

УДК 621.74+621.002

О ПЕРВИЧНОЙ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕПАДОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОКСИДНОГО СЛОЯ, ПОЛУЧЕННОГО МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ, НА СПЛАВЕ АК9

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

Тольяттинский государственный университет

Проведена оценка свойств адгезии и тенденции к сколообразованию оксидных слоев, полученных микродуговым оксидированием на сплаве АК9 в условиях резких температурных перепадов.

Микродуговое оксидирование, силумины, адгезия оксидного слоя, метод термошока, сколообразование.

Одной из главных тенденций современного машиностроения и приборостроения является повышение удельных показателей, увеличение ресурса и срока службы конструкций, изделий 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, 2]. При этом к поверхностям деталей предъявляются жесткие требования по износостойкости, жаропрочности и т.д.

Существуют различные технологии модифицирования поверхностей алюминиевых сплавов, как, например, анодирование в водных растворах и расплавах, в газовой плазме и плазменно-электрическое анодирование. Однако по ряду факторов, на наш взгляд, наиболее перспективным и эффективным, экономически целесообразным способом является микродуговое оксидирование.

Микродуговое оксидирование позволяет получать многофункциональные керамические покрытия с уникальным комплексом свойств, в том числе износостойкие, коррозионно-стойкие, теплостойкие, электроизоляционные и декоративные покрытия, характеризующиеся высокими эксплуатационными показателями. Суть метода заключается в формировании на поверхности детали в услови-

ях воздействия микродуговых разрядов высокопрочного износостойкого покрытия (МДО покрытия), состоящего преимущественно из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунда).

Особую значимость представляет обработка поверхностей алюминиево-кремниевых сплавов (силуминов), так как они составляют до 90% от объема всех литейных алюминиевых сплавов. Поэтому создание износостойких поверхностей деталей из этих сплавов является особо актуальным для машиностроения, особенно для условий, когда существенную роль играет износостойкость обеих деталей пары трения (например, такие пары трения двигателей внутреннего сгорания (ДВС), как «поршневое кольцо – алюминиевый поршень», «поршневое кольцо – алюминиевый блок цилиндров»). Стоит отметить, что процесс МДО на силуминах считается неустойчивым и качество его реализации на крупногабаритных корпусных деталях нестабильно. Данный вопрос был решен в рамках ранее проведенных исследований [3,4]. Решение связано с пониманием влияния структуры основы подложки на качество МДО слоя.

Для реализации процесса МДО на базе ТГУ создана экспериментальная установка, позволяющая осуществлять обработку поверхностей деталей различной конфигурации и сложности в стационарном и проточном режиме и исследовать влияние различных факторов на ход и результаты процесса. Особенность экспери-

ментальной установки ТГУ заключается в том, что для организации МДО процесса использовано сетевое питание 380 В, 50 Гц, а конструктивная часть самой установки выполнена максимально упрощенной и с минимальными затратами средств и может быть реализована в любом промышленном предприятии. В настоящее время ведётся оптимизация режимов работы установки для снижения энергопотребления.

В результате экспериментальной эксплуатации установки при оксидировании предварительно термообработанного по режиму Т6 сплава АК9 получены результаты, схожие с теми, что были получены на сплаве типа АК6М2 [3, 5] в условиях реальной эксплуатации двигателя внутреннего сгорания [5]. Например, оксидный слой на сплаве АК9 характеризуется однородностью, низкой пористостью и высокой микротвёрдостью (50...1100 HV) так же, как и слой на АК6М2 (890...1000 HV) [5], несмотря на большее, чем в АК6М2, содержание кремния в сплаве. Данные результаты подтверждают высказанную ранее [4] гипотезу о влиянии структуры распределения кремния в сплаве на качество оксидного слоя.

Наиболее перспективным направлением применения МДО силуминов является энергетическое машиностроение, где поверхность материала подвержена не только механическим, но и значительным тепловым нагрузкам, зачастую циклическим. В связи с этим на стадии разработки технологии и технологического оборудования для микродугового оксидирования необходима оценка изменений механических свойств получаемых покрытий при воздействии температурных перепадов.

Первоначальную оценку механических свойств решено провести с анализа адгезии покрытия, поскольку, если данное свойство неудовлетворительно, дальнейшие испытания покрытия не имеют смысла. С целью определения склонности МДО покрытия, полученного на технологической установке ТГУ, к отслоению от основы при действии резких температур-

ных перепадов были проведены эксперименты.

Методика эксперимента заключалась в нагреве образца с покрытием до температуры 170°C, выдержке его при этой температуре не менее 20 минут с последующим резким охлаждением до 15°C. Скорость охлаждения поверхности образца по оценочным расчётам составила величину порядка 1000°C/с. Данные режимы соответствуют наиболее жестким температурным градиентам на поверхностях деталей цилиндропоршневой группы ДВС [6] и подобных энергетических установок [6]. В проведённом эксперименте образец сплава АК9 с МДО покрытием до 70 раз подряд повергался воздействию температурных перепадов («термошоков»). После 10, 24, 46 и 70 циклов проводилась оценка склонности покрытия к сколообразованию. Такое количество испытаний позволило провести предварительный анализ и определить, является ли данное свойство МДО слоя критическим при подготовке технологии МДО силуминов к промышленному внедрению.

Склонность покрытия к сколообразованию оценивалась следующим образом. Образцы 1 исследуемых сплавов с МДО покрытием 2 устанавливали на опору 3 (рис.1, а). Затем со стороны подложки производили сверление с применением кондукторной втулки (диаметр сверла 1 мм, частота вращения шпинделя 500 об/мин) при постоянном усилии подачи инструмента (1 кгс). На каждом этапе производилось не менее трёх сверлений. После сверления (рис. 1, б) на поверхности образца образуется область повреждённых (пояс отслаивания, рис.2), которую можно охарактеризовать численным значением её площади. Причём площадь сколов со стороны входа сверла и со стороны выхода сверла различна. Если со стороны входа сверла площадь сколов обусловлена качеством инструмента и технологической оснасткой, определяющей биение сверла на этапе засверливания, то со стороны выхода – свойствами покрытия.

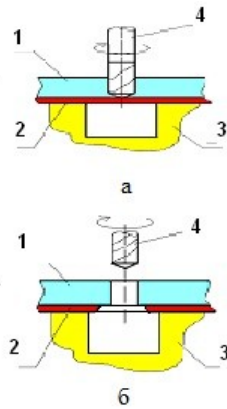


Рис. 1. Схема оценки склонности МДО покрытия к сколообразованию: 1 – алюминиевая подложка; 2 – МДО покрытие; 3 – опора; 4 – сверло; а - сверление алюминиевой подложки образца до образования области повреждений; б - образование области повреждений на МДО покрытии

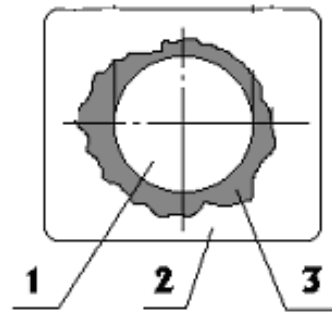


Рис. 2. Пояс отслаивания: 1 – отверстие; 2 - покрытие; 3 – пояс отслаивания

Отношение площадей сколов со сторон входа и выхода $S_{ПО}/S_{ОТ}$ является безразмерным параметром, позволяющим оценивать склонность покрытия к сколообразованию, причём не зависящим от качества инструмента, так как за один проход по алюминиевой пластине толщиной 3 мм сверло не успевает затупиться. Кроме того, использование площади позволит уменьшить влияние на результат ошибок определения абсолютных размеров областей сколов. Для определения площади использовались фотографии отверстий, сделанные с помощью портатив-

ного оптического микроскопа MicroLab, далее область скола обрисовывалась с помощью графического редактора и определялась отношением площадей отверстий на входе и выходе сверла. На рис.3 представлены детализированные фотографии отверстий, показывающие, что есть разрушения керамического слоя на границах выхода сверла.

В результате анализа снимков отверстий, сделанных после различного числа термошоков, получена характерная зависимость средних значений $S_{ПО}/S_{ОТ}$ от числа термошоков, представленная на рис.4.

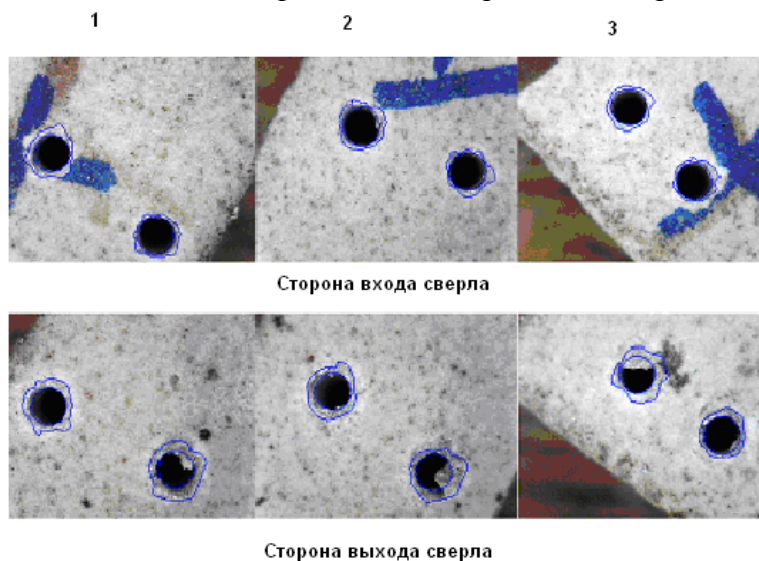


Рис. 3. Фотографии отверстий со сколами от сверления, полученные на микроскопе MicroLab

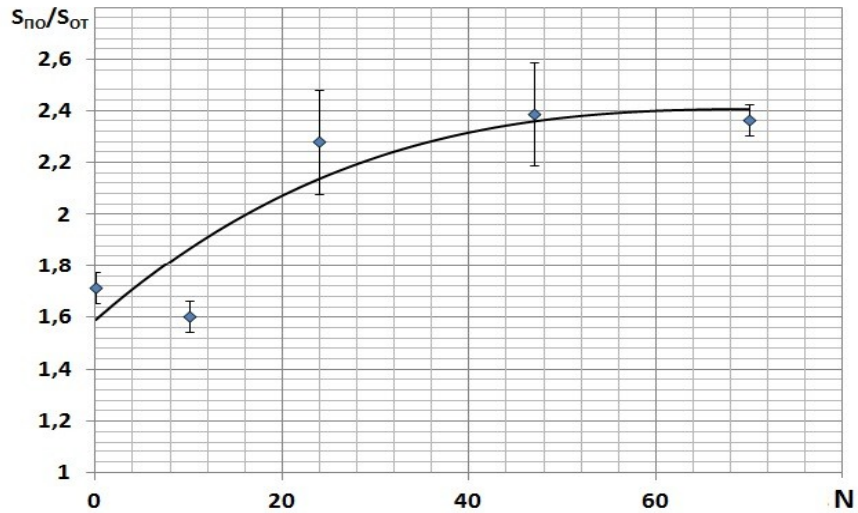


Рис. 4. Зависимость отношения $S_{по}/S_{от}$ от числа термоциклов для МДО покрытия сплава АК9

Из рис.4 видно, что при воздействии термошоков на образец повышается склонность к сколообразованию. Причем в течение первых 20 циклов безразмерная её оценка повышается примерно на 10%, затем в течение еще 30 циклов она повышается примерно до 20% относительно начальной и в дальнейшем не изменяется.

В целом характер зависимости отношения площадей входа и выхода сверла от числа термошоков позволяет сделать вывод, что после определённого числа циклов тенденции к сколообразованию ослабевают и на теплоперепад покрытие перестаёт реагировать с точки зрения своих прочностных адгезионных качеств, т.е. способно к длительной и устойчивой работе в условиях постоянных теплоперепадов.

С целью уточнения полученных данных и определения повторяемости экспериментальных результатов был проведен контрольный эксперимент с использованием более высококачественного оборудования с повышенной разрешающей способностью и увеличенной глубиной резкости изображаемого предмета.

На тех же образцах проведена фотофиксация результатов с помощью автоэмиссионного сканирующего (растрового) электронного микроскопа LEO 1455VP в режиме детектирования отражённых электронов. Ниже на рис. 5, 6 и 7 показаны результаты микроскопии для упомянутых трёх образцов.

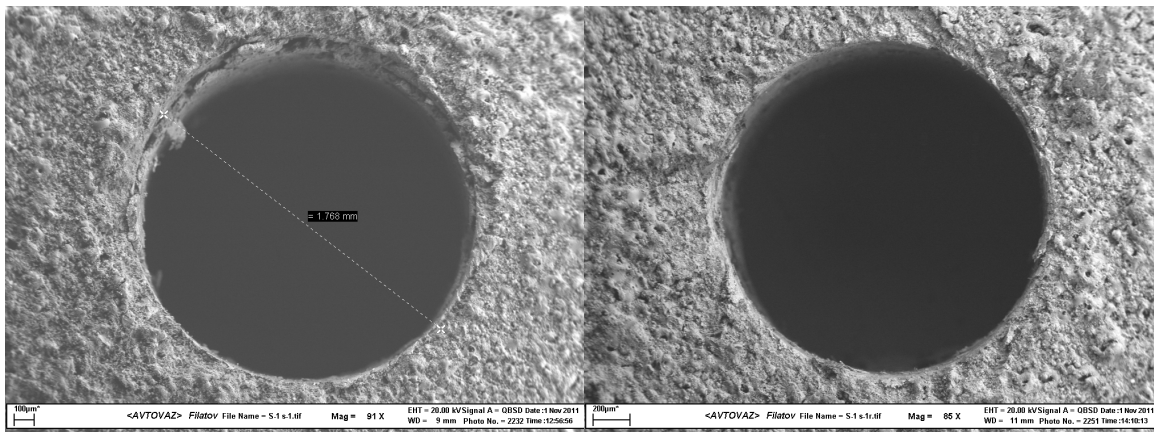


Рис. 5. Выходная (а) и входная(б) стороны отверстия на образце 3 (24 цикла)

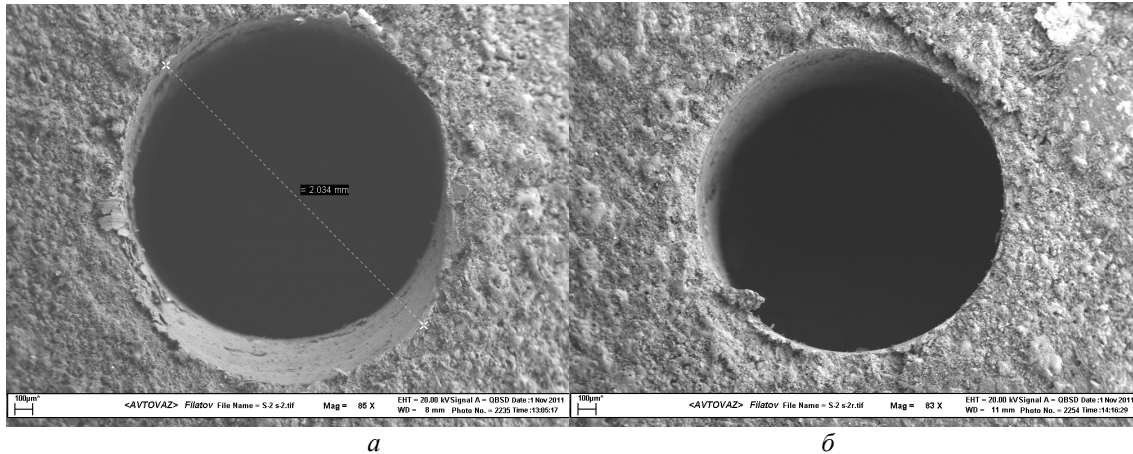


Рис. 6. Выходная (а) и входная (б) стороны отверстия на образце 4 (50 циклов)

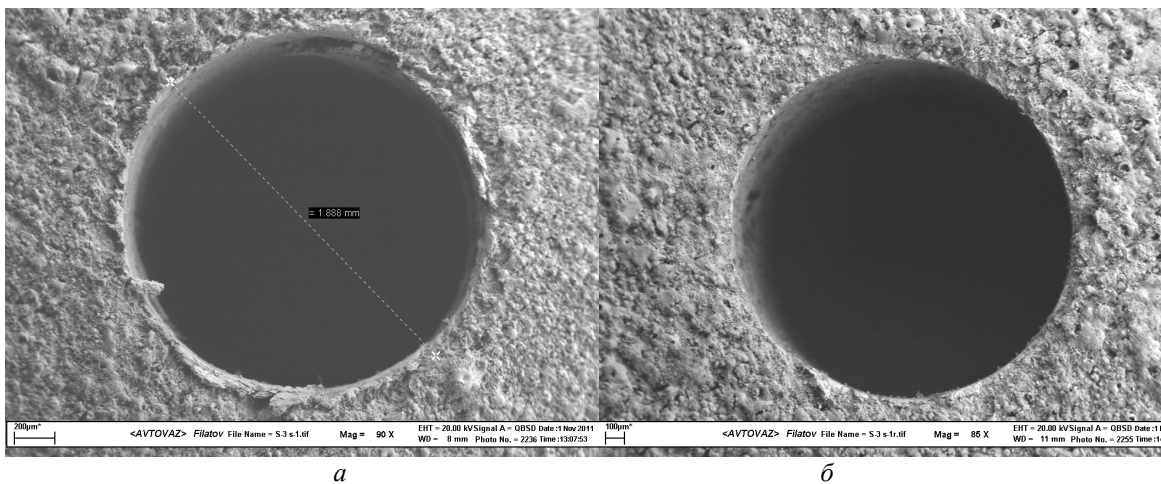


Рис. 7. Выходная (а) и входная (б) стороны отверстия на образце 5 (70 циклов)

Проведённый эксперимент и визуальный анализ полученных данных показали, что подтверждается стабилизация размеров пояса отслаивания, что подтверждает зависимость, представленную на рис.4.

Кроме того, более высокое увеличение и повышение глубины резкости изображаемого предмета позволило выявить, что со стороны выхода сверла наблюдается некоторое поверхностное разрушение покрытия, обусловленное, по-видимому, его высокой твёрдостью и хрупкостью, в то время как отслаивания оксидного слоя от материала подложки не наблюдается ни на одном из образцов, что свидетельствует о высокой адгезии оксидного слоя, в том числе при воздействии температурных перепадов и нормальной механической силы.

Таким образом, на данном этапе освоения технологии микродугового оксидирования силуминов снижение свойств адгезии МДО слоя при температурных перепадах, характерных для ДВС и подобных энергетических установок, не является препятствием для дальнейшего развития технологии.

Библиографический список

1. Акаро, И. Л. Концепция применения алюминиевых сплавов в автомобилестроении [Текст] / И. Л. Акаро // Технология легких сплавов, 1999. - №1-2. - С. 41-42.
2. Wrigley, A. Aluminum's moves in engines [Text] / A.Wrigley, - Autom.

Manuf. and Prod. [Automot. Prod.], 1997, 109, № 4. - P. 22.

3. Криштал, М.М. Влияние исходной структуры Al-Si сплавов на свойства получаемых методом микродугового оксидирования оксидных слоев и торможение частицами кремния роста оксидного слоя [Текст] / М.М. Криштал, М.О. Рюмкин // Материаловедение, 2008. - № 12. - С. 50-61.

4. Krishtal, M.M. Oxide Layer Formation by Micro-Arc Oxidation on Structurally Modified Al-Si Alloys and Applications for Large-Sized Articles Manufacturing [Text] / M.M. Krishtal // Advanced Materials Research, 2009. - Vol. 59. - P. 204-208.

5. A Wear-Resistant Coating for Aluminium-Silicon Alloys using Microarc Oxidation and an Application to an Aluminium Cylinder Block (2002-01-0626) [Text] / M. M. Krishtal, B. A. Chudinov, S. E. Pavlikhin [et al] // 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. -p.153-162.

6. Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях [Текст] / Р.З. Кавтарадзе. -М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 592 с.

PRIMARY ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF TEMPERATURE DROP ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A PROTECTIVE OXIDE LAYER OBTAINED BY MICROARC OXIDATION ON ALLOY AK9

©2011 M. Krishtal, P. Ivashin, D. Pavlov, A. Polunin

Togliatti State University

Adhesion properties and tendencies to chipping of oxide layers produced by microarc oxidizing on the AK9 alloy in conditions of drastic temperature changes are assessed.

Microarc oxidizing, silumins, oxide layer adhesion, method of thermal shock, chipping.

Информация об авторах

Криштал Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ректор, Тольяттинский государственный университет. E-mail: krishtal@tltsu.ru. Область научных интересов: физика металлов, керамические, оксидные и композитные покрытия, электронная сканирующая микроскопия.

Ивашин Павел Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры “Тепловые двигатели”, Тольяттинский государственный университет. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Область научных интересов: рабочие процессы и прочность ДВС, рабочие процессы и конструкция тепловых энергетических машин, зондовые исследования в плазме.

Павлов Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры “Тепловые двигатели”, Тольяттинский государственный университет. E-mail: Pavlov-DA@yandex.ru. Область научных интересов: рабочие процессы и прочность ДВС, теплотехника, рабочие процессы и конструкция тепловых энергетических машин.

Полунин Антон Викторович, ведущий инженер НИО-2 НИЧ, Тольяттинский государственный университет. E-mail: avp-tltsu@mail.ru. Область научных интересов: конструкция и прочность ДВС, трибологические характеристики узлов тепловых энергетических машин.

Mikchail M. Krishtal, Ph.D, rector, Togliatty State University, E-mail: krishtal@tltsu.ru. Area of research: Physics of metals, ceramic, oxide and composite coatings, electronic scanning microscopy.

Pavel V. Ivashin, candidate of technical sciences, associate professor of the department of thermal engines, Togliatti State University. E-mail: ivashinpv@rambler.ru. Area of research: ICE working processes, durability of ICE construction, investigation of plasma using electrical probe.

Denis A. Pavlov, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Heat engines». E-mail: Pavlov-DA@yandex.ru. Area of research: ICE working processes and constructions.

Anton V. Polunin, postgraduate student, leading engineer. E-mail: avp-tltsu@mail.ru. Area of research: ICE constructions and durability.