Н. А. Кидалов¹, В. А. Гурьев², В. Н. Томов³, Ю. В. Гребнев¹, Е. В. Фомина¹

**ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

¹ Волгоградский государственный технический университет

² ООО «Волнар»

³ ООО «Протек»

e-mail: lp@vstu.ru

Разработан состав насыщающей порошковой смеси для термодиффузионного цинкования изделий из деформируемых алюминиевых сплавов. Предлагаемый состав насыщающей порошковой смеси позволяет интенсифицировать процесс формирования защитных покрытий с высокими коррозионными свойствами.

Ключевые слова: алюминиевые деформируемые сплавы, окисная пленка, термодиффузионное цинкование, насыщающая порошковая смесь, цинковый порошок, активатор, инертный наполнитель, защитное покрытие, диффузионный слой.

N. A. Kidalov¹, V. A. Guriev², V. N. Tomov³, Yu. V. Grebnev¹, E. V. Fomina¹

**SPECIFICS OF THERMO-DIFFUSION ZINC COATING
OF ITEMS MADE FROM ALUMINUM WROUGHT ALLOYS**

¹ Volgograd State Technical University

² ООО «Volnar»

³ ООО «Protek»

The composition of saturating powder blend meant for thermo-diffusion zinc coating of items made from aluminum wrought alloys has been developed. The present composition of saturating powder blend allows for boosting the formation process of protective coatings with high corrosion-resistant properties.

Keywords: aluminum wrought alloys, oxide film, thermo-diffusion zinc coating, saturating powder blend, zinc powder, activator, inert filler, protective coating, diffusion layer.

Введение

Проблеме снижения веса ряда ответственных конструкций различного функционального назначения, при сохранении требуемого комплекса физико-химических и механических свойств используемых материалов, уделяется большое значение. Данная проблема наиболее актуальна для таких стратегически важных отраслей, как авиа- и судостроение, а также ракетная техника, где вес изделий имеет одно из решающих значений в увеличении грузоподъемности, снижении расхода топлива и улучшении маневренности летательных аппаратов и водного транспорта.

В настоящее время для снижения веса различных конструкций, а значит, повышения их экономичности и увеличения эксплуатационной эффективности используются различные алюминиевые сплавы, которые при достаточно низкой плотности характеризуются рядом уникальных физико-механических свойств. Однако неудовлетворительная коррозионная стойкость в агрессивных средах (например, морская вода, морская атмосфера) ограничивает массовое применение данных сплавов в авиа- и судостроении. Поэтому разработка новых технологических методов повышения коррозионной стойкости изделий из алюминиевых сплавов имеет большие перспективы.

Среди многочисленных технологий нанесения защитных покрытий на стальные, чугунные и медные детали с целью повышения их коррозионной стойкости особое место занимает термодиффузионное цинкование в порошковых смесях [1].

Однако до настоящего времени в различных российских и зарубежных фирмах попытки получить качественные поверхностные слои при термодиффузионном цинковании алюминиевых сплавов с использованием насыщающей порошковой смеси, в состав активатора и инертного наполнителя которых входят компоненты, традиционно используемые для термодиффузионного цинкования железоуглеродистых сталей и сплавов, например, хлорид аммония, оксид кремния или оксид алюминия [2], не увенчались успехом. В лучшем случае, на поверхности изделий выявлялись разрозненные фрагменты цинкосодержащего покрытия толщиной, не более 10 мкм. Данный факт можно объяснить наличием на поверхности изделий из алюминиевых сплавов исходной прочной окисной пленки, препятствующей контактному

взаимодействию частиц порошка цинка, а также газовой его фазы, образующейся при температуре цинкования непосредственно с поверхностью алюминиевого сплава, что и является основной причиной отсутствия проникновения цинка в его кристаллическую решетку. Особая сложность состоит в том, что после механического или химического удаления окисной пленки, она восстанавливается через несколько секунд. Указанный процесс значительно интенсифицируется при высоких температурах, в том числе и при термодиффузионном цинковании. Сказанное выше объясняет отсутствие систематизированных научных сведений или практических рекомендаций по данной теме.

Целью настоящей работы является разработка насыщающей порошковой смеси для интенсификации процесса формирования защитных покрытий при термодиффузионном цинковании изделий из алюминиевых сплавов за счет полного разрушения окисной пленки и предотвращения ее образования на поверхности деталей при высоких температурах обработки.

Методика проведения исследований

Нанесение защитных покрытий на образцы, изготовленные из алюминиевого сплава АМг6, осуществляли на производственной базе ООО «Протек» (г. Копейск) в печи фирмы «Distec».

В процессе экспериментов изменяли процентное содержание компонентов активатора, а также соотношение ингредиентов в разработанной насыщающей порошковой смеси.

Испытание на коррозионную стойкость проводили в камере нейтрального соляного тумана [3].

Толщину диффузионного слоя определяли металлографическим методом на микроскопе ЛОМО МЕТАМ РВ-21.

Определение содержания цинка на поверхности защитного покрытия проводили на электронном микроскопе VERSA-3D.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате многочисленных производственных экспериментов и комплексных лабораторных исследований разработана насыщающая порошковая смесь для термодиффузионного цинкования изделий из алюминиевых сплавов, которая состоит из цинкового порошка ПЦР-1 [4], активатора и инертного наполнителя. В состав активатора были включены сле-

дующие компоненты: фторид натрия, хлорид лития, хлорид аммония, хлорид цинка, хлорид калия. В качестве инертного наполнителя использовался прочный, пористый, тугоплавкий материал органогенного происхождения, состоящий из оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, а именно, диатомит.

Выбор активатора проводился с учетом высокой химической активности летучих элементов, которые должны выделяться из его компонентов в процессе термодиффузионного цинкования. Было установлено, что именно летучие элементы оказывают одно из решающих влияний на предотвращение дальнейшего образования окисной пленки на поверхности изделий из алюминиевых сплавов при достаточно высоких температурах цинкования. Данный эффект оказывает положительное влияние на интенсификацию процесса формирования в поверхностном слое изделий качественных, равномерных по толщине двухфазных покрытий системы Al-Zn с высокими коррозионными свойствами.

Так, например, совместное действие хлоридов калия, лития, цинка и аммония, а также фторида натрия усиливает процесс растворения окислов на поверхности алюминиевого сплава и цинкового порошка, повышает термодинамическую активность цинка. При этом присутствие в активаторе хлорида аммония способствует созданию защитной атмосферы в реторте, которая препятствует восстановлению окисной пленки при высоких температурах обработки, как на поверхности алюминиевого сплава, так и цинковом порошке.

Предложенный в качестве инертного наполнителя диатомит, по сравнению с известными инертными наполнителями, например, оксидом алюминия (электрокорунд) или оксидом кремния характеризуется повышенными, адсорбционными и каталитическими свойствами, что в значительной степени, интенсифицирует про-

цесс насыщения цинком кристаллической решетки алюминиевых сплавов. Адсорбционная способность инертного наполнителя обеспечивается его низкой плотностью и высокой пористостью, что гарантирует максимально возможное насыщение частиц диатомита цинком, а высокая их прочность способствует дополнительному разрушению окисной пленки при их механическом воздействии на поверхность алюминиевых сплавов. При этом наблюдается двойной эффект при термодиффузионном цинковании, а именно, химико-термический (насыщение поверхности алюминиевого сплава из газовой фазы) и механический – из твердой фазы (при непосредственном контакте порошка цинка и инертного наполнителя с поверхностью алюминиевого сплава).

В табл. 1 и 2 приведены результаты экспериментов по определению свойств защитного термодиффузионного цинкового покрытия на образцах из деформируемого алюминиевого сплава АМг6 в зависимости от процентного содержания в активаторе компонентов, а также от соотношения ингредиентов в насыщающей порошковой смеси соответственно.

Из табл. 1 видно, что наиболее предпочтительными, с точки зрения формирования защитных покрытий с максимальными значениями коррозионной стойкости, при постоянном содержании в насыщающей порошковой смеси порошка цинка и инертного наполнителя, являются составы 2 и 3. Однако, использование активатора с составом 3 при повышенном процентном содержании в нем компонентов по сравнению с активатором состава 2, и равноценными характеристиками защитного покрытия экономически не выгодно. Можно также отметить, что снижение процентного содержания компонентов в активаторе (состав 1) сопровождается снижением коррозионной стойкости защитного покрытия.

Таблица 1

Влияние процентного содержания компонентов активатора в составе насыщающей порошковой смеси на свойства защитного покрытия

Состав активатора	Содержание компонентов, мас. %					Свойства защитного покрытия		
	фторид натрия	хлорид лития	хлорид аммония	хлорид цинка	хлорид калия	толщина слоя, мкм	содержание цинка, %	коррозионная стойкость, ч
1	12–15	17–20	8–10	12–15	ост.	35–40	11–12	не менее 480
2	17–20	22–25	12–15	15–17	ост.	50–55	27–28	не менее 720
3	22–25	28–30	17–19	19–21	ост.	50–55	27–28	не менее 720

Примечание: во всех вариантах содержание порошка цинка – 25 гр. на 1 кг обрабатываемых изделий; инертного наполнителя – 35 % от количества насыщающей порошковой смеси.

Таблица 2

**Влияние количественного содержания ингредиентов
в составе насыщающей порошковой смеси на свойства защитного покрытия**

Состав порошковой смеси	Содержание ингредиентов, мас. %			Свойства защитного покрытия			Характеристики защитного покрытия
	инертный наполнитель	активатор	цинковый порошок	толщина, мкм	содержание цинка, %	коррозионная стойкость, ч	
1	25–30	3–5	остальное	30–35	10–12	не менее 460	Равномерное гладкое, незначительная пористость
2	33–35	6–8	остальное	50–55	27–28	не менее 720	Равномерное гладкое, отсутствие пористости
3	37–40	10–15	остальное	60–72	32–35	не менее 310	Неравномерное шероховатое пористое

Примечание: во всех вариантах использовался активатор состава 2 (см. табл. 1).

Из табл. 2 видно, что использование насыщающей порошковой смеси, сбалансированной по ингредиентам (состав 2), позволяет при термодиффузионном цинковании изделий из алюминиевого сплава формировать качественные защитные покрытия с высокими коррозионными свойствами.

В табл. 3 приведены сравнительные характеристики защитных покрытий, сформированных при термодиффузионном цинковании с использованием разработанной насыщающей порошковой смеси и порошковой смеси, включающей хлорид аммония и оксид алюминия.

Таблица 3

Сравнительные характеристики защитных покрытий

Насыщающая порошковая смесь	Свойства защитного покрытия			Характеристика защитного покрытия
	толщина, мкм	содержание цинка, %	коррозионная стойкость, ч	
Разработанная	50–55	27–28	не менее 720	равномерное, гладкое, отсутствие пористости
Сравнительная [2]	0–10	0–27	96–107	разрозненные участки цинкового покрытия

Из данных табл. 3 видно явное преимущество разработанной насыщающей порошковой смеси, используемой при термодиффузионном цинковании алюминиевых сплавов по сравнению с порошковой смесью, в состав которой традиционно входят хлорид аммония и оксид алюминия.

На рис. 1 приведен вид образца из алюминиевого сплава после коррозионных испытаний

Рис. 1. Вид образца после коррозионных испытаний:
1 – коррозионные повреждения отсутствуют; 2 – хлопьевидные продукты коррозии

в камере нейтрального соляного тумана на базе 720 часов (поверхность 1 – цинковое покрытие, полученное после термодиффузионного цинкования с использованием разработанной насыщающей порошковой смеси; поверхность 2 – алюминиевый сплав без цинкового покрытия).

Рис. 2. Центральный блок опреснительной установки после термодиффузионного цинкования

На рис. 2 приведен вид одного из основных конструктивных элементов опреснительной установки обратного осмоса – центрального распределительного блока, изготовленного из деформируемого алюминиевого сплава АМг6 после термодиффузионного цинкования с использованием разработанной насыщающей порошковой смеси..

Внедрение термодиффузионного цинкования позволило заменить ранее применяемую для изготовления центрального блока более дорогостоящую сталь 12Х18Н10Т, значительно снизить расход металлообрабатывающего инструмента, а также понизить вес установки

в целом, без снижения коррозионной стойкости материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9.316–2006 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля. – М. : Стандартинформ, 2006. – 12 с.
2. *Проскуркин, Е. В.* Цинкование. Справочник / Е. В. Проскуркин, В. А. Попович, А. Т. Мороз. – М.: Металлургия, 1988. – 528 с.
3. ГОСТ 9.308–85 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 31 с.
4. ГОСТ 12601–76 Порошок цинковый. Технические условия. – М. : Издательство стандартов, 1976. – 20 с.