

УДК 620.197

Модификация ультратонких конверсионных покрытий на алюминиевом сплаве АМгЗ и их взаимодействие с лакокрасочным покрытием

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

Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4

**E-mail: osvpkz@outlook.com*

Аннотация

Для нанесения лакокрасочных покрытий на поверхности алюминиевых сплавов формируют специальные праймеры, в том числе, методом химического оксидирования. Праймеры должны служить промоутерами адгезии и нести дополнительную антикоррозионную защиту. В настоящей работе ультратонкие конверсионные покрытия-праймеры были получены в экологически безопасном конвертирующем составе ИФХАНАЛ-2М на основе молибдатов и фосфатов. Для улучшения защитных и адгезионных свойств покрытий они были модифицированы путём изменения конвертирующего состава и последующего наполнения покрытий в растворе ингибитора коррозии. Среди исследованных модифицирующих добавок наилучший результат показал 1,2,3-бензотриазол (БТА). Покрытия, полученные в растворе с добавлением БТА, эффективно адсорбируют ингибитор коррозии на стадии наполнения покрытий, показывают хорошие защитные свойства при коррозионных испытаниях в камере влажности и высокие параметры адгезии лакокрасочных покрытий. По этим свойствам они близки традиционным праймерам, получаемым в хроматных конверсионных составах.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, конверсионные покрытия, питтинговая коррозия, ингибиторы коррозии, лакокрасочные покрытия

Поступила в редакцию 13.06.2023 г.; После доработки 13.06.2023 г.; Принята к публикации 13.06.2023 г.

Введение

Алюминиевые сплавы благодаря сочетанию необходимых механических свойств и низкой плотности нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Однако из-за наличия интерметаллидных частиц они не обладают высокой коррозионной стойкостью [1, 2]. Естественный оксид на поверхности металла также не способствует высокой адгезии нанесённых лакокрасочных

покрытий (ЛКП) [3]. В связи с этим, для алюминиевых сплавов используют специальные праймеры. Они должны создавать антикоррозионный барьер на поверхности металлов и одновременно служить промоутерами адгезии для последующего слоя ЛКП. Одним из простых способов создания праймера является метод химического оксидирования, в результате которого на поверхности образуется конверсионное покрытие.

Ввиду токсичности шестивалентного хрома [4], на основе которого конверсионные покрытия получали длительное время, активно исследуются альтернативы хроматным обработкам. Наряду с дорогостоящими составами, содержащими редкоземельные металлы, в первую очередь, церий [5, 6], а также фторидные соединения титана и циркония [7, 8], можно выделить разработки молибдатных и перманганатных конвертирующих составов. Молибдаты и перманганаты являются хорошо известными ингибиторами коррозии алюминия, чей механизм защитного действия близок к хроматам. Оба аниона, хорошо растворимы и подвергаются восстановлению на активной поверхности алюминия до нерастворимых соединений, которые могут модифицировать оксиды алюминия, повышая их защитные свойства.

В [9] изучались общие вопросы роста покрытий на основе перманганата по отношению к сплаву 2024. Было показано, что более толстые оксидные плёнки имеют тенденцию к растрескиванию на интерметаллидных частицах сплава, поэтому тонкие покрытия, полученные за короткое время оксидирования, могут быть предпочтительными. В [10] использовали щелочные конвертирующие составы, содержащие оксоанионы Mn и Mo. Полученное покрытие состояло из Mn_3O_4 , Mn_2O_3 и смеси оксидов Mn, Mo и Al и хорошо показало себя после выдержки в камере соляного тумана в течение 168 ч. В [11] отмечается, что наличие разнородных оксидов магния в составе покрытия может снижать гидрофильность оксидной плёнки, хотя это не слишком сильно сказывается на последующей адгезии ЛКП. В [12] получали молибдатные покрытия в кислом растворе, содержащем фториды. Наилучшие защитные свойства показала оксидная плёнка, полученная при 40°C, хотя на микрофотографиях видны трещины на поверхности шириной до 1 мкм.

Нами также изучены перманганатные и молибдатные конверсионные покрытия [13, 14], преимущество которых является модификация современными ингибиторами коррозии [15, 16]. Добавление ингибиторов коррозии в состав конвертирующего состава и/или при последующем наполнении в растворах ингибиторов позволяет достигнуть уровня традиционных хроматных покрытий и при этом обеспечивать хорошую адгезию слоя ЛКП [17]. В данной работе продолжено исследование модификаций молибдатных ингибированных конверсионных покрытий с целью увеличения их защитных свойств и изучение их взаимодействия с лакокрасочным покрытием.

Методика эксперимента

Конверсионные покрытия получали на плоских образцах из алюминиевого сплава АМгЗ (50х20мм). 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 конвертирующий раствор ИФХАНАЛ-2М и его модификации при $t=80^{\circ}\text{C}$ на 10 мин. ИФХАНАЛ-2М состоит из $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$, Al_2SO_4 , NiSO_4 , NH_4NO_3 с добавлением 1 г/л Na_2HPO_4 (рН 1,7). После оксидирования образцы вынимали из раствора, промывали дистиллированной водой, сушили на воздухе при комнатной температуре не менее 12ч и взвешивали.

Таблица 1. Содержание легирующих элементов (%масс) в сплаве АМгЗ 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 (рН 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 (РФЭ) спектры регистрировали с помощью рентгенофотоэлектронного спектрометра “Omicron+”. Давление в камере анализатора не превышало 10^{-8} Торр. В качестве источника использовали немонохроматическое

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.

Нанесение порошковой полиэфирной краски Escolor ПЭ RAL 9016/Р (ЛКП) проводили с помощью пульверизатора в вытяжном шкафу, добиваясь равномерного распределения частиц по всей поверхности образцов (50x50 мм). Обработанные образцы помещались в печь, где подвергались обжигу при 200°C в течение 2 ч. По завершении процесса, оборудование отключали и изделия остывали медленно и равномерно. Количественное определение прочности сцепления ЛКП с алюминиевой основой проводили методом нормального отрыва (метод «грибков») с помощью цифрового адгезиометра PosiTest AT-M.

Коррозионные испытания пассивированных образцов в сочетании с ЛКП проводили в камере соляного тумана Ascott S450iP (Великобритания) в соответствии с международным стандартом ASTM B117, принятым в автомобильной промышленности, и в соответствии с ГОСТ 9.401–91. Испытанию подвергали окрашенные образцы с X-образным надрезом до металла основы, шириной не более 0,5 мм. Испытания проводились при температуре +35°C и влажности 95–100% в течение 500 ч.

Экспериментальные результаты и обсуждение

Ранее было показано [17, 18], что введение в конвертирующий состав фосфатов и ингибиторов коррозии, в частности 1,2,3 бензотриазола (БТА) может положительно влиять на защитные свойства получаемых конверсионных покрытий. В связи с этим, в качестве модифицирующих добавок для состава ИФХАНАЛ–2М было выбрано: увеличение концентрации Na_2HPO_4 с 1 до 2 г/л, добавление дигидрофосфата цинка и БТА.

При увеличении концентрации Na_2HPO_4 с 1 до 2 г/л в конвертирующем составе наблюдается существенный рост толщины конверсионного покрытия—с 0,05 мкм до 0,17 мкм. Это приводит (рисунок 1) к сдвигу потенциала питтингообразования (E_{pt}) на поляризационных кривых на 210 мВ в положительную сторону относительно исходного конверсионного покрытия, что также превышает на 100 мВ E_{pt} исходного покрытия, наполненного в растворе ингибитора коррозии. Однако изменение толщины и, возможно, уплотнение покрытия не способствует последующей адсорбции ингибитора коррозии. Как видно из рисунка 1, после наполнения E_{pt} покрытия не смещается в положительную сторону относительно ненаполненного покрытия. В случае добавления в конвертирующий состав дигидрофосфата цинка толщина покрытия также увеличивается—до 0,30 мкм. В отличие от покрытия, полученного в растворе с 2 г/л Na_2HPO_4 , наполнение даёт эффект на этом покрытии—

E_{pt} смещается в положительную сторону на 150 мВ относительно ненаполненного покрытия, но в целом значения E_{pt} не превышает аналогичный показатель для покрытия, полученного в растворе с 2 г/л Na_2HPO_4 без наполнения.

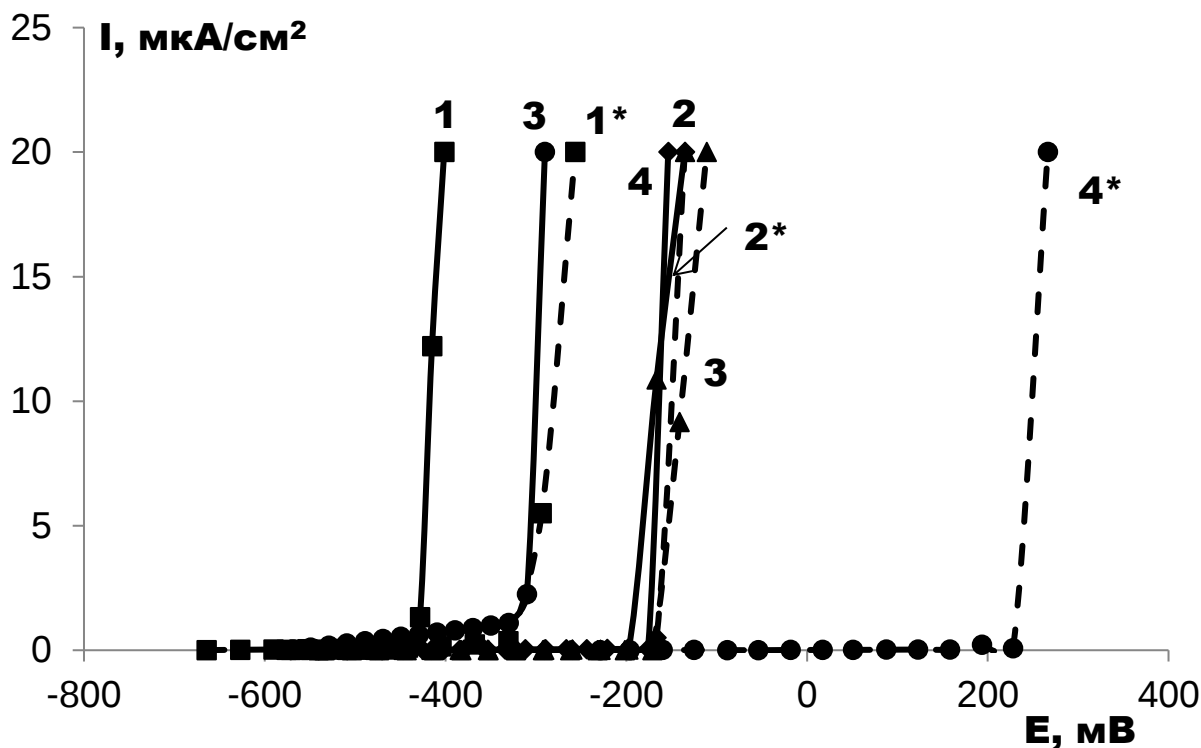


Рисунок 1. Анодные поляризационные кривые покрытий на алюминиевом сплаве АМгЗв боратном буферном растворе, содержащем 0.01М NaCl (pH 7.4), без и с наполнением в растворе ингибитора коррозии (*), полученные в модификациях раствора ИФХАНАЛ-2М: 1–1 г/л Na_2HPO_4 , 2–2 г/л Na_2HPO_4 , 3–1 г/л $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 4–1 г/л БТА

Модификация конвертирующего состава с помощью БТА в наибольшей степени влияет на толщину покрытия среди всех исследованных добавок. Полученное конверсионное покрытие имеет толщину 0,45 мкм. По E_{pt} оно совпадает с покрытием, полученном в растворе с 2 г/л Na_2HPO_4 , однако наполнение даёт здесь максимальный эффект – E_{pt} сдвигается на ~400 мВ в положительную сторону и выходит в область положительных потенциалов коррозии.

По данным РФЭ анализа (таблица 2), покрытия, полученные конвертирующем составе ИФХАНАЛ–2М, представляют собой гетерооксидную структуру, состоящую из оксидов, сульфатов и фосфатов магния, алюминия и молибдена. Соединения никеля также присутствует на спектрах, но интенсивность пика никеля очень мала, поэтому можно считать, что ионы никеля каким-то образом участвуют в реакциях

окисления, благотворно влияя на свойства покрытий, но почти не входят в состав оксидной плёнки.

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

Модификация конвертирующего состава ИФХАНАЛ-2М	Содержание элементов в покрытии, ат %					
	Zn2p	S2p	P2p	Mg2p	Al2p	Mo3d
1 г/л Na_2HPO_4	-	2,0	6,3	13,6	10,1	2,7
2 г/л Na_2HPO_4	-	1,6	7,4	9,5	13,4	3,1
1 г/л $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0,4	5,9	0,3	2,3	20,1	6,9

Примечание: остальное кислород.

Увеличение концентрации Na_2HPO_4 с 1 до 2 г/л не приводит к существенным изменениям в составе покрытий, то есть, этим способом не удаётся повысить количество труднорастворимых фосфатов в составе оксидной плёнки, а её защитные свойства растут только за счёт увеличения толщины. После добавления в конвертирующий состав дигидрофосфата цинка на РФЭ-спектре появляется пик интенсивности Zn2p. Этот пик очень слабый, и концентрация соединений цинка в составе покрытия не превышает 0,5 ат.%. При этом снижается интенсивность пика P2p, и содержание соединений фосфора становится менее 1 ат.%. По-видимому, именно это негативно сказывается на покрытии, полученном в растворе с дигидрофосфатом цинка. При введении в конвертирующий состав БТА на РФЭ-спектре появляется пик азота и существенно увеличивается пик углерода (рисунок 2). Однако из-за особенностей метода РФЭ спектроскопии практически невозможно определить, какой углерод относится к БТА, а какой – к углеродным загрязнениям на поверхности покрытия. Вполне вероятно, что к БТА относятся и C-H, и C-N. Такое большое количество углерода в составе покрытия влияет и на защитные свойства исходных покрытий, и на положительный эффект последующей адсорбции ингибитора коррозии.

Микроскопические исследования образца сплава АМгЗ без покрытия после процедуры травления показали, что поверхность металла имеет среднюю шероховатость $1,2 \pm 0,3$ мкм. При этом максимальная величина шероховатости достигает 2,2 мкм. После нанесения конверсионного покрытия (ИФХАНАЛ-2М+БТА) среднее значение шероховатости поверхности практически не меняется. Карты сдвига фазы могут сообщить нам о том, что различные области поверхности имеют различные свойства. На таком изображении для покрытия без наполнения (рисунок 3а) можно выделить несколько областей: доминирующие участки зелёного цвета, отдельные участки голубого цвета, небольшие участки красного и белого

цветов. АСМ данные не позволяют однозначно определить, какой цвет к какой части покрытия относится.

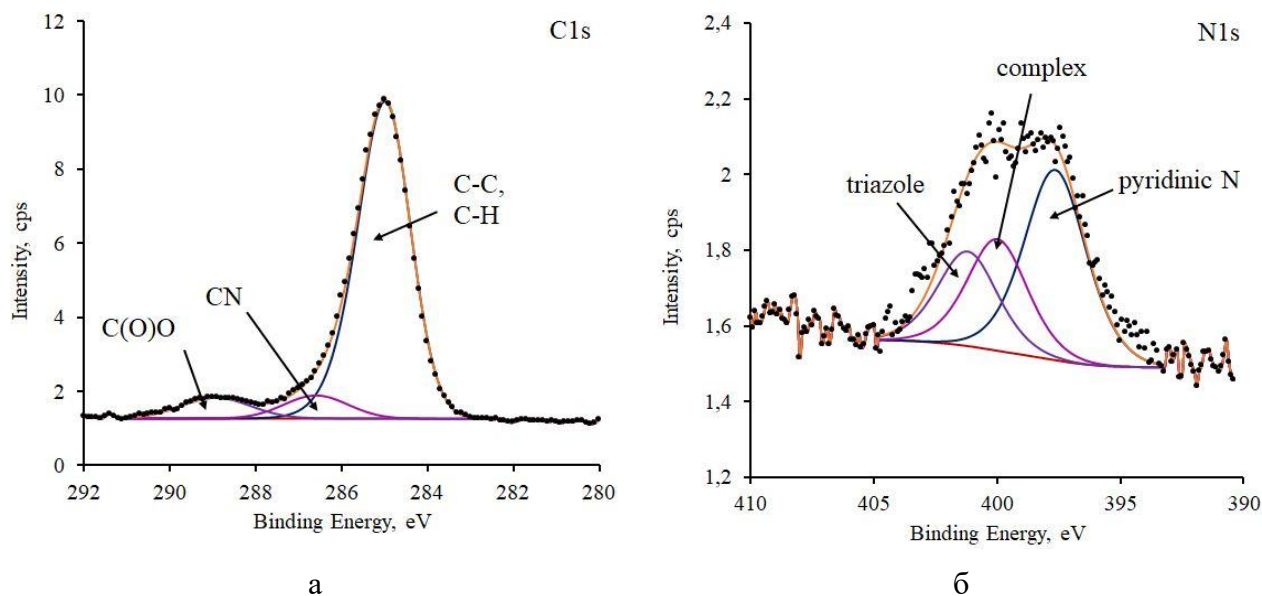


Рисунок 2. Участки РФЭ спектра для С(а) и N (б) для покрытия, полученного в растворе ИФХАНАЛ-2М с добавкой БТА на сплаве АМгЗ.

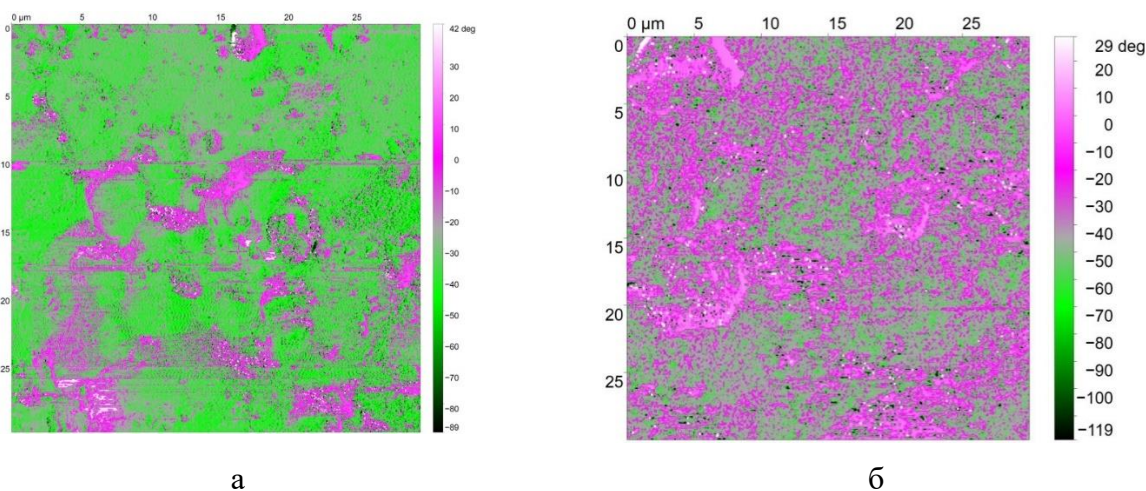


Рисунок 3. АСМ изображения в фазовом режиме образцов алюминиевого сплава АМгЗ с конверсионным покрытием, полученном в растворе ИФХАНАЛ-2М с добавкой БТА (а), и после наполнения покрытия в растворе ингибитора коррозии (б).

Однако, можно предположить—что зелёным цветом показаны оксиды и оксигидроксиды алюминия, магния и молибдена, которые составляют основную часть конверсионного покрытия согласно данным рентгенофотоэлектронного микроанализа. Остальное—вероятно, фосфаты вышеуказанных элементов и

соединения углерода. АСМ изображение в фазовом режиме конверсионного покрытия после наполнения в растворе ингибитора коррозии представлены на рисунке 3 (б).

Здесь преобладают области двух цветов—голубого и зелёного. Невозможно определить, какая область к какому элементу относится, но логично предположить, что одним цветом выделено само конверсионное покрытие, а вторым—адсорбированный на поверхности покрытия ингибитор коррозии. Из этого можно сделать вывод, что ингибитор адсорбируется достаточно равномерно, хотя и не покрывает поверхность образца полностью.

Результаты поляризационных измерений подтверждаются результатами коррозионных испытаний в камере влажности. Для всех исследованных модификаций состава ИФХАНАЛ-2М первые питтинги для ненаполненных покрытий появились на 4–5 сутки испытаний, что существенно меньше, чем для покрытия, полученного в стандартном хроматном составе. Наполнение покрытий в растворе ингибитора коррозии увеличивает время до появления первых коррозионных поражений до 8 суток для исходного покрытия, до 12 суток для покрытий, полученных в составе с большей концентрацией Na_2HPO_4 и в составе с добавлением $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, и до 16 суток для покрытий, полученных в составе с добавлением БТА. Последний результат превышает показатели защитных свойств стандартного хроматного покрытия (таблица 3).

Таблица 3. Результаты коррозионных испытаний покрытий, полученных в ИФХАНАЛ-2М с различными модифицирующими добавками, на сплаве АМг3 в камере влажности Г-4.

Модификация конвертирующего состава ИФХАНАЛ-2М	Время до появления первой коррозии, сут.
1 г/л Na_2HPO_4	4
1 г/л Na_2HPO_4 (*)	8
2 г/л Na_2HPO_4	4
2 г/л Na_2HPO_4 (*)	12
1 г/л $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	5
1 г/л $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (*)	12
1 г/л БТА	5
1 г/л БТА(*)	16
Хроматный состав	12

(*) - наполнение в растворе ингибитора коррозии.

Сравнение полученных покрытий ИФХАНАЛ-2М со стандартным хроматным покрытием также оценивалось при их взаимодействии с полиэфирной порошковой краской (таблица 4). Результаты адгезионных испытаний ЛКП с подложкой показывают значительный разброс прочности сцепления ЛКП с образцами без предварительной обработки. Это свидетельствует о неравномерной адгезии ЛКП, что подтверждает данные из литературных источников [3]. С конверсионным покрытием разброс прочности сцепления не превышает 5–10%. Наибольшее сцепление ЛКП с подложкой получено для хроматного покрытия и конверсионного покрытия ИФХАНАЛ-2М, модифицированного БТА.

Таблица 4. Адгезия ЛКП к покрытиям, полученным в ИФХАНАЛ-2М с различными модифицирующими добавками, на сплаве АМгЗ до и после коррозионных испытаний в камере соляного тумана.

Модификация конвертирующего состава ИФХАНАЛ-2М	Исходная прочность сцепления, МПа	Снижение прочности сцепления после коррозионных испытаний, %
Без покрытия	1,63±0,60	80
Хроматный состав	2,21±0,15	55
1 г/л Na ₂ HPO ₄ (*)	1,76±0,08	65
2 г/л Na ₂ HPO ₄ (*)	1,54±0,10	испытания не проводились
1 г/л Zn(H ₂ PO ₄) ₂ (*)	1,49±0,20	испытания не проводились
1 г/л БТА(*)	2,24±0,20	55

(*)–наполнение в растворе ингибитора коррозии

После коррозионных испытаний в камере соляного тумана на образце ЛКП без конверсионного покрытия наблюдалось большое количество мелких питтингов; коррозия вдоль царапины; около двадцати крупных питтингов. Для ЛКП с конверсионным покрытием, полученном в стандартном хроматном растворе–потемнение в области разреза, множественные вздутия в области разреза и вздутия на стороне, не имеющей разреза, более десятка крупных питтингов. ЛКП, нанесённое на исходное покрытие ИФХАНАЛ-2М–отдельные коррозионные пятна в области разреза; более десяти крупных питтингов, небольшое отслоение ЛКП в области разреза. Наилучший результат показало ЛКП, нанесённое на покрытие, модифицированное БТА. На нём наблюдалось около 10 крупных питтингов, вздутия и пузырьки замечены не были, разрез без видимых следов отслоения. Все исследованные образцы показали значительное снижение адгезии ЛКП к подложке после коррозионных испытаний (таблица 4). Для образца ЛКП, нанесённого на

образец без конверсионного покрытия, снижение адгезии составило около 80% относительно исходного показателя. Наименьшее снижение адгезии показало ЛКП, нанесённое на стандартное хроматное покрытие и на покрытие ИФХАНАЛ-2М, модифицированное БТА.

Выводы

Введение в конвертирующий состав ИФХАНАЛ-2М БТА способствует адсорбции ингибитора коррозии на стадии наполнения покрытия и тем самым существенно увеличивает защитные свойства получаемых покрытий. Это достигается, в том числе за счёт присутствия углерода в составе покрытия, увеличения толщины покрытия и относительно равномерной адсорбции ингибитора коррозии.

Согласно результатам коррозионных испытаний и измерениям адгезии ЛКП покрытие ИФХАНАЛ-2М, модифицированное БТА, близко по показателям традиционному хроматному покрытию, в том числе после испытаний в камерах влажности и соляного тумана.

Список использованных источников

1. В.С. Синявский, В.Д. Вальков и В.Д. Калинин, *Коррозия и защита алюминиевых сплавов*, Москва: Металлургия, 1986, 368 с.
2. Дж.Р. Дэйвис, *Коррозия алюминия и алюминиевых сплавов*, Москва: НПАпрал, 2016, 333 с.
3. Chang-Sheng Liang, Zhong-Fei Lv, Ye-Ling Zhu and Shi-Ai Xu. Molybdate-based conversion treatment for improving the peeling strength between aluminum foil and polypropylene grafted with glycidyl methacrylate, *Surf. Coat. Technol.*, 2014, **249**, 1-5. doi: [10.1016/j.surfcoat.2014.03.038](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.03.038)
4. 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, 0001–0333
5. A.E. Hughes, T.G. Harvey, N. Birbilis, A. Kumar and R.G. Buchheit, *7 coatings for corrosion prevention based on rare earths.*, *Rare Earth-Based Corrosion Inhibitors.*, 2014, 186–232.
6. B. Valdez, S. Kiyota, M. Stoytcheva, R. Zlatev and J.M. Bastidas, Cerium-based conversion coatings to improve the corrosion resistance of aluminium alloy 6061-T6, *Corros Sci*, 2014, **87**, 141–149. doi: [10.1016/j.corsci.2014.06.023](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.06.023)
7. X.F. Xia, Y.Y. Gu, S. and A. Xu, Titanium conversion coatings on the aluminum foil AA 8021 used for lithium-ion battery package, *Appl. Surf. Sci.*, 2017, **419**, 447–453. doi: [10.1016/j.apsusc.2017.03.040](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.03.040)

-
8. J. Cerezo, I. Vandendael and R. Posner, J.H.W. de Wit, J.M.C. Mol and H. Terryna, The effect of surface pre-conditioning treatments on the local composition of Zr-based conversion coatings formed on aluminium alloys, *Appl. Surf. Sci.*, 2016, **366**, 339–334. doi: [10.1016/j.apsusc.2016.01.106](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.106)
 9. S.A. Kulinich, A.S. Akhtar, P.C. Wong, K.C. Wong and K.A.R. Mitchell, Growth of permanganate conversion coating on 2024-Al alloy, *Thin Solid Films*, 2007, **515**, 8386–8392. doi: [10.1016/j.tsf.2007.04.164](https://doi.org/10.1016/j.tsf.2007.04.164)
 10. G. Yoganandan, J.N. Balaraju and V.K. William, The surface and electrochemical analysis of permanganate based conversion coating on alclad and unclad 2024 alloy, 2012, *Appl. Surf. Sci.*, **258**, 8880–8888. doi: [10.1016/j.apsusc.2012.05.108](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.108)
 11. R. del Olmo, M. Mohedano, E. Matykina and R. Arrabal. Permanganate loaded Ca-Al-LDH coating for active corrosion protection of 2024-T3 alloy, *Corros Sci*, 2022, **198**. doi: [10.1016/j.corsci.2022.110144](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110144)
 12. 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)
 13. Ю.М. Зими́на, Ю.А. Кузенков и С.В. Олейник, Защитные конверсионные покрытия ИФХАНАЛ на алюминиевых сплавах, *Коррозия: материалы, защита*, 2010, **7**, 44–48.
 14. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник и Л.П. Казанский, Защитные субмикронные покрытия на сплаве АМгЗ, *Коррозия: материалы, защита*, 2015, **12**, 232.
 15. 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**, 282–318. doi: [10.17675/2305-6894-2016-5-4-1](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2016-5-4-1)
 16. Yu.I. Kuznetsov, Triazoles as a class of multifunctional corrosion inhibitors. Review. Part III. 1,2,3-Benzotriazole and its derivatives. Aluminum alloys, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2020, **9**, 1142–1168. doi: [10.17675/2305-6894-2018-7-3-1](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-3-1)
 17. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник, Н.П. Нырков и И.А. Архипушки, Ультратонкие конверсионные покрытия на алюминиевом сплаве АМгЗ. Ч. II. Модификация покрытия для его применения в качестве праймера под порошковую краску, *Коррозия: материалы, защита*, 2021, **7**, 36–41.
 18. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник, В.Л. Войтицкий, И.А. Архипушкин и Л.П. Казанский, Бесхроматные конверсионные покрытия на алюминиевом сплаве 1105, *Коррозия: материалы, защита*, 2020, **3**, 23–31.

Modification of ultrathin conversion coatings for AMg3 aluminum alloy and their interaction with painting system

Y.A. Kuzenkov,* A.S. Konovalov, O.Y. Grafov and A.Y. Luchkin

A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Leninsky pr. 31, 119071 Moscow, Russian Federation

*E-mail: osvpkz@outlook.com

Abstract

For applying a painting system on the surface of aluminum alloys, special primers are formed, including the method of chemical oxidation. Primers should serve as adhesion promoters and provide additional anti-corrosion protection. In the present work, ultrathin conversion primer coatings were obtained in the environmentally friendly IFKhANAL-2M converting composition based on molybdates and phosphates. To improve the protective and adhesive properties of the coatings, they were modified by changing the converting composition and subsequent filling of the coatings in a corrosion inhibitor solution. Among the studied modifying additives, 1,2,3-benzotriazole (BTA) showed the best result. Coatings obtained in a solution with the addition of BTA effectively adsorb the corrosion inhibitor at the stage of coating filling, show good protective properties during corrosion tests in a humidity chamber and high adhesion parameters of painting system. In terms of these properties, they are close to traditional primers obtained in chromate conversion compositions.

Keywords: *aluminum alloys, conversion coating, pitting corrosion, corrosion inhibitors, painting system*