

УДК 620.197

Модификация бесхроматных конверсионных покрытий на алюминиевом сплаве 1105 для увеличения их защитных свойств

Д.О. Чугунов, Ю.А. Кузенков и С.Ю. Рыбаков

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: osvpkz@outlook.com

Аннотация

Алюминиевые сплавы являются крайне востребованными в различных областях промышленности. В современном мире, когда большой упор идет на экологичность и использование вторично переработанных ресурсов, выгодную роль занимают сплавы, созданные на основе вторичного металла. Такие сплавы могут отличаться существенным разбросом количества легирующих элементов. Алюминиевый сплав 1105, который изготавливается из вторичного алюминия, содержит в своём составе Mg и Si и характеризуется высоким содержанием примесных элементов (Fe, Si, Zn). Интерметаллидные фазы, содержащиеся в сплаве, снижают его коррозионную стойкость. Современные методы противокоррозионной защиты могут помочь более широкому распространению сплава 1105 в различных конструкциях. Среди различных методов конверсионные покрытия, получаемые методом химического оксидирования, являются простым и экономичным способом защиты от коррозии. Целью данной работы было увеличение защитных свойств бесхроматных конверсионных покрытий ИФХАНАЛ-3, путем их модификации нитратами и нитритами. Одной из главных проблем конверсионных покрытий на алюминиевом сплаве 1105 является их повышенная дефектность на микроуровне. Применение нитрат и нитрит соединений обеспечивает более эффективное образование конверсионного покрытия на поверхности сплава, что позволяет усилить их коррозионную стойкость.

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, конверсионные покрытия, пассивирование, коррозия, ингибиторы коррозии, бесхроматные технологии, атмосферные коррозионные испытания*

Поступила в редакцию 06.12.2024 г.; После доработки 14.02.2025 г.; Принята к публикации 14.02.2025 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2025-3-1-73-84](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2025-3-1-73-84)

Введение

Алюминий и его сплавы являются популярными конструкционными материалами,

которые используются в различных отраслях промышленности, особенностью которых является их возможность к вторичной переработке. Например, около 85% алюминиевых сплавов, используемых в среднем самолёте, может быть использовано повторно, однако только 15% от этой массы может использоваться в изначальном виде, а оставшиеся 75% требуют переработки [1]. Кроме того, потребление энергии на тонну произведенного вторичного алюминия составляет всего около 3–5% от изготовления первичного алюминия, что не только уменьшает себестоимость продукции, но и снижает выбросы вредных газов в атмосферу [2]. Проблемы со вторичной переработкой алюминиевых сплавов заключаются в ошибках при сортировке металла для переработки и большом количестве лома. Это приводит к тому, что в готовых вторичных изделиях содержится большое количество легирующих элементов, причём от изделия к изделию это количество может существенно отличаться [3]. Для того, чтобы приблизить вторичный алюминий к первичному по составу и свойствам на производстве применяют специальные технологии отжига [4, 5] и распыляют расплав, чтобы избавиться от избыточных фаз интерметаллидов [6]. При этом существуют стандартизованные алюминиевые сплавы из вторичного алюминия, в частности сплав 1105, которые могут использоваться в исходном виде для несильно нагруженных конструкций в холодных средах, однако ввиду низкой коррозионной стойкости применяются редко.

Таким образом, более широкое распространение алюминиевых сплавов из вторичного алюминия возможно с использованием современных методов противокоррозионной защиты, например, конверсионных покрытий [7, 8]. Покрытия на основе Cr(VI) из-за его токсичности являются нежелательными для использования [9]. Поэтому для замены таких покрытий, исследователи предлагают использовать конвертирующие составы, содержащие TiO_2 и ZrO_2 . Одной из проблем таких покрытий является применение в качестве основы соединений фтора – фторцирконатов и фтортитанатов. С одной стороны, остаточные фториды в покрытии могут гидролизироваться, в результате чего возникают реакционные участки для дополнительной адгезии лакокрасочного покрытия, а с другой – фториды могут приводить к повреждению оксидной плёнки и коррозии [7, 10]. Другой проблемой, которую отмечают исследователи, является неравномерность таких покрытий ввиду того, что оксиды Zr и Ti осаждаются преимущественно на интерметаллидах и рядом с ними, тогда как на основной части сплава покрытия имеет другую морфологию [11]. Другой популярный метод получения конверсионных покрытий основывается на использовании Se. Здесь исследователи отмечают, что церийсодержащие конверсионные покрытия подвержены растрескиванию, поэтому им необходима дополнительная обработка, например, в растворах фосфатов или молибдатов [12, 13]. Однако усилить защитные свойства конверсионных покрытий можно и их обработкой в растворах ингибиторов коррозии алюминия [14, 15]. Ранее нами были исследованы ингибированные бесхроматные конверсионные покрытия ИФХАНАЛ-3 для защиты от коррозии алюминиевых сплавов различных систем легирования

[10, 16, 17]. В данной работе эти покрытия изучались по отношению к сплаву 1105, изготовленному из вторичного алюминия.

Методика исследования

Конверсионные покрытия получали на плоских образцах из алюминиевого сплава 1105 (20×100 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 выдержки в течение суток в эксикаторе над хлористым кальцием образцы погружали в конвертирующий раствор ИФХАНАЛ-3 (на основе боратов).

Таблица 1. Состав алюминиевого сплава 1105 (ГОСТ 4784-97).

Сплав	Элементы, %						
	Al	Mg	Cu	Zn	Si	Mn	Fe
1105	основа	0,4–2	2–5	<1	<3	0,3–1	<1,5

После оксидирования образцы вынимали из раствора, промывали дистиллированной водой, сушили на воздухе при комнатной температуре не менее 12 ч. Толщина полученных покрытий на образцах составила 2–3 мкм. После оксидирования покрытия наполняли при погружении образцов на 1 ч в горячую дистиллированную воду ($98–100^{\circ}\text{C}$) с ингибитором коррозии (на основе карбоксилатов).

Анодные поляризационные кривые на образцах с покрытиями (рабочая поверхность $0,5\text{ см}^2$) снимали в боратном буферном растворе (pH 7,4), содержащем 0,01 М 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.

Состав покрытий на поверхности сплава изучали методом рентгеноспектрального микроанализа (СМЕВАХ), энергия электронного пучка – 15 кВ, размер анализируемого пятна на образце – $50\times 50\text{ мкм}^2$, глубина анализа поверхности 1 мкм.

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

Натурные испытания эффективности применения конверсионных покрытий для защиты алюминиевых сплавов проводились в течение 12 мес. с ноября 2022 по ноябрь 2023 года на коррозионной испытательной станции ИФХЭ РАН в г. Москва, Россия. Среднестатистические климатические характеристики мест испытаний за период их проведения соответствуют данным, приведенным в таблице 2. Перед постановкой на испытания опытные и контрольные образцы коррозионных поражений не имели. Для проведения натурных испытаний опытные образцы были размещены в жалюзийной будке на подвесах на КИС в

г. Москва. Образцы не соприкасались с материалом, который мог бы повлиять на ход их разрушения. Контрольные образцы хранились в эксикаторе с относительной влажностью воздуха 5% без доступа света. В ходе испытаний сначала один раз в месяц, а затем один раз в три месяца, проводились контрольные осмотры образцов. При этом контролировались изменения в состоянии покрытия (в сравнении с контрольными) и коррозионные поражения образцов.

Таблица 2. Климатические характеристики коррозионной испытательной станции ИФХЭ РАН в г. Москва, ноябрь 2022 – ноябрь 2023.

Характеристики климата	2022	2023
Температура воздуха, °С		
Средняя	7,4	9,4
Средняя максимальная	16,1	20,2
Средняя минимальная	–1,0	–4,1
Максимальная абсолютная	31,8	31,4
Минимальная абсолютная	–19,9	–23,4
Относительная влажность воздуха, %		
Средняя	67,8	67,9
Средняя максимальная	95,6	83,1
Средняя минимальная	31,2	48,4
Максимальная абсолютная	99	99
Минимальная абсолютная	22	16
Количество осадков, мм.	709	549

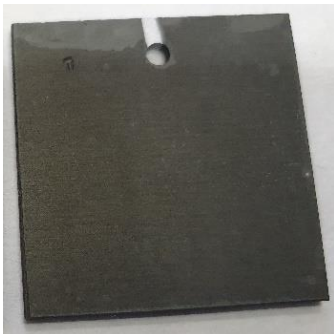
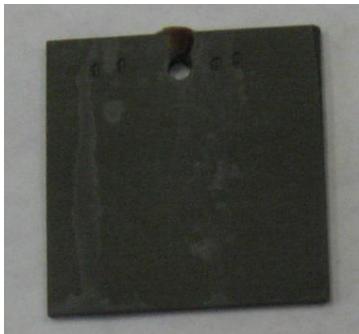
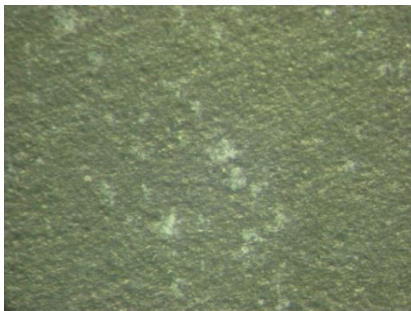
Ускоренные коррозионные испытания проводили по ГОСТ 9.913-90 в камере влажности Г-4 при следующих условиях – 8 ч образцы находились в камере при 100% относительной влажности и $t=40^{\circ}\text{C}$, а последующие 16 ч при комнатной температуре.

Обсуждение результатов

Ранее было показано, что растрескивание верхнего слоя покрытия было основной проблемой бесхроматных конверсионных покрытий ИФХАНАЛ-3 на алюминиевом сплаве 1105, из-за чего обладало низкими защитными свойствами даже после наполнения оксидной плёнки в растворе ингибитора коррозии [8]. Эту проблему удалось решить путём увеличения количества боратов в составе конвертирующего состава. Однако, как показали натурные испытания в условиях городской промышленной атмосферы, данная модификация конверсионных покрытий не работает во время длительного воздействия негативных факторов окружающей среды. На образцах алюминиевого сплава 1105 без покрытия первые коррозионные поражения появляются в течение первого месяца испытаний, что свидетельствует о низкой коррозионной стойкости самого сплава. Количество поверхностных питтингов составило, примерно, 4–6 питтингов на кв. см поверхности образца. В последующие месяцы число коррозионных поражений существенно увеличилось. На образцах появились крупные коррозионные поражения в виде тёмных пятен, диаметром 2–3 мм (таблица 3). В ходе второго

года испытаний количество питтингов и коррозионных язв постепенно увеличивалось, достигнув, примерно, 10–12 коррозионных поражений на кв. см поверхности образца. На образцах с ингибированными конверсионными покрытиями ИФХАНАЛ-3 за 12 месяцев испытаний коррозионных поражений не наблюдалось. Однако стоит отметить, что на некоторых участках подложки наблюдалось осыпание покрытия. Впервые это было замечено на 18 месяце натурных испытаний. Дефекты конверсионного покрытия хорошо видны при увеличении под микроскопом, как и белый налёт продуктов коррозии в этих областях. Таким образом, для усиления защитных свойств покрытий необходимо, по-видимому, добиться большей плотности оксидной плёнки.

Таблица 3. Внешний вид образцов без и с ингибированными КП ИФХАНАЛ-3 на сплаве 1105 во время натурных испытаний.

Без покрытия			
Время испытания, мес.			
Исходный	12	24	
			
Ингибированное КП ИФХАНАЛ-3			
Исходный	12	24	
			
После 18 мес. с увеличением 60х			
			

Согласно ранее полученным данным [18], добавление в конвертирующий состав нитрата или нитрита может способствовать образованию более плотной оксидной плёнки. Действительно, согласно данным поляризационных измерений эффект от добавления нитрата аммония или нитрита натрия виден даже для конверсионных покрытий без наполнения в растворе ингибитора коррозии (рисунок 1). Если добавление БТА способно сдвинуть начальный потенциал коррозии покрытия на 100 мВ в положительную сторону относительно немодифицированного покрытия, то при добавлении нитрата и нитрита этот параметр сдвигается в положительную сторону на 150–200 мВ. Предполагается, что благодаря своему механизму действия, нитрат и нитрит способствуют увеличению количества кислорода, образующего при оксидировании, что в свою очередь сказывается на структуре покрытия.

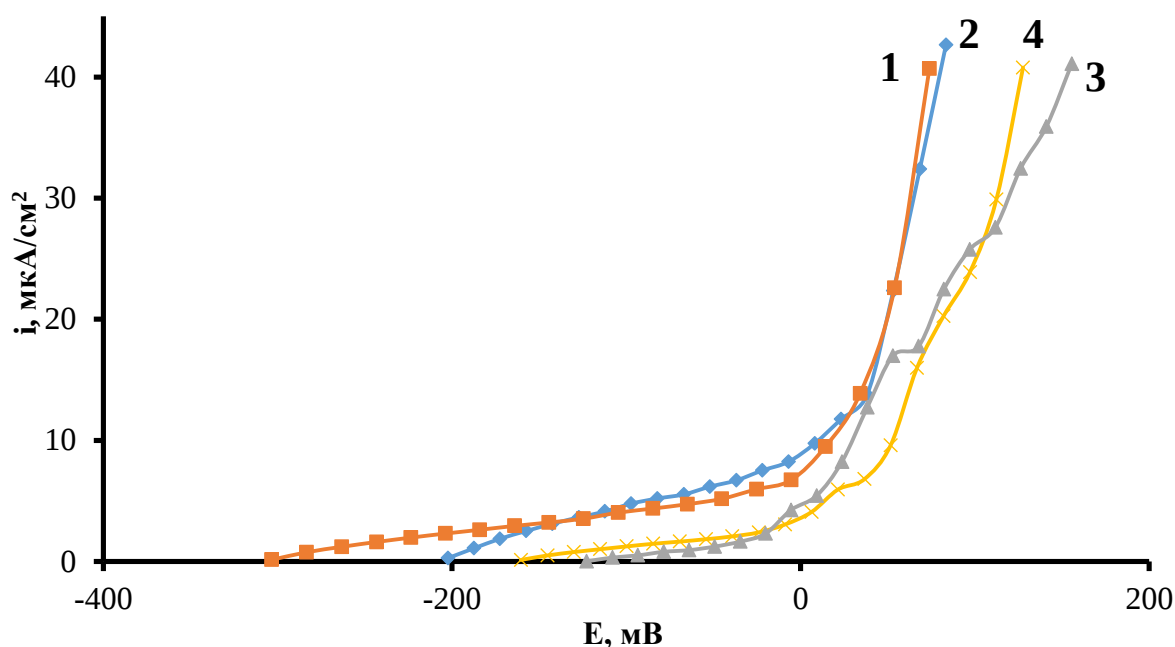


Рисунок 1. Анодные поляризационные кривые КП на сплаве 1105 в боратном буферном растворе, содержащем 0,01M NaCl (pH 7,4), полученных в КС ИФХАНАЛ-3 (1) с добавками: 2 – БТА; 3 – NH_4NO_3 ; 4 – NaNO_2

Данные рентгеноспектрального микроанализа конверсионных покрытий на алюминиевом сплаве 1105 показывают, что получаемые КП обладают сложной гетерооксидной структурой из оксидов алюминия, магния, меди, кремния, цинка и марганца (таблица 4). При этом элементный состав покрытия практически не меняется при добавлении в него модифицирующих добавок. Можно отметить только несколько большее количество оксидов меди и цинка в покрытии в сравнении с немодифицированным покрытием, что может быть связано с более активным растворением медьсодержащих интерметаллидов при добавлении восстановителя (нитрата или нитрита) в конвертирующий состав. Однако это не влияет на адсорбцию ингибитора коррозии в процессе наполнения всеми исследованными покрытиями, о чём свидетельствует большое количество углерода в составе наполненных покрытий. Наибольшей эффект от наполнения

виден для исходного немодифицированного покрытия и для покрытия, полученного в конвертирующем составе с добавлением нитрита.

Таблица 4. Элементный состав конверсионного покрытия ИФХАНАЛ-3 с модифицирующими добавками.

Конверсионное покрытие	Содержание элементов в покрытии, % масс						
	Al	Mg	Cu	Si	Zn	Mn	C
ИФХАНАЛ-3	36,0	2,7	8,9	5,2	1,4	1,2	–
+БТА	30,8	2,9	9,2	5,2	1,4	1,5	8,8
+NH ₄ NO ₃	33,6	2,8	11,4	6,8	2,0	1,3	–
+NaNO ₂	35,6	2,6	10,8	5,1	2,6	1,1	–
После наполнения в растворе ингибитора коррозии							
ИФХАНАЛ-3	27,3	1,3	7,2	3,5	1,2	0,2	28,6
+БТА	25,8	2,2	10,8	4,0	1,6	0,9	21,0
+NH ₄ NO ₃	27,7	2,1	7,5	4,2	1,4	0,8	22,7
+NaNO ₂	24,0	1,3	9,6	3,7	1,7	0,9	27,9

Примечание: остальное кислород.

Отличия конверсионных покрытий в большей степени видны на микрофотографиях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа (рисунок 2). На фотографии видно, что верхний слой исходного немодифицированного покрытия содержит большое количество дефектов. Это может быть проявлением внутренних напряжений в верхнем слое оксидной плёнки, что приводит к растрескиванию покрытия, или избыточной пористости, когда микропоры ослабляют поверхностный слой и тот начинает разрушаться даже при незначительном механическом воздействии. При толщине получаемых покрытий в 2,5–3 мкм, дефектный внешний слой оксидной плёнки и эффективная адсорбция ингибитора коррозии не приводят к существенному снижению защитных свойств покрытий при поляризационных измерениях, но в ходе длительных натурных испытаний, с большей вероятностью, эти дефекты совокупно с зародышами питтингов могут ослаблять также и внутренние слои конверсионного покрытия, что и приводит к его частичному осыпанию. При добавлении в конвертирующий состав БТА верхний слой покрытия по-прежнему состоит из многочисленных дефектов, и только при добавлении нитрата или нитрита наблюдаются улучшения. Нитрат, похоже, способствует снижению количества дефектов, однако отдельные дефектные участки по-прежнему наблюдаются. Только при добавлении нитрита удаётся полностью избавиться от видимых дефектов.

Согласно поляризационным измерениям (рисунок 3), ингибированное покрытие ИФХАНАЛ-3 с добавлением нитрита, показывает наибольший сдвиг потенциала питтингообразования ($E_{\text{пит}}$) в положительную сторону относительно немодифицированного покрытия – на 400 мВ. Добавление в конвертирующий состав нитрата сдвигает $E_{\text{пит}}$ на 150 мВ в положительную сторону, а добавление

БТА почти не влияет на защитные свойства покрытия. Это подтверждает то, что оксидная плёнка, полученная в конвертирующем составе с добавлением нитрита, обладает наименьшим количеством дефектов, приводящих к ослаблению покрытия, и при этом сохраняет высокие адсорбционные свойства по отношению к ингибитору коррозии.

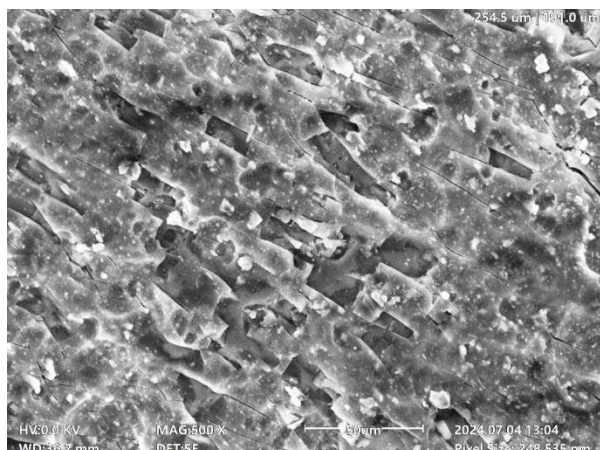
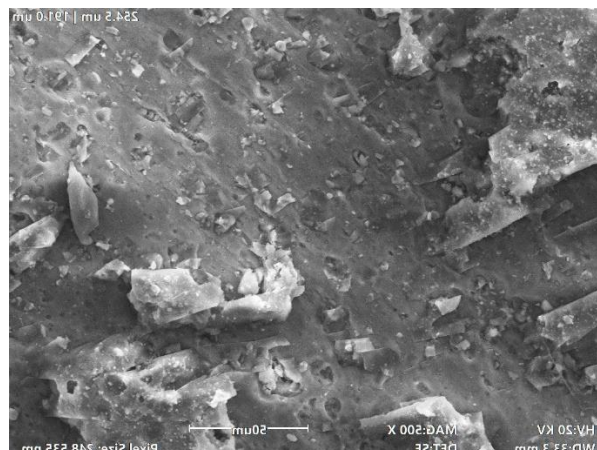
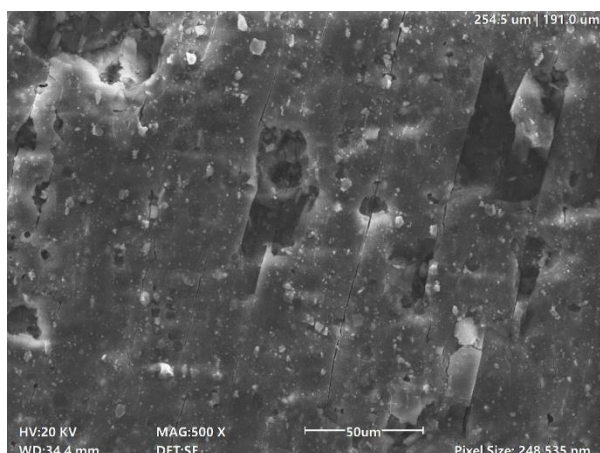
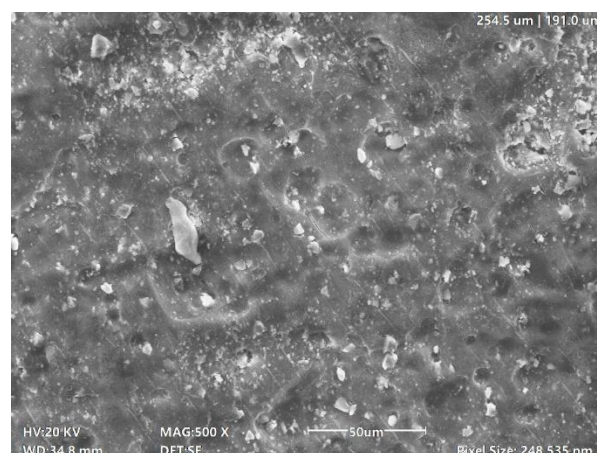
**а****б****в****г**

Рисунок 2. Микрофотографии поверхности КП ИФХАНАЛ-3 (а), с модифицирующими добавками: б – БТА, в – NH_4NO_3 ; г – NaNO_2

Коррозионные испытания, проводимые в камере влажности Г-4, подтверждают, что конверсионное покрытие, полученное в растворе с добавлением нитрита, ведёт себя более стабильно с точки зрения коррозионных свойств. Если на исходном покрытии ИФХАНАЛ-3 первые коррозионные поражения на различных образцах появлялись в период от 5 до 10 суток, что свидетельствует о неравномерности дефектного верхнего слоя оксидной плёнки, то покрытия, полученные в растворе с добавлением нитрита, выдерживают большее количество дней в камере влажности и мало отличаются по защитным свойствам на разных образцах (таблица 5).

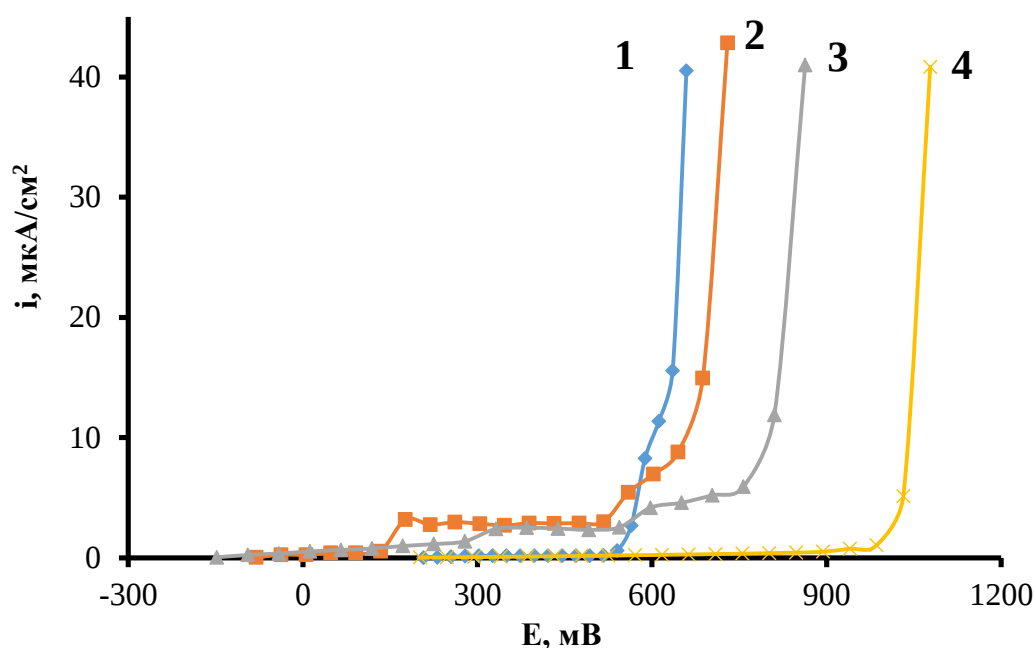


Рисунок 3. Анодные поляризационные кривые в боратном буферном растворе с 0,01М NaCl и pH 7,4 на алюминиевом сплаве 1105 с ингибированным КП ИФХАНАЛ-3 (1) и модифицирующими добавками: 2 – БТА, 3 – NH_4NO_3 ; 4 – NaNO_2

Таблица 4. Результаты коррозионных испытаний КП ИФХАНАЛ-3 в камере влажности Г-4.

Конверсионное покрытие	Время до появления первых питтингов, сут.
Без покрытия	1
ИФХАНАЛ-3	2
ИФХАНАЛ-3*	5–10
ИФХАНАЛ-3 + БТА*	5–7
ИФХАНАЛ-3+1 г/л NaNO_2 *	11–12

«*» – наполнение покрытия

Выводы

1. Бесхроматное конверсионное покрытие ИФХАНАЛ-3 обладает хорошими защитными свойствами по отношению к алюминиевому сплаву 1105, изготовленному из вторичного алюминия, однако во время длительных натурных коррозионных испытаний подвержено осыпанию.
2. Нестабильные свойства конверсионного покрытия ИФХАНАЛ-3 на сплаве 1105 связано с дефектностью внешнего слоя оксидной плёнки. Уменьшить количество дефектов и увеличить противокоррозионные свойства плёнки можно с помощью добавления в конвертирующий состав нитрита натрия.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего

образования Российской Федерации

Литература

1. M. Sabaghi, Y. Cai, C. Mascle and P. Baptiste, Sustainability assessment of dismantling strategies for end-of-life aircraft recycling, *Resour., Conserv. Recycl.*, 2015, **102**, 163–169. doi: [10.1016/j.resconrec.2015.08.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.005)
2. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P. De Smet, A. Haszler and A. Vieregge, Recent development in aluminium alloys for the automotive industry, *Mater. Sci. Eng.: A*, 2000, **280**, no. 1, 37–49. doi: [10.1016/S0921-5093\(99\)00653-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00653-X)
3. S. Du, S. Zhang, J. Wang, M. Wang, Z. Lv, Z. Xu, L. Ma, C. Liu, J. Wang, J. Liu and B. Liu, Sustainable recycling of aluminum scraps to recycled aerospace-grade 7075 aluminum alloy sheets, *Sustainable Mater. Technol.*, 2024, **41**, #e01100. doi: [10.1016/j.susmat.2024.e01100](https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01100)
4. B. Zhou, B. Liu, S. Zhang, R. Lin, Y. Jiang and X. Lan, Microstructure evolution of recycled 7075 aluminum alloy and its mechanical and corrosion properties, *J. Alloys Compd.*, 2021, **879**, #160407. doi: [10.1016/j.jallcom.2021.160407](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160407)
5. S. Du, S. Zhang, M. Wang, J. Wang, Z. Lv, Z. Xu, C. Liu, J. Wang, J. Liu and B. Liu, High-temperature heat treatment attenuating the influence of micron-sized inclusions on the microstructure and properties of recycled Al-Zn-Mg-Cu alloy sheet, *J. Mater. Res. Technol.*, 2024, **30**, 4147–4158. doi: [10.1016/j.jmrt.2024.04.092](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.092)
6. L.B. Otani, M.M. Matsuo, B.J.M. Freitas, G. Zepon, C.S. Kiminami, W.J. Botta and C. Bolfarini, Tailoring the microstructure of recycled 319 aluminum alloy aiming at high ductility, *J. Mater. Res. Technol.*, 2019, **8**, no. 4, 3539–3549. doi: [10.1016/j.jmrt.2019.06.030](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.06.030)
7. E. Mysliu, K. S. Storli, H.M. Skogøy, S. Kubowicz, I.-H. Svenum, O. Lunder and A. Erbe, Effect of Cu^{2+} on deposition mechanism and structure of ZrO_2 -based conversion coatings on AA6060 aluminium alloys and their susceptibility to filiform corrosion, *Electrochim. Acta*, 2024, **477**, #143805. doi: [10.1016/j.electacta.2024.143805](https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.143805)
8. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник, В.Л. Войтицкий, И.А. Архипушкин и Л.П. Казанский, Ингибированные бесхроматные конверсионные покрытия на алюминиевом сплаве 1105, *Коррозия: Материалы, Защита*, 2020, **3**, 32–38. doi: [10.31044/1813-7016-2020-0-3-32-38](https://doi.org/10.31044/1813-7016-2020-0-3-32-38)
9. 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.
10. Ю.А. Кузенков, С.В. Олейник, Н.П. Нырков и И.А. Архипушкин, Ультратонкие конверсионные покрытия на алюминиевом сплаве АМгЗ. Ч. I. Оптимизация процесса получения покрытий, *Коррозия: Материалы, Защита*, 2021, **5**, 42–47. doi: [10.31044/1813-7016-2021-0-5-42-47](https://doi.org/10.31044/1813-7016-2021-0-5-42-47)

-
11. O. Lunder, C. Simensen, Y. Yu and K. Nisancioglu, Formation and characterisation of Ti–Zr based conversion layers on AA6060 aluminium, *Surf. Coat. Technol.*, 2004, **184**, no. 2–3, 278–290. doi: [10.1016/j.surfcoat.2003.11.003](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2003.11.003)
 12. H. Zhang and Y. Zuo, The improvement of corrosion resistance of Ce conversion films on aluminum alloy by phosphate post-treatment, *Appl. Surf. Sci.*, 2008, **254**, no. 16, 4930–4935. doi: [10.1016/j.apsusc.2007.12.066](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.12.066)
 13. B.F. Rivera, B.Y. Johnson, M.J. O'Keefe and W.G. Fahrenholtz, Deposition and characterization of cerium oxide conversion coatings on aluminum alloy 7075-T6, *Surf. Coat. Technol.*, 2004, **176**, no. 3, 349–356. doi: [10.1016/S0257-8972\(03\)00742-4](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00742-4)
 14. 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**, no. 4, 282–318. doi: [10.17675/2305-6894-2016-5-4-1](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2016-5-4-1)
 15. A.M. Semiletov, A.A. Kudelina, E.S. Khudoleeva and Yu.I. Kuznetsov, Surface modification of aluminum alloy AMg6 by ethanol solutions of alkyl phosphates, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2024, **13**, no. 2, 1292–1303. doi: [10.17675/2305-6894-2024-13-2-34](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2024-13-2-34)
 16. Y.A. Kuzenkov, C.D. Hong and V.A. Karpov, Corrosion protection of aluminum alloys with chromate-free inhibited conversion coatings in a tropical climate, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2022, **11**, no. 4, 1692–1702. doi: [10.17675/2305-6894-2022-11-4-18](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-4-18)
 17. D.O. Chugunov, Yu.A. Kuzenkov and S.Yu. Rybakov, Inhibited chromate-free conversion coatings for AMg5 aluminum alloy, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, **12**, no. 4, 2092–2100. doi: [10.17675/2305-6894-2023-12-4-35](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2023-12-4-35)
 18. Ю.М. Зими́на, Ю.А. Кузенков и С.В. Олейник, Защитные конверсионные покрытия ИФХАНАЛ на алюминиевых сплавах, *Коррозия: Материалы, Защита*, 2010, **7**, 44–48.

Modification of chromate-free conversion coatings on aluminum alloy 1105 to increase their protective properties

D.O. Chugunov, Yu.A. Kuzenkov and S.Yu. Rybakov

Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, 31-4, Leninsky prospekt, 119071, Moscow, Russia

E-mail: osvpkz@outlook.com

Abstract

Aluminum alloys are in high demand in various industries. In the modern world, when great emphasis is placed on environmental friendliness and the use of recycled resources, alloys based on recycled metal play an advantageous role. Such alloys may differ significantly in the amount of alloying elements. Aluminum alloy 1105, which is made from recycled aluminum, contains Mg and Cu in its composition and is characterized by a high content of impurity elements (Fe, Si, Zn). The intermetallic phases contained in the alloy reduce its corrosion resistance. Modern methods of anticorrosive protection can help the wider spread of alloy 1105 in various designs. Among the various methods, conversion coatings obtained by chemical oxidation are a simple and economical way to protect against corrosion. The aim of this work was to increase the protective properties of chromate-free conversion coatings IFKHANAL-3, by modifying them with nitrates and nitrites. One of the main problems of conversion coatings on aluminum alloy 1105 is their increased defects at the micro level. The use of nitrate and nitrite compounds provides a more effective formation of a conversion coating on the surface of the alloy, which makes it possible to enhance their corrosion resistance.

Keywords: *aluminum alloys, conversion coatings, pitting corrosion, corrosion inhibitors, chromate-free technologies, atmospheric corrosion tests*