

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МДО-ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕВЫХ СПЛАВАХ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ

Е. И. Устимова¹, Н. Ю. Дударева²

¹empire1411@bk.ru, ²natalia_jd@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Рассмотрена проблема влияния Si в алюминиевых поршневых сплавах на коррозионную стойкость МДО-слоев. Коррозионная стойкость исследовалась в растворе, состав которого в наибольшей степени приближен к условиям цилиндропоршневой группы ДВС.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование; коррозионная стойкость; режим; раствор; масса; сплав; химический состав.

Обеспечение надежной и долговечной работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – основная задача двигателестроения. Детали ДВС работают в тяжелых условиях и подвержены, кроме износа, сложным коррозионным воздействиям, которые происходят при повышенной температуре в химически агрессивной среде, создаваемой отработавшими газами, топливом и маслами [1–5]. Коррозионные повреждения во время эксплуатации двигателя, как правило, сопутствуют изнашиванию в результате трения. Результатами коррозионных разрушений являются снижение прочности элементов конструкций, потеря герметичности узлов, выход из строя машин и механизмов и, как следствие, возникновение аварий. Поэтому создание коррозионностойкой поверхности для деталей ДВС является актуальной и сложной задачей.

Коррозионная стойкость поверхности обычно характеризуется скоростью коррозии в агрессивной среде. Уменьшение скорости коррозии является главным условием защиты металлов и сплавов. Повысить коррозионную стойкость можно, используя перспективные методы и способы защиты деталей и узлов ДВС.

Метод микродугового оксидирования (МДО) является одним из таких перспективных способов создания коррозионностойких слоев на алюминиевых сплавах

[6–11]. МДО поверхностей изделий алюминиевых сплавов позволяет формировать на них прочное оксидное покрытие, которое обладает твердостью аналогичной корунду, а также хорошей адгезией и высокой износостойкостью. Все эти характеристики особенно актуальны. Сущность МДО заключается в том, что при пропускании через электролит переменного тока на поверхности обрабатываемой детали появляются микродуговые разряды. В каналах разрядов происходят плазмо-химические реакции, в ходе которых поверхностные свойства детали преобразуются в высокотемпературные модификации оксидов алюминия преимущественно α - и γ -фаз [12,13].

МДО – покрытия содержат в себе высокий уровень физико-механических характеристик, который является основой необходимой базы, определяющей и их трибологические свойства, поскольку в основе износостойкости материалов лежит, прежде всего, комплекс прочностных характеристик, обуславливающих в конечном итоге вид и характер связей в материале. Свойства метод уникальны.

Известно, что структура и свойства формируемых поверхностных слоев во многом зависят от режимов процесса МДО, а также от химического состава сплавов [8]. В современной научной литературе информация о свойствах МДО-слоев, получаемых

на алюминиевых сплавах с высоким содержанием кремния, разрознена и недостаточна, а сведения о коррозионной стойкости МДО-слоев на этих сплавах практически отсутствуют. Поэтому была сформулирована цель работы: исследовать влияние Si в алюминиевых поршневых сплавах на коррозионную стойкость МДО-слоев.

Объектом исследования является МДО-слой, сформированный на лабораторных образцах из алюминиевых поршневых сплавов М244, АК4-1, АК12пч. Предметом исследования является коррозионная стойкость МДО-слоя. В работе использовались экспериментальные методы исследования.

Исследования проводились на лабораторных образцах из алюминиевых поршневых сплавов, которые отличаются различным содержанием Si в своем составе: М244 [4], АК4-1, АК12пч ГОСТ 4784-97, табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплавов

Элементы	Массовая доля, [%]		
	М244	АК4-1	АК12пч
Al	остальное	остальное	остальное
Si	22-26	0.35	10 - 13
Fe	0.4	0.8-1.4	0.4
Mn	0.1	0.2	0.1
Ti	0.03	0.2- 0.1	0.1
Cu	0.1	1.9 - 2.7	0.02
Ni	0.8	0.8 - 1.4	–
Mg	0.8	1.2 - 1.8	–
Zn	0.1	0.2	0.1
Прочие примеси	–	0.1	0.1

Лабораторные образцы представляли собой диски толщиной 4 мм с площадью поверхности 1729 мм².

В общем случае качество МДО-слоев зависит от большого числа факторов: состава электролита, электрических режимов и продолжительности обработки. Обработка образцов проводилась на одном режиме: состав электролита – 1 г/л КОН и 4 г/л Na₂SiO₃, емкость конденсаторов С = 100 мкФ, продолжительность процесса обработки – 2 часа 45 минут. На образцах замерялась толщина МДО-слоя при помощи вихретокового толщиномера ТТ– 210.

Коррозионная стойкость определялась в соответствии с ГОСТ 9.913-90, путем выдержки лабораторных образцов в растворе следующего состава:

- натрий хлористый (NaCl) – 225 г/л;
- калий азотистый (KNO₃) – 50 г/л;
- кислота азотная (HNO₃) – 5,5 г/л;
- основа – дистиллированная вода – 5 л.

Выбор раствора такого состава основывался на том, что в нем присутствуют азотистые и кислородосодержащие вещества, которые во многом соответствуют жидкой среде, образующейся на поверхности деталей двигателей в процессе его работы [3]. Испытания проводились на 3-х образцах с МДО-слоем и 3-х образцах без МДО слоя для каждого сплава.

Были сформулированы этапы проведения исследования:

1. Подготовка коррозионно-агрессивного раствора.

2. Подготовка образцов. Поверхности образцов, на которых не было сформировано покрытие, защищали от агрессивного раствора с помощью лака типа ЛК-562. Поверхность обезжиривалась, высушивалась.

3. Проводили измерение массы образцов до испытаний.

4. Исследования проводились при температуре наружного воздуха в интервале от + 20 до + 25 °С. Образцы закреплялись на подвесе и помещались в отдельную стеклянную емкость с коррозионно-агрессивным раствором так, чтобы их поверхность не касалась стенок. Экспериментальный образец полностью погружался в раствор. Время выдержки образца составил 6 суток (144 часа).

5. После окончания выдержки образцы вынимались из раствора, снимались с подвеса, промывались проточной водой с удалением продуктов коррозии мягкой тканью и просушивались на воздухе не менее 1 часа.

6. Проводили измерение массы образцов после проведения исследований.

Для проведения исследований на коррозионную стойкость используется следующее оборудование:

- весы ВЛ – 120 С;
- толщиномер ТТ-210 и Константа К6Т.

Измерения массы образцов до и после испытаний производились лабораторными весами ВЛ – 120 С. Аналитические весы ВЛ-120 С с ценой деления 0,1 мг предназначены для точных измерений массы различных предметов, материалов, сыпучих и жидких веществ в научных и производственных лабораториях.

Регулируемыми параметрами являются:

- максимальный вес (mmax) – 120 г;
- минимальный вес (mmin) – 0,01 г;
- дискретность – 0,1.



Рис. 1. Образцы во время выдержки в коррозионно-агрессивном растворе

По результатам замеров рассчитывалась скорость коррозии по формуле (1).

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где K – скорость коррозии, мг/м²·ч; Δm – убыль (увеличение) массы, мг; S – площадь поверхности, м²; t – время выдержки в растворе, ч.

Для неразрушающего контроля толщины покрытий использовался вихретоковый толщиномер ТТ-210, а также толщиномер Константа К6Т.

Работа этого типа толщиномеров основана на двух принципах – вихретоковом и индукционном. Прибор производит авто-распознавание материала подложки и использует соответствующий метод.

Регулируемыми параметрами являются:

- диапазон измеряемых толщин у толщиномера ТТ-210: 0 – 1250 мкм;
- дискретность показаний прибора: при толщине покрытия до 100 мкм – 0,1 мкм,
- при толщине покрытия более 100 мкм – 1 мкм;

- погрешность измерения у толщиномера ТТ-210 составляет $\pm (3 \% H + 1)$ мкм;
- диапазон измеряемых толщин у толщиномера Константа К6Т с преобразователем ПД0: 0 – 500 мкм;
- погрешность измерения у толщиномера Константа К6Т составляет $\pm (0,01H+1)$ мкм.

В результате исследования МДО-слоев на сплавах М244, АК4-1, АК12пч были зафиксированы следующие показатели табл. 2.

Таблица 2

Показатели МДО-слоя на лабораторных образцах

Показатели МДО-слоя	Алюминиевые поршневые сплавы		
	М244	АК4-1	АК12пч
Толщина, мкм	26 ± 10	91.4 ± 14.6	38.6 ± 14.4
Среднее значение изменения массы, мг	0.02 ± 0.001	0.06 ± 0.007	0.02 ± 0.007
Средняя скорость коррозии, К, мг/м ² ·ч	100.1 ± 6.2	235.1 ± 29	121.2 ± 28.5
Средняя скорость коррозии без МДО, К, мг/м ² ·ч	437.2 ± 39.1	797.3 ± 110.1	191.4 ± 25.8

Анализ полученных результатов (табл. 2) показал, что у МДО-слоев на образцах из сплава М244 с содержанием Si ≥ 25 % скорость коррозии в ~ 4,37 раза меньше, чем у образцов без МДО-слоя, и в ~ 2,35 раза меньше, чем у образцов с МДО на сплаве АК4-1 с содержанием Si < 1 %.

Таким образом, в результате эксперимента было установлено, что чем выше массовая доля Si в алюминиевом сплаве, тем выше коррозионная стойкость формируемых МДО-слоев. Тем не менее, вопрос о влиянии кремния в сплавах М244, АК4-1, АК12пч на коррозионную стойкость МДО-слоев требует проведения дальнейших исследований.

В ходе проведенного исследования получены следующие выводы:

- на образцах без МДО-покрытия наблюдаются очаги разрушения поверхности коррозионного характера. На образцах с МДО-покрытием, каких-либо поверхностных разрушений замечено не было.

• После коррозионных испытаний наблюдалось изменение массы всех образцов.

• Коррозионная стойкость МДО-слоя у образцов сплава $AlSi25CuNiMg$ ($Si \geq 25\%$) в $\sim 4,37$ раза выше, чем у образцов без МДО-слоя, и в $\sim 2,35$ раза выше, чем у образцов с МДО на сплаве АК4-1 ($Si < 1\%$).

• Коррозионная стойкость у образцов сплава АК12пч ($Si \geq 12\%$) в $\sim 1,5$ раза выше, чем у образцов без МДО-слоя, и в $\sim 1,9$ раза выше, чем у образцов с МДО на сплаве АК4-1 ($Si < 1\%$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beer S. Verbesserung der Anlaufperformance durch den Einsatz von Frontloading-Maßnahmen // Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen : Ein Leitfaden für die Praxis / G. Schuh, W. Stölzle, F. Straube. Kolbenschmidt Aluminium-Technologie AG; Springer, 2008. Part of the VDI-Buch 52.–book series. P. 43

2. Луц А. Р., Сулина А. А. Алюминий и его сплавы. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. 81 с. [A. R. Luc, A. A. Suslina, Aluminum and its alloys, (in Russian). Samara: Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2013. 81 p.]

3. Технология конструкционных материалов: учебник для вузов / Под ред. Ю. М. Барона. СПб.: Питер, 2012. 512 с. [Technology of construction materials: the Textbook for high schools / ed. Yu. M. Baron, (in Russian). SPb.: Piter, 2012. 512 p.]

4. Pistons and engine testing (MAHLE GmbH, Stuttgart, 2016)

5. Эпельфельд А. В. Микродуговое оксидирование // Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машиностроении. 1991. С. 47–48. [A. V. Apelfeld, «Microarc oxidation» (in Russian), in Resurso-, energosberegayushchie i naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii, pp. 47-48, 1991.]

6. Федоров В. А., Великосельская Н. Д. Влияние микродугового оксидирования на износостойкость алюминиевых сплавов // Трение и износ. 1989. Т. 10, № 3. С. 521–524. [V. A. Fedorov, N. D. Velikoselskaya, «Effect of microarc oxidation on the wear-resistance of aluminum alloys» (in Russian), in Trenie i iznos, vol. 10, no. 3, pp. 521-524, 1989.]

7. Plasma electrolytic fabrication of oxide ceramic surface layers for tribotechnical purposes on aluminum alloys/ A. L. Yerokhina, et. al. // Surface and Coatings Technology, no. 110, pp. 140-146, 1998.

8. Малышев В. Н. Оценка упрочнения алюминиевых сплавов микродуговой обработкой по результатам статических и динамических испытаний // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2007. № 3. С. 131–137. [V. N. Malyshev, «Qualification of aluminum alloys hardening by microarc processing on the basis of the static and dynamic tests results» (in Russian), in Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region, no. 3, pp. 131-137, 2007.]

9. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А. Анализ производительности процесса микродугового оксидирования алюминиевых сплавов // Сварка и диагностика:

сборник докладов международного форума (Екатеринбург, 25–27 ноября 2014 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 152–157. [I. S. Ponomarev, E. A. Krivonosova, «Analysis of the performance of the microarc oxidation process on aluminum alloys» (in Russian), in Svarka i diagnostika: sbornik dokladov mezhdunarodno-go foruma (Ekaterinburg, Nov. 25-27 2014), Ekaterinburg, Russia, 2015, pp. 152-157.]

10. Износостойкость покрытий, нанесенных анодно-катодным микродуговым методом / Г. А. Марков и др. // Трение и износ. 1988. Т. 9, № 2. С. 286-290. [G. A. Markov, et. al., «Wear resistance of coatings applied by anodic-cathodic microarc method» (in Russian), in Trenie i iznos, vol. 9, no. 2, pp. 286-290, 1988.]

11. Y. Wang, S. C. Tung “Scuffing and wear behavior of aluminum piston skirt coatings against aluminum cylinder bore” in Wear, vol. 226-229, no. 2, pp. 1100-1108, 1999.

12. Лобанов В. К., Чуйкова Е. В. Материаловедческие аспекты выбора технологии изготовления поршней ДВС // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2009. Вып. 46. [V. K. Lobanov, E. V. Chuikova, Material science aspects of the choice of manufacture technology for ICE pistons (in Russian), in Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta, vol. 46, 2009.]

13. Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания / А. С. Ненишев и др. // Омск: СибАДИ, 2009. 92 с. [A. S. Nenashev, et. al., Technology of production of parts of internal combustion engines, (in Russian). Omsk: Siberian road Institute, 2009. 92 p.]

ОБ АВТОРАХ

УСТИМОВА Елена Игоревна, аспирант кафедры ДВС.

ДУДАРЕВА Наталья Юрьевна, канд. техн. наук, доцент каф. ДВС.

METADATA

Title: Corrosion resistance of microarc oxidation coatings are formed on piston aluminum alloys with different content or kind of silicon

Authors: E. I. Ustimova¹, N. Yu. Dudareva²

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹empire1411@bk.ru, ²natalia_jd@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 125-128, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The issue is the Si in aluminum piston alloys influence on the corrosion resistance of MAO layers. The corrosion resistance was investigated in solution, the composition of which to the greatest extent close to the conditions of cylinder-piston group of internal combustion engines.

Key words: micro-arc oxidation; corrosion resistance; mode; solution; mass; alloy; chemical composition.

About authors:

USTIMOVA, Elena Igorevna., postgraduate student, Department of Internal Combustion Engines, Ufa state aviation technical University;

DUDAREVA, Natalia Yuryevna., phd in Technical Sciences, Assistant Professor, Department of Internal Combustion Engines, Ufa state aviation technical University