

**Алибек Манарбекович Муратбаев** – технологиялық жабдықтар және машина жасау кафедрасының PhD; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ; e-mail: great\_mister@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0830-5007>.

**Борис Анатольевич Лобасенко** – техника ғылымдарының докторы, «Кемерово мемлекеттік университеті» федералды мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесінің профессоры; Ресей, Кемерово қ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

**Арай Кайратовна Базанова** – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru

#### Сведения об авторах

**Гульмира Амангазыевна Жумадилова\*** – PhD кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, г.Семей; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0722-8860>.

**Алибек Манарбекович Муратбаев** – PhD кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: great\_mister@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0830-5007>.

**Борис Анатольевич Лобасенко** – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет»; Россия, г. Кемерово. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

**Арай Кайратовна Базанова** – докторант кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru

Received 24.01.2024

Revised 29.01.2024

Accepted 31.01.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-7

МРНТИ: 55.22.29



**Н. Серікбекұлы<sup>1,2\*</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасулан<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Научный центр «Модификация поверхности материалов»

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОРШНЯ ГРУЗОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Аннотация:** Научная статья посвящена исследованию и применению технологии микродугового оксидирования для восстановления рабочих поверхностей поршней грузовых транспортных средств. Исследование включает в себя анализ физико-химических процессов, происходящих во время микродугового оксидирования алюминиевых сплавов, из которых изготовлены поршни. Физическое воздействие МДО способствует формированию прочного и стойкого оксидного слоя, приводя к улучшению морфологии поверхности и закрытию микротрещин. Полученные результаты подтверждают, что данная технология способствует формированию твердых покрытий. Отмечается наличие микротрещин и поверхностных дефектов на исходной поверхности алюминиевого сплава, вызванных эксплуатацией. После применения процедуры микродугового оксидирования видна значительная улучшенная морфология поверхности, уменьшение

микротрещин и удаление дефектов, что свидетельствует о высокой эффективности процесса. Применение микродуговых оксидированных покрытий в машиностроении обещает повышение долговечности и эффективности грузовых транспортных средств, а также снижение затрат на ремонт и техническое обслуживание. Это исследование представляет важный вклад в область технологических решений для восстановления деталей транспортной техники, обеспечивая перспективные перспективы для промышленных приложений.

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, поршень, технология восстановления, микротвердость, шероховатость, алюминий.

## Введение

В современном мире автотранспорт является важным средством обеспечения мобильности и эффективности грузоперевозок. Работоспособность транспортной инфраструктуры зависит от надежности двигателей грузовых машин. Тем не менее, в процессе эксплуатации двигателей неизбежно возникают износ и повреждения, особенно на поверхности поршней. Восстановление и упрочнение изношенных поршней грузовых машин и сельскохозяйственной техники остаются актуальными на протяжении многих лет, поскольку это основной способ снижения затрат и повышения качества ремонта техники и оборудования [1-2].

Один из методов восстановления и упрочнения поршней для двигателей внутреннего сгорания, изготовленных из алюминиевых сплавов, представляет собой процесс микродугового оксидирования (МДО). Покрытия, получаемые при МДО, обладают высокой стойкостью к износу и коррозии, а также демонстрируют устойчивость к интенсивным тепловым воздействиям и значительным колебаниям температур [3-5]. При этом сохраняется прочность сцепления этих покрытий с основным материалом. Таким образом, улучшение эксплуатационных характеристик может быть достигнуто путем разработки новых составов электролитов или модификации упрочняющего покрытия, формируемого при процессе МДО [6-7].

Процесс МДО связан с образованием на поверхности детали множества микродуговых разрядов (МДР) в условиях высокого напряжения, апплицированного между активной деталью, находящейся в электролите, и металлическим катодом. Эти разряды, включая термические, плазмохимические и гидродинамические воздействия, обуславливают преобразование поверхностного слоя в керамическое покрытие с улучшенными механическими свойствами [8-10].

Технология МДО достаточно широко распространена, преимущественно в области алюминиевых сплавов. Покрытия, полученные с применением МДО, находят все более широкое применение в различных отраслях, включая производство товаров для дома и медицинских изделий, а также в области приборостроения и аэрокосмической промышленности, включая сферу двигателестроения. Особое внимание уделяется днищу поршня, являющемуся наиболее термически нагруженной частью. При увеличении диаметра поршня температура днища также увеличивается, что приводит к расширению пути отвода тепла к стенкам цилиндра. Также увеличивается соотношение между нижней поверхностью, получающей тепло, и поверхностью, через которую тепло отводится к стенкам цилиндра.

К примеру, толстые покрытия, нанесенные на алюминии в силикатно-щелочном электролите, структурированы в три слоя (рисунок 1): 1 – тонкий переходной слой; 2 – основной рабочий слой, обладающий максимальной твердостью и минимальной пористостью, состоящий преимущественно из корунда ( $Al_2O_3$ ); и 3 – внешний технологический слой, обогащенный алюмосиликатами [11].

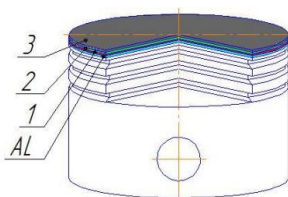


Рисунок 1 – Структура МДО-покрытий на поршне: 1 – тонкий переходный слой; 2 – основной рабочий слой; 3 – внешний технологический слой

Суть МДО заключается в следующем: деталь, находящаяся в электролитической ванне, подвергается воздействию тока от специального источника питания, что приводит к образованию микроплазменных разрядов на ее поверхности. Под воздействием этих разрядов поверхностный слой детали преобразуется в оксид алюминия. В результате образуется прочный оксидный слой на поверхности детали [12-14].

Цель данного исследования заключается в изучении процесса микродугового оксидирования алюминиевых сплавов, анализе физико-механических характеристик формируемых защитных покрытий, а также рассмотрении возможности применения микродуговых оксидированных покрытий в области машиностроения.

### Методы

В рамках исследования технологии микродугового оксидирования (МДО) для восстановления рабочих поверхностей поршней грузовых транспортных средств было использовано оборудование импульсный источник питания – выпрямитель «КР-НН-F-40А600V». Это устройство для МДО представляет собой комплексное средство, включающее программируемый источник переменного тока, гальваническую охлаждающую ванну, набор электродов, а также программное обеспечение для контроля и управления параметрами электрофизического сжигания. Дополнительно предусмотрен цифровой осциллограф, обеспечивающий мониторинг кинетической зависимости в ходе процесса. Процесс МДО-покрытия реализуется в анодном потенциостатическом режиме. Установка для микродугового оксидирования, представленная на рисунке 2, демонстрирует использование вентильного металла (алюминия) в качестве анода, погруженного в перемешанный электролит. Контейнер из нержавеющей стали выполняет функцию электролитического элемента и катода. Электрический ток поступает от источника питания МДО. Регулирование температуры электролита до 40°C осуществляется с использованием конденсированной воды. Медная трубка, окружающая сосуд с электролитом и подключенная к системе охлаждения sl-1500/aurora-pro/, обеспечивает необходимую температурную стабильность для формирования высококачественного оксидного слоя [15-16].



Рисунок 2 – Установка МДО

С целью исследования технологии микродугового оксидирования (МДО) в восстановлении рабочих поверхностей поршня грузовых транспортных средств, в качестве объекта исследования была выбрана пластинка из алюминиевого сплава Алюминий 30. Эта пластинка была вырезана из поршня грузового автомобиля ГАЗ-53, пройденного расстояние в 60 000 км. Геометрические параметры пластинки составляют 25 мм в длину, 15 мм в ширину и 10 мм в высоту. Прежде чем приступить к процедуре микродугового оксидирования, пластинка была предварительно подготовлена. Это включало в себя шлифовку и полировочную обработку на станке GP-1A. Затем поверхность была очищена от стружек и абразивных материалов в ультразвуковой ванне Stegler, чтобы обеспечить оптимальные условия для нанесения покрытий. Состав и режимы использования электролита для проведения процедуры МДО на алюминиевой пластинке были подобраны с учетом влияния химического состава электролита на процесс пассивации металла и образование изолирующей пленки. Проведено использование силикатно-щелочного электролита с подробным описанием режимов и составов в таблице 1.

Таблица 1 – Состав электролита и режимы микродугового оксидирования алюминия

Состав электролита	Режимы МДО					
	Частота, Гц	Скважность, %	Напряжение, В	Время, мин	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>	Форма тока МДО
КОН (2г/л) + Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (10 г/л)+CuO	50	10	300	30	0,17	Импульсный

Поверхностную морфологию было изучено при помощи тринокулярной инвертированной металлографической микроскопа «HL-102AW» с цифровой камерой 3.0 МП. Определение микротвердости проводилось с использованием твердомера «HLV-1DT» по Виккерсу. Образец выдерживался под нагрузкой 2 Н в течение 10 секунд для алюминия. Было выполнено по 10 измерений твердости в различных точках поверхности образца. Оценка шероховатости поверхности алюминия 30 до и после микродугового оксидирования осуществлялась с использованием профилометра модели «HY2300 Anytester».

### Результаты и обсуждение

Тринокулярный инвертированный металлографический микроскоп «HL-102AW» с цифровой камерой 3.0 МП использовался для подробного анализа морфологии поверхности алюминия 30 до и после процедуры МДО. На рисунке 3 можно увидеть, что на поверхности исходного образца обнаружены микротрещины и поверхностные дефекты, связанные с эксплуатацией и износом поршня. А после МДО выявлено заметное улучшение в морфологии поверхности, сокращение количества микротрещин и удаление дефектов, свидетельствует о эффективности процедуры МДО. Потому что, Си в процессе МДО взаимодействует с алюминием и элементами электролита, способствуя образованию легированного оксидного слоя, который может обладать улучшенными механическими свойствами. Этот легированный оксидный слой может эффективно заполнять или закрывать микротрещины, обеспечивая дополнительную прочность и стойкость поверхности. Таким образом, физическое воздействие Си в процессе МДО может способствовать формированию более прочного и стойкого оксидного слоя, что в свою очередь приводит к улучшению морфологии поверхности и закрытию микротрещин [17-18].

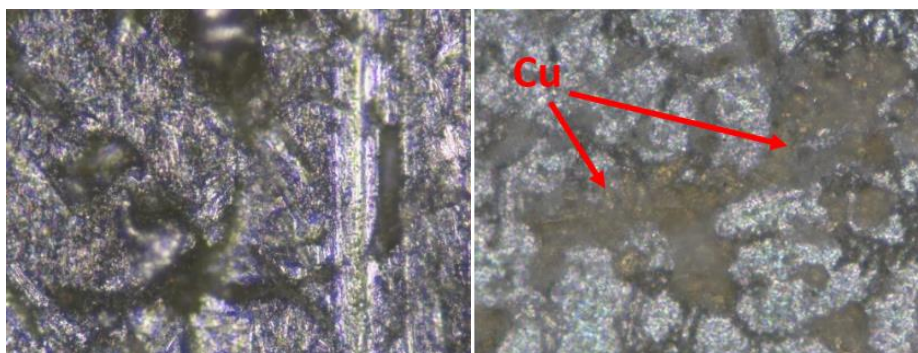


Рисунок 3 – Микроструктура морфологии поверхности алюминия-30 до и после микродугового оксидирования

Использование в электролите Си в процессе МДО продемонстрировало эффективность в улучшении морфологии и структуры поверхности, так как Си смог закрыть поверхности микротрещины. А уменьшение трещин и дефектов является ключевым моментом для восстановления поршней, обеспечивая повышенную надежность и долговечность. Отсюда можно увидеть что Си играет важную роль в формировании более стойких и качественных покрытий, способных выдерживать термические и механические нагрузки. Улучшенная морфология и структура поверхности после МДО обеспечивают увеличение долговечности и эффективности поршней в условиях эксплуатации [19].

Измерив микротвердость с использованием твердомера «HLV-1DT» по Виккерсу до и после процесса МДО (табл. 2) можно увидеть, что микротвердость улучшилась. Потому что процесс МДО приводит к образованию твердого оксидного слоя на поверхности алюминиевого сплава, что способствует увеличению его микротвердости. Повышенная



микротвердость после МДО свидетельствует о улучшении механических свойств образца, таких как твердость и стойкость к износу. Влияние  $\text{Cu}$  и других элементов электролита в процессе МДО может также оказать влияние на химический состав поверхностного слоя, влияя на его микротвердость. Увеличение микротвердости после МДО является важным фактором при рассмотрении технологии восстановления поверхностей поршней грузовых транспортных средств [20].

Таблица 2 – Микротвердость Al-30 до и после процесса МДО в разных режимах

До МДО	После МДО
75,1 HV	118 HV
83,7 HV	107 HV
74,5 HV	115 HV
72,6 HV	168 HV
70,7 HV	158 HV

Увеличение микротвердости в результате процесса микродугового оксидирования (МДО) можно объяснить тем, что в ходе МДО на поверхности алюминиевой детали происходит образование оксидного слоя, преимущественно оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Этот слой является твердым и обладает высокой твердостью. Оксид алюминия, образующийся в результате МДО, обладает более высокой кристаллическостью по сравнению с исходным материалом. Высокая кристаллическость влечет за собой увеличение микротвердости [21].

Таким образом, сочетание этих факторов приводит к повышению микротвердости в результате процесса МДО. Этот эффект является важным, особенно при восстановлении поверхностей деталей, таких как поршни грузовых транспортных средств, и может способствовать повышению прочности, стойкости и долговечности материала [22].

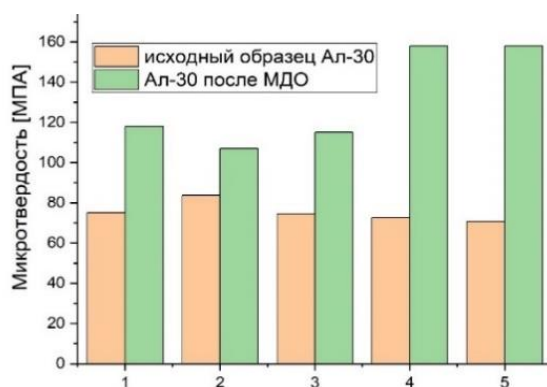
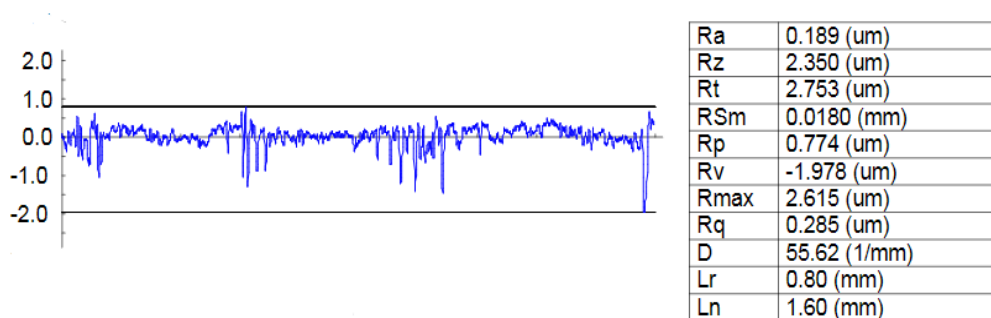


Рисунок 4 – Микротвердость алюминий-30 по Виккерсу до и после микродуговая оксидирования

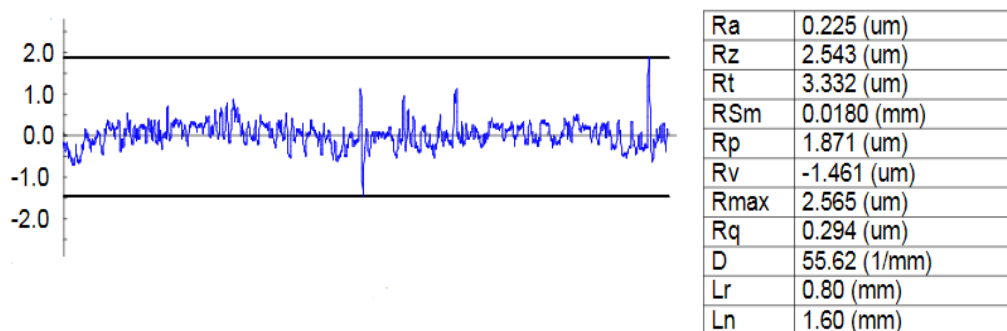
Измерив шероховатость до и после процесса МДО (таблица 4) с использованием профилометра модели «НУ2300 Anytester», можно увидеть, что шероховатость покрытий увеличилась (рис. 4), так как образование оксидного слоя в результате МДО может привести к созданию более пористой поверхности, что может увеличить шероховатость.

Таблица 3 – Шероховатость Al-30 до и после процесса МДО

Ra до МДО	Ra после МДО
0,257 мкм	0,224 мкм
0,189 мкм	0,201 мкм
0,177 мкм	0,267 мкм
0,156 мкм	0,255 мкм
0,169 мкм	0,225 мкм



Исходный образец Al-30



Обработанный образец Al-30

Рисунок 4 – Шероховатость поверхности Алюминий-30 до и после микродуговая оксидирования

### Выводы

Исследование технологии микродугового оксидирования (МДО) для восстановления рабочих поверхностей поршней грузовых транспортных средств предоставляет следующие ключевые результаты и выводы: После процесса МДО наблюдается значительное увеличение микротвердости поверхности алюминиевого сплава, что свидетельствует о формировании прочного и твердого оксидного слоя; Легирование элементами электролита, такими как купрум, влияет на химический состав оксидного слоя, способствуя улучшению механических свойств. Результаты после проведения процедуры МДО свидетельствуют о заметном улучшении морфологии поверхности, сокращении числа микротрещин и удалении дефектов, что является показателем эффективности данной процедуры. Процесс взаимодействия меди с алюминием и элементами электролита в ходе МДО способствует формированию легированного оксидного слоя. Этот слой эффективно заполняет и закрывает микротрещины, придавая поверхности дополнительную прочность и стойкость.

Результаты исследования подтверждают перспективы использования микродугового оксидирования в машиностроении для восстановления поверхностей поршней с целью повышения долговечности и снижения затрат на техническое обслуживание. Для более глубокого понимания влияния МДО на микроструктуру и механические свойства рекомендуется провести дополнительные исследования. Исследование подчеркивает значимость технологии МДО в области восстановления деталей грузовых транспортных средств, обеспечивая перспективные решения для повышения долговечности и эффективности автотранспортной техники.

### Список литературы

1. Гакрамов Р.Д. восстановление деталей микродуговым оксидированием / Р.Д. Гакрамов // Молодежь и наука. – 2017. – 4-2. – С. 106-106.
2. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Черноиванова. М. – Челябинск : ЧГАУ, ГОСНИТИ, 2001.0
3. Increase of elements life by means of plasma electrolytic oxidation / K. Yu, A. Babenkov, A. Merkulov et al // Machines. Technologies. Materials. – 2014. – 8(5). P. 26-28.

4. Жужликов А.А. Исследование возможности применения микродугового оксидирования для восстановления поршней двигателей автотракторной техники / А.А. Жужликов, Д.И. Лаухин // Научный журнал молодых ученых. – 2016. – 1(6). Р. 131-134.
5. Свойства покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах в анодно-катодном режиме способом микродугового оксидирования / И.Н. Кравченко, А.С. Алмосов, А.В. Коломейченко // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 3, № 1. – С. 62-64.
6. Коломейченко А.В. Повышение ресурса деталей машин с использованием микродугового оксидирования / А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, Н.В. Титов // Технология машиностроения. – 2014. – № 9. – С. 34-38.
7. Кравченко И.Н. Свойства покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах в анодно-катодном режиме способом микродугового оксидирования / И.Н. Кравченко, А.С. Алмосов, А.В. Коломейченко // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 3, № 1. – С. 62-64.
8. A review on the fatigue performance of micro-arc oxidation coated Al alloys with micro-defects and residual stress / W. Dai, C. Zhang, H. // Yue et al Journal of Materials Research and Technology. – 2023.
9. Zhang K. Preparation of wear and corrosion resistant micro-arc oxidation coating on 7N01 aluminum alloy / K. Zhang, & S. Yu // Surface and Coatings Technology. – 2020. – 388. Р. 125453.
10. Кальций-фосфатные покрытия, полученные методом микродугового оксидирования / А.Ж. Жасулан, Ж.Б. Сагдолдина, Е.М. Мухаметов и др. // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2023. № 2(10). С. 12-22.
11. Skryabin M.L. Promising methods for strengthening piston aluminum alloys of heat engines / M.L. Skryabin, & A.V. Grebnev // Journal of Physics: Conference Series. 2020. – Vol. 1515, No. 5. – P. 052052.
12. Ahmad I. Microalgae as a Renewable Energy Source for Biofuel Production // I. Ahmad // Journal of Pure and Applied Microbiology. 2016. – 10(1). P. 95-102.
13. Aydin F. Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions / F. Aydin, H. Ogut // Renewable Energy. – 2017. – № 103. P. 688-694.
14. Лиханов В.А. Оценка интегральной токсичности отработавших газов дизеля, работающего на природном газе и спиртовых эмульсиях // В.А. Лиханов, О.П. Лопатин // Ecology and Industry of Russia. – 2019. – № 23(9). С. 60-65.
15. Шаталов В.К. Микродуговое оксидирование поверхностей изделий вне ванны / В.К. Шаталов, А.О. Штокал, А.А. Блатов // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2015. – № 3. – С. 1-14.
16. Дударева Н.Ю. Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности / Н.Ю. Дударева // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 3(56). – С. 217-222.
17. Виноградов Г. Исследование микроструктуры и морфологии покрытий методом микродугового оксидирования алюминиевых сплавов / Г. Виноградов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – № 4. – С. 43-47.
18. Соколов А. Влияние режимов микродугового оксидирования на морфологию покрытий из алюминиевых сплавов / А. Соколов, П. Иванов // Труды института металлургии и материаловедения. – 2018. – № 2(15), С. 87-94.
19. Григорьев В. Морфологические особенности покрытий, полученных методом микродугового оксидирования / В. Григорьев, Н. Петров // Вестник технологического университета. – 2016. – № 8. – С. 56-61.
20. Жуков С. Твердость и микроструктура оксидных покрытий на алюминиевых сплавах после микродугового оксидирования / С. Жуков, А. Козлов, А. 88 Металловедение и термическая обработка металлов. – 2019. – № 1. – С. 32-37.
21. Новиков П. Влияние параметров микродугового оксидирования на твердость покрытий / П. Новиков, А. Смирнов, А. Техническая физика. – 2017. № 5. С. 78-82.
22. Кузнецов Д. Исследование твердости и структуры покрытий, полученных методом микродугового оксидирования / Д. Кузнецов, И. Романов // Материаловедение и металлургия. – 2016. – № 3. С. 64-70.

## References

1. Gakramov R.D. vosstanovlenie detalei mikrodogovym oksidirovaniem / R.D. Gakramov // Molodezh' i nauka. – 2017. – 4-2. – S. 106-106. (In Russian).
2. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom khozyaistve / pod red. V.I. Chernovanova. M. – Chelyabinsk : CHGAU, GOSNITI, 2001.0. (In Russian).
3. Increase of elements life by means of plasma electrolytic oxidation / K. Yu, A. Babenkov, A. Merkulov et al // Machines. Technologies. Materials. – 2014. – 8(5). R. 26-28. (In English).
4. Zhuzhlikov A.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya mikrodogovogo oksidirovaniya dlya vosstanovleniya porshnei dvigatelei avtotraktornoi tekhniki / A.A. Zhuzhlikov, D.I. Laukhin // Nauchnyi zhurnal molodykh uchenykh. – 2016. – 1(6). R. 131-134. (In Russian).
5. Svoistva pokrytii, sformirovannykh na alyuminiyevykh splavakh v anodno-katodnom rezhime sposobom mikrodogovogo oksidirovaniya / I.N. Kravchenko, A.S. Almosov, A.V. Kolomeichenko // Mashinostroenie: setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal. – 2015. – T. 3, № 1. – S. 62-64. (In Russian).
6. Kolomeichenko A.V. Povyshenie resursa detalei mashin s ispol'zovaniem mikrodogovogo oksidirovaniya / A.V. Kolomeichenko, V.N. Logachev, N.V. Titov // Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2014. – № 9. – S. 34-38. (In Russian).
7. Kravchenko I.N. Svoistva pokrytii, sformirovannykh na alyuminiyevykh splavakh v anodno-katodnom rezhime sposobom mikrodogovogo oksidirovaniya / I.N. Kravchenko, A.S. Almosov, A.V. Kolomeichenko // Mashinostroenie: setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal. – 2015. – T. 3, № 1. – S. 62-64. (In Russian).
8. A review on the fatigue performance of micro-arc oxidation coated Al alloys with micro-defects and residual stress / W. Dai, C. Zhang, H. // Yue et al Journal of Materials Research and Technology. – 2023. (In English).
9. Zhang K. Preparation of wear and corrosion resistant micro-arc oxidation coating on 7N01 aluminum alloy / K. Zhang, & S. Yu // Surface and Coatings Technology. – 2020. – 388. R. 125453. (In English).
10. Kal'tsii-fosfatnye pokrytiya, poluchennyye metodom mikrodogovogo oksidirovaniya / A.ZH. Zhasulan, ZH.B. Sagdoldina, E.M. Mukhametov i dr. // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2023. № 2(10). S. 12-22. (In Russian).
11. Skryabin M.L. Promising methods for strengthening piston aluminum alloys of heat engines / M.L. Skryabin, & A.V. Grebnev // Journal of Physics: Conference Series. 2020. – Vol. 1515, No. 5. – R. 052052. (In English).
12. Ahmad I. Microalgae as a Renewable Energy Source for Biofuel Production // I. Ahmad // Journal of Pure and Applied Microbiology. 2016. – 10(1). R. 95-102. (In English).
13. Aydin F. Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions / F. Aydin, N. Ogut // Renewable Energy. – 2017. – № 103. R. 688-694. (In English).
14. Likhanov V.A. Otsenka integral'noi toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya, rabotayushchego na prirodnom gaze i spirtovykh ehmul'siyakh // V.A. Likhanov, O.P. Lopatin // Ecology and Industry of Russia. – 2019. – № 23(9). S. 60-65. (In Russian).
15. Shatalov V.K. Mikrodogovoe oksidirovanie poverkhnostei izdelii vne vann / V.K. Shatalov, A.O. Shtokal, A.A. Blatov // Mashinostroenie i komp'yuternyye tekhnologii. – 2015. – No. 3. – S. 1-14. (In Russian).
16. Dudareva N.YU. Vliyanie rezhimov mikrodogovogo oksidirovaniya na svoistva formiruemoi poverkhnosti / N.YU. Dudareva // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2013. – T. 17, No. 3(56). – S. 217-222. (In Russian).
17. Vinogradov G. Issledovanie mikrostruktury i morfologii pokrytii metodom mikrodogovogo oksidirovaniya alyuminiyevykh splavov / G. Vinogradov // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 2015. – № 4. – S. 43-47. (In Russian).
18. Sokolov A. Vliyanie rezhimov mikrodogovogo oksidirovaniya na morfologiyu pokrytii iz alyuminiyevykh splavov / A. Sokolov, P. Ivanov // Trudy instituta metallurgii i materialovedeniya. – 2018. – № 2(15), S. 87-94. (In Russian).
19. Grigor'ev V. Morfologicheskie osobennosti pokrytii, poluchennykh metodom mikrodogovogo oksidirovaniya / V. Grigor'ev, N. Petrov // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. – 2016. – № 8. – S. 56-61. (In Russian).



20. Zhukov S. Tverdost' i mikrostruktura oksidnykh pokrytii na alyuminievykh splavakh posle mikrodugovogo oksidirovaniya / S. Zhukov, A. Kozlov, A. 88 Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. – 2019. – № 1. – S. 32-37. (In Russian).
21. Novikov P. Vliyanie parametrov mikrodugovogo oksidirovaniya na tverdost' pokrytii / P. Novikov, A. Smirnov, A. Tekhnicheskaya fizika. – 2017. № 5. S. 78-82. (In Russian).
22. Kuznetsov D. Issledovanie tverdosti i struktury pokrytii, poluchennykh metodom mikrodugovogo oksidirovaniya / D. Kuznetsov, I. Romanov // Materialovedenie i metallurgiya. – 2016. – № 3. S. 64-70. (In Russian).

**Н. Серікбекұлы\*, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасұлан<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>«Материалдар бетінің түрлендіру» ғылыми орталығы,  
Қазақстан Республикасы, Семей қ., дене шынықтыру к-сі, 4в

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

### **ЖҮК КӨЛІКТЕРІНІҢ ПОРШЕНДЕРІНІҢ ЖҰМЫС БЕТТЕРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҮШІН МИКРОТОТЫҚТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ**

Ғылыми мақала жүк көлігі поршендерінің жұмыс беттерін қалпына келтіру үшін микродоғалық тотығу технологиясын зерттеуге және қолдануға арналған. Зерттеу поршеньдер жасалатын алюминий қорытпаларының микродоғалық тотығуы кезінде болатын физикалық және химиялық процестерді талдауды қамтиды. МДТ-дың физикалық әсері күшті және тұрақты оксидті қабаттың пайда болуына ықпал етеді, бұл беттің морфологиясының жақсаруына және микрожарықтардың жабылуына әкеледі. Алынған нәтижелер бұл технологияның қатты жабындардың пайда болуына ықпал ететінін растайды. Алюминий қорытпасының бастапқы бетінде жұмыс нәтижесінде пайда болған микрожарықтар мен беттік ақаулардың болуы атап өтіледі. Микродоғалық тотығу процедурасын қолданғаннан кейін беттің морфологиясы айтарлықтай жақсарғаны, микрожарықшақтардың азаюы және ақаулардың жойылуы байқалады, бұл процестің жоғары тиімділігін көрсетеді. Машина жасауда микродоғалық тотыққан жабындарды пайдалану жүк көліктерінің беріктігі мен тиімділігін арттыруға, сонымен қатар жөндеу және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу көлік бөлшектерін қайта өңдеуге арналған технологиялық мәселелер саласына маңызды рөл атқарады, бұл өнеркәсіптік қолданудың перспективаларын қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** микродоғалық тотығу, поршень, қалпына келтіру технологиясы, микроқаттылық, кедір-бұдырлық, алюминий.

**N. Serikbekuly<sup>1,2\*</sup>, K.D. Ormanbekov<sup>1,2</sup>, A.B. Shynarbek<sup>1,2</sup>. A.Zh. Zhassulan<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Scientific center «Surface modification of materials»  
Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

### **RESEARCH AND APPLICATION OF MICROARC OXIDATION TECHNOLOGY FOR RESTORATION OF WORKING PISTON SURFACES OF FREIGHT VEHICLES**

*The scientific article is devoted to the study and application of micro-arc oxidation technology for the restoration of the working surfaces of truck pistons. The study includes an analysis of the physical and chemical processes occurring during microarc oxidation of aluminum alloys from which the pistons are made. The physical impact of MAO promotes the formation of a strong and stable oxide layer, leading to improved surface morphology and closure of microcracks. The results obtained confirm that this technology promotes the formation of hard coatings. The presence of microcracks and surface defects on the original surface of the aluminum alloy caused by operation is noted. After applying the micro-arc oxidation procedure, significant improved surface morphology, reduction of microcracks and removal of defects are visible, indicating the high efficiency of the*

process. The use of micro-arc oxidized coatings in mechanical engineering promises to increase the durability and efficiency of freight vehicles, as well as reduce repair and maintenance costs. This research represents an important contribution to the field of technological solutions for the remanufacturing of vehicle parts, providing promising prospects for industrial applications.

**Key words:** microarc oxidation, piston, restoration technology, microhardness, roughness, aluminum.

#### Сведения об авторах

**Айнур Жасуланқызы Жасулан** – магистр естественных наук Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; старший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Куаныш Даулетович Орманбеков** – магистр технических наук Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – магистрант специальности «Машиностроение» Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

**Нұржан Серікбекұлы\*** – магистрант специальности «Техническая физика Университета имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Айнұр Жасуланқызы Жасұлан** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің түрлендіру» ҒО аға ғылыми қызметкері; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Куаныш Даулетович Орманбеков** – техника ғылымдарының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетін өзгерту» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – «Машина жасау» мамандығының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің модификациясы» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

**Нұржан Серікбекұлы\*** – «Техникалық физика» мамандығының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің модификациясы» ҒО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

#### Information about the authors

**Ainur Zhasulankyzy Zhasulan** – Master of natural science; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; senior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Kuanysh Ormanbekov** – Master of technical science; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Aybek Shynarbek** – Master's student of the specialty «Mechanical Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

**Nurzhan Serikbekuly\*** – Master's student of the specialty «Technical Physics»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

Поступила в редакцию 06.02.2024

Принята к публикации 23.02.2024