

УДК 620.197

Ингибированные молибдатные и вольфраматные конверсионные покрытия для защиты алюминиевого сплава АМгЗ

А.С. Коновалов, Ю.А. Кузенков*, О.Ю. Графов и С.Ю. Рыбаков

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), Ленинский просп.31, корп. 4, Москва, 119071 Россия
E-mail: osvpkz@outlook.com

Аннотация

Для предотвращения коррозии алюминиевых сплавов могут использоваться ингибиторы и покрытия, например, получаемые методом химического оксидирования. Комбинация этих двух методов защиты позволяет получать покрытия с высокими защитными свойствами. В настоящей работе были исследованы ультратонкие ингибированные конверсионные покрытия, которые получали в молибдатных и вольфраматных конвертирующих составах, и их модификациях, в том числе, известными ингибиторами коррозии алюминиевых сплавов. Было показано, что последующая обработка покрытий в растворе ингибитора коррозии в большей степени влияет на покрытия, полученные в растворе на основе фосфорномолибденовой кислоты, чем на покрытия, полученные в растворе на основе молибдата и вольфрамата натрия. Такое отличие, по-видимому, связано со структурой и составом исследуемых покрытий. Среди неорганических модифицирующих добавок наилучший эффект увеличения защитных свойств демонстрирует силикат натрия и тетраборат натрия, а среди органических – танин и 5-метил бензотриазол. Согласно коррозионным испытаниям в камере влажности, наибольшую коррозионную стойкость демонстрируют покрытия, полученные в конвертирующих составах с добавлением силиката натрия.

Ключевые слова: алюминий, конверсионные покрытия, питтинговая коррозия, ингибиторы коррозии, молибдаты, вольфраматы

Doi: [10.61852/2949-3412-2024-2-4-80-92](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2024-2-4-80-92)

Введение

Алюминий – популярный конструкционный материал, который применяется в различных отраслях промышленности, включая машиностроение, авиацию, строительство и другие. Однако алюминиевые сплавы, зачастую, не обладают высокими коррозионными свойствами и поэтому нуждаются в дополнительных средствах защиты [1, 2]. Среди наиболее популярных методов защиты от коррозии – использование ингибиторов и нанесение покрытий различными способами.

Для предотвращения коррозии алюминия может использоваться достаточно широкий спектр ингибиторов. Это могут быть как органические [3, 4], так и неорганические ингибиторы [5], которые добавляются непосредственно в коррозионную среду. Ингибирование происходит путём образования плёнок на поверхности сплава. В [4] был сделан обзор ингибиторов для защиты алюминиевых сплавов в хлоридсодержащей среде. Наиболее популярными ингибиторами среди исследователей являются меркапто- соединения (тиолы), производные азола, органические красители и различные полимеры. При этом, обычно эффективность ингибитора повышается с увеличением концентрации и падает с повышением температуры. В обзоре [6] также говорится о высокой эффективности азолов, в частности, бензотриазола и его производных для защиты алюминиевых сплавов в нейтральных средах. Ключевыми особенностями бензотриазола являются его способность блокировать катодные интерметаллиды, в основном медьсодержащие, на поверхности алюминиевых сплавов и хорошее взаимодействие с другими ингибиторами коррозии.

Нанесение конверсионных покрытий посредством химического оксидирования также является простым и эффективным методом защиты от коррозии алюминия и его сплавов. Хотя конверсионные покрытия на основе соединений хрома (VI) по-прежнему используются, их применение в большинстве стран ограничено по экологическим причинам [7]. В качестве альтернативы исследуются покрытия на основе церия, молибдена и ряда других элементов. Например, в [8] отмечается, что для церийсодержащих конверсионных покрытий характерно наличие большого количества трещин, поэтому в конвертирующие растворы необходимо добавлять модификаторы для снижения данной проблемы. В [9] предлагают использовать составы на основе церия в качестве дополнительной обработки покрытий, полученных методом микродугового оксидирования, а не как самостоятельное покрытие. В [10] были исследованы морфология и коррозионные свойства конверсионных покрытий на основе циркония. Авторы показали, что цирконий улучшает коррозионное сопротивление алюминия путём осаждения соединений циркония на интерметаллидных частицах, таким образом снижая их катодную активность. В [11] получали покрытия на основе соединений молибдена, которые состояли преимущественно из смеси оксидов и фосфатов молибдена, а также молибдатов алюминия. Было показано, что температурный режим значительно влияет на морфологию получаемых покрытий.

Ранее нами были изучены ряд конвертирующих составов для получения конверсионных покрытий на основе перманганатов и молибдатов, особенностью которых является их модификация ингибиторами коррозии. В результате взаимодействия покрытия и ингибитора были получены гетерогенные системы с защитными свойствами на уровне традиционных хроматных покрытий и с высокими адгезионными свойствами по отношению к лакокрасочным покрытиям [12–15]. В данной работе было продолжено исследование молибдатных и вольфраматных конверсионных покрытий и их модификаций.

Методика эксперимента

Конверсионные покрытия получали на плоских образцах из алюминиевого сплава АМг3 (50×20 мм). Состав сплава приведён в таблице 1. Образцы шлифовали наждачной бумагой разной зернистости, обезжиривали этанолом, травили 1 мин в 10%-ном растворе NaOH ($t=65-67^{\circ}\text{C}$), промывали горячей дистиллированной водой, осветляли 3 мин в 50%-ном растворе HNO_3 , снова промывали водой и сушили. После предварительной обработки образцы погружали в конвертирующие растворы при $t=80^{\circ}\text{C}$ на 10 мин. Исследовались три конвертирующих состава: на основе молибдата натрия (Na_2MoO_4), фосфорномолибденовой кислоты ($\text{H}_7[\text{P}(\text{Mo}_2\text{O}_7)] \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и вольфрамата натрия (Na_2WO_4). Растворы доводили до pH 1,9 с помощью фосфорной кислоты (H_3PO_4). После оксидирования образцы вынимали из раствора, промывали дистиллированной водой, сушили на воздухе при комнатной температуре не менее 12 ч и взвешивали.

Таблица 1. Содержание легирующих элементов (%масс) в сплаве АМг3 по ГОСТ 4784-97.

Fe	Si	Mn	Cu	Mg	Zn	Al
до 0,5	0,5–0,8	0,3–0,6	до 0,1	3,2–3,8	до 0,2	остальное

Наполнение (уплотнение) плёнки проводили при погружении образцов с покрытием в горячую дистиллированную воду ($98-100^{\circ}\text{C}$) в присутствии ингибитора коррозии (на основе карбоксилатов) в течение 15 мин.

Толщину покрытий оценивали по потере его массы после 15 мин травления образцов в стандартном хроматно-фосфатном растворе (20 г/л CrO_3 и 50 г/л H_3PO_4 при $t=80^{\circ}\text{C}$). Далее образцы промывали дистиллированной водой, сушили и через сутки взвешивали. Толщину покрытий (мкм) рассчитывали по формуле:

$$h = \frac{m_0 - m_n}{S_{\text{обр}} \cdot \rho} \cdot 10^7$$

где m_0 – масса образца с покрытием, г; m_n – масса образца после снятия покрытия, г; ρ – плотность покрытия, г/см³; $S_{\text{обр}}$ – площадь покрытия на образце, см².

Анодные поляризационные кривые на образцах с покрытиями (рабочая поверхность 0,5 см²) снимали в боратном буферном растворе (pH 7,4), содержащем 0,01М NaCl при $t=20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Поляризацию электродов (1 мВ/с) начинали с потенциала коррозии после 20–30 мин экспозиции их в исследуемом растворе.

Коррозионные испытания конверсионных покрытий по ГОСТ 9.913-90 в камере влажности Г-4 (15 сут) проводили при следующих условиях – 8 ч образцы находились в камере при 100% относительной влажности и $t=40^{\circ}\text{C}$, а последующие 16 ч при комнатной температуре в условиях конденсации влаги.

Рентгенофотоэлектронные спектры (РФЭС) регистрировали с помощью рентгенофотоэлектронного спектрометра Omicron+ (ФРГ). Давление в камере анализатора не превышало 10^{-8} Торр. В качестве источника использовали монохроматическое излучение рентгеновского Al-анода (энергия излучения 1486,6 эВ, мощность 200 Вт). Энергия пропускания анализатора установлена равной 20 эВ. Спектры регистрировались с шагом 0,1 эВ. Интегральные площади под пиком определяли после вычитания фона по методу Ширли и путём подгонки наблюдаемых пиков кривыми Гаусса с вкладом компоненты Лоренца.

Микрофотографии были получены на сканирующем электронном микроскопе с термоэмиссионном катодом WIN SEM A6000. На микрофотографиях даны изображения поверхности во вторичных электронах, полученные при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Экспериментальные результаты и обсуждение

В конвертирующем составе на основе молибдата натрия (2 г/л) на образцах сплава АМг3 образуются конверсионные покрытия толщиной около 0,4 мкм. Согласно поляризационным измерениям потенциал питтингообразования ($E_{\text{пит}}$) для этих покрытий составляет ~100 мВ (рисунок 1а). Увеличение концентрации молибдата натрия в конвертирующем составе до 5 г/л сдвигает $E_{\text{пит}}$ в отрицательную сторону до -125 мВ. При этом наполнение покрытий в растворе ингибитора коррозии оказывает слабое влияние на защитные свойства покрытий. Для покрытия, полученного в растворе с 2 г/л молибдата натрия, $E_{\text{пит}}$ смещается в положительную сторону на 50 мВ, а для покрытия, полученного в растворе с 5 г/л молибдата натрия – на 75 мВ. При использовании фосфорномолибденовой кислоты (ФМК) в качестве основы конвертирующего состава наблюдается обратная ситуация (рисунок 1б). Исходные покрытия, без дополнительной обработки ингибитором коррозии, обладают слабыми защитными свойствами. $E_{\text{пит}}$ для них лежит в пределах -200 ÷ -150 мВ в зависимости от концентрации ФМК. Наполнение в растворе ингибитора коррозии существенно сдвигает $E_{\text{пит}}$ в положительную сторону: до 50 мВ для концентрации ФМК 2 г/л и до 200 мВ для концентрации 5 г/л. Для вольфраматных покрытий, в отличие от молибдатных, результаты поляризационных исследований не отличаются стабильностью (рисунок 1в). Более низкие концентрации основного компонента приводят к образованию оксидных плёнок с довольно высокими защитными свойствами, но наполнение таких покрытий приводит к сдвигу $E_{\text{пит}}$ в отрицательную сторону. Высокие концентрации вольфрамата натрия наоборот снижают защитные свойства покрытий, но такие покрытия более эффективно адсорбируют ингибитор коррозии. При этом $E_{\text{пит}}$ для всех полученных покрытий превышает значение $E_{\text{пит}}$ для образца без покрытия, а для ингибированных покрытий значение $E_{\text{пит}}$ лежит в более положительной области, чем $E_{\text{пит}}$ для стандартного хроматного покрытия.

Такая разница в защитных свойствах исследуемых конверсионных покрытий, по-видимому, связана со структурой и составом покрытия, так как толщина оксидных плёнок, полученных в этих составах, примерно, одинакова и равна

0,3–0,5 мкм. Действительно, согласно данным РФЭС покрытие, полученное в конвертирующем составе на основе молибдата натрия, имеет в своём составе оксиды и фосфаты Mo^{6+} и Mo^{5+} , а покрытие на основе ФМК ещё и Mo^{4+} (рисунок 2). При этом концентрация фосфатов и оксидов молибдена во втором составе в 4 раза больше – 12% ат против 3% ат. Таким образом, покрытие, полученное в составе на основе молибдата натрия, состоит, преимущественно, из фосфатов и оксидов алюминия с небольшой долей соединений молибдена, а покрытие, полученное в составе на основе ФМК, состоит из оксидов алюминия и молибдена с малым количеством фосфатов (таблица 2). Можно предположить, что более однородное покрытие из раствора на основе молибдата натрия имеет более равномерную и плотную структуру и поэтому показывает исходные хорошие защитные свойства, тогда как более гетерогенное покрытие из раствора ФМК – более дефектное, что способствует эффективной пропитке ингибитором коррозии. В отличие от молибдатных покрытий, вольфраматное покрытие имеет в своём составе очень мало количество соединений вольфрама, то есть по составу оно ближе к покрытию на основе молибдата натрия.

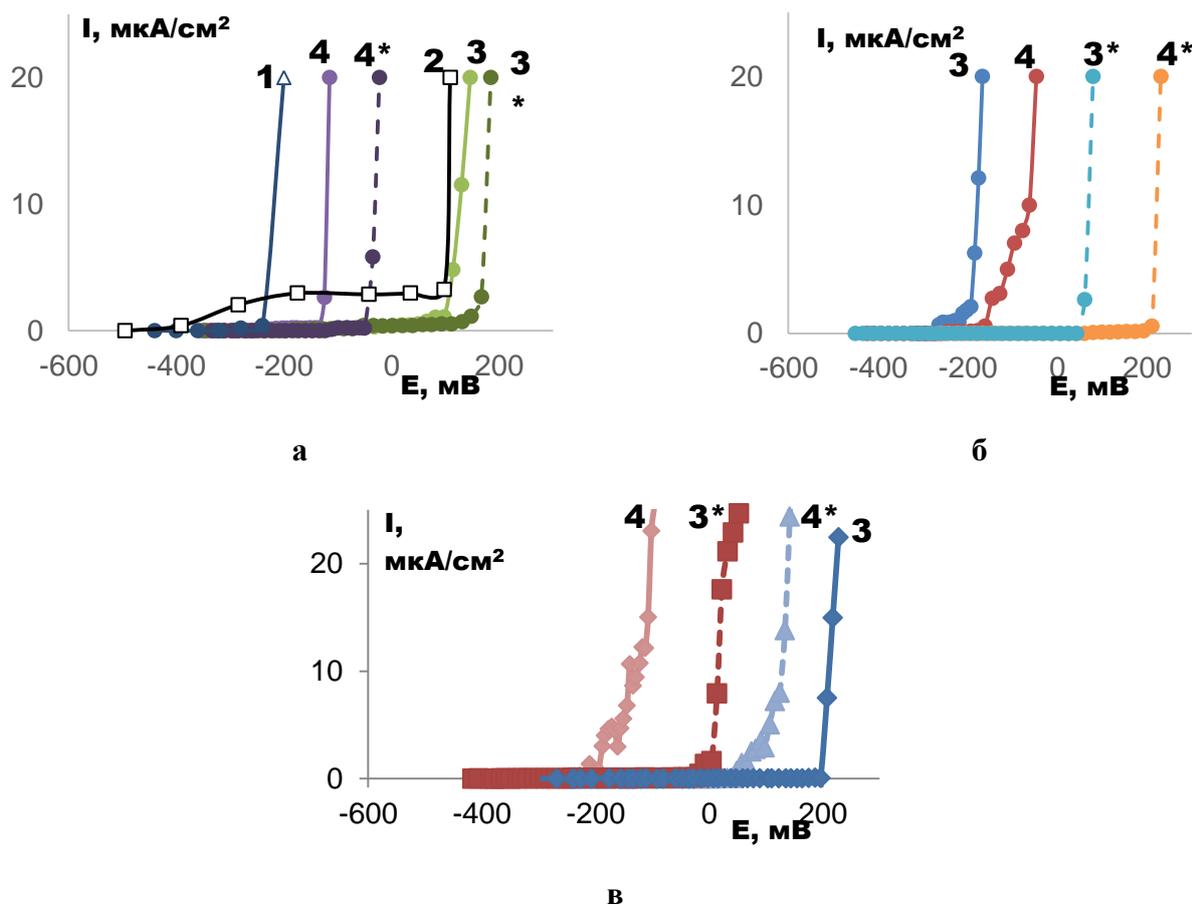


Рисунок 1. Анодные поляризационные кривые сплава АМг3 в боратном буферном растворе, содержащем 0,01М NaCl (рН 7,4), без покрытия (1), со стандартным хроматным покрытием (2) и с покрытиями на основе молибдата натрия (а), ФМК (б) и вольфрамата натрия (в) после наполнения в растворе ингибитора коррозии (*) с различной концентрацией основного компонента конвертирующего состава: 3 – 2 г/л, 4 – 5 г/л.

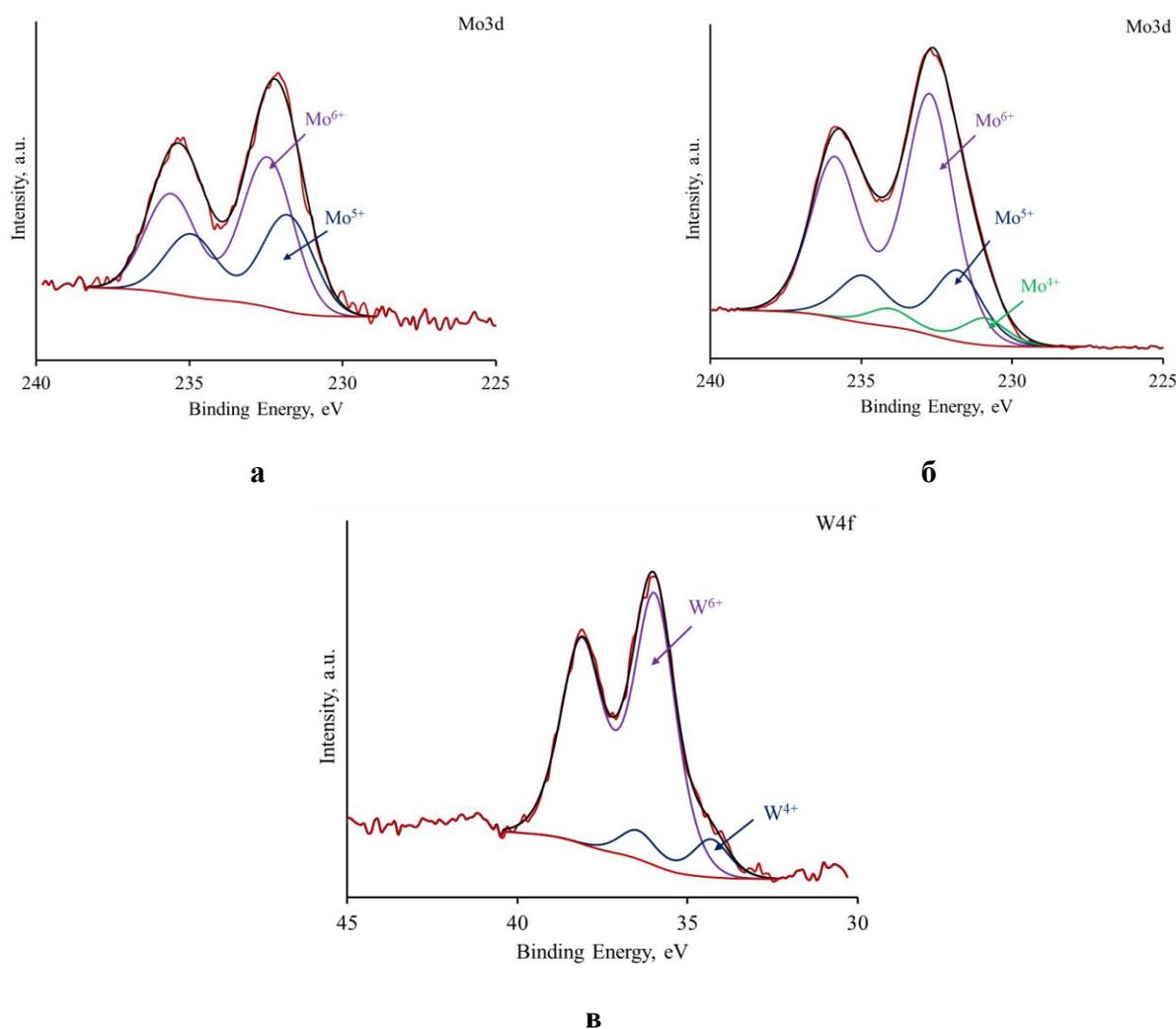


Рисунок 2. Участки РФЭ спектра для Mo и W для покрытий, полученных в конвертирующих составах на основе молибдата натрия (а), ФМК (б) и вольфрамата натрия (в) на сплаве АМгЗ.

Таблица 2. Содержание элементов в покрытиях, полученных на сплаве АМгЗ по данным РФЭ анализа.

Основа конвертирующего состава	Содержание элементов в покрытии, ат %							
	Al 2p	P 2p		Mo 3d			W 4f	
		MePO ₄	MeHPO ₄	Mo ⁴⁺	Mo ⁵⁺	Mo ⁶⁺	W ⁴⁺	W ⁶⁺
Молибдат натрия	24,4	1,5	9,9	–	1,2	1,9	–	–
ФМК	21,4	0,9	4,4	0,9	2,6	8,7	–	–
Вольфрамат натрия	30,6	1,6	5,6	–	–	–	0,1	1,1

Примечание: остальное кислород.

Микрофотографии поверхности покрытий, по-видимому, подтверждают выводы, сделанные на основе РФЭС анализа (рисунок 3). Покрытие на основе

молибдата натрия представляет собой визуально плотную аморфную структуру, с минимальным количеством видимых пор. В отличие от него, на поверхности покрытия, полученного в растворе на основе ФМК, хорошо различимы многочисленные микропоры, которые, вероятно, позволяют адсорбировать больше ингибитора коррозии в процессе наполнения. Поверхность вольфраматного покрытия характеризуют многочисленные включения, которые, можно предположить, и формируют неоднородность оксидной плёнки, что приводит к её нестабильным защитным свойствам.

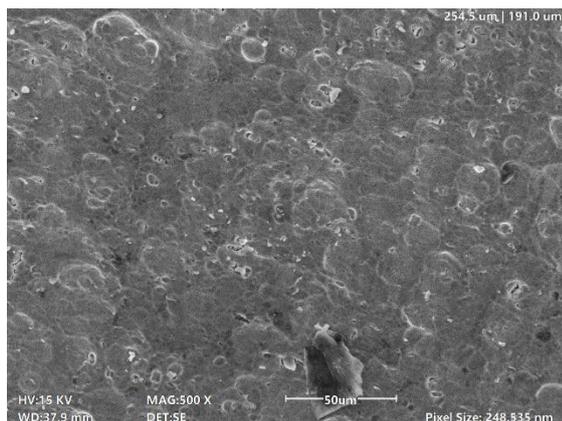
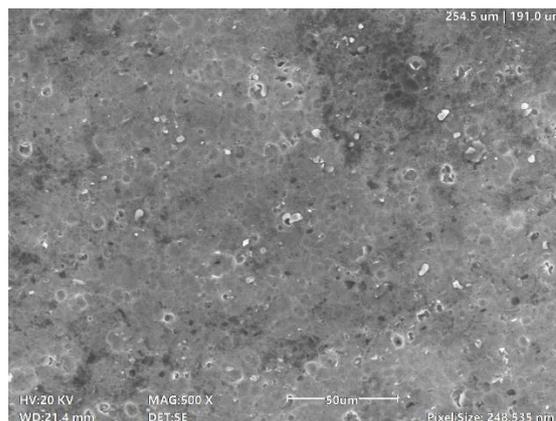
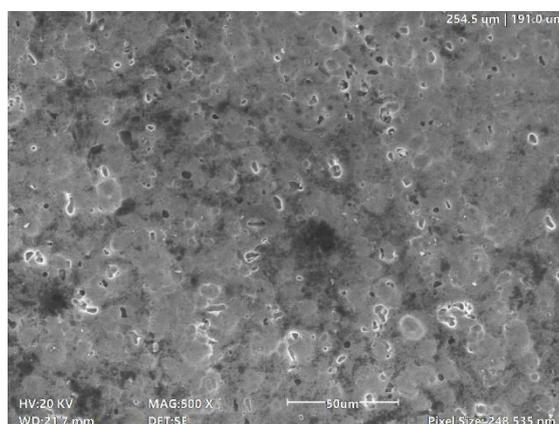
**а****б****в**

Рисунок 3. Микрофотографии покрытий, полученных в конвертирующих составах на основе молибдата натрия (а), ФМК (б) и вольфрамата натрия (в) на сплаве АМгЗ.

Очевидно, что модифицирующие добавки в конвертирующий состав также по-разному будут влиять на защитные свойства покрытий, полученных в разных молибдатных растворах. В случае неорганических добавок для состава на основе молибдата натрия наилучший результат показывает силикат натрия (рисунок 4). Для такого модифицированного покрытия $E_{\text{пит}}$ сдвигается в положительную сторону вплоть до +130мВ. Среди органических модификаторов все три исследованные добавки оказали положительное влияние. Покрытие, полученное в растворе с добавлением трилона Б, после наполнения показывает защитный эффект на уровне покрытия, полученного в растворе с добавлением силиката, 5-метил БТА в качестве модификатора менее эффективен, а добавление танина

даёт наилучший результат – $E_{\text{пит}}$ сдвигается в положительную сторону вплоть до 200 мВ. При этом следует отметить, что тенденция малого влияния наполнения в растворе ингибитора на защитные свойства покрытия сохраняется для большинства модифицированных покрытий, полученных в растворе на основе молибдата натрия.

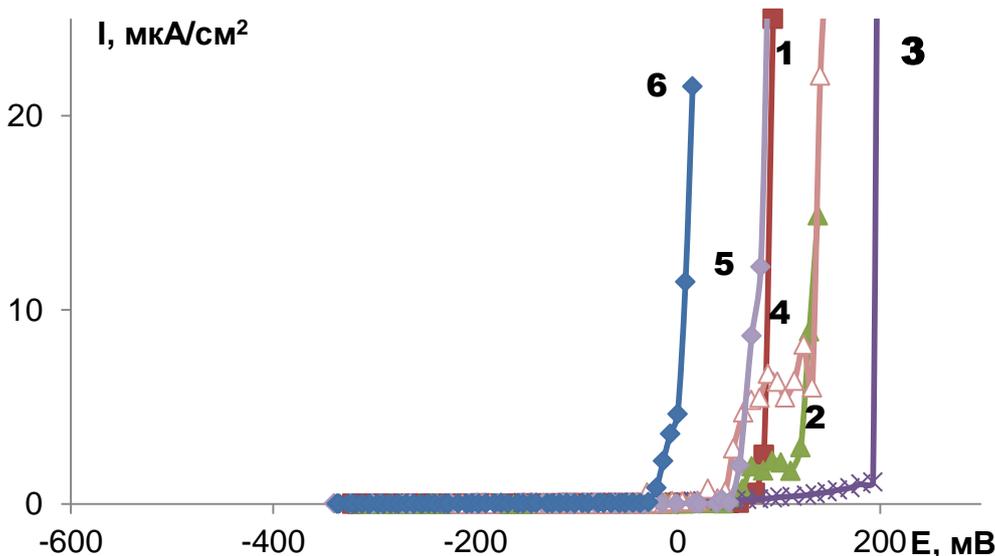


Рисунок 4. Анодные поляризационные кривые сплава АМгЗ в боратном буферном растворе, содержащем 0,01М NaCl (рН 7,4), с покрытиями на основе молибдата натрия после наполнения в растворе ингибитора коррозии (*) с различными модифицирующими добавками: 1 – 5метил БТА, 2 – трилон Б, 3 – танин, 4 – Na_2SiO_3 , 5 – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 6 – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Для покрытий, полученных в конвертирующем составе на основе ФМК, положительное влияние оказывают только неорганические модификаторы, тогда как органические либо приводят к отрицательному эффекту, либо никак не улучшают защитные свойства покрытий (рисунок 5). Среди неорганических модификаторов вновь лучший результат показывает силикат натрия, совсем немного по защитным свойствам ему уступает покрытие, модифицированное дигидрофосфатом цинка. Для вольфраматных покрытий существенных улучшений защитных свойств при использовании добавок не наблюдается в сравнении с исходным покрытием. Наибольший сдвиг $E_{\text{пит}}$ в положительную сторону показывают покрытия, полученные в растворах с добавлением тетрабората натрия и танина (рисунок 6).

Коррозионные испытания в камере влажности Г-4 показали, что большую коррозионную стойкость демонстрируют покрытия, полученные в конвертирующих составах с добавлением модифицирующих добавок. Наилучший результат показали покрытия, полученные при оксидировании в растворе на основе ФМК с добавлением силиката натрия, танина и 5-метил БТА. Для них время до появления коррозии составило 11–12 суток, что близко по защитным свойствам к стандартным хроматным покрытиям. Среди покрытий, полученных в

растворе на основе молибдата и вольфрамата натрия, лучший результат демонстрируют покрытия с добавками силиката натрия и тетрабората в конвертирующий состав. Для них время до появления коррозии составило 9 суток (табл. 3).

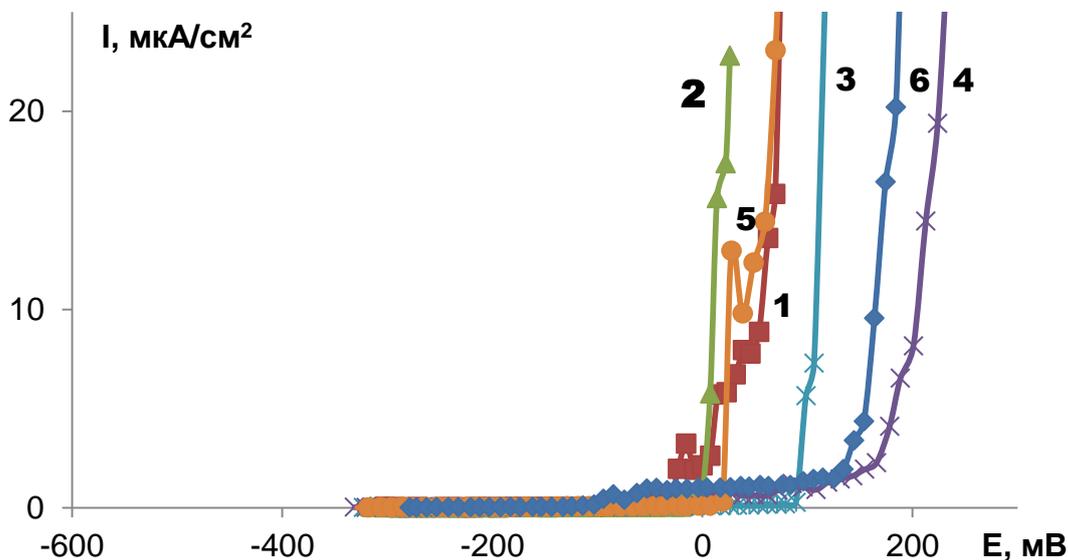


Рисунок 5. Анодные поляризационные кривые сплава АМгЗ в боратном буферном растворе, содержащем 0,01М NaCl (рН 7,4), с покрытиями на основе ФМК после наполнения в растворе ингибитора коррозии (*) с различными модифицирующими добавками: 1 – 5метил БТА, 2 – трилон Б, 3 – танин, 4 – Na_2SiO_3 , 5 – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 6 – $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

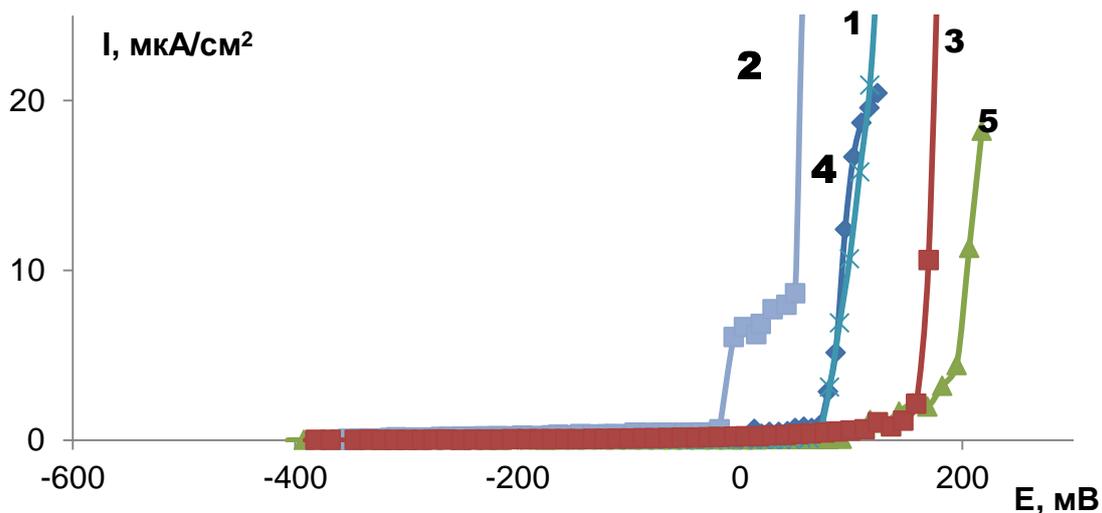


Рисунок 6. Анодные поляризационные кривые сплава АМгЗ в боратном буферном растворе, содержащем 0,01М NaCl (рН 7,4), с покрытиями на основе вольфрамата натрия после наполнения в растворе ингибитора коррозии (*) с различными модифицирующими добавками: 1 – 5метил БТА, 2 – трилон Б, 3 – танин, 4 – Na_2SiO_3 , 5 – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

Таблица 3. Результаты коррозионных испытаний покрытий с различными модифицирующими добавками, на сплаве АМгЗ в камере влажности Г-4.

Конверсионное покрытие	Время до появления первой коррозии, сут.		
Без покрытия	1		
Стандартное хроматное покрытие	12		
Исследуемые покрытия			
	Молибдат натрия	ФМК	Вольфрамат натрия
Исходное	3	5	8
Исходное*	5	7	9
+ 5метил БТА*	5	11	–
+Na ₂ SiO ₃ *	9	12	9
+Na ₂ B ₄ O ₇ *	9	9	9
+трилон Б*	5	9	–
+танин*	5	11	–

(*) - наполнение в растворе ингибитора коррозии

Выводы

1. Согласно поляризационным измерениям покрытия, полученные в конвертирующем составе на основе молибдата натрия, обладают более высокими защитными свойствами, чем покрытия на основе ФМК, однако они менее эффективно адсорбируют ингибитор коррозии в процессе наполнения покрытий. По-видимому, это связано со структурой и составом покрытий, что подтверждается данными РФЭ анализа.
2. Среди исследованных модифицирующих добавок наилучший результат демонстрируют силикат натрия, 5 – метил БТА и танин. При этом модифицирующие добавки в большей степени влияют на покрытия на основе ФМК, чем на покрытия на основе молибдата натрия.
3. Коррозионные испытания в камере влажности Г4 показывают, что покрытия, полученные в конвертирующем составе на основе ФМК с добавлением силиката натрия, близки по защитным свойствам стандартным хроматным покрытиям.

Работа выполнена в рамках Госзадания при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Список литературы

1. В.С. Синявский и В.Д. Васильков, *Коррозия и защита алюминиевых сплавов*, М.: Металлургия, 1986, С. 386.
2. *Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов*, Под ред. Джозефа Р. Дейвиса, М.: НП «АПРАЛ», 2016, С. 333.
3. A. Chahid, M. Chafi, M. Essahli, A.A. Alrashdi and H. Lgaz, Exploring the efficacy of Congo Red dye as a corrosion inhibitor for aluminum in HCl solution: An interdisciplinary study with RSM modeling and theoretical simulations, *Arabian J. Chem.*, 2024, **17**(7), 105810. doi: [10.1016/j.arabjc.2024.105810](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105810)
4. K. Khanari and M. Finšgar, Organic corrosion inhibitors for aluminum and its alloys in chloride and alkaline solutions: A review, *Arabian J. Chem.*, 2019, **12**(8), 4646–4663. doi: [10.1016/j.arabjc.2016.08.009](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.08.009)
5. Z. Bergseth, X. Qi, V. Upadhyay and D. Battocchi, Lithium salts as active corrosion inhibitors for aluminum substrates, *Appl. Surf. Sci. Adv.*, 2023, **16**, 100432. doi: [10.1016/j.apsadv.2023.100432](https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100432)
6. Yu.I. Kuznetsov, Organic corrosion inhibitors: where are we now? A review. Part II. Passivation and the role of chemical structure of carboxylates. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2016, **5**(4), 282–318. doi: [10.17675/2305-6894-2016-5-4-1](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2016-5-4-1)
7. Commission Directive 2001/59/EC of 6 August 2001 Adapting to technical progress for the 28th time Council Directive 67/548/EEC on the approximation of laws, regulations and administrative provisions concerning the classification, packaging and labeling of hazardous substances relation to the EEA). Official Journal L 225, 21/08/2001, p. 0001–0333.
8. H. Hassannejad, M. Moghaddasi, E. Saebnoori and A.R. Baboukani, Microstructure, deposition mechanism and corrosion behavior of nanostructured cerium oxide conversion coating modified with chitosan on AA2024 aluminum alloy, *J. Alloys Compd.*, 2017, **725**, 968–975. doi: [10.1016/j.jallcom.2017.07.253](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.07.253)
9. S. Zhang, C. Wang, S. Zhao, A. Niu, Y. Ma and B. Liu, Enhanced long-term corrosion protection of 2A14 aluminum alloy: Hybrid effect of micro-arc oxidation coating and cerium based conversion treatment, *Surf. Coat. Technol.*, 2023, **464**, 129579. doi: [10.1016/j.surfcoat.2023.129579](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129579)
10. S.S. Golru, M.M. Attar and B. Ramezanzadeh, Morphological analysis and corrosion performance of zirconium based conversion coating on the aluminum alloy 1050, *J. Ind. Eng. Chem.*, 2015, **24**, 233–244. doi: [10.1016/j.jiec.2014.09.036](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2014.09.036)
11. C.S. Liang, Z.F. Lv, Y.L. Zhu, S.A. Xu and H. Wang, Protection of aluminium foil AA8021 by molybdate-based conversion coatings, *Appl. Surf. Sci.*, 2014, **288**, 497–502. doi: [10.1016/j.apsusc.2013.10.060](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.10.060)
12. Yu.A. Kuzenkov, S.V. Oleinik, A.S. Zimina, L.P. Kazanskii, V.N. Ivonin and V.A. Karpov, Submicron free-chromate chemical conversion coatings on AMg3 aluminum alloy, *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 2017, **52**(7), 1205–1210. doi: [10.1134/S2070205116070121](https://doi.org/10.1134/S2070205116070121)

-
13. Yu.A. Kuzenkov, D.O. Chugunov, S.V. Oleynik and V.L. Voititsky, Protective chromate-free conversion coatings on AMg6 aluminum alloy with different types of surface treatment, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2022, **11**(2), 541–552. doi: [10.17675/2305-6894-2022-11-2-5](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-2-5)
 14. Yu.A. Kuzenkov, A.S. Konovalov and O.Y. Grafov, Influence of pH and modifying additives on the protective properties of ultrathin conversion coatings for AMg3 aluminum alloy, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, **12**(1), 170–179. doi: [10.17675/2305-6894-2023-12-1-10](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2023-12-1-10)
 15. Ю.А. Кузенков, А.С. Коновалов, О.Ю. Графов и А.Ю. Лучкин, Модификация ультратонких конверсионных покрытий на алюминиевом сплаве АМг3 и их взаимодействие с лакокрасочным покрытием, *Коррозия: защита материалов и методы исследований*, 2023, **2**, 37–48. doi: [10.61852/2949-3412-2023-1-2-37-48](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2023-1-2-37-48)

Inhibited molybdenum and tungstate conversion coatings for the protection of aluminum alloy AMg3

A.S. Konovalov, Yu.A. Kuzenkov*, O.Yu. Grafov and S.Yu. Rybakov

A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Leninsky prosp. 31 bldg. 4, 119071 Moscow, Russia

E-mail: osvpkz@outlook.com

Abstract

Inhibitors and coatings, for example, obtained by chemical oxidation, can be used to prevent corrosion of aluminum alloys. The combination of these two protection methods makes it possible to obtain coatings with high protective properties. In this work, ultrathin inhibited conversion coatings were studied, which were obtained in molybdenum and tungstate converting compounds and their modifications, including well-known corrosion inhibitors of aluminum alloys. It has been shown that the subsequent treatment of coatings in a corrosion inhibitor solution has a greater effect on coatings obtained in a solution based on phosphoric acid than on coatings obtained in a solution based on molybdenum and sodium tungstate. This difference seems to be related to the structure and composition of the coatings under study. Among inorganic modifying additives, the best effect of increasing protective properties is demonstrated by sodium silicate and sodium tetraborate, and among organic ones – tannin and 5-methyl benzotriazole. According to corrosion tests in the humidity chamber, coatings obtained in converting compounds with the addition of sodium silicate demonstrate the greatest corrosion resistance.

Keywords: *aluminum, conversion coatings, pitting corrosion, corrosion inhibitors, molybdates, tungstates*