

УДК546.02/.05

М.А. Осипенко, асп.; А.А. Касач, ассист.;  
Е.О. Богдан, доц., канд. техн. наук;  
И.И. Курило, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МДО НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МАГНИЕВОГО СПЛАВА AZ91 В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРАХ**

Магний и его сплавы относятся к группе самых легких металлов, применяемых в автомобилестроении, аэрокосмической промышленности, а также в медицине [1]. Однако широкое повсеместное использование сплавов магния ограничено их низкой коррозионной стойкостью. Сплавы магния серии AZ (Mg–Al–Zn) являются представителями одной из самых популярных групп сплавов, используемых в промышленности [2]. Повышение защитных характеристик магния и его сплавов может включать в себя поверхностное упрочнение, нанесение конверсионных покрытий, а также микродуговое оксидирование (МДО). Процесс МДО приводит к наращиванию на поверхности сплава устойчивой защитной оксидной пленки. В настоящее время популярными электролитами для МДО магния являются силикатный и фосфатный. Установлено, что пленки, формируемые в силикатном электролите в процессе МДО, более компактные и толстые, а также характеризуются большей изоляционной способностью [3].

Целью работы было изучение влияния микродугового оксидирования образцов магниевого сплава AZ91 на структуру, состав и коррозионную устойчивость в физиологических средах формируемых поверхностных пленок.

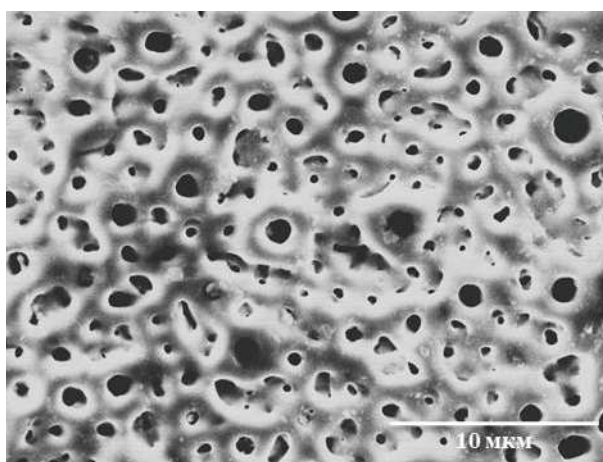
Для проведения процесса МДО использовали стандартный силикатный электролит. Параметры процесса МДО: активационный импульс 1 А/3 сек., импульс 0.1 А/50 мсек. + 0.08 А/50 мсек. + пауза/50 мсек. × 2000 повторений.

Микроструктуру и элементный состав поверхности образцов изучали методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (EDX) с использованием микроскопа JEOL JSM-5610 LV, оснащенного модулем химического микрорентгеноспектрального анализа EDX JED-2201.

Оценку коррозионной стойкости полученных покрытий проводили в BSF-растворе с использованием потенциостата/гальваностата PGSTAT 302N (MethromAutolab), оснащенного модулем импеданса FRA32M. В исследованиях использовали насыщенный хлоридсереб-

ряный электрод в качестве электрода сравнения и платиновую сетку в качестве вспомогательного электрода. Спектры импеданса регистрировали в диапазоне частот  $10^6$ – $10^{-2}$  Гц с амплитудой колебаний тока 10 мВ.

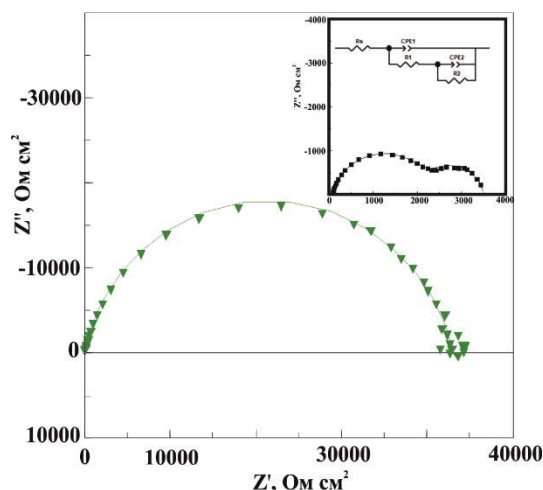
На рисунке 1 представлены микрофотографии образцов сплава AZ91 после процесса МДО. Установлено, что в процессе МДО происходит формирование трехслойной оксидной пленки, состоящей из тонкого плотного барьерного слоя, тонкого среднего подслоя и внешнего толстого пористого слоя. Анализ микрофотографий показал, что внешний слой представляет собой пористую ячеистую слоистую оксидную пленку с размером пор  $\approx 2,0$ – $3,5$  мкм.



**Рисунок 1 – Микрофотография поверхности образцов сплава магния AZ91 после МДО**

Согласно данным EDX-анализа, основными элементами в структуре оксидного слоя являются магний, кислород и алюминий. Большое содержание кремния и фтора обусловлено использованием для формирования оксидного слоя силикатного электролита. Отсутствие на поверхности образца цинка и марганца, входящих в состав исходного сплава AZ91, может быть связано с интенсификацией процессов селективного растворения магниевой матрицы на границе раздела фаз «магний/цинксодержащая (или марганецсодержащая) интерметаллическая частица», что способствует переходу последних в электролит.

Результаты электрохимической импедансной спектроскопии (ЭИС) оксидированных образцов сплава магния AZ91 в BSF-растворе представлены в виде диаграмм Найквиста на рисунке 2.



**Рисунок –2 Спектры ЭИС в виде диаграмм Найквиста оксидированных образцов сплава магния AZ91 BSF-растворе**

Установлено, что практически для всех модифицированных образцов на полученных диаграммах можно выделить две временные константы. Наличие полуокружности в области высоких и средних частот характерно для процессов с лимитирующей электрохимической стадией и объясняется электрическими свойствами поверхности. Полуокружность, наблюдаемая в области низких частот представленных спектров, свидетельствует о протекании двух параллельных процессов: разрушения поверхности и адсорбции образующихся продуктов коррозии на поверхности образца магниевого сплава. Сравнение диаметров полуокружности модифицированного образца и образца сомнения показали, что проведение процесса МДО способствует увеличению общего сопротивления поверхности в 10 раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. B. Darband, M. Aliofkhazraei, P. Hamghalam and N. Valizade. Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications. – J. Magnes. Alloy. – 2017.
2. A. Němcová, P. Skeldon, G. E. Thompson and B. Pacal. Effect of fluoride on plasma electrolytic oxidation of AZ61 magnesium alloy. – Surf. Coatings Technol. – 2013. – Vol. 232. – P. 827–838.
3. И. А. Козлов, С. С. Виноградов, К. Г. Тарасова и др. Плазменное электролитическое оксидирование магниевых сплавов (обзор). Авиационные Материалы и Технологии. – 2019. – Vol. 1. – № 54. – P. 23–36.

Я.А. Афанасенко, магистрант;  
М.А. Осипенко, асп.; И.И. Курило, доц., канд. хим. наук;  
Г.П. Дудчик, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МАРКИ СТАЛЬ 3 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНГИБИТОРОВ – ОРТОФОСФАТА НАТРИЯ И ТРИЭТАНОЛАМИНА**

Несмотря на достаточно большое количество исследований в области, охватывающей совокупность научных и прикладных вопросов антикоррозионной защиты стали, проблемы защиты стальных поверхностей по-прежнему остаются весьма актуальными. Коррозия как разрушение – это один из примеров проявления второго начала термодинамики, согласно которому из всех возможных путей развития любой материальный объект выбирает тот путь, который ведет к максимальной неупорядоченности системы, то есть к ее деградации. Природа не оставляет нам надежды на окончательную победу в борьбе с увеличением энтропии и, следовательно, в борьбе с коррозией. Однако понимание основных принципов этого явления, механизма действия ингибиторов коррозии дает нам, по крайней мере, указания на то, как контролировать коррозию, уменьшать ее скорость. Таким образом, изучение процессов коррозии и антикоррозионной защиты всегда было и будет оставаться актуальной задачей.

В данном сообщении представлены некоторые результаты исследования процессов ингибиторной защиты стали марки Сталь 3, наиболее широко применяемой в Республике Беларусь для промышленного изготовления емкостей для хранения и транспортировки карбамидно-аммиачных смесей (КАС). КАС являются жидкими азотсодержащими водно-растворимыми удобрениями, что определяет выбор способов антикоррозионной ингибиторной защиты стальных емкостей – целесообразно использовать ингибиторы коррозии, также растворимые в воде. Кроме того, при выборе ингибиторов необходимым требованием является необходимость их экологической безопасности.

Подготовка образцов углеродистой стали и рабочих растворов КАС включала все требуемые операции согласно ГОСТ 9.402–2004. Состав КАС по компонентам составлял (в %): аммонийная селитра – 40,1; карбамид – 30,0; вода – 29,9. Ингибиторы коррозии вводились в рабочие растворы КАС перед проведением коррозионных испытаний. Ниже показаны результаты исследований антикоррозионной защиты двумя ингибиторами – 30 %-ным раствором ортофосфата натрия и