

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО) АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

© 2011 М. М. Криштал, П. В. Ивашин, А. В. Полунин

Тольяттинский государственный университет

В работе рассматриваются особенности технологии микродугового оксидирования алюминиевых доэвтектических силуминов с содержанием кремния 6...11% при изготовлении крупных корпусных деталей, а также титанового сплава ВТ1. Приведены результаты предварительных исследований и проведенных экспериментов, изучены основные факторы, влияющие на качество получаемого покрытия и степень значимости их воздействия при реализации процесса.

ДВС, блок цилиндров, микродуговое оксидирование, силумины, титановые сплавы.

Одной из главных тенденций современного машиностроения является повышение удельных показателей, увеличение ресурса и срока службы конструкций и систем при одновременном снижении массогабаритных характеристик и влияния функционирования изделий на окружающую среду. Вышеобозначенными требованиями обусловлено широкое применение в промышленности алюминиевых, титановых, магниевых и других легких сплавов [1 - 3].

Особенно важное промышленное значение имеет применение алюминиевых сплавов в автомобилестроении при производстве ДВС, а также использование Al-сплавов для легкой и сверхлегкой авиации [3], где важным показателем является вес двигателя.

В современном поршневом ДВС (ПДВС) на блок цилиндров (БЦ) двигателя приходится примерно 40-50 % его массы [3,5]. Замена чугуна на алюминий при изготовлении блока цилиндров приводит к снижению его массы примерно на 30-50% в зависимости от конфигурации двигателя и конструктивной схемы. Кроме того, снижение массы двигателя позволяет уменьшить массу других деталей: передней или задней подвески (в зависимости от расположения двигателя), тормозов, рамы, силовой структуры кузова или планера и т.д. Лучшая теплопроводность алюминиевых головок и блоков цилиндров влечет за собой уменьшение массы радиатора. Ускоряется прогрев двига-

теля, что также способствует снижению расхода топлива и токсичности.

Для упрочнения рабочих поверхностей зеркала цилиндров используются чугунные гильзы, что отрицательно сказывается на массогабаритных показателях. Кроме чугунных гильз применяются различные покрытия и технологии модифицирования поверхностного слоя. Например, Cromal, Nikasil, Locasil и др. [10 - 14]. Однако несмотря на ряд достоинств, подобные технологии имеют и явные недостатки, а именно: сложность и высокую стоимость процесса, его неэкологичность.

Для решения подобных задач вместо упомянутых выше технологий предлагается использовать технологию микродугового оксидирования, основными преимуществами которой являются:

- возможность нанесения покрытия на сложнопрофильные изделия, внутренние поверхности и в скрытые полости;
- получение покрытий с адгезией, сопоставимой с прочностью материала подложки;
- высокая износостойкость и жаропрочность покрытий;
- дешевизна и доступность реактивов и материалов;
- экологическая безопасность, не требующая использования специальных очистных сооружений и т.д.

Все указанные преимущества метода обуславливают возможности применения технологии МДО для обработки основных деталей двигателя, а именно блока цилинд-

ров, поршневой группы, деталей газораспределительного механизма, а также ряда менее ответственных деталей (защитных кожухов, декоративных панелей и пр.) [3 - 11].

Ранее при участии М.М. Криштала были проведены исследования и испытания, доказавшие потенциальную возможность и высокую перспективность применения метода МДО при переходе на производство ДВС с алюминиевыми блоками цилиндров из сплава АК6М2. Был изготовлен и испытан двигатель ВА3 2111 на базе стандартного заводского блока цилиндров 21083 с гильзами из алюминиевого сплава АК6М2 и рабочими поверхностями гильз, упрочненными МДО [11]. Проведенный цикл ресурсных испытаний изделия показал высокую износостойкость и хорошие трибологические свойства рабочей поверхности зеркала цилиндров [11]. В [11] были сделаны и исследованы следующие гипотезы применительно к сплаву АК6М2.

1. Режимы ТО алюминиевого сплава сильно влияют на качество покрытий, получаемых методом МДО. При этом изменяются толщина, твердость, пористость, однородность, адгезия и когезия. Более качественное покрытие образуется на более качественно подготовленной поверхности.

2. Основным механизмом влияния на качество МДО-покрытия при изменении режима ТО является изменение формы, размеров и распределения частиц кремния в структуре сплава.

3. По совокупности параметров наилучшими свойствами из числа исследованных обладают образцы АК6М2 с МДО-покрытием после термообработки по режимам Т6 (4) и Т6 (8).

Одной из целей нашей работы и исследований являются подтверждение / опровержение выдвинутых гипотез в [1] применительно к сплаву АК9ПЧ и, исходя из результатов исследования, модификация технологии МДО для Al-сплава АК9ПЧ.

В настоящее время идет отработка технологии МДО для получения требуемого поверхностного слоя с заданными характеристиками на доэвтектическом силумине АК9ПЧ. Проведен ряд практических экспериментов, позволивших определить оптимальный состав электролита для указанного

материала, допустимые температурные значения раствора в процессе МДО, а также электротехнические показатели процесса, определяющие скорость роста окисного слоя, структуру образующегося покрытия и его качественные параметры. Также выявлено влияние ряда факторов (качество поверхностного слоя перед обработкой методом МДО, наличие/отсутствие термообработки, влияние искусственной аэрации раствора электролита в процессе обработки на качество поверхностного слоя и т.д.) на процесс оксидирования указанного сплава. Исследования и экспериментальные работы активно продолжаются.

На данном этапе уже накоплен большой объем информации об оксидируемости сплава в различных режимах, получены результаты оптической и электронной микроскопии, намечены пути совершенствования технологии. Ниже на рис. 1-4 приведены фотографии структур полученных покрытий.

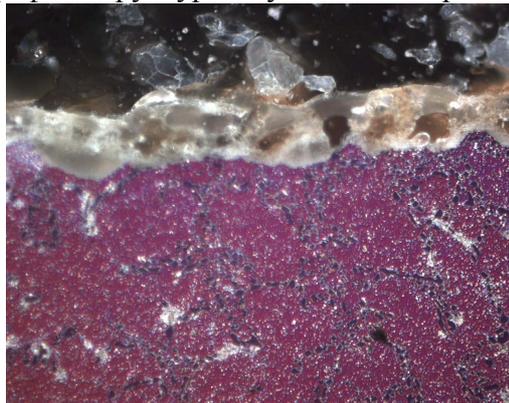


Рис. 1. Результаты оптического исследования структуры покрытия на сплаве АК9ПЧ при увеличении x250

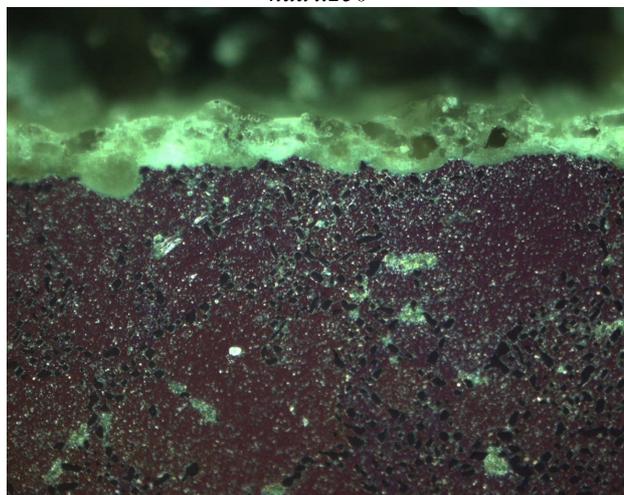


Рис. 2. Результаты оптического исследования структуры покрытия на сплаве АК9ПЧ при увеличении x500

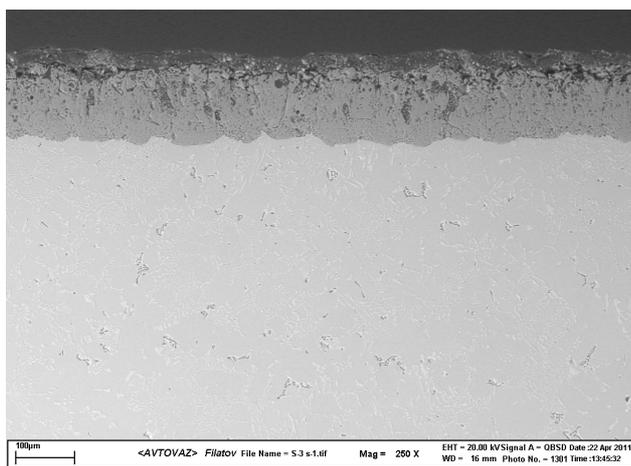


Рис. 3. Результаты электронной микроскопии покрытия на сплаве АК9ПЧ при увеличении $\times 250$

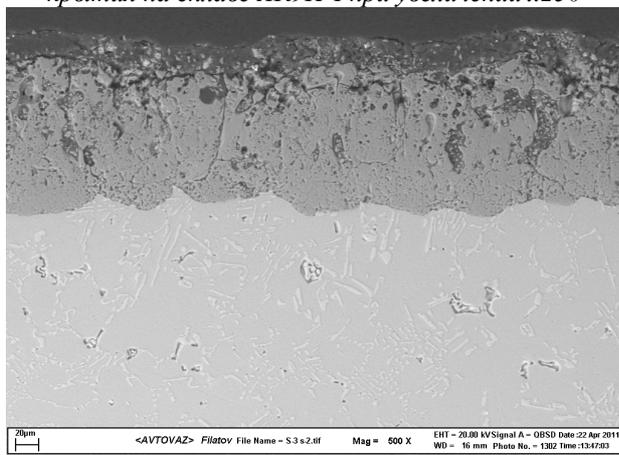


Рис. 4. Результаты электронной микроскопии покрытия на сплаве АК9ПЧ при увеличении $\times 500$

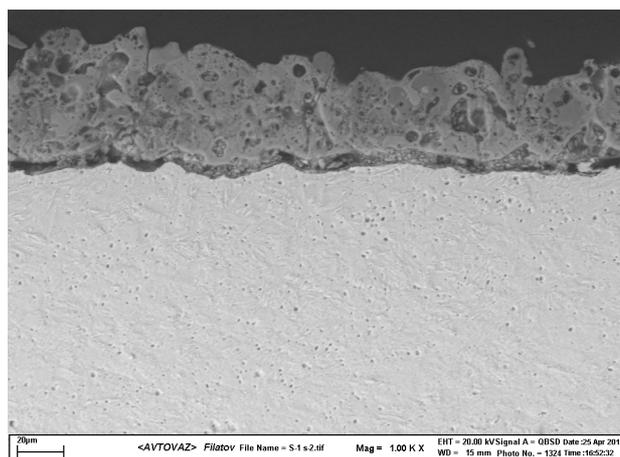


Рис. 5. Результаты электронной микроскопии покрытия на титановом сплаве ВТ1 при увеличении $\times 1000$

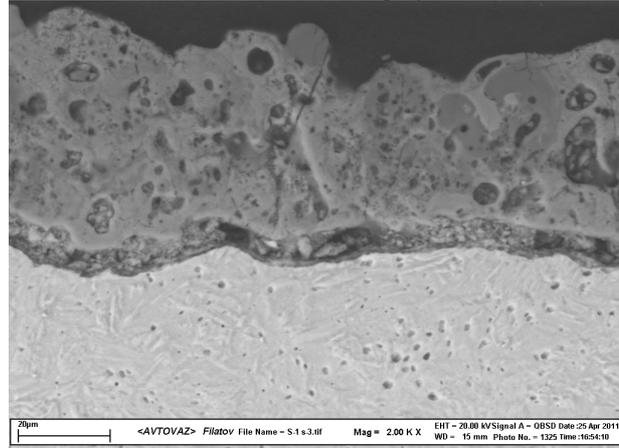


Рис. 6. Результаты электронной микроскопии покрытия на титановом сплаве ВТ1 при увеличении $\times 2000$

На основе проведенных исследований и полученных данных, а также по результатам анализа технической литературы [15 -20, 12, 22 - 24] планируются совершенствование технологии МДО для обработки исследуемого сплава АК9ПЧ и отработка метода МДО для упрочнения поверхностей деталей из сплава АЛ25 (АК12М2МгН) и ряда других алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния.

Также проведены первые эксперименты по оксидированию титанового сплава ВТ1, используемого в промышленности и медицине, получены обнадеживающие результаты. Фотографии структур полученного покрытия приведены ниже на рис. 5 и 6.

В настоящее время спроектирована и изготавливается установка, позволяющая определять основные теплофизические параметры и характеристики получаемых покрытий методом постоянного теплового потока и методом двух температурно-временных интервалов.

Проведение таких исследований позволит определить перспективность наших покрытий в области турбомашин как жаростойких и жаропрочных. Например, возможно, использование модификации поверхностей титановых изделий методом МДО позволит использовать менее дорогие сплавы титана при сохранении и увеличении ресурса изделия.

Полученные первые результаты испытания покрытия на “термошок” позволяют совершенствовать технологию создания покрытия и улучшение его характеристик по адгезии, теплостойкости и жаростойкости.

В результате выполненных работ получен большой объем практических данных по обработке методом МДО алюминиевых сплавов с содержанием кремния 6...11%, выявлен ряд факторов и параметров, определяющих качество получаемого покрытия и его свойства, подтверждена возможность применения технологии МДО для получения поверхностного слоя с высокими эксплуатационными, теплотехническими и трибологическими характеристиками.

Выводы

При участии специалистов ТГУ спроектирована, изготовлена и запущена установка для проведения процесса МДО в проточном и стационарном режиме. Основными достоинствами установки являются простота конструкции, низкая стоимость реализации процесса, высокая экологичность технологии и минимальные требования по охране труда.

Полученные результаты позволяют переходить к ОТР по внедрению технологии в производство для модификации сплавов до АК6. Для сплавов с большим содержанием кремния ведутся НИР, результаты которых позволяют видеть перспективность технологии МДО для двигателестроения.

Библиографический список

1. Mason, N. Aluminum: Approaching the new millennium/ Mason N., Peterson R.D., Richards N.E.[etal] //JOM : J. Miner., Metals and Mater. Soc. – 1999. – 51, №2. – С. 29 – 42. – Англ. (Алюминий. Приближение к новому тысячелетию).

2. Parbat, R.N. Emerging uses of aluminum in late 20th and early 21st century/ R.N. Parbat. Bull. Mater. Sci., 1996, 19, №6, с. 1017-1023. (Использование алюминия в конце двадцатого и начале двадцать первого веков).

3. Акаро, И.Л. Концепция применения алюминиевых сплавов в автомобилестроении [Текст] / И.Л. Акаро – Технология легких сплавов. –1999. - №1-2. - С.41-42, 235, 257.

4. Щурков, В.Е. Повышение надежности цилиндропоршневой группы зарубежных автомобильных двигателей [Текст] / В.Е. Щурков - М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1990. - 48 с.

5. Сыркин, П.Э. Алюминиевые двигатели зарубежных автомобилей [Текст] / П.Э. Сыркин, Б.Н. Лучинин– М.: ЦНИИТЭИавтопром, 1987.-32 с.

6. Хрулев, А. Современные поршни [Текст] / А. Хрулев, АБС, 1997, ноябрь-декабрь.- С.21-23.

7. Ein Werkstoff mit zukunft , MTZ: Motor-techn. Z., 1994, v. 55, № 4, p. 197 (Применение алюминия в автомобиле — и двигателестроении).

8. Wrigley, A. Aluminum's moves in engines, Autom. Manuf. and Prod. [Automot. Prod.]/ A. Wrigley 1997, 109, № 4, с. 22 (Расширение применения алюминия для деталей двигателей).

9. Алюминий в конструкции двигателей [Текст] //- Автостр. за рубежом.- 1999. -№ 4. - С. 10.

10. Maier, Kurt. Zylinder-laufflachen im modernen Motorenbau/ Kurt Maier, Galvanotechnik , 1996. v. 87 , № 5, -p. 1566 –1572 (Цилиндры в алюминиевых блоках).

11. Krishtal, M.M. A Wear-Resistant Coating for Aluminium-Silicon Alloys using Microarc Oxidation and an Application to an Aluminium Cylinder Block (2002-01-0626) / M.M. Krishtal, B.A. Chudinov, S.E Pavlikhin [etal] in “Light Metals for the Automotive Industry” (SP-1683), Published by: Society of Automotive Engineers, Inc. (400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001,USA), March 2002. - pp. 153 – 162.

12. Arndt, Randolf. Das Aluminium-Kurbelgehäuse der Audi-Vierzylindermotoren mit 1,6 und 1,8 l Hubraum/ Randolf Arndt, Kurt Kusebauch , Raimund Rosch [etal] MTZ: Motor-techn. Z., 1997, v.58, № 10. - p. 600-608 (Алюминиевые блоки цилиндров).

13. Barbezat, Gerart. Luscher Heinz. Verschleisschutz im Motorenbau/ Gerart Barbezat Technica (Suisse), 1998, v. 47, № 23. - p. 54-56 (Износостойкие покрытия для поверхностей цилиндров).

14. Lugscheider, Erich. Innenbeschichtung von Aluminium - Motorblocken mittels PVD-Technik/ Erich Lugscheider , Christian Wolff. Galvanotechnik, 1998, v.89, № 7. - p. 2310-2319, VI (Упрочнение стенок цилиндров в алюминиевых блоках цилиндров).

15. Пат. 5080056 США, МКИ⁵ F 02 F f/00 Kramer Martin, Rivard Chester J., Koltuniak Frank A. Thermally sprayed aluminum-bronze coatings on aluminum engine bores:— General Motors Corp.—№ 701898; Заявл. 17.05.91. — Оpubл. 14.01.92 (Алюминиевые блоки цилиндров).

16. Заявка 4040975 ФРГ, МКИ⁵ В 22 D 19/02 Lindner Horst. Verfahren zum Herstellen eines Zylinderblockes: — Audi AG .—№ 4040975.9; Заявл. 20.12.90; Оpubл. 25.06.92 (Способ образования рабочих поверхностей цилиндров в блоке цилиндров из алюминиевого сплава).

17. Пат. 5334235 США, МКИ⁵ С 22 С 37/10 Dorfman Mitchel R., Garcia Jorge E., Kushner Burton A. Thermal spray method for coating cylinder bores for internal combustion engines:— The Perkin-Elmer Corp. — № 7701; Заявл. 22.1.93; Оpubл. 2.8.94 (Нанесение покрытий на стенки алюминиевых цилиндров).

18. Пат. 5408964 США, МКИ⁶ F 02 F 7/00Rao V., Durda N. Solid lubricant and hardenable steel coating system:, Ford Motor Co.— № 239065; Заявл. 5.5.94; Оpubл. 25.4.95 (Упрочняющее покрытие цилиндров из алюминиевого сплава).

19. Заявка 19643029 Германия, МПК⁶ С 23 С 24/10 Mielsch Gotz, Stothard Nigel, Sauer Dieter. Verfahren zum Beschichten eines aus einer Aluminium-Legierung bestehenden Bauteils einer Brennkraftmaschine mit Silicium:— Bayerische Motoren Werke AG.— № 19643029.1; Заявл. 18.10.96; Опубл. 23.4.98 (Способ упрочнения стенок алюминиевых цилиндров).

20. Микродуговое оксидирование [Текст] // Наука и человечество: международный ежегодник. - М.: Знание, 1981. - С. 341 – 342.

21. Марков, Г.А. Микродуговые и дуговые методы нанесения защитных покрытий [Текст] / Г.А. Марков, О.П. Терлеева, Е.К. Шулепко // Повышение износостойкости деталей газонефтяного оборудования за счет реализации эффекта избирательного переноса и создания износостойких покрытий: тр. МИНХ и ГП им. И.М.Губкина. – М., 1985. - Т. 185. - С. 54 – 64.

22. Алехин, В.П. Особенности микро-структуры упрочненных поверхностных сло-

ев, получаемых микродуговым оксидированием [Текст] / В.П. Алехин, В.А. Федоров, С.И. Булычев [и др.] // Физ. и хим. обр. матер. – 1991. - №5. - С. 121-126.

23. Федоров, В.А. Модифицирование микродуговым оксидированием поверхностного слоя деталей [Текст] / В.А. Федоров // Сварочное производство.- 1992. - №8. - С. 29-30.

24. Федоров, В.А. Состав и структура упрочненного поверхностного слоя на сплавах алюминия, получаемого при микродуговом оксидировании [Текст] / В.А. Федоров, В.В. Белозеров, Н.Д. Великосельская [и др.] // Физ. и хим. обр. матер.- 1988. -№4. - С. 92-97.

25. Харитонов, Б.В. Влияние электрических параметров микродугового оксидирования на физико-химические свойства алюминиевых сплавов [Текст] / Б.В. Харитонов // Защита от коррозии и охрана окружающей среды.- 1995. - №3. - С.8.

APPLICATION OF TECHNOLOGY MICROARC OXIDATION (MAO) ALUMINUM AND TITANIUM ALLOYS TO IMPROVE PERFORMANCE PARTS IN ENGINES

© 2011 M. M. Krishtal, P. V. Ivashin, A. V. Polunin

Togliatti State University

This work substantiates the appropriateness of micro-arc oxidation technology usage for hardening of silumin with a silicon content of 6 ... 11% in the manufacture of major body parts of engines, and also the titanium alloy VT1. Results of preliminary research experiments, and study the main factors affecting the quality of the coating were described.

ICE, cylinder block, micro-arc oxidation technology, silumin, titanium alloy.

Информация об авторах

Криштал Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ректор Тольяттинского государственного университета. Тел.: (8482) 481475, 280125, факс 539479. E-mail: krishtal@tltsu.ru. Область научных интересов: трибология, физика металлов.

Ивашин Павел Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры “Тепловые двигатели” Тольяттинского государственного университета. Тел.: (8482) 546458, 539265, факс 539479, 8 927-770-72-21. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Область научных интересов: конструкция тепловых двигателей, рабочие процессы.

Полунин Антон Викторович, ведущий инженер НИО-2 НИЧ Тольяттинского государственного университета. Тел.: (8482) 546458, 539265, факс 539479, 927-786-35-65. E-mail: avp-tltsu@mail.ru. Область научных интересов: трибология, конструкция и рабочие процессы тепловых двигателей.

Krishtal Mikhail Mikhailovich, Doctor of Engineering Science, rector of Togliatti state university. Phone: (8482) 481475, 280125 fax 539479. E-mail: Krishtal@tltsu.ru. Area of research: tribology, metal physic.

Ivashin Pavel Valentinovich, Docent of Heat engine department of Togliatti state university. Phone: (8482) 546458, 539265, 927-770-72-21. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Area of research: heat machines construction and working processes.

Polunin Anton Victorovich, Dipl. Engineer of Togliatti state university. Phone: (8482) 546458, 539265, 927-786-35-65. E-mail: avp-tltsu@mail.ru. Area of research: tribology, heat machines construction working processes.