

chemical treatment of tungsten free hard alloy KNT-16 in 16% aqueous solution of sodium chloride // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.(65). – pp. 37-43.

7. Rakhimyanov, Kh.M., Krasilnikov, B.A., Gaar, N.P., Zhyravlyov, A.I., Loktionov, A.A. Procedure of electrolyte choice for laser electro-chemical treatment // *Metal Treatment (Technology, Equipment, Tools)*. – 2012. No.2(55). – pp. 18-21.

8. Rakhimyanov, Kh.,M., Krasilnikov, B.A., Gaar, N.P., Zhuravlyov, A.I., Loktionov, A.A. Plant for material research under conditions of laser electro-chemical treatment with com-

bined emission // *Metal Treatment: Technology, Equipment, Tools*. – 2012. – No.3(56). – pp. 30-32.

9. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P., Electro-chemical cell for research of ECRT with laser emission // *Current Ways for Development of Mechanical Engineering and Motor Transport of Kuzbass: Proceedings of the 1-st All-Russian Scientific. Tech. Conf.* – Kemerovo: KuzSTU, 2007. – pp. 251-254.

10. Rakhimyanov, Kh.M., Gaar, N.P. Mathematical modeling at laser thermo-activation of electro-chemical dimension treatment // *Current Technological Systems in Mechanical Engineering. Proceedings*. – Barnaul, 2006. – pp. 45-47.

Рецензент д.т.н. В.Г. Буров

УДК 621.794.6

DOI: 10.30987/article_5ad8d290551210.41386001

М.Л. Скрябин, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», 610017, г. Киров, ул. Октябрьский проспект, 133)

E-mail: max.dvs@mail.ru

Получение стойких оксидных пленок на поверхности поршневых алюминиевых сплавов при микродуговом оксидировании

Рассмотрено получение тонких оксидных пленок на поршневых алюминиевых сплавах методом микродугового оксидирования. Описан механизм формирования кристаллических включений и высокотемпературных структур в зависимости от плотности ионного тока во времени. Описан и проанализирован один из методов поверхностного упрочнения поршневых алюминиевых сплавов – микродуговое оксидирование. Рассмотрены механизмы формирования оксидных слоев с учетом влияния легирующих элементов поршневых алюминиевых сплавов. Проведен анализ пористых чашек, исследованы основные свойства покрытий.

Ключевые слова: поршневые сплавы; микродуговое оксидирование; пленочные покрытия; пористость.

M.L. Skryabin, Can. Eng.

(FSBEI HE "Vyatka State Agricultural Academy", 133, Ochyabrsky Avenue, Kirov, 610017)

Steady oxide film obtaining on surface of piston aluminum alloys at micro-arc oxidation

The formation of thin oxide films on piston aluminum alloys through the method of micro-arc oxidation is considered. The mechanism of the formation crystal inclusions and high-temperature structures depending on ion current density in time is described. One of the methods of surface strengthening piston aluminum alloys – micro-arc oxidation is described and analyzed. The mechanisms of oxide layers formation taking into account the impact of alloy elements of piston aluminum alloys are considered. The analysis of porous cells is carried out, basic properties of coatings are investigated.

Keywords: piston alloys; micro-arc oxidation; film coatings; porosity.

В настоящее время поршневая группа современных дизельных и бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) испытывает нагрузки, близкие к максимально допустимым. А если для питания двигателя используются альтернативные топлива, то температура и давление в камере сгорания увеличиваются на 15...20 %, что приводит к увеличению термической напряженности деталей всей цилиндропоршневой группы [1].

Применение сплавов на основе алюминия для изготовления поршневой группы ДВС дает возможность уменьшить общий вес двигателя и снизить удельный расход топлива. Современные поршневые сплавы достаточно технологичны, имеют относительно высокую прочность и пластичность, отличаются сложным химическим составом, так как для повышения жаропрочности их легируют медью, хромом, марганцем, никелем, кобальтом и

другими химическими элементами. В современном машиностроении к поршневым алюминиевым сплавам предъявляются все более серьезные требования и классические сплавы, разработанные в 1970-х гг., уже не отвечают необходимым для современных двигателей параметрам.

Создание деталей принципиально нового поколения на основе выпускаемой промышленностью сплавов, связано с нанесением на рабочие поверхности особых упрочняющих и защитных покрытий. Подобные покрытия имеют свойства, кардинально отличающиеся от свойств основного материала деталей. Подобное разделение функциональных свойств способствует многократному повышению надежности и ресурса работы деталей машин, работающих при циклических, динамических, знакопеременных нагрузках, в условиях повышенных рабочих температур и давлений [2].

Устранить недостатки такого плана можно созданием на поверхности поршней пленок, состоящих из оксида алюминия (Al_2O_3). Эти пленки обладают высокой теплостойкостью, твердостью, коррозионной стойкостью и низкой химической активностью. Именно эти свойства определяют практическую значимость применения этих покрытий на поршневых сплавах при работе в условиях повышенных температур и давлений, особенно при работе на альтернативных видах топлива.

Одним из перспективных методов, позволяющих получить на поверхности поршневых сплавов подобную пленку, является микродуговое оксидирование (МДО). МДО происходит в определенном электролите под действием микродуговых разрядов [3]. Данный вид поверхностной обработки определяется наличием электрохимических процессов, подобных анодированию. Однако характерным отличием от анодирования является использование свободной энергии электрических микро-разрядов в растворе электролита. В результате такого воздействия на поверхности поршня появляются покрытия, подобные керамике.

Достоинством этого процесса является возможность получения оксидных пленок на внутренней поверхности камеры сгорания, расположенной в поршне. Нанесение МДО покрытий на детали цилиндропоршневой группы способствует защите их от высокотемпературной газовой эрозии и позволяет снизить температуру металла основы примерно в 1,5 раза. Химический состав этих пленок можно легко регулировать в очень широком

диапазоне и использовать в качестве теплостойких, коррозионностойких и износостойких покрытий [3].

Проблемой микродугового оксидирования занимаются многие коллективы, среди которых Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск); Национальный исследовательский Томский политехнический университет (проф. Ю.П. Шаркеев и др.); Институт химии ДВО РАН (чл.-кор. С.В. Гнеденков и др.), МГТУ МАМИ, (Московский политехнический университет В.М. Смелянский, А.В. Жуковский); И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин; Объединенный институт машиностроения Национальной Академии наук Республики Беларусь (ОИМ НАН РБ), проф. М.А. Белоцерковский.

В свете развития современных технологий появилась возможность очень точного, быстрого неразрушающего определения качественного и количественного элементного состава различных сплавов, а вместе с тем и комплексного анализа полученных покрытий. Данная работа направлена не только на получение МДО покрытия, но и в будущем на проведение эксплуатационных исследований с промежуточной оценкой свойств и стабильности полученных пленок при работе в условиях повышенных температур и давлений.

Для МДО была выбрана поршневая группа дизеля Д-245. Для определения соответствия сплава ГОСТ и правильного подбора электролита был определен химический состав поршневой группы. Он определялся на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-720P/800P, предназначенном для быстрого неразрушающего определения качественного и количественного элементного состава твердых и жидких образцов, порошков, гранул, пластин, пленок. Его принцип действия основан на возбуждении флуоресцентного излучения атомов исследуемого вещества излучением маломощной рентгеновской трубки.

Флуоресцентное излучение от образца отбирается полупроводниковым детектором SDD-типа, где кванты различной энергии преобразуются в электрические импульсы, амплитуда которых пропорциональна энергии поглощенных квантов. Частота следования импульсов определенной амплитуды пропорциональна концентрации химического элемента в пробе. Использование данного оборудования позволило определить содержание компонентов до тысячных долей процента, и провести комплексный анализ фазового со-

става сплава.

Полученный химический анализ показал (рис. 1), что поршни изготовлены из сплава АК4-1. Жаропрочные сплавы типа АК4-1 сис-

темы Al–Cu–Fe–Ni по химическому и фазовому составам весьма близки к дуралюминам, но вместо марганца в качестве легирующих элементов содержат железо и никель.

Образец : Алюминий
 Оператор: Скрыбин М.Л.
 Комментарий : Metal, Vac, 2chan
 Группа : easy-Vac-Metal
 Дата : 2017-02-09 18:31:37

Количественный результат

Аналит	Результат	Ст. Откл.	Спос. Расч.	Линия Инт.	(имп.-в-сек/мкА)
Al	93.124 %	(0.134)	Кол-FP	AlKa	54.5834
Cu	2.130 %	(0.010)	Кол-FP	CuKa	16.7556
Mg	1.634 %	(0.024)	Кол-FP	MgKa	0.5187
Si	1.350 %	(0.005)	Кол-FP	FeLb1	28.7617
Ni	0.939 %	(0.004)	Кол-FP	NiKa	34.1022
Fe	0.953 %	(0.005)	Кол-FP	PbKa	11.1626
Pb	0.212 %	(0.002)	Кол-FP	SiKa	14.6344
Zn	0.193 %	(0.005)	Кол-FP	ZnKa	0.3082
Mn	0.187 %	(0.006)	Кол-FP	MnKa	0.2665
Cr	0.149 %	(0.011)	Кол-FP	CrLa	2.2282
Ti	0.080 %	(0.001)	Кол-FP	TiKa	3.8421
Ni	0.025 %	(0.001)	Кол-FP	NiKa	0.7671
W	0.024 %	(0.004)	Кол-FP	WLa	0.4939

Рис. 1. Количественный результат анализа поршневого алюминиевого сплава дизеля на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-720P/800P

Микродуговое оксидирование поршней производили на экспериментальной лабораторной установке тиристорно-конденсаторного типа при обработке в электролитах с диапазонами концентраций KOH – от 1,5 до 2,0 кг/м³ и NaAlO₂ – от 14 до 16 кг/м³ (данная концентрация является оптимальной для исследуемых поршневых алюминиевых сплавов). В качестве базовой ванны использовалась ванна для нанесения гальванических покрытий с измененным на тиристорно-конденсаторный источником питания. Эта установка позволяет регулировать суммарную плотность ионного тока $i_{и}$ и количественное соотношение катодного и анодного токов $I_{к}/I_{а}$ в широких пределах.

При определенном значении напряжения на поверхности поршня появляются отдельные микродуговые разряды. Мощность этих разрядов обеспечивает появление в их каналах мощного ионного потока, который обладает высокой реакционной способностью. В этот момент начинают протекать химические реакции, которые приводят к образованию оксида алюминия Al₂O₃. Кроме того, в образующийся оксид алюминия могут включаться и компоненты электролита. Параллельно в окрестно-

стях плазменных кратеров происходит распад и оплавление продуктов промежуточных реакций. Следствием микродуговых разрядов является увеличение скорости процесса образования Al₂O₃ и изменение химических и физических свойств получаемых пленок. Вместо оксидов, обладающих аморфной структурой, происходит формирование кристаллических включений, и появляются высокотемпературные структуры [4, 5].

При постоянном напряжении толщина оксидного слоя увеличивается. Разряды передислоцируются на ближайшие участки, где толщина, и, соответственно, напряжение пробы ниже. Оксидный слой растет до тех пор, пока плотность ионного тока не достигнет того уровня. Тогда процесс окисления прекращается. Оксидные слои, сформированные на поршневых сплавах, за счет четкой многофазной структуры, имеют высокую тепло-, износо-, коррозионную стойкость. Получаемая при МДО структура пористой оксидной пленки полностью отвечает представлениям физико-геометрической модели Келлера [6] (рис. 2).

Рассматривая данную модель, можно выделить следующие основные положения [4, 6]:

– пористая оксидная пленка представляет

собой плотноупакованные оксидные ячейки, имеющие форму призмы, в основе которой лежит шестиугольник (гексагональная призма);

- оксидные ячейки имеют нормальную ориентацию к поверхности металла;

- в центре элементарной ячейки присутствует одна пора, которая представляет собой канал, размер которого определяется составом электролита, химическим составом основного металла и электрическими параметрами процесса оксидирования (на рис. 2 – 35 нм);

- основой оксидной ячейки является барьерный слой беспористого типа (на рис. 3 – 0,145 мкм). Этот слой имеет ячеистую структуру. Размеры сопряженных ячеек совпадают;

- в процессе микродугового оксидирования начало формирования ячеек происходит с образования барьерного слоя, переходящего в пористый. В процессе МДО происходит удлинение пор, из-за того, что дно пор (поверхность барьерного слоя) подвергается постоянному травлению электролитом [6].

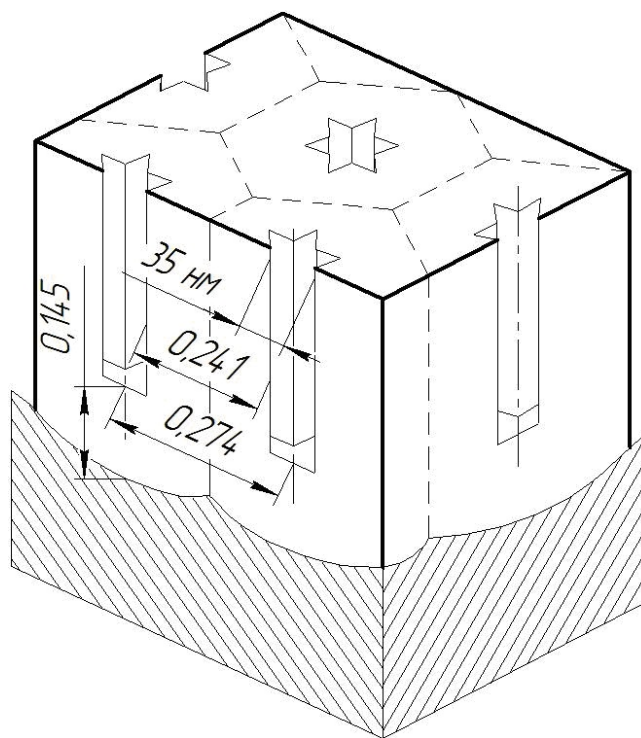


Рис. 2. Схематическое изображение идеальной структуры (согласно физико-геометрической модели Келлера)

Фазовый состав днища поршня после МДО, проведенный на спектрометре EDX-720P/800P, не выявил такого же количества Mg и Si на поверхности. Это объясняется их малой концентрацией и тем, что основная часть этих легирующих элементов раствори-

лась в алюминиевой матрице.

Микроструктурное исследование поверхности поршневого алюминиевого сплава после МДО проводилось растровым электронным микроскопом РЭМ-103-01. Данный микроскоп имеет возможность увеличения от 12 до 55 000 крат. Также можно рассматривать топографию поверхности со значительной шероховатостью. Особенностью данного микроскопа является сложность изучения на нем оксидных слоев, обладающих диэлектрическими свойствами. Это связано с попаданием электрического заряда на оксидную пленку и накоплением на ней поглощенных электронов (полученная при МДО пленка обладает диэлектрическими свойствами). В результате этого отсутствует стекание заряда на заземляющий контур. На пленке появляются заряженные электронами области, что приводит к искажению изображения и значительно изменяет эмиссию электронного потока.

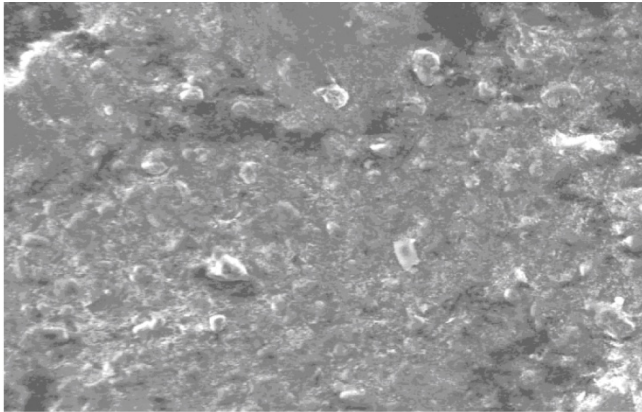
Для обеспечения четкости растрового изображения использовалась однокадровая экспозиция. На рис. 3 представлены микроснимки поверхностного слоя поршневого алюминиевого сплава после МДО [7].

На рисунке видно, что поверхность покрытия неоднородна, имеет развитый рельеф и обладает значительной шероховатостью. На ней имеются мелкие частицы, и поры. Изучение поперечных шлифов показало, что сквозной пористости в полученном покрытии нет, что может свидетельствовать о высоких защитных свойствах покрытия. Такая развитая поверхность оксидного покрытия может говорить о его высокой теплоизоляционной способности, что в целом приводит к снижению теплонпряженности поршневых групп дизельных двигателей.

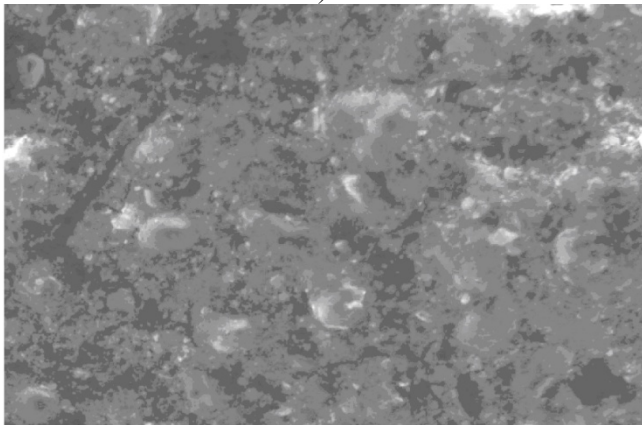
Проведенные исследования показали, что оксидные пленки на поверхности алюминиевых сплавов, которые формируются в растворяющих оксид алюминия водных электролитах, состоят из двух основных слоев. Эти слои имеют четко выраженную границу раздела. Первый слой – барьерный прилегает непосредственно к основному металлу. Имеет достаточно высокую плотность и характеризуется практически полным отсутствием пор. Второй слой – наружный с большой пористостью, образованной от множества микродуговых разрядов. Большинство исследователей также выделяют два аналогичных слоя, получаемых при оксидировании [8].

Для более детального изучения полученной пористости покрытий использовался элек-

тронный сканирующий микроскоп MIRA-3. На снимке видно, что размеры непосредственно пор изменяются в интервале от 0,1 до 8 мкм (рис. 4). Строение пор – разветвленное с множеством сложных ответвлений и замкнутых полостей. Покрытия, которые не содержат пор, получить нельзя. Это обусловлено характером протекания микродуговых разрядов.



а)



б)

Рис. 3. Морфологические особенности поршневого алюминиевого сплава после МДО при увеличениях $\times 184$ (а) и $\times 556$ (б)

В определенных случаях наличие пор является положительным моментом. При работе покрытия в условиях масляного голодания, смазка входит в поры покрытия и обеспечивает наличие постоянной масляной пленки. В поршнях дизелей влияние пористости на днище поршня на их эксплуатационные свойства минимально, ввиду особенностей образования сажи в результате сгорания углеводородных топлив.

Особенностью МДО является то, что в прикатодном слое в промежутке между жидким электролитом и поршнем возникают микродуги, локальная температура повышается и электролит закипает, начинает испаряться, образуя ионный поток электронов, имеющий

очень высокую плотность. Одновременно с этим происходит интенсивный процесс электролиза, при котором образуется свободный кислород.

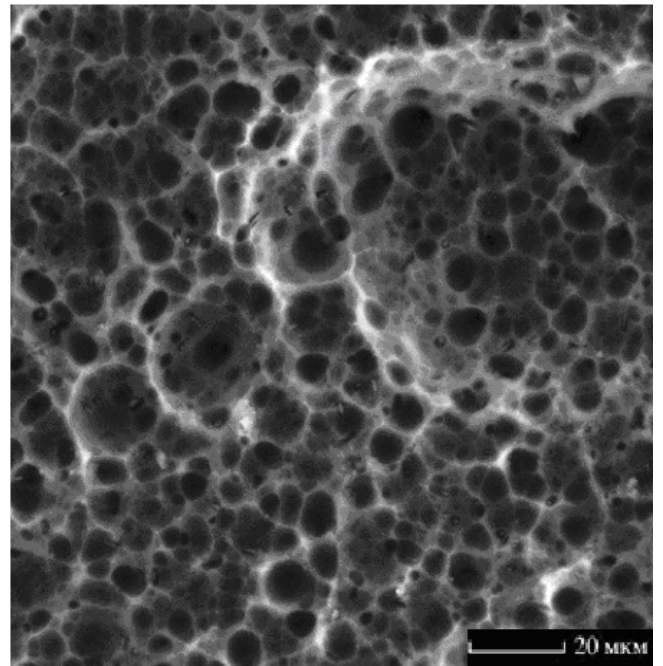


Рис. 4. Микрофотографии поверхности покрытий после МДО

Создаются условия для высокотемпературного окисления поверхности поршня. Поверхность днища поршня вступает в непосредственный контакт с активной средой, имеющей высокую концентрацию кислорода. Поверхность днища поршня начинает усиленно окисляться. Фазовый состав поверхности будет зависеть от количества легирующих элементов и состава жидкой фазы электролита [6 – 8].

В результате окислирования получается защитное покрытие, которое состоит из оксидов легирующих элементов, распределенных в пластичной матрице алюминия. Образованное при МДО покрытие обладает хорошей адгезией, а также имеет неоднородную, развитую поверхность. Это обстоятельство, при отсутствии сквозных пор, является предпосылкой для высокой жаропрочности и снижению теплонпряженности поршневой группы.

Исследование химического состава поверхности после МДО доказывает интенсивный массоперенос в оксидный слой элементов электролита и последующую диффузию вглубь основного металла. Образованное на поверхности покрытие достаточно однородно, ликвации по содержанию химических элемен-

тов отсутствуют.

Полученная на поверхности в процессе МДО особая нанопористая анодная структура оксида алюминия (рис. 5), была описана Келлером в середине 1950-х гг., но обобщенные модели образования подобных нанопористых структур при МДО до сих пор полностью не описаны.

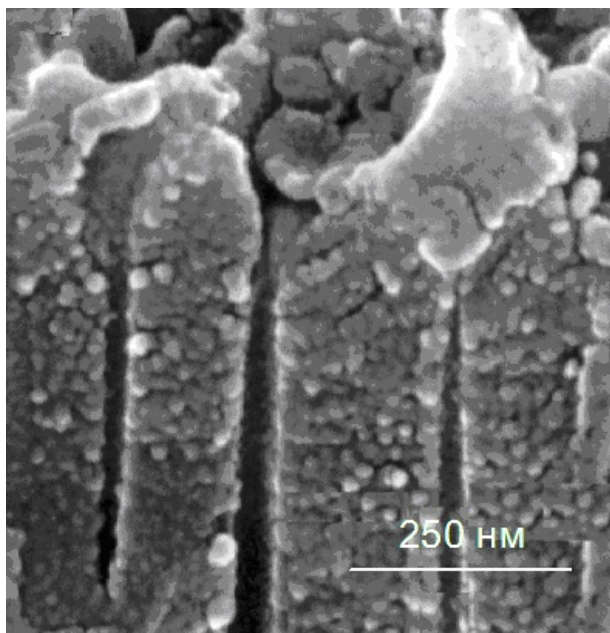


Рис. 5. Продольный разрез поверхности поршневого алюминиевого сплава, полученный с помощью электронного сканирующего микроскопа

В настоящее время нанопористые оксидные слои получены и на других металлах (Zr, Ta, Ti, Pb и др.). Показано, что МДО многих металлов приводит к получению упорядоченных структур двух типов: пористых и трубчатых с различной морфологией. Благодаря такой структуре, получаемые оксидные слои имеют широкий спектр применения. Причиной формирования таких структур служит синергетика химических процессов образования и растворения оксидной пленки, в результате воздействия мощного электрического поля. Однако завершенная теория, объясняющая механизм самоорганизованного роста оксидных пленок при МДО, еще не создана.

Исследование получаемых нанопористых (нанотрубчатых) структур на поршневых алюминиевых сплавах, актуально как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Существующие технологии получения подобных оксидных структур подразумевают использование специальных электролитов, большие затраты времени и электрической энергии, применения дорогостоящей регули-

рующей аппаратуры. Поэтому новые подходы к созданию подобных пористых анодных оксидов на алюминиевых сплавах являются весьма актуальными.

Комплексный подход к этому вопросу позволил создать экологичную методику формирования пористой анодно-оксидной пленки на поршневом алюминиевом сплаве. Применение предложенной методики МДО дает возможность за непродолжительное время сформировать на поверхности поршневого алюминиевого сплава пористые пленки оксида алюминия поликристаллической мезоструктуры с размерами пор от 15 до 160 нм, толщиной от 10 до 100 мкм.

Для поршневых алюминиевых сплавов основными характеристиками, определяющими их основные свойства, являются термостойкость, коррозионностойкость и абразивный износ. Эти характеристики определялись согласно ГОСТ Р 9.318-2013 [10].

Контроль термостойкости покрытий был исследован циклическим методом. Каждый из 100 циклов включал выдержку образцов в муфельной печи ПМ-10 при температуре $(280 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 60 мин. После этого проводилось погружение нагретых образцов в дистиллированную воду с температурой 20°C и выдержка в течение 20 мин до полного остывания. На МДО покрытия после исследования термостойкости визуально не было обнаружено заметных видимых повреждений в виде шелушений, вздутий, растрескивания, отслаивания или изменение цвета покрытия, что полностью удовлетворяет требованиям действующего ГОСТа.

Исследование коррозионной стойкости осуществлялось периодическим погружением образцов в испытательный раствор по ГОСТ.

Испытательный раствор состоял из 1000 см³ раствора хлористого натрия с массовой долей 5 % с добавлением 0,3 г хлорной меди, доведенный уксусной кислотой до 3,3...3,5 рН. Продолжительность испытаний покрытий составляла 96 ч. После исследования на поверхности оксидированного образца отсутствовали продукты коррозии и изменение цвета покрытия. Следует отметить, что на образце без покрытия визуально наблюдались явные следы коррозии, составляющие порядка 70 % от общей поверхности исследуемого образца.

Определение абразивного износа проводилось на базе ФГБОУ ВО Вятский ГУ. Износ определялся по методу Табера с использованием абразиметра. Этот прибор обеспечивал измерение нагрузки с относительной по-

грешностью $\pm 5\%$. Абсолютная погрешность частоты вращения составляла ± 4 об./мин. Каждый образец был взвешен на аналитических весах, с абсолютной погрешностью не более ± 3 мг. Образец закреплялся под абразивными кругами с частотой вращения диска 60 об./мин, под нагрузкой 9,8 Н. Удаление продуктов износа из области абразивного воздействия осуществлялось с помощью сжатого воздуха и составляло 100 % при общем количестве циклов – 7000. По результатам исследований абразивный износ составил 55 мг на 1000 циклов, что удовлетворяет ГОСТ Р 9.318–2013.

Сформированные на поверхности поршня оксидные покрытия имеют высокую термостойкость, устойчивы к абразивному износу, химически инертны практически ко всем агрессивным средам. В целом, исследования поверхностной пленки доказали отсутствие сквозной пористости на поверхности сплава, что соответствует представлениям образования оксидного слоя согласно физико-геометрической модели Келлера.

Рассматривая результаты предыдущих и представленных исследований, можно обобщить представление о технологическом обеспечении коррозионной стойкости тонких МДО покрытий: данные покрытия обеспечивают максимально возможную коррозионную стойкость сплавов на алюминиевой основе, даже в условиях повышенных температур и давлений. В дальнейшем планируется установить взаимосвязь параметров качества тонких МДО покрытий и принципиальных закономерностей коррозионного разрушения, в зависимости от применяемых электролитов и толщины оксидного слоя.

Рассматривая и обобщая тематику МДО можно отметить, что большинство работ по данному вопросу носят исследовательский или прикладной характер, а совокупность теоретических разработок по механизму МДО основывается на аспектах, предложенных Келлером, и не учитывает многие факторы.

Если рассматривать работы по МДО в аспекте ГОСТ Р 9.318–2013, можно отметить практически полное отсутствие каких-либо данных по МДО, особенно в привязке к химическому составу упрочняемого сплава. В целом, количество работ, посвященных МДО воздействию на поверхность металлических материалов, постоянно растет, что характеризует данный процесс упрочнения как перспективный и далеко идущий.

Полученные результаты позволяют реко-

мендовать использование получаемых в результате МДО оксидных пленок для защиты поршней тепловых двигателей и снижения теплонапряженности поршневых групп.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Скрябин, М.Л.** Особенности выбора современных материалов для поршневой группы при работе дизеля на альтернативных видах топлива // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. «Наука–Технология–Ресурсосбережение»: Сб. науч. тр. – Киров: Вятская ГСХА, 2016. – Вып. 13. – С. 279–285.

2. **Скрябин, М.Л.** Обзор современных материалов для поршней двигателей внутреннего сгорания // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. Материалы IX Международной научно-практической конференции «Наука–Технология–Ресурсосбережение»: Сборник научных трудов. – Киров: Вятская ГСХА, 2016. – Вып. 13. – С. 272–278.

3. **Плазменно-электролитическое** модифицирование поверхности металлов и сплавов / И.В. Суминов, П.Н. Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов. – М.: Техносфера, 2011. – 464 с.

4. **Розен, А.Е., Артемьев, А.Ю.** Упрочнение поверхности деталей из алюминиевых, титановых и циркониевых сплавов микродуговым оксидированием. – М.: Наука, 2015. – 145 с.

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

6. **Смехова, И.Н., Скрябин, М.Л.** Этапы формирования пористых структур при микродуговом оксидировании поршневых алюминиевых сплавов // Ползуновский вестник. – 2017. – № 4. – С. 192–196.

7. **Дударева, Н.Ю.** Влияние режимов микродугового оксидирования на свойства формируемой поверхности // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – № 3. – С. 217–222.

8. **Шандров, Б.В. и др.** Основы технологии микродугового оксидирования / Б.В. Шандров, Е.М. Морозов, А.В. Жуковский – М.: Альянс, 2008. – 80 с.

9. **Crossland A.S., Thompson G.E., Wan J., Habazaki H., Shimizu K., Skeldon P., Wood G.C.** Oxidation of the surface. *Surface and coatings technology*, 1999, No. 144, p.847-845. (In UK).

10. **ГОСТ Р 9.318–2013.** Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия нанокристаллические неметаллические неорганические, полученные методом микродугового оксидирования на алюминии и его сплавах. Общие требования и методы контроля.

REFERENCES

1. Skryabin, M.L. Peculiarities of modern material choice for a piston group during diesel engine work alternative fuel // *Operating Characteristics Improvement of Internal Combustion Engines. Proceedings of the IX-th Inter. Scientif. Pract. Conf. "Science-Technology-Resourcesaving"*: - Kirov: Vyatka SAA. 2016. – Edition 13. – pp. 279-285.

2. Skryabin, M.L. Review of current material for pistons of internal combustion engines // *Operating Characteristics Improvement of Internal Combustion Engines. Materials of the*

IX-th Inter. Scientif.Tech. Conf. "Science-Technology-Resourcesaving": Proceedings. – Kirov: Vyatka SAA, 2016. – Edition. – pp. 272-278.

3. Plasma-electrolytic modification of metal and alloy surfaces / I.V. Suminov, P.N. Belkin, A.V. Epelfeld, V.B. Lyudin, B.L. Krit, A.M. Borisov. – M.: *Technosphere*, 2011. – pp. 464.

4. Rozen, A.E., Artemiev, A.Yu. *Aluminum Titanium and Zirconium Parts Surfaces Strengthening by Micro-arc Oxidation.* – M.: Science, 2015. – pp. 145.

5. *Micro-arc Oxidation (Theory, Technology, Equipment)*/ I.V. Suminov, A.V. Epelfeld, V.B. Lyudin, B.L. Krit, A.M. Borisov. – M.: ECOMET, 2005. – pp. 368.

6. Smekhova, I.N., Skryabin, M.L. Stages of porous structure formation at micro-arc oxidation of piston aluminum alloys // *Polzunov Bulletin.* – 2017. – No.4. – pp. 192-196.

7. Dudareva, N.Yu. Micro-arc oxidation impact upon prop

erties of surface under formation // *Bulletin of Ufa State Aircraft technical University.* – 2013. – No. – pp. 217-222.

8. Shandrov, B.V. et al. *Technology Fundamentals of Microarc Oxidation* / B.V. Shandrov, E.M. Morozov, A.V. Zhukovsky – M.: Alliance, 2008. – pp. 80.

9. Crossland A.S., Thompson G.E., Wan J., Habazaki H., Shimizu K., Skeldon P., Wood G.C. Oxidation of the surface. Surface and coatings technology, 1999, No. 144, p.847-845. (In UK).

10. SSR R 9.318-2013. United Corrosion and Wear Resistant System (UCWRS). Nano-crystal, non-metal, inorganic coatings obtained by method of microarc oxidation on aluminum and its alloys. General requirements and methods of control.

Рецензент д.т.н. А.В. Томай

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в работе конференции
«Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2018» (ICMTMTE 2018)
 с 10 по 14 сентября 2018 г. в г. Севастополь

Организаторами конференции являются: Севастопольский государственный университет, Национальный исследовательский технический университет «МИСиС», Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, общество с ограниченной ответственностью «Инлинк» и Международный союз машиностроителей.

Работа конференции направлена на предоставления возможности для ученых и представителей производства обобщить результаты последних достижений в области технологий производства изделий из всех типов материалов, промышленного оборудования и инструмента, обсудить направления развития новой техники и технологий, установить полезные связи между партнерами для будущего взаимодействия.

Тематика конференции

- Современные проблемы машиностроения
- Новые технологии обработки материалов
- Аддитивное производство
- Прецизионная микро- и нанообработка
- Высокоскоростная и абразивная обработка
- Нетрадиционные технологические процессы
- Мониторинг и диагностика технологических процессов
- Целостность и качество поверхностей после обработки
- Моделирование и расчет сложных технических систем и технологических процессов
- Механизация и автоматизация технологических процессов
- Функциональные и защитные покрытия
- Новое промышленное оборудование и инструмент
- Новые функциональные и конструкционные материалы, наноматериалы
- Современные CAD/CAM/CAE технологии
- Оптимизация производственных систем
- Машиноведение и детали машин
- Современные тенденции развития конструкций транспортных и технологических машин
- Эксплуатация транспортных и технологических машин, эксплуатационные материалы, испытания и сертификация
- Сельскохозяйственное машиностроение
- Другое

Секретарь конференции
Рощупкин Станислав Иванович
 Тел.: +7 (978) 70-40-395
 E-mail: icmtmte@gmail.com
<http://icmtmte.ru>