

## О ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕМОНТА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИЛУМИНОВ

© 2012 М. М. Криштал, И. С. Ясников, П. В. Ивашин, А. В. Полунин

Тольяттинский государственный университет

Представлены результаты исследований по изучению возможности применения технологии микродугового оксидирования в качестве ремонтно-восстановительной. Показана возможность использования технологии для ремонта и восстановления геометрии рабочих поверхностей деталей из алюминиево-кремниевых сплавов, работающих в условиях высоких температур и значительных тепловых деформаций.

*Силумины, микродуговое оксидирование, износостойкость, ремонт, энергомашиностроение.*

Широкое использование алюминиевых сплавов в конструкции современной машиностроительной и энергетической техники обуславливает необходимость повышения износостойкости деталей из этих сплавов. Основная доля алюминиевых сплавов, используемых в энергомашиностроении – это литейные сплавы, среди которых наиболее широкое распространение получили алюминиево-кремниевые сплавы (силумины) [1]. Поэтому вопросы повышения износостойкости, а также ремонта деталей из силуминов и восстановления физических характеристик их рабочих поверхностей актуальны.

В значительной мере требованиям по износостойкости, способности воспринимать значительные температуры, высоким механическим свойствам и ресурсу отвечают различные покрытия, наносимые на рабочие поверхности деталей. Традиционно рабочие поверхности изделий из алюминиевых сплавов упрочняют различными покрытиями, как, например, Cromal, Nikasil, Locasil и им подобными. Однако некоторые методы нанесения покрытий на поверхности алюминиевых сплавов отличаются высокой себестоимостью, сложностью реализации технологического процесса и иногда – экологической вредностью технологии. Кроме того, ремонт деталей с подобными покрытиями практически невозможен ввиду высокой сложности и стоимости технологического процесса получения этих покрытий.

Альтернативой применяемым покрытиям является технология микродугового оксидирования (МДО) алюминиевых сплавов. Оксидные слои, полученные при МДО, благодаря своим механическим и теплофизическим свойствам, а также благодаря воз-

можности получения покрытий большей толщины, выгодно отличаются от оксидных плёнок, полученных традиционным анодированием [2], что позволяет применять их как защитные антифрикционные, износостойкие и теплоизоляционные покрытия [2], в том числе на силуминах [3,4]. МДО покрытия на силуминах отличаются высокой износостойкостью и адгезией к основе, в том числе при высоких температурах [5,6], что обуславливает целесообразность применения их в энергомашиностроении. В то же время недостаточно изученным остается вопрос о ремонтпригодности изделий из силуминов с поверхностями, упрочнёнными по технологии МДО.

Для выявления возможности восстановления поверхностей силуминов с помощью МДО проведены экспериментальные исследования.

Методика заключалась в оксидировании образцов алюминиево-кремниевого сплава АК9ПЧ с последующим анализом геометрической однородности и микрорельефа поверхности с помощью электронного микроскопа CarlZeissSigma 02-09.

В ходе исследований использовались различные электролиты на основе натриевых или калиевых соединений.

Исследования показали, что в ходе нарастания оксидного слоя при МДО выравнивание микрорельефа поверхности происходит по-разному.

Использование электролита на основе натриевых соединений позволяет получать высококачественный оксидный слой с малой пористостью и высокой микротвёрдостью, позволяющий применять данный электролит для обработки и восстановления деталей, ра-

ботающих в тяжёлых температурных и трибологических условиях. Но при этом полученное покрытие склонно к сегментированию в случае неоптимальных режимов его синтеза. На рис. 1 и 2 представлены фотографии оксидного слоя, полученного микродуговым оксидированием в электролите на основе натриевых соединений.

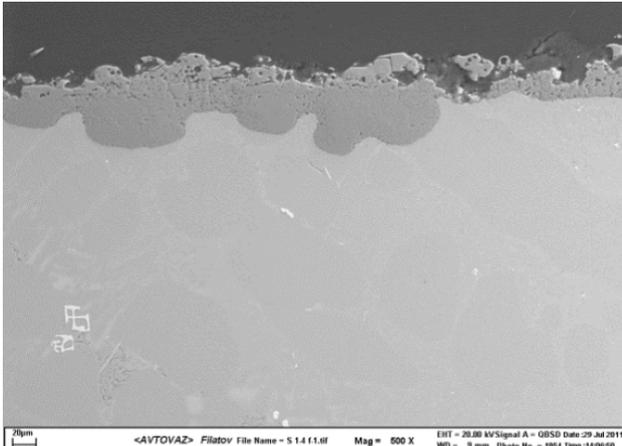


Рис.1. Иллюстрация восстановления геометрической однородности поверхности образца из сплава АК9ПЧ технологией МДО в натриевом электролите (увеличение  $\times 500$ )

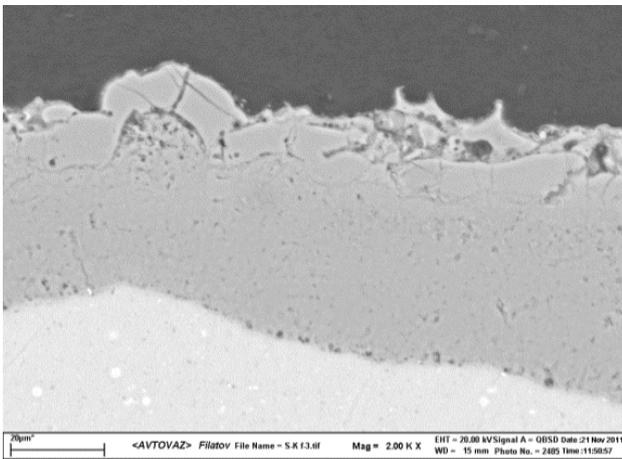


Рис.2. Иллюстрация восстановления геометрической однородности поверхности образца из сплава АК9ПЧ технологией МДО в натриевом электролите (увеличение  $\times 2000$ )

На рис. 1 и 2 видно, что происходит выравнивание микрорельефа поверхности и восстановление однородности его профиля. Необходимо отметить, что при этом получаемое покрытие склонно к сегментированию на отдельных участках в верхних слоях и образованию микротрещин (рис. 2), что говорит о необходимости оптимизации со-

става электролита для конкретного сплава и режимов оксидирования. Также необходимо учитывать, что скорость образования оксидного слоя составляет около 2-3 мкм/мин. Это несколько увеличивает длительность процесса оксидирования для восстановления микрорельефа поверхности.

Оксидирование образцов из сплава АК9ПЧ в электролите на основе калиевых соединений происходит с большими скоростями роста оксидного слоя, около 4-5 мкм/мин, что сокращает время обработки изделия и энергопотребление в процессе оксидирования по сравнению с МДО в электролите на основе натриевых соединений.

Однако необходимо отметить, что оксидный слой, получаемый в электролите на основе калиевых соединений, отличается от аналогичного, полученного в электролите на основе натриевых соединений, уменьшенной микротвёрдостью и большей пористостью. Это ограничивает применение калиевых электролитов для восстановления деталей, работающих в условиях трения и значительных температурных градиентов. Тем не менее, также отмечено, что происходит восстановление профиля поверхности микродуговым оксидированием в электролите на основе калиевых соединений, что проиллюстрировано на рис.3 и 4.

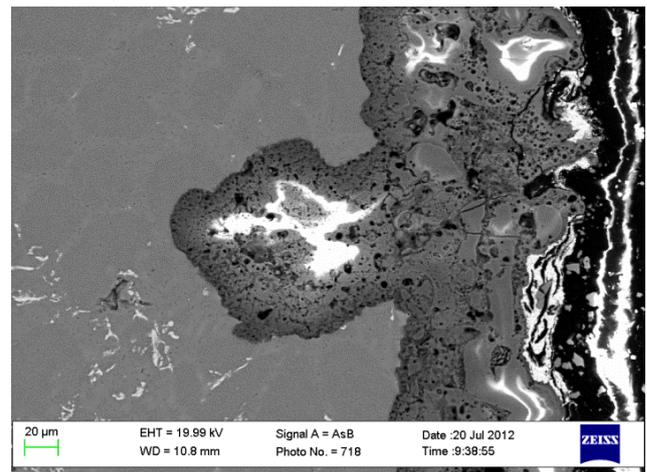


Рис. 3. Иллюстрация восстановления геометрической однородности поверхности образца из сплава АК9ПЧ технологией МДО в калиевом электролите ( $\times 2000$ )

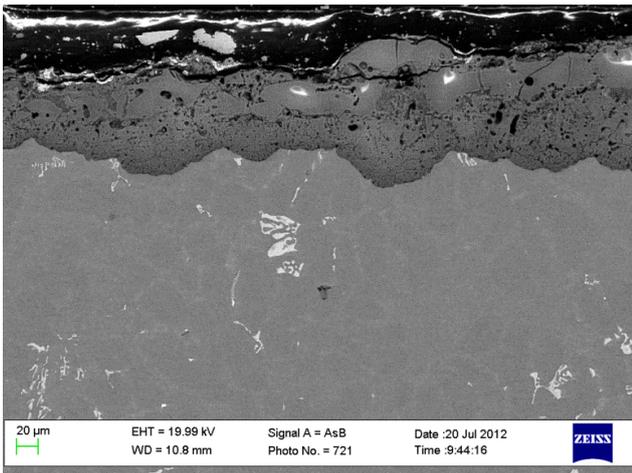


Рис. 4. Иллюстрация восстановления геометрической однородности поверхности образца из сплава АК9ПЧ технологией МДО в калиевом электролите ( $\times 1000$ )

В ходе экспериментов также установлено, что возможно применение технологии МДО для “залечивания” внутренних повреждений образцов, как, например, поры или усадочные раковины, а также трещины и микротрещины, в случае, если к ним есть малейшая возможность доступа электролита, что показано на рис. 5.

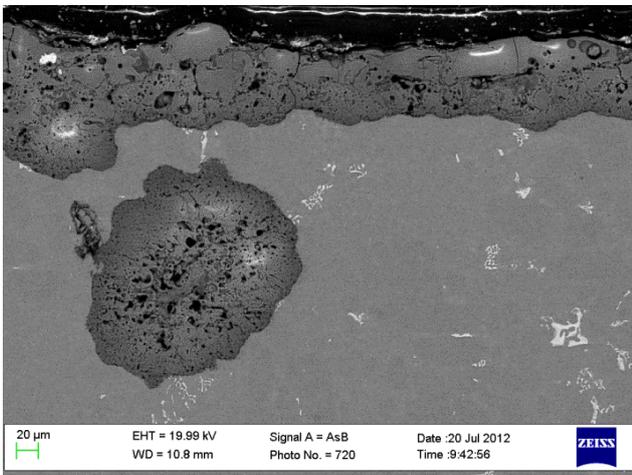


Рис. 5. Иллюстрация восстановления сплошности внутреннего материала образца из сплава АК9ПЧ технологией МДО

Наиболее эффективно происходит заполнение внутренних пор и пустот при МДО с помощью калиевого электролита, что, предположительно, объясняется более низкой вязкостью и более высокой текучестью и проникающей способностью электролита на основе калиевых соединений по сравнению с электролитом на основе натриевых соединений [2].

Следует отметить, что при восстановлении внутренней сплошности имеет место

заполнение повреждения базового материала прочным оксидным слоем с высокой адгезионной прочностью, но не происходит восстановление межатомных связей и структуры кристаллической решетки материала основы.

Таким образом, в ходе исследований выявлена возможность и перспективность применения технологии МДО для восстановления геометрии поверхностей деталей и внутренней однородности материала изделий из силуминов с содержанием кремния 4...15%, что позволяет судить о целесообразности применения технологии МДО в части ремонтпригодности таких деталей из алюминиевых сплавов, как, например, блок цилиндров, головка блока цилиндров, поршень, впускные коллектора.

Установлено, что для восстановления наиболее нагруженных и теплонапряжённых деталей, а также деталей, работающих в тяжёлых трибологических условиях, целесообразно использовать электролиты на основе соединений натрия при микродуговом оксидировании.

Для ремонта деталей, работающих в условиях значительных температурных перепадов, но без значительных трибологических и контактных нагрузок, а также восстановления геометрической однородности микрорельефа их поверхности целесообразно применять электролиты на основе соединений калия при микродуговом оксидировании.

Полученные данные могут быть использованы при разработке ремонтных и ремонтно-восстановительных технологий на основе технологии микродугового оксидирования для деталей из алюминиевых сплавов с содержанием кремния от 4 до 15%.

### Библиографический список

1. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: справ. изд. [Текст] / под ред. Ю.Н. Тарана и В.С. Золотаревского. - М.: МИСИС, 1996.
2. Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование [Текст] / И.В. Суминов [и др.]. - М.: Экомет, 2005.
3. A Wear-Resistant Coating for Aluminium-Silicon Alloys using Microarc Oxidation and an Application to an Aluminium Cylinder Block [Text] / M.M. Krishtal, B.A. Chudinov, S.E.

Pavlikhin [et al]. // SAE tech. paper 2002-01-0626, (SP-1683).

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. Повышение износостойкости деталей алюминивно-кремниевых сплавов методом МДО для работы в экстремальных режимах трения [Текст] // М.М. Криштал, П.В. Ива-

шин, А.В. Полуниин [и др.] // Изв. Самар. Науч. центра Российской академии наук, 2011. - Т. 13. -№4(3). - С. 765-768.

6. О первичной оценке воздействия температурных перепадов на механические свойства защитного оксидного слоя, полученного микродуговым оксидированием на сплаве АК9 [Текст] // М.М. Криштал, П.В. Ивашин, Д.А. Павлов [и др.] // Вестн. СГАУ.- 2011. -№5 (29). - С. 138-143.

## THE APPLICATION OF TECHNOLOGY MICROARC OXIDATION TO REPAIR AND RESTORE CHARACTERISTICS OF PRODUCTS FROM ALUMINUM ALLOY AK9

© 2012 M. M. Krishtal, I. S. Yasnikov, P. V. Ivashin, A. V. Polunin

Togliatty State University

The results on studies of the possibility of applying the technology of micro-arc oxidation as the repair and replacement technology for aluminum alloys are presented. The possibility of using technology MAO to repair and restore the geometry of the working surfaces of parts made of aluminum-silicon alloys operating at high temperatures and significant thermal deformations was displayed.

*Silumin, micro arc oxidation, durability, heat-resistance, repair and replacement technology, power machine building.*

### Информация об авторах

**Криштал Михаил Михайлович**, доктор технических наук, профессор, ректор, Тольяттинский государственный университет. E-mail: [krishtal@tlttsu.ru](mailto:krishtal@tlttsu.ru). Область научных интересов: трибология, физика металлов.

**Ясников Игорь Станиславович**, доктор физико-математических наук, профессор, Тольяттинский государственный университет. E-mail: [kart2001@rambler.ru](mailto:kart2001@rambler.ru). Область научных интересов: трибология, физика металлов.

**Ивашин Павел Валентинович**, кандидат технических наук, доцент, Тольяттинский государственный университет. E-mail: [ivashinpv@rambler.ru](mailto:ivashinpv@rambler.ru). Область научных интересов: конструкция тепловых двигателей, рабочие процессы.

**Полуниин Антон Викторович**, инженер, Тольяттинский государственный университет. E-mail: [polfam@mail.ru](mailto:polfam@mail.ru). Область научных интересов: трибология, конструкция и рабочие процессы тепловых двигателей.

**Krishtal Michail Michailovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector, Togliatty State University. E-mail: [krishtal@tlttsu.ru](mailto:krishtal@tlttsu.ru). Area of Research: tribology, metal physic.

**Yasnikov Igor Stanislavovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Togliatty State University. E-mail: [kart2001@rambler.ru](mailto:kart2001@rambler.ru). Area of Research: tribology, metal physic.

**Ivashin Pavel Valentinovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Togliatty State University. E-mail: [ivashinpv@rambler.ru](mailto:ivashinpv@rambler.ru). Area of Research: heat machines construction and working processes.

**Polunin Anton Victorovich**, engineer, Togliatty State University. E-mail: [polfam@mail.ru](mailto:polfam@mail.ru). Area of Research: tribology, heat machines construction, working processes.