоянном токе с подачей в межэлектродный зазор электролита, с использованием в качестве анода заготовки, а в качестве катода электрода-инструмента в виде кулачков.

Недостатками приведенного аналога является невозможность обработки длинномерных маложестких деталей как простых, так и сложных по форме в поперечном сечении валов.

Известно устройство, выбранного в качестве прототипа для электрохимической обработки маложестких валов, содержащие датчик контроля прогиба вала, связанный с источником питания через блок управления, а так же ванну с электролитом, которая закреплена на суппорте станка и имеющую возможность перемещаться вдоль и поперек оси вала.

Недостатками данного аналога является невозможность обеспечить продольную точность вала, малый диапазон диаметров при обработке, невозможность обработки ступенчатых валов, так как при прохождении ступени электродом-инструментом она сглаживается. Кроме этого невозможно контролировать величину съема металла.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является повышение точности и качества поверхности заготовок, устранение концентраторов напряжений, которые остаются после механической обработки. В результате достигаются следующие технические результаты: повышается точность формы заготовки изделий за счет отсутствия сил резания в процессе

электрохимической обработки; повышается надежность работы изделий за счет снятия поверхностных остаточных напряжений остающихся после механической обработки.

Эта задача решается тем, что устройство для электрохимической обработки заготовок оснащено системой автоматического управления обеспечивающей постоянство МЭЗ и безконтактного контроля глубины съема металла. Система автоматического управления включает в себя электрод-инструмент, линейный электропривод и блок управления включенные последовательно, причем выходной сигнал с блока управления включен на вход линейного электропривода, а на его плоском роторе жестко закреплен электрод-инструмент, а на первый вход блока управления включен задатчик межэлектродного зазора, а на второй вход подключен выходной сигнал с датчика контакта заготовки и электрод-инструмента, на третий вход подключен выходной сигнал сравнивающего элемента на первый вход которого подключен выходной сигнал с источника эталонного блока питания, а на второй вход подключен выходной сигнал с датчика потери постоянного тока потребления, вход которого встроен в цепь питания источника постоянного тока.

Жесткое крепление электрод-инструмента на роторе линейного электропривода повышает точность позиционирования электрод-инструмента, обеспечивает стабильность МЭЗ и равномерность съема металла.

Включение в цепь управления эталонного блока питания обеспечивает стабильность рабочего напряжения, и следовательно, повышает точность оценки величины съема металла с заготовки.

Введение датчика контроля контакта электро-инструмента с поверхностью заготовки повышает точность величины МЭЗ.

Подключение электрода-инструмента к отрицательному полю источника питания обеспечивает снятие припуска с заготовки.

Предполагаемое изобретение иллюстрируется чертежом, представленном на рисунке 3.1, где изображена функциональная схема работы устройства.

Устройство для электрохимической обработки (рисунок 3.1) содержит,

заготовку 1, электро-инструмент 2, который жестко крепится на линейном электроприводе 3, управляемый блоком управления 4, датчик контакта 5, электрод инструмент 2 и заготовкой 1, источник постоянного тока 6, датчик потери постоянного тока потребления 7, сравнивающее устройство 8, источник эталонного тока 9 и задатчик МЭЗ 10.

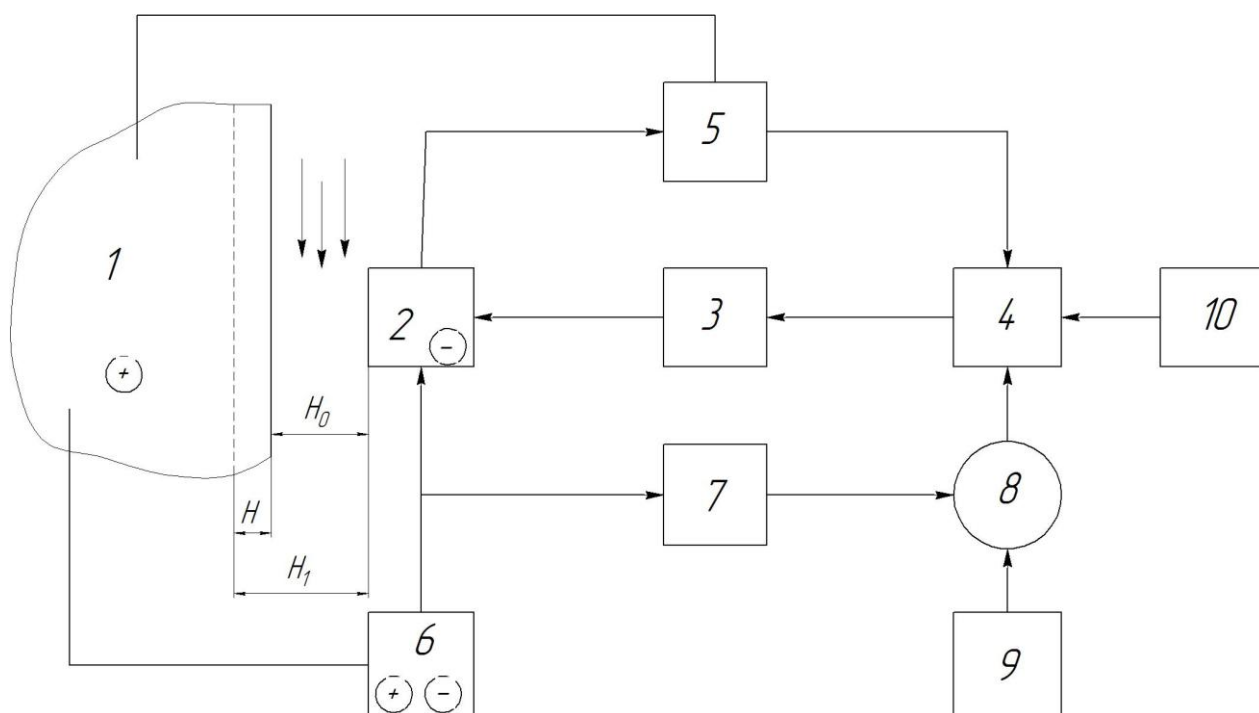


Рисунок 3.1 – Функциональная схема устройства для электрохимической обработки

3.2 Принципиальная схема

Устройство для электрохимической обработки работает следующим образом. К заготовке 1 подводят электрод-инструмент 2 который жестко закреплен на роторе линейного электропривода 3, и перемещается от блока управления 4 до контакта с заготовкой, причем момент контакта контролируется датчиком контакта 5, выход которого подключен к выходу блока управления 4. В момент контакта инструмента 2 с заготовкой 1 происходит замыкание электрической цепи, которое контролируется датчиком

5. Момент контакта является точкой отсчета при установлении заданного МЭЗ. Далее электрод-инструмент 2 отходит на заданные задатчиком 10 зазор Н1, с помощью линейного электропривода 3. Далее включают пролив электролита (на рис. показано условно) с расчетной скоростью и источник постоянного тока 6, который своими выходами подключен к заготовке 1 (анод) со знаком плюс и электрод-инструмент (катод) 2 со знаком минус.

Схема электро-химической обработки штампа для изготовления картера двигателя показана на рисунке 3.2.

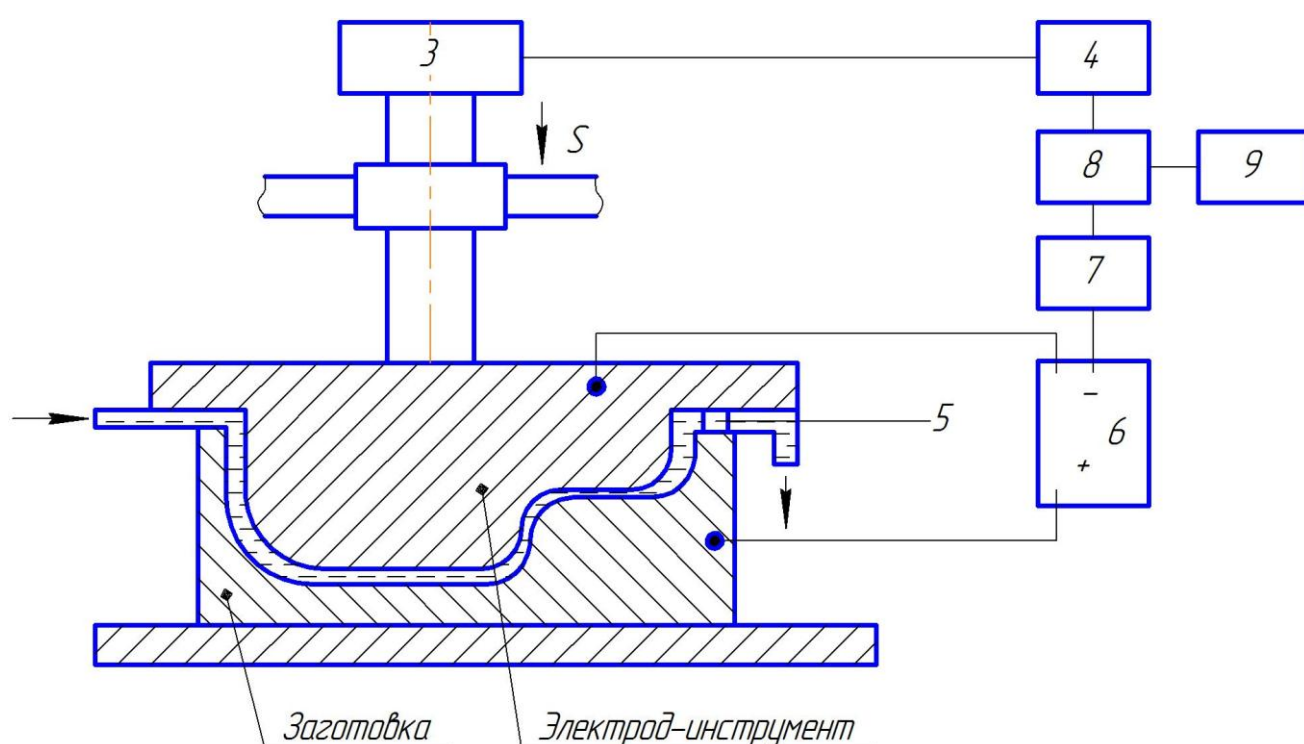


Рисунок 3.2 - Схема электро-химической обработки штампа

В цепь источника питания 6 включен датчик потери постоянного тока потребления 7, выход которого включен на вход сравнивающего элемента 8, на второй вход которого подключен выход источника эталонного питания постоянного тока 9.

Система автоматического управления начинает работать по принципу астатического регулирования, т.е. поддерживает МЭЗ постоянным и

бесконтактно контролирует величину съема металла. При увеличении МЭЗ на величину H_1 , равную глубине съема металла, ток потребления падает на величину, которая контролируется датчиком 7, что соответствует снятию с поверхности заготовки слой металла величиной $H=H_1-H_0$. Блок автоматического управления 4 управляет с помощью линейного электропривода 3 перемещает электрод-инструмент 2 на величину съема металла H_1 , обеспечивая постоянство МЭЗ на всем цикле обработки и зная функциональную зависимость тока от изменения МЭЗ измеряет глубину съема металла в реальном масштабе времени. Априорная информация функциональной зависимости МЭЗ от потери потребления тока заложена в программу работы блока управления 4.

Стабилизация МЭЗ повышает качество обрабатываемой поверхности, а бесконтактный контроль съема металла позволяет повысить геометрическую точность готовой детали.

Устройство для размерной электрохимической обработки заготовок, содержащее источник тока, механизм установки инструмента-электрода относительно обрабатываемой поверхности заготовки, блок управления, механизм прокачки электролита отличающееся тем, что устройство для электрохимической обработки заготовок оснащено системой автоматического управления, обеспечивающей постоянство межэлектродного зазора и бесконтактного контроля глубиной съема металла и включающее в себя электрод-инструмент, линейный электропривод и блок управления включенные последовательно, причем выходной сигнал с блока управления включен на вход электропривода, а на его плоском роторе жестко закреплен электрод-инструмент, а первый вход блока управления включен задатчик межэлектродного зазора, а на второй его вход подключен выходной сигнал с датчика контакта заготовки и электрод-инструмента, на третий его вход подключен выходной сигнал сравнивающего элемента на один вход которого подключен выходной сигнал с источника эталонного блока питания, а на второй вход подключен выходной сигнал с датчика потери постоянного тока

потребления, вход которого встроен в цепь питания источника постоянного тока.

3.3 Выводы

Разработана установка для электрохимической обработки штампов, которая оснащена системой автоматического управления обеспечивающей постоянство МЭЗ и безконтактного контроля глубины съема металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа современного состояния отечественной и зарубежной научно-технической информации, можно сделать вывод о необходимости совершенствования новых методов обработки деталей машиностроения методом ЭХО.

Метод ЭХО является уникальным и характеризуется рядом особенностей выгодно отличающих его от традиционных методов обработки.

Поставленные задачи решены в полном объеме:

1. Проанализированы источники научно-технической информации и изучены теоретические основы ЭХО.
2. Проведен расчет основных технологических параметров ЭХО;
3. Разработана новая технология ЭХО объемных штампов.
4. Разработана принципиальная схема установки для ЭХО объемных штампов;
5. Разработана автоматическая система управления стабилизации межэлектродного зазора;
6. Разработан гибкий инструмент-электрод и технология его изготовления.

Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего исследования в области ЭХО. Описание установки и принципа её действия могут быть положены в основу патента. При положительных результатах опытной партии данная конструкция может быть применена в мелкосерийном и серийном производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амитен, И.А. Байсуров, Ю.М. Барон и др.; Под ред. В.А. Волосатова. Справочник по электрофизическим методам обработки - Л.: Машиностроение, 1988. — 719 с.
2. Анагорский, Л.А. Сварка металлов с нагревом в электролите.- В кн.: Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1972, с. 119-121
3. Анагорский, Л.А. Нагрев металлов в электролите.- В кн.: Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1966, с. 124-142
4. Артамонов, Б.А., Вишницкий А.Л., Волков Ю.С., Размерная электрическая обработка металлов, 1978
5. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов — М.: Высшая школа, 1983. — 248 с.
6. Авторское свидетельство № 1618536 А1, кл. В23 Н3/00. Устройство для электрохимической обработки деталей.
7. Байсупов, И.А., Арзьев Г.В. Электроизоляционные покрытия электродов- инструментов для электрохимической обработки. Л., 1983
8. Байсупов, И.А., Справочник молодого рабочего по электрообработке. М., 1983
9. Бирюков, Б.Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. — М.: Машиностроение, 1981. — 128 с.
10. Богорад, Л. Я. Электрохимическое полирование металлов, Машгиз, 1952
11. Воронов, В.Н. Исследование технологического процесса размерно-чистовой электрохимической обработки деталей автотракторных двигателей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: Челябинск, 1972. — 24 с.

12.Грилихес, С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов. Л.,1983

13.Гродзинский, Э.Я. Абразивно-электрохимическая обработка. М., 1976

14.Долгих, А.М., Серов Ю.И., Шапошник Р.К. Основы электрофизических методов обработки деталей. Учебное пособие: Саратов, СГТУ, 1994. 64 с.

15.Патент №2342472. Ручной инструмент-электрод для электрохимического полирования. Сергеев Антон Викторович, Драчёв Олег Иванович, Сазонов Дмитрий Алексеевич.

16.Патент № 2338013. Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных деталей. Сергеев Антон Викторович, Драчёв Олег Иванович, Сазонов Дмитрий Алексеевич.

17.Патент № 2472874 Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Расторгуев Дмитрий Александрович, Драчев Олег Иванович.

18.Патент № 2552201 Способ повышения эрозионной стойкости лопаток компрессора газотурбинного двигателя из титановых сплавов. Смылова Марина Константиновна, Смыслов Анатолий Михайлович, Дыбленко Юрий Михайлович, Мингажев Аскар Джамилевич, Дыбленко Михаил Юрьевич.

19.Патент №2552205. Устройство для электрохимической обработки осесимметричных деталей. Расторгуев Дмитрий Александрович, Драчев Олег Иванович.

20.Патент №2561556. Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей. Расторгуев Дмитрий Александрович, Драчев Олег Иванович.

21.Заявка: 2008132342/02 Способ и устройство для электрохимической обработки Зайцев Александр Николаевич, Салахутдинов Ринат Мияссарович, Косарев Тимофей Владимирович, Серавкин Николай Валерьевич.

22. United States Patent, Patent Number 4213834, B23H 3/02; B23H 3/00; B23P 1/14 Jul. 22, 1980
23. Авторское свидетельство СССР N 717847, кл. B23H 3/02, 1977
24. Заявка № 2012106316, кл. B23 B1/00. Устройство содержащее систему самоцентрирующихся люнетов.
25. Золотых, Б.Н., Мельдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. М., 1977
26. Каталог-справочник. Электрофизические и электрохимические станки. М.-Л.: МОСКВА 1969, 224 с.
27. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. — Киев: Вища школа, 1975. — 234 с.
28. Лайнер, В.И., Электролитическая полировка металлических изделий, Гизместиром, 1947
29. Левин, Л.Э и Рудак И.Г., Состав ванн для электрополирования алюминия, «Приборостроение», Машгиз, 1957
30. Лившиц, А.Л., Кравец А.Т., Рогачев И.С. Электроимпульсная обработка металлов, 1967
31. Мороз, И.И., Алексеев Г.А., Водяницкий О.А. Электрохимическая обработка металлов, М., 1969
32. Овчаров, Б.И. Быстрые электроэрозионные зеркальные системы “ПИКА”. Журнал ИТО. — № 3. — 2002.
33. Орлов, Б.П. Некоторые особенности процесса ЭХО в протоке электролита с применением импульсного технологического тока. В кн.: Технология машиностроения. Тула, 1973, вып.31
34. Отто, М.Ш., Балицкий В.Б. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки. Руководство технолога и электроэрозиониста. — М.: ЭНИИМС, 1989, — 91 с.
35. Пат.2301134, МПК В 23 Н3/00, Способ электрохимической обработки. Авторы: Заставный Евгений Александрович, Толмачев Геннадий

Александрович. Патентообладатель ООО «ЦентрСтройПроект». Заявка 2005126631/02 от 24.08.05, опубл. 20.06.07.

36.Попилов, Л.Я. Электрополировка металлов, Машгиз, 1947

37.Попилов, Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. М., 1982. 400 с.

38.Попилов, Л. Я. Нагрев в электролите. В кн.: Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. М.-Л.: Машиностроение, 1971, с.175-193

39.Прохоров, В.В., Абиндер А.Л., Мартынов Г.А. Нагрев в электролите при резании металлов.- Машиностроитель, 1970, №1, с. 9 - 11

40.Седыкин, Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. М., 1976

41.Электролитический нагрев.- В кн.: Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1972, с. 102-124

42.Уваров, Л.Б. Повышение эффективности технологических процессов производства лопаток компрессора авиационных ГТД путем совершенствования структуры и управления точностью электрохимического формообразования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора, техн. наук: Рыбинск , 1998. - 32 с.

43.Фотеев, Н.К. Технология электроэрозионной обработки. — М.: Машиностроение, 1980. — 184 с.

44.Электрофизические и электрохимические методы обработки/ З.И. Поляков, И.Я. Мирное, В.Ю. Шамин и др. Конспект лекций: Челябинск, ЧПИ, 1975. — 118 с.

45.Ясногородский, И.З. Нагрев металлов и сплавов в электролите. М.: Машгиз, 1949. 125 с.

46.Santos E., Schmickler W. Catalysis in Electrochemistry. From Fundamentals to Strategies for Fuel Cell Development. New Jersey: John Wiley&Sons. Inc. Hoboken, 2011. 516 p.

47.Sobha Jayakrishnan D. Corrosion Protection Control Using Nanomaterials. Woodhead Publishing, 2012.

48.REVERSIBLE ANIONIC REDOX CHEMISTRY IN HIGH-CAPACITY LAYERED-OXIDE ELECTRODES Sathiya M., Ben Hassine M., Dupont L., Tarascon J.-M., Sougrati M.T., Doublet M.-L., Foix D., Gonbeau D., Rousse G., Ramesha K., Laisa C.P., Prakash A.S., Vezin H., Walker W. Nature Materials. 2013. T. 12. № 9. C. 827-835.

49.IMPROVEMENT OF HYDROGEN STORAGE PROPERTIES OF THE AB₂ LAVES PHASE ALLOYS FOR AUTOMOTIVE APPLICATION Kandavel M., Bhat V.V., Rougier A., Aymard L., Nazri G.A., Tarascon J.M. International Journal of Hydrogen Energy. 2008. T. 33. № 20.

50.INFLUENCE OF ELECTRODE MICROSTRUCTURE ON THE REACTIVITY OF CU₂SB WITH LITHIUM Morcrette M., Larcher D., Tarascon J.M., Edström K., Vaughey J.T., Thackeray M.M. Electrochimica Acta. 2007. T. 52. № 17. C. 5339-5345.