

летательных аппаратов мультироторного типа // Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»: сб. ст. Междунар. молодежного форума. Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за изд. И. В. Войтов. Минск: БГТУ, 2024. – с. 198–201.

УДК 620.193.28+678.07

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ МАГНИЯ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

И.И. КУРИЛО, А.А. КАСАЧ, Е.О. БОГДАН, А.Р. ЦЫГАНОВ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Сплавы магния привлекают большое внимание разработчиков беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) благодаря исключительно низкой плотности и высокому отношению прочности к массе. В конструкциях фюзеляжа, несущих рам, узлов шасси и некоторых элементов электроники использование магниевых сплавов позволяет заметно снизить массу аппарата, увеличить полезную нагрузку и продлить время полета при тех же энергетических ресурсах. Однако магний – коррозионно-активный металл и при эксплуатации в атмосферных или агрессивных средах он склонен к коррозии, особенно в присутствии влаги, солей и наличии электрических контактов с более электроположительными металлами. Контакт магния с алюминием, медью или сталью приводит к образованию гальванических пар и, как следствие, к ускоренному коррозионному разрушению. Поэтому в конструкциях БПЛА критически важно учитывать электрическую изоляцию сочленений и выбор совместимых материалов при стыковке компонентов [1]. Для эффективного использования магниевых сплавов при изготовлении изделий авиационного назначения их поверхность необходимо защищать коррозионностойкими покрытиями. Для особо нагруженных или критичных узлов применяют методы поверхностного упрочнения и барьерной защиты с использованием плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) [2].

Целью работы являлось исследование влияния параметров процесса ПЭО на структуру и защитные свойства покрытий, формируемых на поверхности магниевых сплавов WE43 в пирофосфатном электролите.

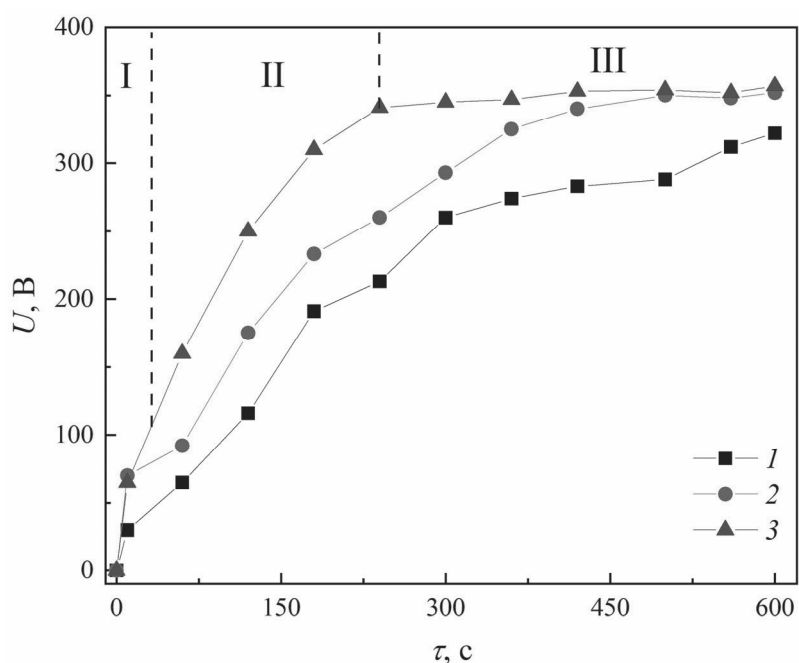
В качестве объекта исследования использовали содержащий редкоземельные элементы (РЗЭ) магниевый сплав марки WE43, номинальный состав которого представлен в таблице 1.

Табл. 1 – Элементный состав сплава

Содержание в сплаве, масс.%				
Y	Nd	РЗЭ	Zr	Mg
3.7	3.2	0.96	0.51	Баланс

ПЭО сплава WE43 проводили в пирофосфатном электролите, содержащем, г/дм³: Na₄P₂O₇ – 10; NaOH – 1. Процесс осуществляли в импульсном режиме при скважности импульсов 2 и частоте 2 Гц. Анодная плотность тока импульса составляла 20, 30 и 40 А/дм², а длительность обработки – 300, 450 и 600 с. Материалом катода служила нержавеющая сталь марки Х18Н9Т.

Для изучения влияния величины анодной плотности тока на процесс формирования ПЭО покрытий получены соответствующие хронограммы напряжения сплава WE43 (рис. 1).



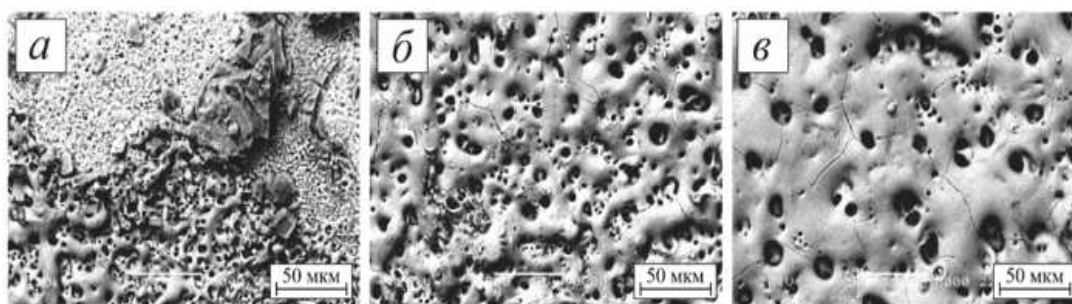
Анодная плотность тока ПЭО, А/дм²: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40.

Рис. 1 – Хронограммы напряжения ПЭО сплава WE43 в пирофосфатном электролите

Как видно из представленных данных, независимо от приложенной плотности тока на хронограммах напряжения можно выделить три характерные области, описывающие этапы протекания процесса. На первом

этапе наблюдается резкое увеличение напряжения, которое обусловлено образованием изолирующего слоя на поверхности анода (область I). После 20 с ПЭО угол наклона хронограмм существенно уменьшается, что обусловлено пробоем изолирующего слоя (область II). Плавное увеличение напряжения во времени на этом этапе сопровождается образованием многочисленных микроискровых разрядов по всей поверхности подложки, что указывает на протекание процесса в микродуговом режиме. При дальнейшем увеличении времени электрохимической обработки устанавливается постоянное значение напряжения, при котором процесс протекает в дуговом режиме (область III). Следует отметить, что по сравнению со вторым этапом в этой области наблюдается образование более сильных разрядов ярко-желтого цвета. С увеличением плотности тока ПЭО от 20 до 40 А/дм² время достижения постоянного значения напряжения снижается от 300 до 200 с, что обусловлено более быстрым формированием изолирующего слоя. После 450 с ПЭО хронограммы напряжения, полученные при плотностях тока 30 и 40 А/дм², накладываются друг на друга. При этом устанавливается напряжение, равное 350 В. После 600 с ПЭО при плотности тока 20 А/дм² напряжение также стабилизируется во времени и составляет около 300 В.

На рис. 2 представлены СЭМ изображения поверхности сплава WE43 после ПЭО. Как видно из полученных микрофотографий, поверхность образцов обладает неоднородной и микропористой структурой. Электрохимическая обработка в течение 300 с при анодной плотности тока 20 А/дм² приводит к формированию на поверхности магниевого сплава структурно неоднородных покрытий. Увеличение длительности процесса до 450–600 с способствует получению более однородных покрытий с равномерно распределенными порами.



Длительность обработки, с: а – 300; б – 450; в – 600.

Рис. 2 – СЭМ изображения поверхности образцов сплава WE43 после ПЭО при анодной плотности тока 20 А/дм²

На рис. 3 представлены поляризационные кривые исходного сплава WE43 и образцов после ПЭО, снятые в хлоридсодержащей коррозионной

среде (содержание NaCl 8 г/л). Как видно из полученных зависимостей, ПЭО образцов способствует смещению их стационарного потенциала в более электроотрицательную область.

Плотность тока коррозии исходного образца сплава WE43 составляет $3.32 \cdot 10^{-5}$ А/см². ПЭО сплава WE43 способствуют уменьшению скорости его коррозии в 4.1–31.6 раз, что обусловлено образованием структурированного покрытия, ограничивающего контакт металла подложки с электролитом. Более высокие значения коэффициентов b_a и b_k образцов после ПЭО указывают на увеличение поляризуемости катодного и анодного процессов. Как видно из представленных данных, скорость коррозии полученных образцов зависит от длительности и величины плотности тока ПЭО. Увеличение длительности ПЭО от 300 до 600 с приводит к снижению скорости коррозии полученных при плотности тока 20 А/дм² образцов в ≈ 2.8 раз.

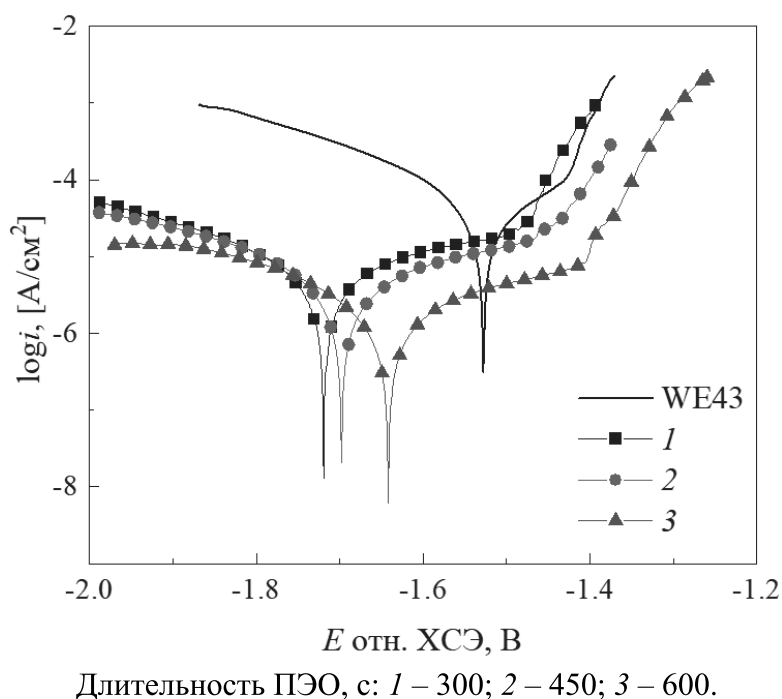


Рис. 3 – Поляризационные кривые в хлоридсодержащем растворе образцов сплава магния WE43 после ПЭО при анодной плотности тока 20 А/дм²

Таким образом установлено, что ПЭО приводит к формированию на поверхности магниевого сплава WE43 структурированных и микропористых покрытий, существенно повышающих коррозионную стойкость образцов. Увеличение анодной плотности тока и длительности обработки способствуют более быстрому формированию изолирующего слоя, увеличению однородности и защитных свойств покрытий. Полученные результаты показали перспективность использования

ПЭО как метода получения коррозионностойких материалов на основе магниевых сплавов, пригодных для использования в конструктивных элементах беспилотных летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atrens A. et al. Review of Mg alloy corrosion rates //Journal of magnesium and alloys. – 2020. – Vol. 8. – №. 4. – P. 989–998.
2. Yang C. et al. A review of corrosion-resistant PEO coating on Mg alloy //Coatings. – 2024. – Vol. 14. – №. 4. – P. 451.

УДК 678

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.В. КАСПЕРОВИЧ, Ж.С. ШАШОК, Р.М. ДОЛИНСКАЯ, Е.П. УСС,
О.А. КРОТОВА, А.В. ЛЕШКЕВИЧ, В.В. БОБРОВА
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

С каждым годом беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся все более распространенными и востребованными в самых различных сферах – от сельского хозяйства и геодезии до военно-оборонной промышленности и доставки товаров. Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность и надежность этих устройств, является выбор материалов, используемых в их конструкции. В этом контексте резина представляет собой уникальный и многофункциональный эластомерный композиционный материал, обладающий рядом свойств, которые делают ее незаменимой в производстве БПЛА.

Эластомерные материалы играют все более значимую роль в производстве беспилотных летательных аппаратов, предоставляя уникальные преимущества благодаря своим механическим свойствам. Данные материалы – это комбинация полимеров, которые обладают высокой гибкостью, прочностью и устойчивостью к внешним воздействиям, что делает их незаменимыми в аэрокосмической отрасли. Одним из основных достоинств использования эластомерных композиций является их способность эффективно поглощать удары и вибрации, что обеспечивает