

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ**

На правах рукописи
УДК 621.9.048.4

ЮРЧЕНКО Евгений Владимирович

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ
ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ И ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН.**

251.03 - Электрофизические технологии и инженерия поверхности

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук**

КИШИНЕВ, 2016

Работа выполнена в Институте Прикладной Физики АН Молдовы.

Научный руководитель - член-корреспондент АНМ, доктор хаб. хим. наук, профессор
Дикусар Александр Иванович

Состав Специализированного Ученого Совета:

1. Стойчев П.Н. д-р. хаб. техн. наук, проф.унив. -председатель
2. Цынцару Н.И. д-р хим.наук, конференциар - секретарь
3. Болога М.К. д-р. хаб. техн. наук, проф.унив., академик.
4. Гологан В.Ф. д-р. хаб. техн. наук, проф.унив.
5. Михайлов В.В. д-р. техн. наук, конференциар
6. Парамонов А.М. д-р. техн. наук.

Официальные оппоненты:

1. Топала П.А. д-р. хаб. техн. наук, проф. унив.
2. Корнейчук Н.И. д-р. техн. наук, конференциар.

Защита состоится 25 октября 2016 г. в 11-00 на заседании Специализированного ученого совета D 02.251.03 при Институте Прикладной Физики АНМ (Молдова, Кишинев, ул. Академией 5). ауд.109.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной библиотеке академии (Республика Молдова MD-2028, Кишинев, ул. Академией 5) и на веб. сайте CNAА (www.cnaa.md).

Автореферат разослан 24 октября 2016 г.

Ученый секретарь: _____

Научный руководитель: _____ **Дикусар Александр Иванович**
член-корреспондент АНМ,
доктор хаб. хим. наук, профессор

Автор: _____ **Юрченко Евгений**
© IURCENCO Evgheni 2016

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Совершенствование и повышение конкурентоспособности продукции машиностроения требуют применения новых технологических процессов, позволяющих повысить ресурс и надежность работы оборудования в условиях все большего ужесточения требований к эксплуатационным характеристикам изделий. Поэтому восстановление изношенных деталей с одновременным увеличением ресурса является особенно важным в современных условиях, когда финансовые и материальные ресурсы предприятий существенно ограничены.

Одним из решений проблемы совершенствования эксплуатационных характеристик деталей машин является использование алюминиевых сплавов. В частности, в сельскохозяйственном машиностроении за последние 10 лет применение алюминиевых сплавов увеличилось более чем в 3 раза. Дальнейшее расширение применения алюминиевых сплавов сдерживается низкой износостойкостью рабочих поверхностей, что не позволяет обеспечить их требуемую долговечность.

Для повышения их долговечности необходимо на изнашивающихся поверхностях создавать упрочненные слои с требуемыми физико-механическими свойствами. Наиболее распространёнными способами восстановления изношенных поверхностей алюминиевых деталей в настоящее время являются различные виды сварки и наплавки. Однако при наплавке и сварке к детали подводится большое количество тепла, что ведёт к короблению и необходимости последующей обработки. Кроме того, при этих видах ремонта износостойкость восстановленных поверхностей не повышается.

В последнее время все большее распространение при восстановлении размеров изношенных деталей получает электроискровое легирование (ЭИЛ), позволяющее получить покрытия с высокой износостойкостью. Однако восстановление алюминиевых деталей с помощью ЭИЛ изучено недостаточно и поэтому при разработке технологии восстановления детали возникают проблемы. Как показали предварительные испытания, одним из путей решения проблем электроискрового легирования деталей из алюминиевых сплавов применительно к восстановлению и ремонту является использование специальных обрабатывающих электродов, представляющих собой механическую смесь тугоплавкой матрицы и легкоплавкого компонента.

Цель работы: установление закономерностей формирования износостойких покрытий на деталях из алюминиевых сплавов для восстановления изношенных поверхностей с помощью электроискрового легирования электродами, представляющими

собой механическую смесь легкоплавкого компонента и тугоплавкой матрицы и на этой основе - разработка технологий восстановления изношенных поверхностей.

Задачи исследования:

1. Выявить закономерности формирования покрытий поверхностей из алюминиевых сплавов в зависимости от параметров электроискровой обработки.
2. Исследовать особенности формирования поверхностного слоя (нанесение слоя определенной толщины или модификация поверхности) электродами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента и тугоплавкой матрицы.
3. Исследовать физико-механические характеристики поверхностного слоя при ручном и механизированном процессе электроискрового легирования алюминиевых сплавов.
4. Исследовать макро- и микроструктуру, фазовый и химический состав покрытия и электродов в зависимости от параметров электроискрового легирования.
5. Определить (в качестве метода характеристики свойств покрытия), трибологические характеристики полученных с помощью электроискрового легирования покрытий на алюминиевых сплавах в различных условиях трения скольжения в различных средах.
6. Разработать оптимальные технологические процессы для нанесения износостойких покрытий при восстановлении деталей из алюминиевых сплавов с одновременным упрочнением.

Научная новизна:

Установлено, что в условиях электроискрового легирования обрабатываемым электродом, представляющим собой механическую смесь легкоплавкого компонента в тугоплавкой матрице (Al-Sn, Al-Pb), получаемое покрытие содержит микро- и нанонити легкоплавкого компонента. Подобный процесс можно рассматривать как аналог электроспиннингового метода получения наноматериалов[1].

Решенная научная проблема:

Показано, что в условиях электроискрового легирования обрабатываемым электродом из сплава Al-Sn происходит (в отличие от процесса легирования чистым алюминием) образование слоев определенной толщины, что позволяет использовать электроискровое легирование этим обрабатываемым электродом в процессе ремонта и восстановления деталей из алюминиевых сплавов.

Практическая значимость работы:

- определены основные технологические параметры процесса электроискрового легирования алюминиевых поверхностей, обеспечивающих получение высокой износостойкости, и разработана технология ремонта и восстановления алюминиевых

деталей на этой основе.

- определены режимы для восстановления изношенных поверхностей алюминиевых деталей: энергия импульса в диапазоне $1,58 \div 3,16$ Дж, длительность импульса $500 \div 1000$ мкс, амплитуда тока 175 А при диаметре компактного электрода 4-6 мм, частота импульсов $50 \div 100$ Гц скорость перемещения обрабатывающего электрода в диапазоне $0,2 \div 1,5 \cdot$ мм/с.

- для получения покрытий повышенной толщины при восстановлении изношенных поверхностей алюминиевых деталей предложено использовать технологию «барьерных» слоев. Наиболее эффективный «барьерный» слой для алюминиевых деталей имеет место при использовании электродов из сплава Al-Ni.

Достоверность и обоснованность полученных результатов исследований.

Достоверность полученных результатов обеспечивается на использовании современных физико-химических методов исследования, подтверждается отсутствием противоречия полученных результатов с имеющимися в литературе и воспроизводимостью экспериментальных данных в пределах точности использованных методов. Выводы, сделанные по результатам работы, а также научные положения аргументированы и прошли апробацию на научных конференциях, а также при публикации материалов в рецензируемых журналах.

Личный вклад автора. В период выполнения работы автор являлся исполнителем ряда тем исследований, а также научным руководителем дипломных работ студентов, основные результаты которых вошли в диссертационную работу. Автором совместно с научным руководителем поставлены цели и задачи исследования, проведен критический анализ литературных данных по теме диссертации. Экспериментальные результаты, а также теоретические обобщения, представленные в работе, выполнены в рамках проекта НИЛ ИПФ АНМ 11.817.05.05.А «Электрофизикохимические методы получения и обработки новых материалов и покрытий, обладающих улучшенными функциональными свойствами» и темы НИЛ ПГУ им.Т.Г.Шевченко №061100284 «Разработка методов получения и обработки наноматериалов и структур, обладающих улучшенными функциональными свойствами», под руководством научного руководителя или лично автором, а также при участии соавторов публикаций.

На защиту выносятся:

- установленные взаимосвязи между составами электродов, режимами обработки и свойствами поверхности алюминиевых сплавов, подвергаемых электроискровому легированию, и образованием микро- и наноструктур в покрытии.

- технологии получения покрытий на алюминиевых сплавах с использованием эффекта модифицирования поверхности и получения покрытий с наращенным слоем в условиях электроискрового легирования при механизированном нанесении покрытий;

- рекомендации по применению процесса электроискрового легирования для восстановления изношенных алюминиевых поверхностей, включающих выбор режима, химического состава электрода и скорости обработки;

- основы технологий восстановления и ремонта посадочных мест под подшипники в деталях из алюминиевых сплавов, а так же подготовка в условиях ремонта алюминиевых деталей под пайку .

Апробация результатов работы осуществлялась путем:

- публикаций результатов исследований в рецензируемых изданиях;
- докладов и обсуждений результатов работы на следующих конференциях, в том числе международных:
 - III Международной научно-технической конференции «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей» г.Кострома 15-17 февраля 2010 г.;
 - International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering German-Moldova Worksnop on Novel Nanomaterials for Electronic, Photonic and Biomedical Applications Proceedings Chisinau, Moldova April 18-20, 2013;
 - Международной объединенной конференции :
 - IV конференции "Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей"
 - V конференции "Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии". 16-20 сентября 2013 г. Плес, Россия;
 - BALTRIB 2013. VII International Scientific Conference 14-15 November 2013 ;
 - IX Международной научно-практической конференции «Научные проблемы технического сервиса сельскохозяйственных машин» 11-12 декабря 2013 г. Москва;
 - Международной конференции MSCMP 2014 году (Молдова, Кишинев, 16-19 сентября 2014 г.),
 - 7th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics. Chisinau, Moldova. September 16-19, 2014.
 - 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering/ ICNBME-2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova
- Международного научно-практического симпозиума «Достижения и перспективы в

агроинженерии и автотранспорте». Государственный аграрный университет Молдовы факультет агроинженерии и автотранспорта г. Кишинев. Молдова. 11-13 ноября 2015г.

Внедрение результатов. Разработанная технология восстановления посадочных мест под подшипники в деталях из алюминиевых сплавов с помощью электроискрового легирования принята к внедрению на предприятиях ДООО «Молдавизолит РиО», ООО «Торговый проект» г.Тирасполь .

Разработанная технология ремонта трубчатых сердцевин алюминиевых радиаторов автотракторных двигателей с помощью комбинированной обработки электроискровым легированием и низкотемпературной пайки. принята к внедрению на предприятии ООО ПКП «Современные технологии» г. Тирасполь.

Полученные результаты были использованы в подготовке европейского проекта Oil&Sugar, GA № 295202, а так же в учебном процессе при подготовке магистерских диссертаций и дипломных работ ПГУ им. Т.Г.Шевченко.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы девятнадцать печатных работ. Из них десять статей (четыре – из которых в рецензируемых изданиях списка СНАА); два патента, подтверждающих прикладные результаты работы.

Объем и структура работы. Диссертационная работа написана на русском языке, состоит из введения, 5 глав, общих выводов, рекомендаций и списка цитируемой литературы. Работа содержит 135 страниц текста, 51 рисунок, 29 таблиц, список литературы, включающий 178 источников.

Ключевые слова. Электроискровая обработка, электроискровое легирование, алюминий, наноструктурирование, износостойкость, микро – и нанонити оксида олова, оксид алюминия.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Обоснована актуальность исследуемой проблемы, излагается научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы цели и задачи исследования и основные положения, вынесенные на защиту.

Глава 1. Анализ ситуации в области технологии получения электроискровых покрытий на алюминиевых сплавах и их использование при ремонте деталей машин.

В главе представлен аналитический обзор ранее опубликованных работ, посвященных формированию структуры и свойств поверхностей, полученных с помощью электроискрового легирования. Кратко рассмотрены существующие на данный момент физические модели процесса (Б. Р. Лазаренко и И. И. Лазаренко; А.Д. Верхотурова; Б. И. Золотых; В. И. Раховского и Л. М. Ягудаева и др.). Подробно рассмотрен механизм образования покрытий на обрабатываемой электроискрового легирования поверхности. Особенностью электроискрового легирования алюминиевых поверхностей компактными электродами из чистого алюминия является невозможность получения покрытий из-за большой эрозии катода, что не позволяет получить качественное покрытие требуемой толщины [2]. Рассмотрены новые технологии электроискрового легирования – использование импульсов переменной величины [3], применение обрабатывающих электродов с: гетерофазной структурой и электроосаждением порошков [4], применение обрабатывающих электродов с обмазками, изготовленными, в том числе, с использованием технологии сухого изостатического прессования [5], применение обрабатывающих электродов, полученных с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и модифицированные нанокристаллическими добавками [6,7]. Результаты их использования для электроискрового легирования деталей из алюминиевых сплавов отсутствуют, либо крайне малочисленны. Рассмотрены особенности образования наноструктур в условиях электроискрового легирования и их влияния на свойства получаемых поверхностей [7, 8]

Глава 2. Методические особенности технологии получения, исследования состава и свойств электроискровых покрытий. Оборудование и материалы.

В разделе 2.1 приведены параметры установок, которые использовались для электроискрового легирования, а также параметры специальной экспериментальной установки, разработанной для механизированного нанесения покрытия.

В разделе 2.2 приведены технологии получения обрабатывающих электродов и технологических образцов для испытаний. Обрабатывающим электродом из сплава Al-Sn отливались как в центробежной машине, так и в кокиль, по специально изготовленной оснастке. Плавка производилась в индукционной печи ВЧИ-10У по стандартной технологии с применением лигатур. Образцы изготавливались фрезерованием из листа сплава Д1 (ГОСТ 4784).

В разделе 2.3 подробно рассмотрена технология нанесения электроискровых покрытий с помощью установки «ALIER-31» как в ручном, так и механизированном вариантах в различных средах (воздух, аргон).

Использовались различные методы нанесения покрытий: при постоянном числе нанесенных слоев и различной скорости перемещения обрабатываемым электродом относительно образца и "постоянной величине пропущенного заряда" за счет сохранения времени обработки образца постоянным, а также при различной скорости перемещения обрабатываемого электрода.

В разделе 2.4. приведены методики исследования свойств поверхности образцов. Поверхность образцов (до и после обработки) с целью изучения морфологии и элементного состава исследовалась с помощью сканирующей электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп TESCAN с приставкой для элементного анализа поверхности INCA Energy EDX (Oxford, Великобритания))

Металлографическому анализу подвергались шлифы из тела обрабатываемого электрода и покрытия образцов, на исследовательском металлографическом микроскопе МИМ10 при различных увеличениях. Рентгенофазовый анализ с помощью установки ДРОН УМ1 (FeK_{α} - излучение, Mn фильтр, $\theta/2\theta$ метод) проводился с целью определения фазового состава покрытий и обрабатываемого электрода. Шероховатость поверхности образцов по Ra и её профиль определялись с помощью профилографа-профилометра «Surtronic, Taylor Hobson, GB» Великобритания. Для определения микротвердости покрытий использовался прибор марки ПМТ – 3, с применением усовершенствованной методики фиксации размеров отпечатка.

В разделе 2.5 приведена методика трибологических испытаний покрытий образцов. Тестовые испытания на износ полученных покрытий проводили на машинах трения:

- с возвратно-поступательным движением образца относительно контртела, (по методике Института прикладной физики Академии наук Молдовы);
- с вращательным движением по схеме «диск-колодка» (стандартная машина трения СМЦ-2 Национальный трибологический центр, г.Каунас, Литва).

Глава 3. Технология получения электроискровых покрытий на алюминиевых сплавах электродами из сплава Al-Sn

Эксперименты по нанесению покрытия из сплава Al-Sn(AO20-1) на сплав Д1 в условиях ручного легирования показали :

- при режимах работы установки с низкой энергией импульсов (режимы 1÷5 Alier-31 с энергией импульса в диапазоне: $0,036 \div 0,798$ Дж и длительностью импульсов в диапазоне: $16 \div 25$ мкс) покрытие на образце из сплава Д1 не образуется. Распыляемый с обрабатывающего электрода материал достигает образца, но выброс металла с образца превышает привес материала электрода. Поверхность образца модифицируется без увеличения толщины слоя;

- при увеличении энергии импульса до 3.2 Дж количество материала уносимого с анода возрастает в $6 \div 7$ раз, одновременно увеличивается привес образца.

При относительно малых энергиях импульса имеет место потеря в весе образца, увеличивающаяся с увеличением энергии импульса (область I на рис.3.1.) При увеличении энергии в импульсе наблюдается перенос материала электрода на поверхность образца, сопровождающийся приращением его в весе (область II на рис. 3.1) .Полученные экспериментальные данные соответствуют выводам, полученным, в частности, в работе [3] где используются импульсы переменной величины. Различие состоит в том, что в данном случае функции переменных импульсов выполняют различные режимы нанесения:

I режим – низкие значения энергий импульса / высокие скорости перемещения обрабатывающего электрода относительно образца;

II режим – высокие значения энергий импульса / низкие скорости перемещения обрабатывающего электрода относительно образца.

Морфология образца после обработки при интенсивных режимах представляет собой скопление микро- и нанонитей в алюминиевой матрице (рис. 3.2)

Анализ состава нитей показывает, что в основном это диоксид олова (рис.3.3).

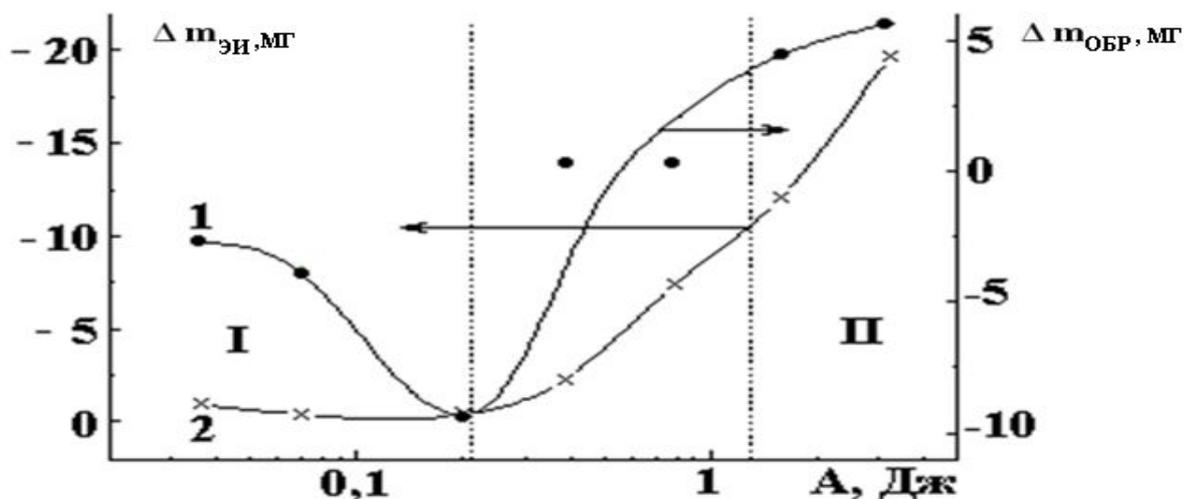


Рис 3.1 Зависимость изменения массы образца(1) и обрабатывающего электрода (2) от энергии импульса

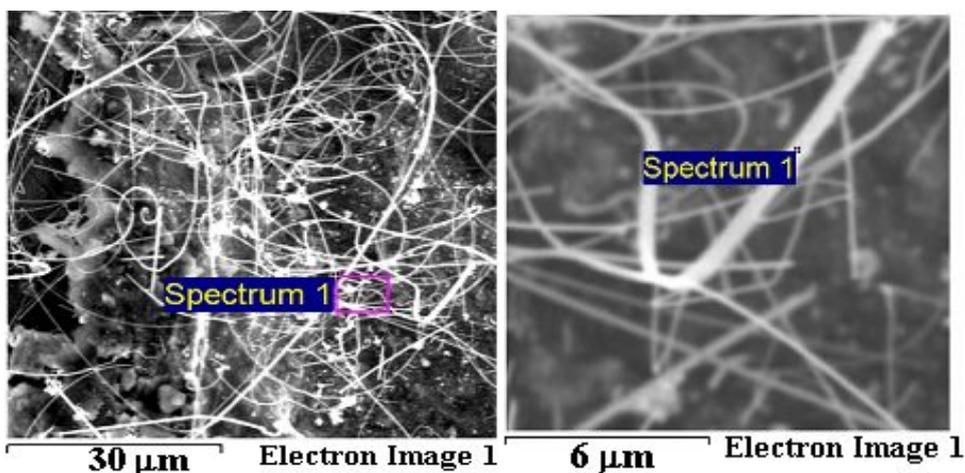


Рис.3.2 Поверхность фрагмента образца после электроискрового легирования обрабатываемым электродом Al-Sn с энергией импульса 3,2 Дж ($t = 50$ мкс)

На рис.3.3 представлены результаты элементного анализа крупного фрагмента нити что позволяет с большей точностью осуществить анализ, из которого следует, что нити представляют собой в основном оксид Sn.

Учитывая, что диаграмма состояния Al-Sn при температуре выше температуры плавления легкоплавкого компонента представляет собой жидкую фазу (Sn) в межзеренном пространстве, в условиях ЭИЛ вследствие пондеромоторных сил капли легкоплавкого компонента вытягиваются в микро- и нанонити, которые переносятся на обрабатываемую поверхность в виде оксида Sn, когда ЭИЛ осуществляется в воздушной среде.

Полученные в покрытии микро- и нанонити олова или его оксида (в зависимости от атмосферы при нанесении) играют роль «арматуры», позволяющей получить слой на поверхности, в отличие от легирования обрабатываемым электродом из чистого Al без олова.

Образующиеся нити представляют собой ядро из Sn, покрытое оксидом Sn, так как расчеты показывают, что содержание олова превышает необходимое для SnO_2 по стехиометрии (см рис 3.3,3.4).

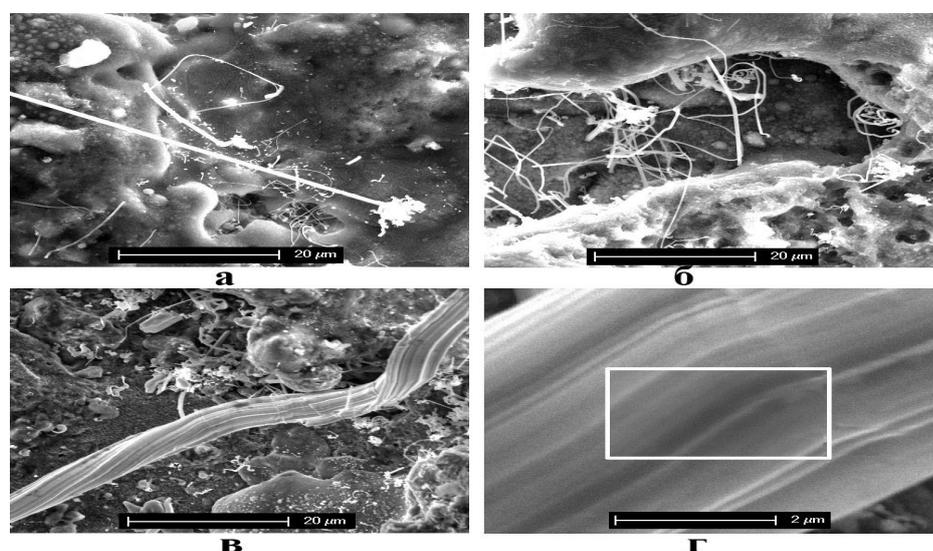


Рис.3.3 Морфология поверхностных слоев, полученных после электроискрового легирования в условиях механизированного нанесения покрытия $v=0,6$ (мм/с) при энергии импульса 3,2 Дж

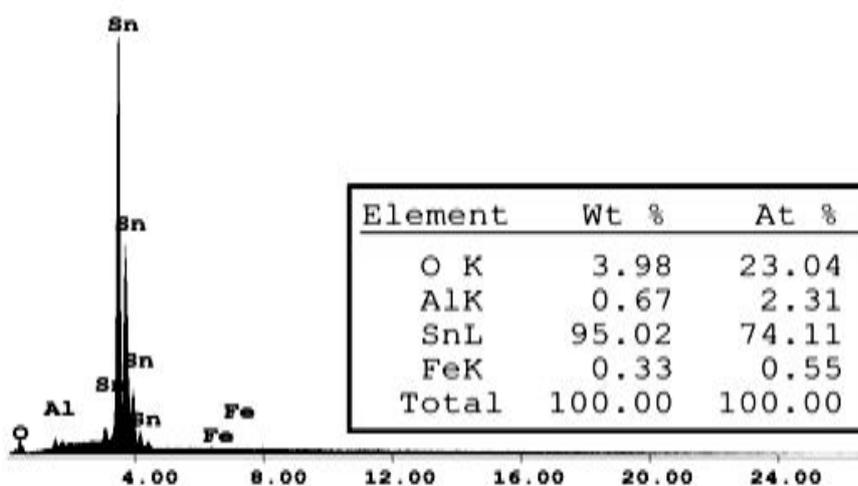


Рис.3.4 Элементный состав поверхностного слоя, полученного после электроискрового легирования в условиях механизированного нанесения покрытия ($v=0,6$ мм/с) при энергии импульса 3,2 Дж $t=1000$ мкс).

Глава 4. Физико – механические свойства поверхностного слоя алюминиевого сплава, полученного электроискровым легированием электродами Al-Sn.

Испытания на износостойкость поверхностей полученных электроискровым легированием электродами Al-Sn (машина трения с возвратно-поступательным движением, скорость перемещения 0,07 м/сек, нагрузка - 10 МПа в течении 10 часов) показали, что износ образцов с таким покрытием примерно в 10 раз меньше, чем износ закаленной стали (рис.4.1), из которой изготовлено контртело. Максимальный износ образцов из сплава Д1 наблюдается для необработанной электроискровым легированием поверхности (рис. 4.1). В этом случае износ контртела по величине на один-два порядка меньше износа образца. Результаты, представленные на диаграмме рис.4.1. представляют собой измеренные величины относительного износа :

$$U = \Delta U_{\text{кт}} / \Delta U$$

где $\Delta U_{\text{кт}}$ – износ контртела за время испытания (мг),

ΔU – износ образца за время испытания (мг).

Очевидно, что при $U > 1$ износ контртела существенно превышает износ образца в отличие от значений $U < 1$.

Предположение, что высокая относительная износостойкость покрытия объясняется его высокой твердостью после электроискрового легирования при измерениях микротвердости с использованием твердомера ПМТ-3 не подтвердилось (таб. 4.1).

Таблица 4.1.

Микротвердость HV_{100} покрытия и контртела ($кг/мм^2$).

Образец из Д1 до нанесения покрытия	Образец из Д1 после нанесения покрытия обрабатывающим электродом Al-Sn	Контртело из закалённой стали
$88,33 \pm 3,27$	$63,00 \pm 5,00$	$571,00 \pm 22,00$

Рентгенофазовый анализ покрытия показал отсутствие каких-либо рефлексов в покрытии, что свидетельствует о том, что эти оксиды находятся в аморфном состоянии.

Результаты сравнительных испытаний образцов, полученных на машине трения с возвратно- поступательным движением («мягкий» режим) при трении со смазкой, полученных обрабатывающими электродами из чистого Al, из чистого Sn, а так же электродами Al-Sn, в воздушной среде и в аргоне приведены на рис 4.1.

Нанесение покрытий из чистого олова, а также нанесение покрытий из чистого алюминия (рис.4.1) на образец из сплава Д1 и проведение износных испытаний показало, что износ покрытия в этих случаях несколько раз больше износа контртела.

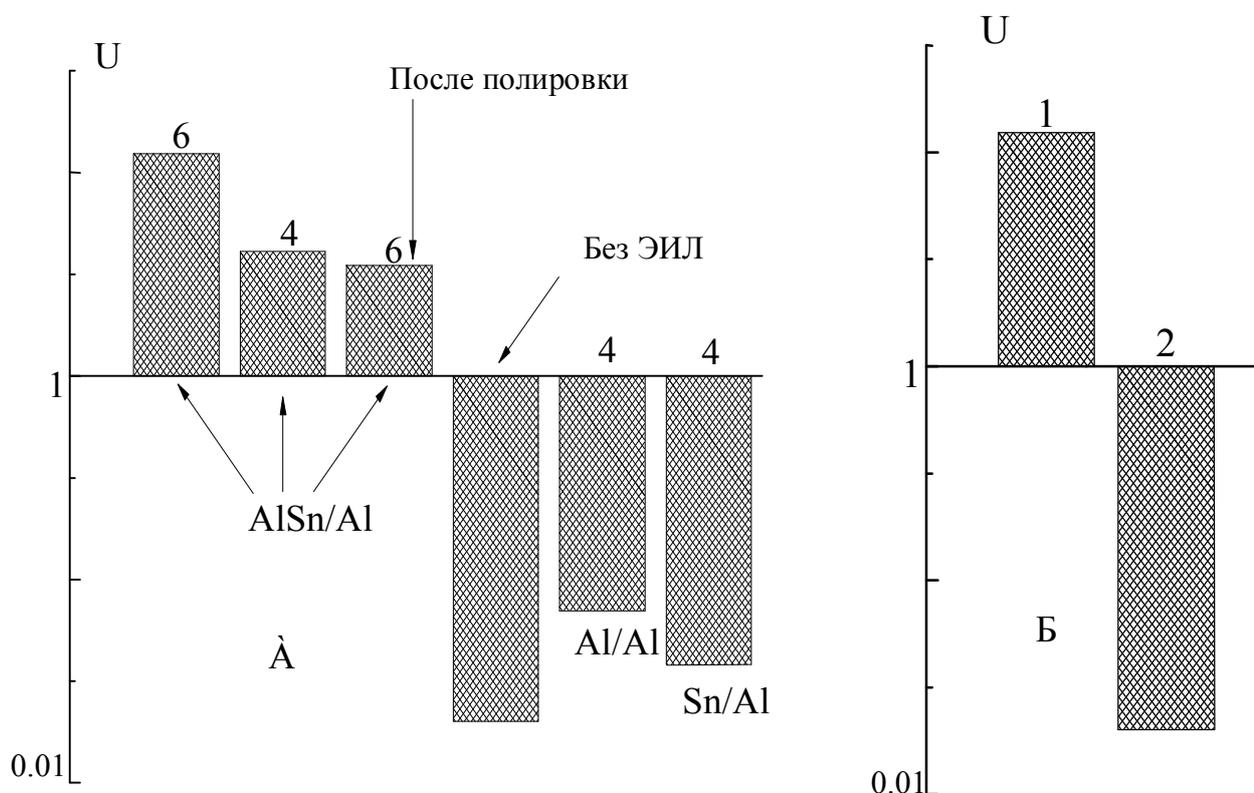


Рис. 4.1. Относительный износ поверхностей при электроискровом легировании на воздухе (А) и сравнение износа поверхностей (Б) при обработке на воздухе (1) и в атмосфере аргона (2). Цифры на рис. А соответствуют режимам обработки установки Alier-31.

Эксперименты по нанесению с помощью методом электроискрового легирования покрытий на сплав Д1 электродами из Al-Sn в среде аргона, когда возможность образования оксидов олова и алюминия в виде микро - и нанонитей отсутствует, показали, что относительная износостойкость покрытия приближается по величине к относительной износостойкости образца без покрытия (рис.4.1 Б).

Очевидно, что полученное покрытие представляет собой поверхность алюминиевого сплава с вкрапленными в него микро- и нанонитями SnO_2 , которые и определяют высокую износостойкость покрытия ($\text{HV}_{100} \text{SnO}_2 = 1200 \text{ кг/мм}^2$). Свойства покрытия практически не изменяются после частичного удаления поверхностного слоя в 0,2 мм, что свидетельствует об образовании нанонитей по всему объему покрытия.

Испытания покрытия, полученного в механизированном режиме, подтвердили существование эффекта повышенной износостойкости легированных поверхностей и позволили определить оптимальные условия её получения.

На рис.4.2 представлена зависимость скорости осаждения (в мг/с см^2) от скорости перемещения обрабатывающего электрода относительно образца. Также, как в случае ручного варианта, имеют место 2 решения: с получением слоя на поверхности образца (режим I рис 4.2, малые скорости перемещения обрабатывающего электрода ЭИ относительно образца) и «модификация поверхностного слоя» (режим II рис.4.2, высокие скорости перемещения обрабатывающего электрода) Переход от режима I к режиму II сопровождается снижением шероховатости поверхности. Представленные на рис 4.3 результаты испытаний поверхностей полученных методом электроискрового легирования при механизированном нанесении покрытий (независимо от режима) в условиях интенсивных видов трения и износа (машина трения СМЦ-2, схема диск-колодка нагрузка 1000 Н, скорость вращения контртела относительно образца – 270 об /мин, время нагружения - 8 часов) показали наличие эффекта существенного превышения износа контртела из закаленной стали в сравнении с износом покрытия.

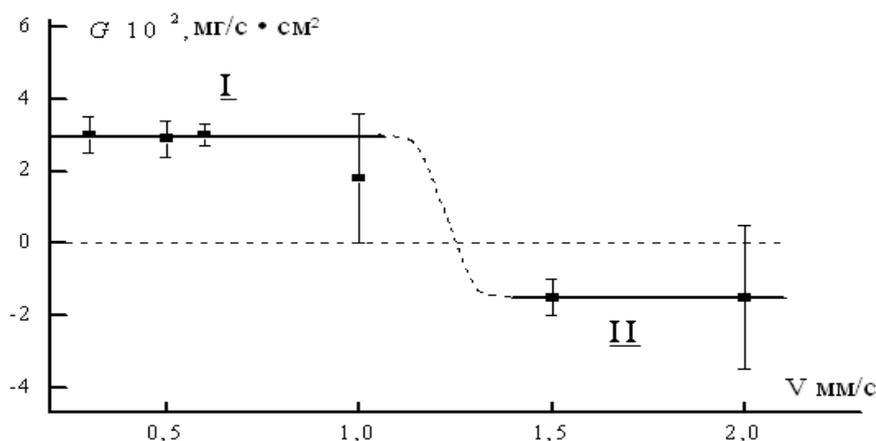


Рис. 4.2. Зависимость удельной скорости обработки от скорости перемещения обрабатывающего электрода относительно обрабатываемой поверхности.

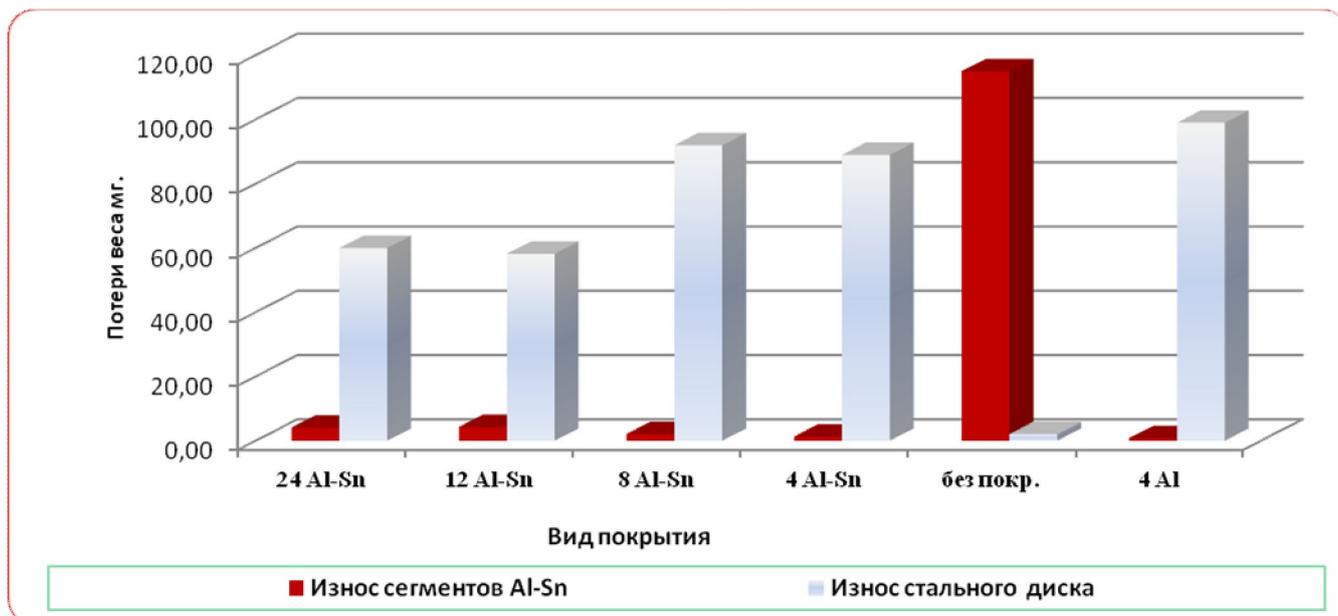


Рис. 4.3. Результаты испытаний на относительную износостойкость образцов после ЭИЛ со смазкой, при изменяющейся нагрузке длительностью по 15 мин на каждом приложении силы: 200, 400, 600, 800, 1000 Н.

Иная картина наблюдается при испытании образцов на износ без смазки. Износостойкость образцов с покрытием без смазки незначительно снижается по сравнению с образцами, испытанными со смазкой, а износ контртела уменьшается на порядок. Результаты испытаний показывают, что покрытия из сплава Al-Sn показывают высокую износостойкость и при отсутствии смазки. Однако в этом случае максимальный износ контртела наблюдается не при обрабатываемым электродом из сплава Al-Sn, а при обработке электродом из чистого алюминия.

Измерения микротвердости до и после испытаний на износ в условиях сухого трения на машине СМЦ-2 показали существенное изменение её вследствие изменения структуры, за счет окисления элементов покрытия (Al, Sn). Это подтверждается повышением микротвердости с $HV_{100} 88,33 \pm 3,27$ кг/мм² до $HV_{100} 304 \pm 50$ кг/мм².

Таким образом, в относительно «мягких» условиях трения определяющую роль будут играть микро- и нанонити из SnO₂, в условиях «жестких» испытаний роль нанонитей из SnO₂ нивелируется и определяющую роль в износостойкости играет обработанная электроискровым легированием матрица.

Исследования свойств покрытий, полученных путем электроискрового легирования поверхности алюминиевого сплава Д1 электродами из сплава Al-Pb также показали аномальную износостойкость (рис. 4.4), что подтверждает предположение о наличии особенностей свойств поверхностей после электроискрового легирования не только для обработки электродом из Al-Sn, но и при обработке электродом, представляющим собой механическую смесь легкоплавкого компонента в тугоплавкой матрице. Кроме того,

результаты, приведенные на рис. 4.4, свидетельствуют о том, что высокая шероховатость полученных после ЭИЛ поверхностей, не является основной причиной наблюдаемых эффектов.

Исследования изменения состава обрабатываемого электрода в процессе электроискрового легирования с помощью рентгенофазового анализа показали, что оксиды Al, Sn, Cu не обнаружены, хотя согласно элементному анализу кислород присутствует. Следовательно, оксиды находятся в аморфном (некристаллическом) состоянии. В процессе электроискрового легирования происходит интенсивное окисление элементов, входящих в состав электрода. Количество кислорода увеличивается с $7 \div 11\%$, до $29 \div 45\%$ т.е. почти в 4 раза. В процессе электроискрового легирования также происходит взаимное обогащение элементами обрабатываемого электрода и образца, т.е. часть элементов переносится не только с обрабатываемого электрода на образец, образуя покрытие, но и с образца на электрод, образуя вторичные структуры. Дополнительное окисление поверхности обрабатываемого электрода в процессе электроискрового легирования требует периодического механического обновления поверхности электрода.

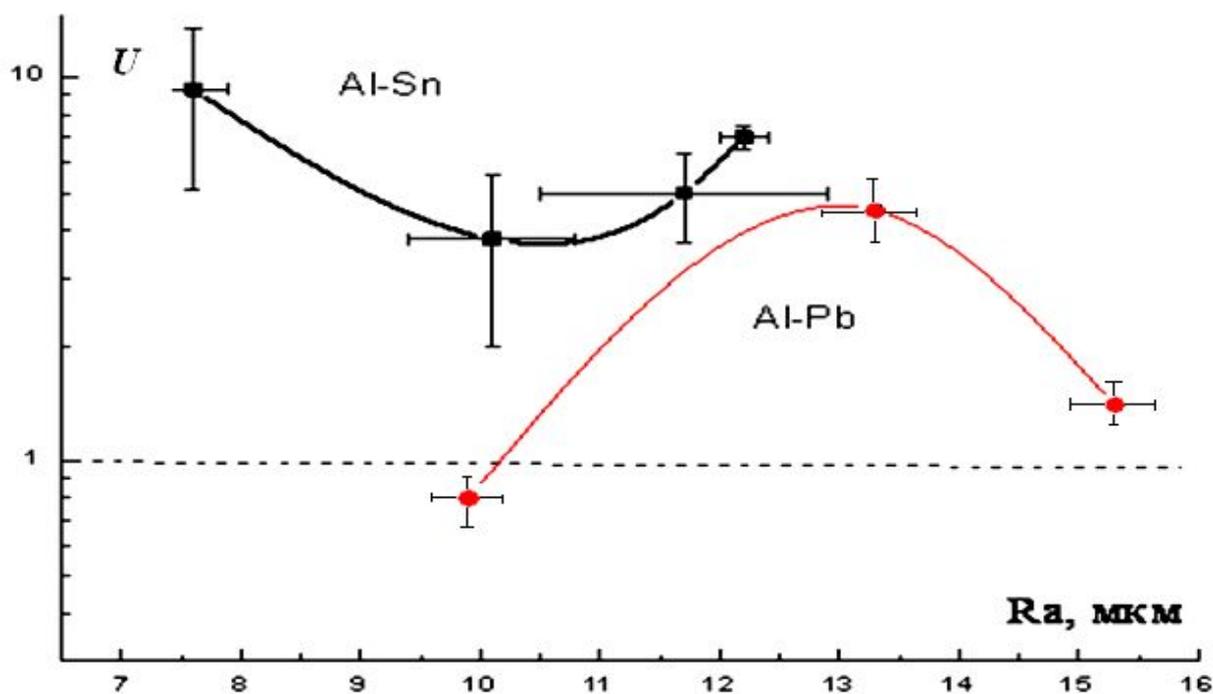


Рис. 4.4 Зависимость коэффициента относительного износа покрытия от шероховатости поверхности в условиях сухого трения.

Глава 5. Разработка технологий получения покрытий на детали из алюминиевых сплавов методом электроискрового легирования.

Для практического внедрения результатов исследования были разработаны технология восстановления посадочных мест под подшипники в алюминиевых деталях, технология ремонта автотракторных радиаторов с алюминиевыми трубками, а также технология получения инструмента для абразивной обработки деталей.

Объектом ремонта выбраны крышки электрогенераторов и подшипниковые щиты электродвигателей. Для восстановления посадочных мест разработана технология (патент ПМР №458) с использованием «барьерных» слоев. С помощью этой технологии были восстановлены посадочные места в крышках электрогенераторов и в корпусе водяной помпы автомобиля «Газель».

При ремонте автотракторных радиаторов с алюминиевыми трубками пайка затруднена из-за наличия оксидной пленки на алюминиевых трубках и малой толщины стенки ($\sim 0,4 \cdot 10^{-3}$) м. Разработана новая, безфлюсовая технология пайки автотракторных радиаторов (патент ПМР №457), сущность которой заключается в предварительном разрушении оксидной пленки электродом из сплава Al-Sn(AO20-1) с помощью электроискрового легирования и последующей пайки припоем ПОС-40 обычным электропаяльником. Экспериментальная проверка запаянных трубок путем испытания давлением воздуха $0,9 \text{ кг/см}^2 \div 1,2 \text{ кг/см}^2$ показала надежность разработанного способа. Расчет экономической эффективности разработанной технологии показал, что при годовой программе ремонта 500 радиаторов экономия может составить 27 709 \$ в год.

Одним из методов использования покрытия, полученного на алюминиевых деталях методом электроискрового легирования, является изготовление и восстановление абразивного инструмента для шлифовки стальных деталей, а так же для заточки и доводки режущего инструмента.

В качестве инструмента для абразивной обработки деталей использовался диск из алюминиевого сплава Д1 с нанесенным на рабочую поверхность абразивным слоем. Для нанесения использовался метод электроискрового легирования с обрабатываемым электродом из сплава Al-Sn. Показано, что с использованием данного инструмента возможна шлифовка поверхностей стальных деталей закаленных до твердости HRC 55 единиц.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что в условиях электроискрового легирования сплавами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента диспергированного в тугоплавком (системы Al-Sn, Al-Pb), возможно образование на обработанной поверхности микро – и нанонитей, состоящих из легкоплавкого компонента и его оксидов, образующихся в процессе переноса с анода, благодаря чему получается нанокомпозит, обладающий высокой износостойкостью. [1*] Предложенный метод можно рассматривать как аналог электроспиннинга – метода получения нанонитей из расплавов и полимеров в электрическом поле.

2. Показано, что в условиях трения, как со смазкой, так и без, на поверхности покрытий, полученных на алюминиевом сплаве Д1 с помощью электроискрового легирования электродами из сплава Al-Sn, относительная износостойкость в несколько раз превышает относительную износостойкость закаленной стали. Установлено, что наблюдаемый эффект обеспечивается наличием в покрытии оксидов олова в виде микро- и нанонитей [3*].

3. В условиях электроискрового легирования исследована зависимость массопереноса обрабатывающего электрода из сплава Al-Sn в зависимости от скорости его движения относительно обрабатываемой поверхности. Показано, что максимальный массоперенос в условиях механизированного нанесения покрытий наблюдается при низкой скорости перемещения обрабатывающего электрода относительно образца ($<1,5 \cdot 10^{-3}$ м/с) При более высоких скоростях перемещения массоперенос практически отсутствует и наблюдается только модифицирование поверхностного слоя. [4**]

4. В условиях электроискрового легирования при механизированном нанесении исследована зависимость шероховатости получаемой поверхности от скорости движения обрабатывающего электрода. Показано, что с увеличением скорости движения обрабатывающего электрода относительно обрабатываемой поверхности, шероховатость полученного покрытия снижается, а относительная износостойкость растет. [4**]

* - ссылка на список опубликованных статей автора.

** -- ссылка на список опубликованных тезисов докладов и материалов конференций

5. Установлено, что в результате испытаний в относительно «мягких» условиях трения (невысокая нагрузка при относительно низкой скорости) определяющую роль в повышении износостойкости покрытия играют микро - и нанонити из оксидов олова, а в условиях «жестких» испытаний (высокая нагрузка и высокая скорость) роль микро - и нанонитей нивелируется, и определяющую роль играет обработанная методом электроискрового легирования матрица.

Показано, что микротвердость покрытия при трении без смазки в «жестких» условиях испытаний увеличивается за счет изменения структуры покрытия с образованием оксидов элементов. [7*].

6. Показано, что в процессе электроискрового легирования обрабатываемым электродом Al-Sn происходит окисление его поверхности и обогащение обрабатываемого электрода элементами электрода-образца, что диктует необходимость периодического восстановления поверхности обрабатываемого электрода. [10*]

7. Исследована возможность получения слоя покрытия повышенной толщины с применением технологии многослойных покрытий с периодическим нанесением «барьерных слоёв». В качестве «барьерного слоя» среди исследованных сплавов (Al-Zn, Al-Cu, Al-Ni и др.) наилучшими свойствами обладает сплав Al-Ni , позволяющий получать покрытия толщиной до $0,5 \cdot 10^{-3}$ м. По результатам исследования разработана технология восстановления геометрической формы изношенных алюминиевых деталей. [9*]

8. Разработанный технологический процесс внедрен в производство на предприятиях Приднестровья, а так же в учебный процесс Инженерно-технического института Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко, г. Тирасполь.

* - ссылка на список опубликованных статей автора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nandana Bhardwaj, Subhas C.Kundu, Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. In : Biotechnology Advances, 2010, vol.28, pp.325-347.
2. Михайлов В.В., Абрамчук А.П. Особенности электроискрового легирования алюминия и его сплавов In: Электронная обработка материалов, 1986, №2, С.36-41.
3. Ribalko A.V., Sahin O., Korkmaz K. A modified electrospark alloying method for low surface roughness. In :Surface & Coatings Technology, 2009, vol. 203 P. 3509–3515.
4. Paustovskii A. V. et... Optimization of the composition, structure, and properties of electrode materials and electrospark coatings for strengthening and reconditioning of metal surfaces. In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013 vol.49, Issue 1, pp 4-12.
5. Богинский Л.С. Саранцев В.Ю., Хина Б.Б. Получение электродов для электроискрового легирования деталей с обмазками с использованием технологии сухого изостатического прессования и СВС. In: Техника машиностроения, 2002. №4.
6. Левашов Е.А. и др. Особенности влияния нанокристаллических порошков на структуру и свойства сплава TiC-Ti3AlC2, полученного методом СВС. In: Физика металлов и металловедение, том 95, 2003, № 6, С.58-64.
7. Nikolenko S. V. Nanostructuring a steel surface by electrospark treatment with new electrode materials based on tungsten carbide. In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2011, vol. 47, Issue 3, pp 217-224.
8. Topala P. ,Ojegov A.,Ursaki V. Nanostructures obtained using electric discharges at atmospheric pressure. In : Nanostructures and Thin Films for Multifunctional Applications, Technology, Properties and Devices(ed. I.Tiginyanu, P.Topala, V.Ursaki Springer 2016, pp. 43-83.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи :

1. Yurchenko V.I., Yurchenko E.V., Fomichev V.M., Baranov S.A., Dikusar A.I. Obtaining of Nanowires in Conditions of Electrodischarge Treatment with an Al-Sn Alloy. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2009, Vol 45 (4). p. 259-264.
2. Юрченко В.И., Юрченко Е.В., Фомичев В.М., Агафий В.И., Силкин С.А., Дикусар А.И. Поверхностные слои, полученные при электроискровой обработке алюминиевых поверхностей сплавом Al-Sn и их износостойкость при сухом трении. Вестник науки Приднестровья, 2012. №2. С.172-184.

3. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Petrenko V.I., Fomichev V.M., Yurchenko V.I., Dikusar A.I.. Electrospark alloying for deposition on aluminum surface of Al-Sn coatings and their wear resistance under dry friction. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2013. Vol 49 (3). p.1-8.

4. Юрченко Е.В., Юрченко В.И., Дикусар А.И. Наноструктурирование поверхности из алюминиевых сплавов в условиях электроискрового легирования. Наноинженерия, 2013. №2. С.12-24.

5. Дикусар А.И., Юрченко Е.В. Восстановление и упрочнение алюминиевых деталей наноструктурированием поверхности с помощью ЭИЛ электродами из сплава Al-Sn Труды ГОСНИТИ 2013. т.113 С.354-364.

6. Юрченко Е.В., Иванов В.И. Технологии восстановления деталей из алюминиевых сплавов методом электроискрового легирования. Труды ГОСНИТИ 2014. т.117 С.251-255.

7. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Petrenko V.I., Kupcinskas A., Zunda A., Dikusar A.I. Al-Sn Nanostructured Coatings on Aluminum Surfaces Using Electrospark Alloying and Their Wear Behavior Balttrib' 2013. VII International Scientific Conference. Proceedings Kaunas, Lithuania - November 14-15 2013. p. 93-99.

8. Yurchenko E. Application of the Strengthening Nanostructured Coatings Obtained at Electrodischarge Treatment by Tool Electrodes Manufacturing from Al-Sn Alloy. Book IFMBE Proceedings Vol. 55, 2016, 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering/ ICNBME-2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova p. 105-112.

9. Юрченко Е.В. Увеличение толщины наноструктурированных электроискровых покрытий обрабатывающим электродами из сплава Al-Sn₂₀ на алюминиевых поверхностях. LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE VOLUMUL 45 INGINERIE AGRARĂ ȘI TRANSPORT AUTO 2015. С.252-255.

10. E. V. Yurchenko, V. I. Yurchenko, I. V. Yakovets, A. I. Dikusar. Changes in Composition and Properties of Tool Electrode during Electrospark Alloying with Al-Sn Alloy. Surface Engineering and Applied Electrochemistry 2016 Vol. 52 (2). p 157-161.

Тезисы докладов и материалы конференций :

1.Юрченко В.И., Юрченко Е.В., Фомичев В.М., Баранов С.А., Дикусар А.И. Получение нанонитей в условиях электроразрядной обработки. Материалы III Международной научно-технической конференции «Электрохимические и электролитно-

плазменные методы модификации металлических поверхностей». - Кострома. – 15-17 февраля 2010. С. 287-290.

2. Дикусар А.И., Юрченко В.И., Юрченко В.А., Фомичев В.М., Юрченко Е.В., Агафий В.И. Получение электроискровых покрытий содержащих нанонити оксида олова, и их износостойкость Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2011. Тирасполь. -16-24 января 2012, С 160-171.

3. Юрченко Е.В. Экспериментальное исследование процесса наноструктурирования поверхности алюминиевого сплава Д1 Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2012. Тирасполь. -16-26 января 2013, С 34-37.

4. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Yurchenko V.I., Petrenko V.I., Dikusar A.I. Deposition of Al-Sn Nanostructuring Coatings on Aluminum Surface Using Electrospark Alloying and Their Wear Resistance under Friction in Oil. International conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering German-Moldovan Worksnop on Novel Nanomaterials for Electronic, Photonic and Biomedical Applications Proceedings. Chisinau, Moldova April 18-20. 2013 p. 227-230

5. Юрченко Е.В., Дикусар А.И. Модифицирование поверхности алюминиевых деталей в условиях ЭИЛ обрабатываемыми электродами из сплава Al-Sn и их механические свойства Международная объединенная конференция V конференция «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», VI конференция «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей». Тезисы докладов. Плес Ивановская область. -16-20 сентября 2013. С.66.

6. Юрченко Е.В. Определение износостойкости покрытий на алюминиевых сплавах при испытании на трение по схеме «диск-колодка» Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2013. Тирасполь. -15-17 января 2014, С 34-36.

7. E.V. Yurchenko. Changing the properties of the tool-electrodes under conditions of the electrospark alloying of aluminum surfaces using Al-Sn alloy. 7th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics. Chisinau, Moldova. September 16-19, 2014. С 331.

Патенты:

1. Патент №457 Приднестровская Молдавская Республика (51) В23 Н5/00 Способ пайки алюминиевых изделий Е.В.Юрченко, Е.В. Пучкова заявл. от 21.05.2014.

2. Патент №458 Приднестровская Молдавская Республика (51) B23 H, B 82 Y
Способ легирования поверхности алюминиевого изделия Е.В.Юрченко,
А.И. Дикусар заявл. от 08.07.2014.

3. Hotarare № 8499 din 2016.09.15 Procedeu de obtinere materialului abraziv pe liant de
aluminii. Iurcenko Evgenii, Agafii Vasilie, Dicusar Alexandr, Bortoi Tudor.

ADNOTARE

la teza „**Tehnologia de obținere a acoperirilor nanostructurate durificate prin scânteii electrice pe aliaje de aluminiu și utilizarea lor în restaurarea și repararea pieselor de mașini**”, prezentată de Iurcenco Evghenii pentru conferirea gradului de doctor în științe tehnice, Chișinău, 2016.

Teza este scrisă în limba rusă și constă din introducere, 5 capitole, concluzii generale, recomandări și bibliografia lucrărilor citate. Lucrarea conține 139 de pagini de text, 54 figuri, 29 tabele, bibliografie din 188 titluri.

Publicațiile la tema tezei: rezultatele obținute au fost publicate în 19 lucrări științifice (10 articole, 7 teze și materialele rapoartelor la conferințe), 2 brevete.

Cuvinte cheie: prelucrare cu scânteii electrice, aliere cu scânteii electrice, aluminiu, nanostructurare, rezistența la uzură, micro- și nanofibre ale oxidului de staniu, oxid de aluminiu.

Domeniul de studiu: – Tehnologii electrofizice și ingineria suprafețelor.

Scopul lucrării constă în stabilirea legăturilor de formare a acoperirilor rezistente la uzură pe piesele din aliaje de aluminiu pentru recondiționarea suprafețelor uzate cu ajutorul electrozilor utilizați în alierea cu scânteii electrice (ASE), care reprezintă un amestec mecanic a componentei fuzibile în matricea refractară, și pe această bază – în elaborarea tehnologiei de recondiționare a suprafețelor uzate.

Noutatea și originalitatea științifică a tezei:

S-a constatat că în condiții de aliere prin scânteii electrice cu electrodul-sculă, care reprezintă un amestec mecanic al componentei fuzibile dispersat în matricea refractară, poate avea loc formarea particulelor microdisperse pe suprafața prelucrată, inclusiv a micro- și nano-fibrelor, care constau din componenta fuzibilă și oxizii acesteia, formate în procesul de transfer de la anod, astfel obținându-se un nanocompozit, cu o rezistență înaltă la uzură.

S-a stabilit că în condiții de frecare la o sarcină mică și la o viteză relativ mică de deplasare reciprocă a probei și contracorpului, un rol decisiv în creșterea rezistenței la uzură îl au micro- și nanofibrele din oxid de staniu, iar în condiții de frecare la o sarcină mare și la o viteză mare, rolul micro- și nanofibrelor se nivelează și un rol determinant în rezistența la uzură îl are matricea prelucrată prin ASE.

S-a demonstrat posibilitatea de obținere pe aliaje de aluminiu a unor acoperiri ASE cu grosime sporită, la depunerea periodică a „straturilor-barieră”. În calitate de „strat-barieră” cu cele mai bune proprietăți este aliajul Al-Ni, care permite obținerea unei acoperiri cu grosimea de până la $2 \cdot 10^{-3}$ m.

Problema științifică rezolvată: S-a demonstrat posibilitatea de obținere a unor acoperiri cu grosime sporită la utilizarea ASE pe aliajele de Al, ceea ce este o consecință a formării micro- și nanofibrelor componentei ușor fuzibile și ale oxizilor acesteia în procesul de ASE cu electrozi- scule din aliaj de Al, cu componenta ușor fuzibilă (Sn, Pb).

Obiectul de studiu sunt metodele de formare și proprietățile acoperirilor obținute prin ASE, la depunerea pe matricea din aliaj D 1 cu electrozi-scule din aliaje de Al-Sn (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

Valoarea teoretică a lucrării: rezultatele obținute pot fi văzute ca o metodă nouă de obținere a micro- și nanofibrelor în acoperiri, la utilizarea ASE, precum și ca o bază pentru elaborarea ulterioară a unor suprafețe nanostructurate, rezistente la uzură.

Implementarea și valoarea practică a lucrării: rezultatele cercetării pot fi puse la baza obținerii unor acoperiri rezistente la uzură din aliaje de aluminiu, atât prin creșterea stratului uzat, cât și fără acesta, prin alierea cu scânteie electrică cu un electrod-sculă din aliaj Al-Sn (AO20-1).

Pe baza rezultatelor cercetărilor a fost elaborată tehnologia de reparare a locurilor de montare a rulmenților pentru piesele din aliaje de aluminiu a automobilelor și tractoarelor și implementată la întreprinderile S.R.L.F. „Moldavizolit RiO”, S.R.L. Î.P.C. „Sovremennîe tehnologii”, „Torgovîi proiect” din or. Tiraspol.

АННОТАЦИЯ

диссертации Юрченко Е.В. «Технология получения упрочняющих наноструктурированных электроискровых покрытий на алюминиевых сплавах и их использование при восстановлении и ремонте деталей машин» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, Кишинев 2016.

Диссертационная работа написана на русском языке, состоит из введения, 5 глав, общих выводов, рекомендаций и списка цитируемой литературы. Работа содержит 139 страниц текста, 54 рисунка, 29 таблиц, список литературы, включающий 188 источников.

Публикации по теме исследования: полученные результаты опубликованы в 19 научных работах (10 статей, 7 тезисов и материалов докладов на конференциях), 2 патента.

Ключевые слова: электроискровая обработка, электроискровое легирование, алюминий, наноструктурирование, износостойкость, микро – и нанонити оксида олова, оксид алюминия.

Область исследования: – Электрофизические технологии и инженерия поверхности.

Цель работы состояла в установлении закономерностей формирования износостойких покрытий деталей из алюминиевых сплавов с помощью электроискрового легирования (ЭИЛ) электродами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента в тугоплавкой матрице, и на этой основе - в разработке технологий восстановления изношенных поверхностей.

Научная новизна и оригинальность работы:

Установлено, что в условиях электроискрового легирования электродами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента, диспергированного в тугоплавком, возможно образование на обработанной поверхности микродисперсных частиц, в том числе микро – и нанонитей, состоящих из легкоплавкого компонента и его оксидов, образующихся в процессе переноса с анода, благодаря чему получается нанокомпозит, обладающий высокой износостойкостью поверхности.

Установлено, что в условиях трения при невысокой нагрузке и относительно низкой скорости взаимного перемещения образца и контр-тела, определяющую роль в повышении износостойкости покрытий играют микро - и нанонити из оксидов олова, а в условиях трения с высокой нагрузкой и высокой скоростью роль микро - и нанонитей нивелируется, и определяющую роль играет обработанная ЭИЛ матрица.

Показана возможность получения на алюминиевых сплавах ЭИЛ покрытий повышенной толщины с периодическим нанесением «барьерных слоёв». В качестве «барьерного слоя» наилучшими свойствами обладает сплав Al-Ni, позволяющий получать покрытия толщиной до $2 \cdot 10^{-3}$ м.

Решенная научная проблема: Доказана возможность получения с использованием ЭИЛ на Al сплавах покрытий повышенной толщины, что является следствием образования в процессе ЭИЛ обрабатываемыми электродами из сплава Al с легкоплавким компонентом (Sn, Pb) микро- и нанонитей легкоплавкого компонента и его оксидов.

Объектом исследования являются методы формирования и свойства покрытий, полученных ЭИЛ, нанесением на матрицу из сплава D1 обрабатываемыми электродами из сплавов Al-Sn (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

Теоретическая значимость работы: полученные результаты можно рассматривать как новый способ получения микро - и нанонитей в покрытии, при использовании ЭИЛ, а также как основу для дальнейшей разработки получения наноструктурированных износостойких поверхностей.

Внедрение и практическая значимость работы: результаты исследования могут быть положены в основу получения износостойких покрытий поверхностей из алюминиевых сплавов как с приращением изношенного слоя, так и без него, путем электроискрового легирования обрабатываемым электродом из сплава Al-Sn (AO20-1).

На основании результатов исследований была разработана технология ремонта посадочных мест под подшипники для корпусных деталей автотракторной техники из алюминиевых сплавов и внедрена на предприятиях ДООО «Молдавизолит РиО», ООО ПКП «Современные технологии», «Торговый проект» в г.Тирасполь.

SUMMARY

on the dissertation of E.V. Yurchenko “**Technology of obtaining strengthening nanostructured electrospark coatings on aluminum alloys and their use in the repair of machine parts**”, submitted for the scientific degree of Doctor of Engineering Science, Chisinau 2016.

The dissertation is written in Russian, it consists of an introduction, four chapters, general conclusions, recommendations and list of references. The paper contains 139 pages of text, 54 images, 29 tables, the list of references which includes 188 sources.

Related publications: the results obtained were published in 19 scientific papers (10 articles, 7 scientific conference abstracts), 2 patents.

Key words: electrospark machining, electrospark doping, aluminum, nanostructuring, wear resistance, microwires and nanowires of tin oxide, alumina.

Area of research: - Electrophysical technology and surface engineering.

The purpose of the paper was to determine the rules of forming wear-resistant coatings of parts made of aluminum alloys through the use of electrospark doping (ESD) by tool electrodes, which are a mechanical mixture of a low-melting component in a hard-melting matrix, and on this basis – to develop technologies of restoring worn surfaces.

Scientific novelty and originality of the paper:

It is determined that microdispersed particles including microwires and nanowires consisting of the low-melting component and its oxides produced during the transfer from the anode may be formed on the treated surface during the electrospark doping by electrodes which are a mechanical mixture of low-melting component dispersed in the hard-melting component, thereby a nanocomposite having high wear resistance is obtained.

It is determined that in conditions of friction under low loads and relatively low speed microwires and nanowires of tin oxide play a crucial role in improving the wear resistance of coatings, and in conditions of friction under high load and high speed the role of microwires and nanowires levels off, and ESD treated matrix plays decisive role.

The possibility of obtaining ESD coatings with increased thickness through periodic application of the “barrier layers” on aluminum alloys is shown. The Al-Ni alloy has the best properties of “a barrier layer”, which allows to obtain a coating with thickness of up to $2 \cdot 10^{-3}$ m.

Scientific problem which was solved: The possibility of obtaining coatings with increased thickness through the use of ESD on the Al alloys was proved, that is a consequence of forming microwires and nanowires of low-melting component and its oxides during the process of ESD by tool electrodes made of Al alloy with a low-melting component (Sn, Pb).

Object of research are the methods of formation and properties of the coatings obtained by ESD through the application on the matrix made of Al alloy by tool electrodes made of Al-Sn alloys (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

The theoretical significance of the work: we can regard the results obtained as a new way to produce microwires and nanowires in the coating using the ESD, as well as a basis for further development of manufacturing nanostructured wear-resistant surfaces.

Implementation and practical significance of the work: the results of the research can be accepted as a basis for manufacturing wear-resistant coatings of the surfaces made of aluminum alloys both with building-up of the worn-out layer and without it using electrospark doping by tool electrodes made of Al-Sn alloy (AO20-1).

The technology for repairing bearings seats for tractor body parts made of aluminum alloys has been developed on the basis of the research results and it was implemented in such enterprises as subsidiary company Moldavizolit RiO LLC, commercial manufacturing enterprise Sovremennye Tehnologii LLC, Torgovy Proyekt in Tiraspol.

ЮРЧЕНКО Евгений Владимирович

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ
ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ И ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН.**

251.03 - Электрофизические технологии и инженерия поверхности

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук**

КИШИНЕВ, 2016

ACADEMIA DE ȘTIINȚE A REPUBLICII MOLDOVA

INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ

Cu titlu de manuscris

C.Z.U 621.9.048.4

IURCENCO Evgheni

**TEHNOLOGIA DE OBȚINERE A ACOPERIRILOR
NANOSTRUCTURATE DURIFICATE PRIN SCÂNTEI
ELECTRICE PE ALIAJE DE ALUMINIU ȘI UTILIZAREA LOR ÎN
RESTAURAREA ȘI REPARAREA PIESELOR DE MAȘINI**

251.03 – Tehnologii electrofizice și ingineria suprafețelor

Autoreferat al tezei de doctor on științe tehnice

CHIȘINĂU, 2016