

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии машиностроения

Составители
В. Ю. Блюменштейн
М. С. Махалов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТОДАМИ МИКРОДУГОВОГО
ОКСИДИРОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО
СИНТЕЗА**

**Методические указания к лабораторной работе
для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направлений
подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств» и 15.03.01 «Машиностроение»
в качестве электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Клепцов А. А. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения

Кречетов А. А. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения

Исследование параметров качества поверхностного слоя деталей машин при обработке методами микродугового оксидирования и электроэрозионного синтеза: метод. указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] по дисциплине «**Прогрессивные технологии упрочнения и восстановления деталей машин**» для студентов направлений подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и 15.03.01 «Машиностроение» всех форм обучения / сост. В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 256 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

В методических указаниях изложены основные цели и порядок выполнения лабораторной работы «Исследование параметров качества поверхностного слоя деталей машин при обработке методами микродугового оксидирования и электроэрозионного синтеза».

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профиль «Технология машиностроения» и «Машиностроение», профиль «Реновация оборудования топливно-энергетического комплекса».

© КузГТУ, 2016

© Блюменштейн В. Ю.,

Махалов М. С., составление, 2016

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: исследование и сравнительный анализ качества поверхностного слоя деталей при обработке методами микродугового оксидирования и электроэрозионного синтеза.

Работа разделена на несколько частей, каждая из которых посвящена решению следующих задач:

1. Изучить сущность методов обработки деталей методом микродугового оксидирования и методом электроэрозионного синтеза.

2. Изучить основные параметры и преимущества методов микродугового оксидирования и электроэрозионного синтеза.

3. Изучить методику обработки плоскости среза образцов для исследования упрочнения поверхностного слоя на микротвердомере.

4. Исследовать влияние методов и режимов обработки методами микродугового оксидирования и электроэрозионного синтеза на параметры шероховатости и упрочнения поверхностного слоя образцов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Сущность метода микродугового оксидирования

Микродуговое оксидирование (МДО) – экологически чистая технология электроплазмохимического преобразования поверхностного слоя деталей из алюминиевых сплавов в высокотемпературные модификации оксидов алюминия.

МДО – сравнительно новый вид поверхностной обработки и упрочнения главным образом металлических материалов, основанный на традиционном анодировании и соответственно относящийся к электрохимическим процессам. МДО позволяет получать многофункциональные керамически подобные покрытия с широким комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионно-стойкие, теплостойкие, электроизоляционные, декоративные на поверхности вентильных металлов и их сплавов: титана, магния, тантала, ниобия, циркония, бериллия и, прежде всего алюминия.

Суть способа заключается в использовании плазмохимических реакций, возникающих на поверхности электродов при значительном повышении напряжения на ванне. При повышении напряжения на ванне на поверхности обрабатываемой детали появляются электрические разряды, обеспечивающие возникновение в каналах разрядов плазмы, обладающей высокой реакционной способностью [1–2]. Благодаря высокой температуре в каналах разрядов происходит образование неорганических соединений, активно взаимодействующих с поверхностью металла. На рис. 1. представлены процессы, происходящие на электродах при водном электролизе.

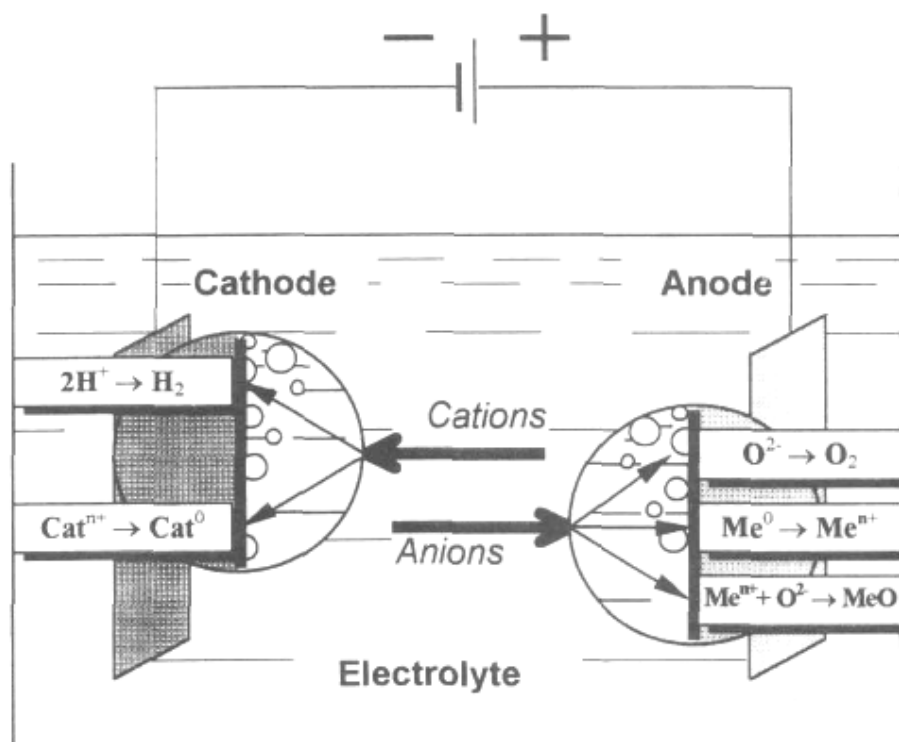


Рис. 1. Процессы, происходящие на электродах при водном электролизе

На начальной стадии МДО существует прямой контакт электролита с поверхностью тонкой диэлектрической пленки, в которой протекают окислительные процессы, сопровождающиеся увеличением ее толщины. При определенной толщине пленки возникает искрение с одновременным протеканием двух процессов: электрохимического окисления и разрыхления искрами образующейся пленки. При увеличении пленки до 2 мкм уменьша-

ется отвод тепла из пленки, и искровые разряды переходят в микродуговые, что приводит к существенному повышению температуры в каналах пробоя и окружающих их участках, благодаря чему рост покрытия значительно ускоряется. Параллельно в каналах пробоя образуется низкотемпературная плазма, в которой протекают реакции, приводящие к включению в оксид компонентов электролита. Таким образом, следствием пробоя является, с одной стороны, ускорение процесса образования оксида, а с другой – изменение химических и физических свойств получаемого осадка.

При поддержании постоянной плотности тока или напряжения толщина и электрическая прочность покрытия увеличиваются. Микродуговые разряды перемещаются на соседние участки, где толщина, а, следовательно, и пробивное напряжение, ниже. Если напряжение процесса поддерживать постоянным, покрытие будет расти до тех пор, пока его пробивное напряжение не сравняется с напряжением оксидирования. Затем микродуговые разряды перестанут возникать, и процесс окисления прекратится.

Покрyтия, получаемые на алюминии и его сплавах в силикатно-щелочных электролитах, имеют, как правило, трехслойную структуру, распределение компонентов неравномерное. Они состоят из тонкого переходного слоя 1, основного рабочего слоя с максимальной твердостью и минимальной пористостью 2, основной фазой которого является корунд, и наружного технологического слоя, обогащенного алюмосиликатами 3 (рис. 2) [3].

Распределение микротвердости, пористости и основных фаз по толщине МДО-покрытий определяются их составом и структурой, которые, в свою очередь, зависят от основного материала основы, состава электролита и режима обработки.

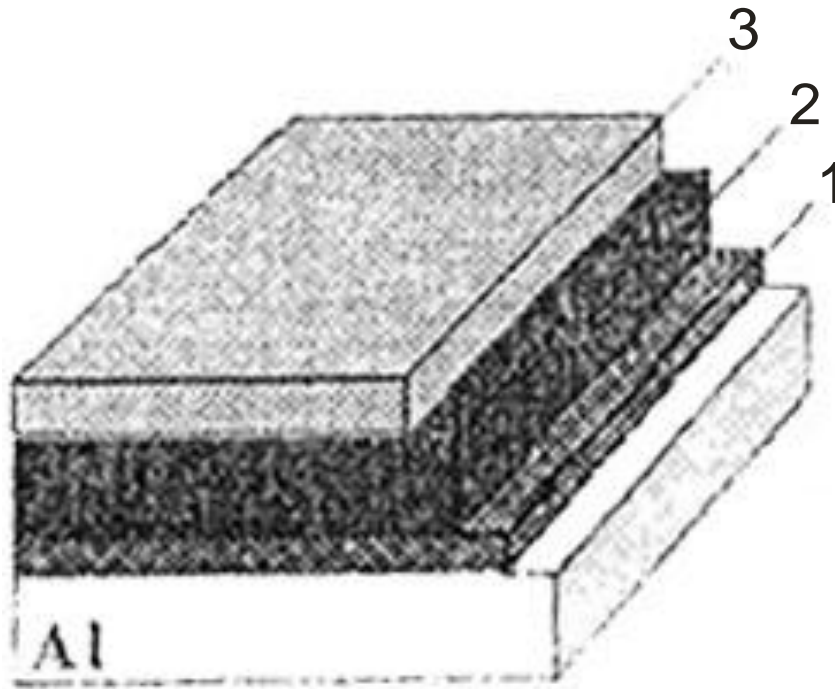


Рис. 2. Строение МДО-покрытия на алюминии

2.2. Технология процесса микродугового оксидирования

Технологическая установка для нанесения МДО-покрытий состоит из источника технологического тока (ИТТ) 6 и технологической ванны 1, соединенной с емкостью для охлаждения электролита 5 и змеевиком 4, соединительными шлангами 3 (рис. 3). Насос 2 служит для перекачки электролита из одной ванны в другую. Деталь 7 помещается в электролит и закрепляется на токоподводной шине.

При пропускании через цепь переменного тока от ИТТ на поверхности обрабатываемой детали появляются микродуговые разряды. В каналах разрядов происходят плазмохимические реакции, в ходе которых поверхностный слой детали преобразуется в высокотемпературные модификации оксидов алюминия α - и γ -фаз.

Основными технологическими факторами МДО являются плотность тока, состав и концентрация электролита, время обработки.

С технологической точки зрения метод МДО обладает следующими преимуществами: формируемые покрытия являются многофункциональными; МДО-покрытие может использоваться в

качестве промежуточного слоя для дальнейшего нанесения защитных лакокрасочных, полимерных и других покрытий; процесс не требует сложного оборудования и больших производственных площадей, специальных очистных сооружений, в связи с использованием экологически чистых электролитов; на формирование покрытия затрачивается время, позволяющее поставить МДО на технологический поток; осуществление процесса не требует высокой специализации персонала, работающего на установке.

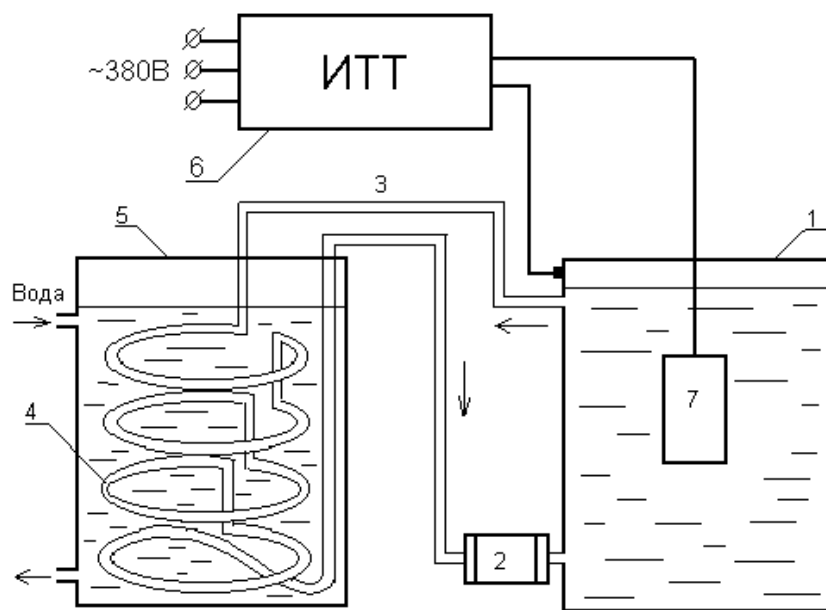


Рис. 3. Схема установки для микродугового оксидирования

Недостатком метода является его высокая энергоемкость, которая может быть компенсирована рациональными технологиями МДО.

МДО может эффективно использоваться в различных областях промышленности с целью создания покрытий: износостойких, коррозионностойких, диэлектрических, теплостойких, эрозияностойких, химически стойких и декоративных. В отдельных случаях появляется возможность замены деталей из нержавеющей и жаростойких сталей на детали из алюминиевых сплавов.

Основными физико-механическими характеристиками МДО-покрытий на основе оксидов алюминия являются: высокая адгезия покрытия (до 350 МПа); высокая микротвердость покрытия (12–20 ГПа); высокая износостойкость; повышенная пластичность, в отличие от напыленной керамики; упрочненный слой

жаростоек, так как представляет собой оплавленную поликристаллическую структуру оксидов алюминия; толщина покрытий составляет 50–200 мкм; удельное электросопротивление достигает значения 2×10^{14} Ом \times м.

МДО-покрытие на деталях из алюминиевых сплавов имеет поликристаллическую структуру, состоящую из α - и γ - Al_2O_3 , а также шпинелей со всеми металлами, легирующими сплав, т.е. представляет собой композиционный материал, сочетающий относительную пластичность матрицы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 - \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ с высокой твердостью встроенных в нее включений [1].

2.3. Область применения МДО-покрытий

Многофункциональность МДО-покрытий определяет их применение в различных отраслях промышленности (машиностроении, аэрокосмической, приборостроении, электронной, химической, нефтегазовой, автомобильной, инструментальной, текстильной медицинской и др.) в разнообразных узлах оборудования (запорная арматура, детали насосов и компрессоров, пресс-оснастка, детали двигателей внутреннего сгорания и др.) для повышения износостойкости, коррозионно-защитных свойств, диэлектрических, теплозащитных и декоративных характеристик.

В авиационной и автомобильной промышленности нанесение покрытий на детали цилиндра-поршневой группы, в частности на поршни двигателей внутреннего сгорания, позволяет защитить их от высокотемпературной газовой эрозии и снизить температуру металла основы примерно в 1,5 раза. Это относится также к лопаткам турбин и соплам двигателей.

В приборостроении, электротехнической и электронной промышленности МДО-покрытия нашли применение в качестве антидиффузионных слоев нагревательных систем, используемых в производстве чипов; диэлектрических слоев теплоотводов интегральных микросхем; матированных, дающих диффузионное рассеяние, и черных, поглощающих (до 96–98 % в диапазоне волн 370–600 нм) слоев, работающих в качестве абсорберов радиаторов, а также при изготовлении катодов для установок реактивного ионного травления. МДО-покрытия применяют для за-

щиты от газо- и гидроабразивного износа быстровращающихся деталей расходомеров жидкостей и газов широкой номенклатуры, а также для длительной защиты от коррозии, в том числе радиационной, деталей автономных радиоизотопных источников питания.

В городском хозяйстве МДО-покрытия можно применять для защиты от коррозии и износа гребней и настилов алюминиевых ступеней эскалаторов. Сравнительные испытания на контактную коррозию со стальным крепежом показали высокую коррозионно-защитную способность МДО-покрытий. В водохозяйстве МДО-покрытия применяют для защиты корпусов, крыльчаток, крышек, роторов, статоров и торцевых уплотнений и погружных насосов и запорной арматуры водопроводных кранов – для защиты от износа и коррозии. В медицинской промышленности возможным применением является защита от коррозии нерабочих частей различного инструмента, изготовление неотторгаемой биокерамики на базе титана и циркония для имплантантов в стоматологии, искусственных суставов и позвонков, для костной реконструкции, а также в качестве тонких фильтров и мембран для плазмы крови.

В качестве примеров использования в машиностроении можно привести быстровращающиеся детали вакуумных безмасляных насосов и компрессоров, а также высокопроизводительных измельчителей-дезинтеграторов, изготавливаемых из алюминиевых и титановых сплавов с последующим оксидированием взамен легированной стали, для работы в тяжелых триботехнических условиях (размол сахара, зерна, кофе и других продуктов в пищевой промышленности): литейные формы и стержни высокого качества; облегченные дорны – оправки для формования изделий из стеклоткани с улучшенным сходом изделий. Помимо кратного увеличения износостойкости и наработки на отказ, использование алюминиевых сплавов с МДО-покрытиями существенно улучшает динамические характеристики движущихся деталей узлов (алюминий легче стали почти в 3 раза).

Для инструментальной промышленности перспективны калибры (вместо твердосплавных) и притиры из дюралюминов с износостойким МДО-покрытием, а также оксидированные диски из алюминиевых сплавов взамен алмазных для заправки твердо-

сплавного инструмента и корпуса-держатели для легких высокоскоростных фрез.

В текстильной промышленности успешно применяют веретена, изготовленные из алюминиевых сплавов с износостойкими МДО-покрытиями, для скручивания натуральной нити, втулки, и тарелочки натяжных приборов мотальных и тростильных машин, а также раскладочные ролики, требующие повышенной стойкости, теплостойкости и определенной степени шероховатости при производстве полиэфирной нити [2].

2.4. Основные параметры и преимущества МДО-покрытий

МДО технология позволяет получать покрытия с уникальным комплексом физико-механических. Использование микродуговых разрядов дает практическую возможность формировать на поверхности изделий структуры на основе высокотемпературных кристаллических окислов, которые придают изделиям качественно новые свойства (табл. 2.1):

- толщину покрытия до 400 мкм;
- высокую микротвердость до 25000 МПа;
- низкий коэффициент трения $f = 0,01-0,005$;
- теплостойкость до 800–1200 °С (выдерживает тепловой удар до 2500 °С);
- пьезоэлектрические свойства;
- диэлектрическую прочность 10–20 В/мкм;
- пробойное напряжение до 6000 В;
- коррозионную стойкость 1 балл по 10-балльной шкале;
- износостойкость на уровне твердых сплавов;
- чистоту поверхности $Rz \sim 1-40$ мкм (без удаления технологического слоя) и $Ra \sim 0,04-0,08$ (после полирования);
- размер зерен 1–10 мкм;

Таблица 2.1

Характеристики МДО-покрытий

Тип покрытия	Применение	Свойства
Износостойкие	Цилиндропоршневая группа, узлы скольжения и корпусные детали ДВС и турбокомпрессоров, подшипники скольжения гидротурбин, детали компрессоров холодильных машин и гидроагрегатов топливной аппаратуры двигателя для беспилотной авиации и малой механизации	Повышение износостойкости в 10–15 раз; снижение механических потерь на 40–50 %; снижение веса и материалоемкости; повышение КПД на 2–15 %; улучшение экологических параметров; снижение термонагрузок
Коррозионно-стойкие	Корпусные детали автомобилей и колесные диски, корпуса центрифуг и нагревательные элементы бытовой техники	Повышение срока эксплуатации в 8–10 раз
Антифрикционные	Подшипники скольжения, вкладыши и опорные подшипники гидротурбин, компрессоров и турбокомпрессоров, подошвы электроутюгов	Замена дорогостоящих материалов; снижение коэффициента трения в 10–100 раз; повышение срока эксплуатации в 10 раз
Защитные	Рабочая поверхность кухонной посуды, элементы мукомольных агрегатов (жернова) и установок для пищевой промышленности, ротора печатных машин, велосипедные и мотоциклетные обода	Увеличение прочности на 5–100 %; улучшение адгезионных свойств; повышение срока эксплуатации в 10 раз
Диэлектрические	Вторичные источники питания средней мощности, химические лазеры, стабилизаторы напряжения	Замена дорогостоящих материалов; упрощение процесса сборки
Антипригарные	Элементов бытовой техники (утюги, сковородки и пр.), электроинструменты	Улучшение антипригарных характеристик; повышение срока эксплуатации в 10 раз

Применение МДО-покрытий на различных сплавах:

- МДО покрытия на титановых сплавах имеют в своей структуре не только оксид титана (рутил и анатас), но и титанат алюминия, что позволяет получить твердость покрытия 10000–12000 МПа. Коэффициент трения в условиях смазки 0,01–0,05.

- МДО покрытия на магниевых сплавах имеют твердость 4000-8000 МПа. Покрытие обеспечивает коррозионную стойкость, имеет высокую адгезию с основой и может использоваться в качестве подслоя при нанесении других покрытий.

- МДО покрытия на нержавеющей стали могут использоваться для антикоррозионной защиты и повышения триботехнических характеристик [3].

Метод МДО имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими методами. К важнейшим из них относятся:

- возможность нанесения покрытия на сложнопрофильные изделия, внутренние поверхности и скрытые полости;
- получение покрытий толщиной от 0,05–0,2 мм до 0,3–0,8 мм с адгезией, сопоставимой с прочностью материала подложки;
- получение покрытий без какой-либо предварительной подготовки поверхности;
- возможность полной автоматизации процесса;
- дешевизна и доступность реактивов и материалов;
- широкие возможности регулирования скорости процесса;
- экологическая безопасность, не требующая использования специальных очистных сооружений и т.д. [1].

2.5. Сущность метода электроэрозионного синтеза

Сущность метода заключается в нанесении на деталь экзотермической смеси порошков металлов с неметаллами и органическими связками и последующей искровой обработке. Схема процесса представлена на рис. 4. Источник импульсов тока подключен к вибратору и к паре электрод – деталь. Между вибрирующим электродом и деталью возникает искра, которая поджигает экзотермическую смесь. В зоне искрового воздействия термический процесс, который приводит к химическим реакциям, преобразующим исходные компоненты смеси в сложные соединения покрытия (например, на основе карбидов титана, хрома, воль-

фрама, диборида титана и других соединений) в зависимости от состава исходной смеси.

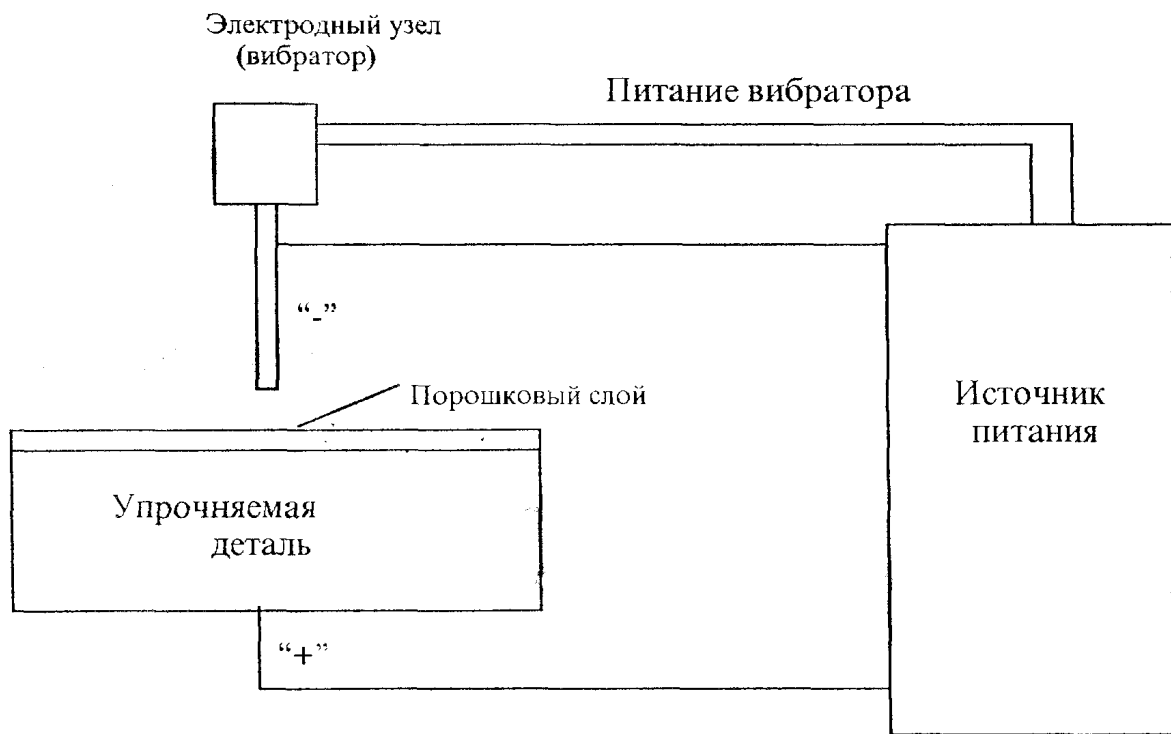


Рис. 4. Технологическая схема процесса электроэрозионного синтеза

2.6. Основные преимущества технологии ЭЭС-покрытий

К основным преимуществам ЭЭС относятся: высокая производительность нанесения покрытия, высокая адгезия покрытия к основному материалу, отсутствие специальных требований к подготовке поверхностей под нанесение покрытия, возможность нанесения покрытий на локальных участках поверхностей, в том числе, труднодоступных, технологическая простота нанесения покрытия вручную или механическим способом, в том числе, в нестационарных условиях, использование малогабаритного переносного источника импульсов тока, питающегося от бытовой электросети, экологическая безопасность.

2.7. Область применения метода ЭЭС-покрытий

- упрочнение поверхностей деталей, подверженных сильно-му износу, в том числе абразивному (пары трения, прессовый и штамповый инструмент, лопатки дробеметных машин, сопла для пескоструйной обработки, режущий инструмент и др.);
- упрочнение деталей машин на стадии их изготовления;
- восстановление размера деталей с одновременным упрочнением.

Применение комбинированной упрочняющей обработки методами ЭЭС-покрытий и поверхностным пластическим деформированием (в частности, обкатыванием) позволяет дополнительно уменьшить шероховатость, несколько увеличить микротвердость поверхности и внести сжимающие остаточные напряжения в поверхностный слой детали, что в результате повысит срок службы изделий.

Поверхностное пластическое деформирование может быть реализовано на различных этапах изготовления, упрочнения или ремонта различных деталей машиностроения, что показывает приведенная ниже диаграмма.

Комбинированная обработка методами ЭЭС-покрытий и поверхностного пластического деформирования, таким образом, позволяет еще более расширить область применения данного вида упрочняющей технологии в машиностроении.

2.8. Основные параметры технологии нанесения ЭЭС-покрытий

Напряжение холостого хода, В	10–70
Сила тока в импульсе, А	5–150
Частота импульсов, кГц	0,5–250
Скважность импульсов (отношение длительности импульса к периоду колебания)	0,1–0,9
Частота вибрации электрода, кГц	50–150

2.9. Основные параметры ЭЭС-покрытий

Приращение размера детали, мм	0,01–0,1
Шероховатость поверхности детали Ra , мкм	2–7
Микротвердость поверхности детали, МПа	800–3000

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ И ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЙ

Проводятся исследования четырех экспериментальных образцов, два из которых обработаны методом микродугового оксидирования, а два методом электроэрозионного синтеза покрытий.

Образец №1. Метод: МДО. Материал: АК12.

Режим обработки: время обработки 15 мин, базовый электролит, плотность тока 20 А/дм^2 , режим работы ИТТ – симметричный.

Образец №2. Метод: МДО. Материал: АК12.

Режим обработки: время обработки 10 мин, базовый электролит, плотность тока 40 А/дм^2 , режим работы ИТТ – симметричный, с последующей обработкой МДО в базовом электролите с добавлением фторполимерной суспензии Ф-4Д, концентрацией 2 г/л, в течении 2 мин с последующей термической обработкой.

Образец №3. Метод: ЭЭС. Материал: сталь 45.

Режим обработки: 1-й слой: $I_{\max} = 20 \text{ А}$, частота импульсов 4 кГц, скважность импульсов 0,6; 2-й слой: $I_{\max} = 10 \text{ А}$, частота импульсов 4 кГц, скважность импульсов 0,4.

Образец №4. Метод: ЭЭС. Материал: сталь 45.

Режим обработки: 2 слоя: $I_{\max} = 60 \text{ А}$, частота импульсов 3 кГц, скважность импульсов 0,2.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с общей методикой выполнения исследований.
2. Ознакомиться с паспортными данными оборудования.

3. Изучить устройство, техническую характеристику и методики измерения параметров и записи профилограмм шероховатости на профилографе-профилометре «Talysurf-5M» [5].

4. Выполнить измерения параметра шероховатости Ra и записи профилограмм шероховатости на профилографе-профилометре «Talysurf-5M» [5].

5. Изучить методику статистической обработки профилограмм шероховатости поверхности [4].

6. Построить графические зависимости параметров шероховатости поверхности от метода обработки.

7. Изучить устройство и технические характеристики микротвердомера мод. DuraScan 20, методики вырезки образцов, подготовки плоскости косо́го среза, подготовки шлифов и измерения микротвердости поверхностного слоя [5].

8. Приготовить шлифы с помощью шлифовально-полировального станка [6].

9. Выполнить измерение микротвердости шлифа, оценить глубину и степень упрочнения [6].

10. Построить графики изменения микротвердости по глубине поверхностного слоя, оценить глубину и степень упрочнения (рис. 5).

11. Построить графические зависимости параметров упрочнения поверхностного слоя от метода обработки.

12. Сделать выводы по выполненной работе.

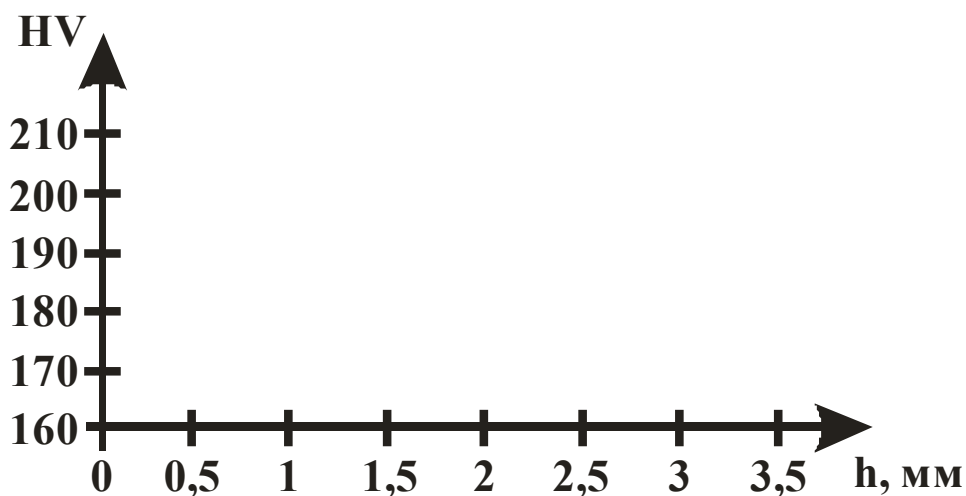


Рис. 5. Оси координат для построения графиков распределения твердости (микротвердости) по глубине поверхностного слоя

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о лабораторной работе выполняется на отдельных листах формата 210×297 мм. Текст, эскизы, схемы, таблицы, расчетные данные, графики зависимостей и др. должны соответствовать требованиям, предъявляемым государственными стандартами.

Целесообразно выполнение графических зависимостей с использованием стандартных программных продуктов типа Excel, Statistica и др.

Отчет о выполненной работе оформляется в виде протокола, содержащего следующие разделы:

1. Титульный лист с указанием необходимых выходных данных.
2. Цель и задачи комплексной лабораторной работы.
3. Основные теоретические положения.
4. Общая методика выполнения исследований, включающая: эскиз образца с указанием его действительных размеров, химического состава, механических свойств материала;
5. Перечень средств технологического оснащения с указанием основных технических характеристик, используемый измерительный инструмент и его характеристики.
6. Результаты измерений и расчетов параметров шероховатости поверхности, занесенные в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты исследования шероховатости поверхности

Параметр	Численное значение для образца				Прим.
	№ 1	№ 2	№ 3	№4	
<i>Ra</i>					
<i>Rz</i>					
...					

7. Схема и описание устройства микротвердомера мод. DuraScan 20.

8. Результаты измерения микротвердости, занесенные в табл. 5.2.

9. Графики распределения микротвердости по глубине упроченного поверхностного слоя (рис. 5).

Таблица 5.2

Результаты исследования твердости (микротвердости)

№ образца	Горизонтальная диагональ			Вертикальная диагональ			Z	D , мкм	HV	h , мкм
	Z_1	Z_2	$Z_Г$	Z_3	Z_4	$Z_В$				

10. Результаты расчетов параметров упрочнения, занесенные в табл. 5.3.

11. Общие выводы по работе.

Таблица 5.3

Результаты расчетов параметров упрочнения

№ образца	Параметры упрочнения	
	глубина h , мм	степень δ , %
1		
2		
3		
4		

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем сущность метода МДО?
2. Каковы преимущества метода МДО?
3. В чем сущность метода ЭЭС?
4. Каковы преимущества метода ЭЭС?
5. Что такое адгезия покрытия?
6. Назовите основные параметры МДО-покрытий.
7. Назовите основные параметры ЭЭС-покрытий.

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

2. Земсков, Г. В. Осаждение алюминия из газовой фазы / Г. В. Земсков // Защита металлов. – М., 1970.

3. Бобров, Г. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология, оборудование / Г. В. Бобров, В. В. Кудинов. – М.: Металлургия, 1992. – 432 с.

4. Блюменштейн, В. Ю. Измерение шероховатости на профилографе-профилометре «Talysurf-5M» : метод. указания к лабораторной работе [Электронный ресурс]: для студентов направлений подготовки 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и 150700.62 «Машиностроение» / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов, О. А. Останин; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 256 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

5. Блюменштейн, В. Ю. Исследование качества поверхностного слоя деталей машин. Методические указания к комплексной лабораторной работе по курсу «Научные основы технологии машиностроения» для студентов направления подготовки 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» / КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 54 с.

6. Подготовка образцов к металлографическим исследованиям: методические указания к лабораторной работе для студентов направления подготовки 151901 «Технология машиностроения» по дисциплине «Методология научных исследований» / В. Ю. Блюменштейн, Р. А. Понкрашкин, А. Р. Кадочникова, С. А. Мосунова; КузГТУ. – Кемерово, 2014. – 24 с.

Содержание

1.	Цель и задачи работы	3
2.	Теоретические положения	3
2.1.	Сущность метода микродугового оксидирования	3
2.2.	Технология процесса микродугового оксидирования	6
2.3.	Область применения МДО-покрытий	8
2.4.	Основные параметры и преимущества МДО-покрытий	10
2.5.	Сущность метода электроэрозионного синтеза	12
2.6.	Основные преимущества технологии ЭЭС-покрытий	13
2.7.	Область применения метода ЭЭС-покрытий	14
2.8.	Основные параметры технологии нанесения ЭЭС-покрытий	14
2.9.	Основные параметры ЭЭС-покрытий	15
3.	Экспериментальные образцы и план исследований	15
4.	Порядок выполнения лабораторной работы	15
5.	Требования к отчету	17
6.	Контрольные вопросы	18
7.	Список рекомендуемой литературы	18