

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОКСИДНЫХ СЛОЁВ, ФОРМИРУЕМЫХ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ НА АЛЮМИНИЕВО-КРЕМНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВАХ

©2016 М.М. Криштал, П.В. Ивашин, А.В. Полунин, Е.Д. Боргардт

Тольяттинский государственный университет

IMPROVING OF WEAR RESISTANCE AND CORROSION RESISTANCE OF OXIDE LAYERS FORMED BY MICRO-ARC OXIDATION ON ALUMINUM-SILICON AND MAGNESIUM ALLOYS

Krishtal M.M., Ivashin P.V., Polunin A.V., Borgardt E.D. (Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation)

Has been conducted the experimental analysis of wear resistance and corrosion resistance of oxide layers formed on aluminum alloys 319.0, 361.0, A14130 and on magnesium alloy 9995A with microarc oxidation. Has been observed the improvement of morphology, wear and corrosion resistance of oxide layer with small addition of nano-sized silicon dioxide into the electrolyte. Obtained results has showed the advisability of researches of the mechanism of nano-sized particles with electrolytic plasma and growing oxide layer interaction.

В настоящее время алюминиево-кремниевые сплавы (силумины) и магниевые сплавы получают всё большее промышленное распространение. Несмотря на ряд очевидных достоинств, существенным недостатком этих материалов является неудовлетворительная износостойкость и коррозионная стойкость [1-3].

Один из наиболее перспективных методов создания многофункциональных покрытий рабочих поверхностей деталей из алюминиево-кремниевых и магниевых сплавов – микродуговое оксидирование (МДО) [1,2]. Улучшение функциональных характеристик оксидных слоёв обеспечивается снижением содержания в них метастабильных непрочных фаз (муллита, силлиманита, γ - Al_2O_3 и других) в оксидных слоях на алюминиево-кремниевых сплавах, а также фазы MgO в оксидных слоях, формируемых на магниевых сплавах, за счёт замещения этих фаз более высокопрочными и стабильными [1,2]. Это может достигаться введением мелкодисперсных порошков в состав электролита. Например, в работе [4] показано положительное влияние микроразмерных добавок SiO_2 и Al_2O_3 в электролит на свойства оксидного слоя на магниевом сплаве, а в работах [5-6] показано положительное влияние добавки наночастиц SiO_2 в электролит на износостойкость и структуру оксидного слоя на силуминах.

Целью работы является повышение трибологических и антикоррозионных свойств оксидных слоёв, синтезируемых методом МДО на алюминиево-кремниевых и магниевых сплавах.

Оксидные слои формировали методом МДО в щёлочно-фосфатно-силикатном электролите на силуминах АК6М2, АК9пч и АК12пч. Для МДО магниевых сплавов МГ96 использовали щёлочно-фосфатный электролит. Варьируемым фактором являлось наличие/отсутствие добавки наночастиц SiO_2 в электролит. МДО проводили в анодно-катодном режиме при частоте тока 50 Гц при постоянных плотности тока и соотношении значений действующих токов в анодном и катодном полупериодах.

Полученные оксидные слои исследовали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ Carl Zeiss Sigma 02-09) и рентгенофазового анализа (дифрактометр Shimadzu Maxima XRD-7000) с фильтрованным Cu-K_α излучением.

Микротвёрдость оксидных слоев по Виккерсу $\text{HV}_{0,1}$ (ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007) измеряли на твердомере Beijing Time Group HVS-1000.

Износостойкость оксидных слоев на силуминах исследовали на трибометре Nanovea TRB 50N по ASTM G133-95 (Type A) при следующих параметрах: сухое трение; возвратно-поступательное движение; индентор – шар Ø 6,35 мм; нагрузка 25 Н; амплитуда движения индентора – 10 мм; путь трения – 100 м. Перед триботестом с образцов шлифованием удаляли наружную часть МДО-слоя на величину 30...40% от его общей толщины и получали шероховатость Ra 0,1...0,2 мкм. Материал инденторов – сталь ШХ15 ГОСТ 801-78 (Rz 0,02 мкм, HRC 62...65). Массовый износ измеряли с помощью аналитических весов Sartorius ED-224S.

На каждом образце проводилось 4 испытания. В испытаниях оценивали массовый износ, приведённый к пути трения и нагрузке I_p , г/(м·Н) по методике, приведённой в [6].

Прочность сцепления оксидного слоя с магниевой подложкой оценивали методами склерометрии с помощью скретч-тестера Nanovea. Сравнительной мерой оценки оксидных слоёв служили значения нагрузки на индентор и расстояния, пройденного им, при которых начинает наблюдаться проблеск основы под разрушающимся покрытием.

Коррозионные свойства оксидных слоёв на магнии оценивали электрохимическим методом и построением тафелевских кривых при анодной и катодной поляризации. Применяли трёхэлектродную электрохимическую ячейку с платиновым противэлектродом и насыщенным хлорсеребряным электродом сравнения. Электрохимические измерения проводили с помощью комплекса потенциостат/импедансметр IPC-ProM/FRA-2. Коррозионная среда - 0,9%-й водный раствор хлорида натрия (NaCl).

Установлено, что оксидные слои на силуминах и магнии, полученные в электролите с добавкой наночастиц SiO₂, обладают более однородной макроструктурой с меньшим количеством дефектов (пор, трещин, расслоений) по сравнению с оксидными слоями, полученными в электролите без добавки наночастиц SiO₂.

Введение наночастиц SiO₂ в электролит привело к уменьшению количества метастабильных фаз в составе оксидных слоёв и их замещению высокотемпературными и стабильными фазами с более высокими служебными характеристиками.

Изменение фазового состава и улучшение структуры оксидных слоев под влиянием наночастиц SiO₂ в электролите положительно сказалось на свойствах сформированных покрытий. Микротвёрдость оксидных слоёв HV0.1 увеличилась до двух раз по сравнению с базовым вариантом. Износостойкость оксидных слоёв на силуминах возросла в 2-5 раз (в зависимости от сплава) по сравнению с вариантом оксидного слоя, полученного в электролите без наночастиц SiO₂. Адгезионно-когезионные свойства оксидных слоёв на магнии улучшились в 1,5 раза по сравнению с базовым вариантом. Коррозионная стойкость оксидного слоя на магнии, сформиро-

ванного с добавками наночастиц SiO₂ в электролит, по сравнению с базовым вариантом, улучшилась \approx в 3 раза при катодной поляризации и \approx в 6 раз при анодной поляризации.

Таким образом, в результате исследований установлено положительное влияние добавки нанопорошка SiO₂ в электролит на структуру, фазовый состав, трибологические и антикоррозионные свойства МДО-слоёв на алюминиево-кремниевых и магниевых сплавах.

Повышение износостойкости и коррозионной стойкости полученных оксидных слоёв связано, видимо, с изменением их фазового состава и улучшением структуры вследствие изменений в процессе высокотемпературного окисления материала подложки при МДО в присутствии наночастиц SiO₂ в электролите.

Библиографический список

1. Hanshan D. Surface engineering of light alloys. Aluminium, magnesium and titanium alloys. - Woodhead Publishing Limited, 2010.
2. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В. и др. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов / Ред. Суминов И.В. В 2х томах. Т. 2. - М.: Техносфера, 2011. 512 с.
3. Белов Н.А., Савченко С.В., Белов В.Д. Атлас микроструктур промышленных силуминов. - М.: МИСиС, 2009. 204 с.
4. Blawert C. Role of sintering and clay particle additions on coating formation during PEO processing of AM50 magnesium alloy [Текст] / C. Blawert, S. Prasad Sah, J. Liang, Y. Huang, D. Höche // Surface & Coatings Technology, Elsevier. 2012. vol. 213. P. 48-58.
5. Криштал М.М., Ивашин П.В., Полуниин А.В., Боргардт Е.Д., Твердохлебов А.Я. Повышение эффективности технологии микродугового оксидирования алюминиево-кремниевых сплавов / Вектор науки ТГУ, № 2 (32-2), 2015. С. 86-93.
6. Полуниин А.В., Ивашин П.В., Растегаев И.А., Боргардт Е.Д., Криштал М.М. Исследование износостойкости оксидных слоёв, сформированных микродуговым оксидированием на силумине АК9ПЧ в модифицированном наночастицами диоксида кремния электролите. // Деформация и разрушение материалов, №2, 2015. С. 21-25.