

В. Г. Шморгун¹, В. П. Кулевич¹, А. И. Богданов¹, О. В. Слаутин¹, А. О. Таубе², О. М. Чукова¹

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
ПРИ АЛИТИРОВАНИИ СПЛАВОВ
НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПОГРУЖЕНИЕМ В РАСПЛАВ***

¹Волгоградский государственный технический университет

²АО «ВНИКТИнефтехимоборудование»

e-mail: mv@vstu.ru

Экспериментально доказано, что воздействие ультразвука на расплав при алитировании погружением не оказывает влияния на фазовый состав диффузионной зоны, формирующейся в результате протекания гетерогенных реакций на границе алюминия со сплавами на основе железа. Показано, что при фиксированной температуре, частоте подводимых акустических колебаний 18–20 кГц и амплитуде 10–15 мкм толщина покрытия и диффузионной зоны уменьшается на 30–50 %.

Ключевые слова: алитирование, покрытия, алюминиды железа, ультразвук, диффузионная зона, интерметаллиды.

V. G. Shmorgun¹, V. P. Kulevich¹, A. I. Bogdanov¹, O. V. Slautin¹, A. O. Taube², O. M. Chukova¹

**ON THE EFFICIENCY OF ULTRASONIC IMPACT
IN THE HOT-DIP ALUMINIZING OF IRON-BASED ALLOYS**

¹Volgograd State Technical University

²AO VNIKTInho

It has been experimentally proven that the effect of ultrasound on the melt during hot-dip aluminizing does not affect the phase composition of the diffusion zone formed as a result of heterogeneous reactions at the interface between aluminum and iron-based alloys. It is shown that at a fixed temperature, the frequency of supplied acoustic vibrations of 18–20 kHz and an amplitude of 10–15 μm, the thickness of the coating and diffusion zone decreases by 30–50 %.

Keywords: aluminizing, coatings, iron aluminides, ultrasound, diffusion zone, intermetallic compounds.

Технология алитирования сталей и сплавов погружением в расплав широко применяется в промышленности благодаря своей высокой эффективности, низкой трудоемкости и стоимости [1–6]. Процесс алитирования включает в себя погружение заготовки в нагретый до оптимальной температуры расплав алюминия или силумина; выдержку заготовки в расплаве в течение определенного времени, необходимого для реализации взаимодействия с расплавом и формирования интерметаллидного слоя по всей площади поверхности; извлечение заготовки из расплава.

Формирование структуры алюминидного покрытия начинается на стадии, когда заготовка находится в расплаве и определяется температурно-временными параметрами процесса. При этом регулировать толщину покрытия достаточно сложно из-за конкурирующих процессов роста диффузионной зоны (ДЗ) и растворения компонентов заготовки в ванне с расплавом. Малые времена выдержки могут оказаться недостаточными для формирования сплошного покрытия, а слишком большие – привести к растворению значительного объема заготовки в расплаве. При этом толщина покрытия опре-

© Шморгун В. Г., Кулевич В. П., Богданов А. И., Слаутин О. В., Таубе А. О., Чукова О. М., 2021.

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 0637-2020-0006.

деляется в большей степени химическим составом заготовки и расплава.

Известно [7–8], что введение ультразвуковых колебаний в ванну с расплавленным металлом способствует удалению газов из расплава, повышает равномерность кристаллизации металла при застывании, способствует образованию мелкозернистой структуры и улучшению свойств металла. На основании вышесказанного целью данной работы явилось исследование влияния ультразвукового воздействия (УЗ) на структуру, толщину и сплошность покрытия, формируемого при алитировании сплавов на основе железа погружением в расплав.

Материалы и методы исследований

Алитированию были подвергнуты: стали Ст3 и 12Х18Н10Т, а также сплав Х15Ю5. Алитирование проводили в расплаве алюминия АД1 при температуре 780 °С с воздействием УЗ и без.

Установка для УЗ воздействия представляла собой генератор ультразвука УЗГИ-2 с подключенным к нему пьезоэлектрическим преобразователем в составе составного ступенчато-конического концентратора ультразвуковых колебаний, к которому присоединялся металлический волновод. Входная мощность генератора, замеренная в процессе его работы, составила ~ 18 Вт. Частота колебаний, подаваемая генератором на пьезоэлектрический преобразователь и замеренная с помощью частотомера ЧЗ-34А, составила 20,5 кГц, а амплитуда – 5–7 мкм.

Концентратор ультразвуковых колебаний с закрепленным на нем волноводом устанавливался на лабораторном штативе непосредственно возле печи. Алитируемый образец надежно закреплялся на свободном конце волновода. Подвергаемый ультразвуковому воздействию образец погружали в керамический тигель с расплавом, расположенный в печи SNOL 8,2/1100.

Металлографические исследования выполняли на модульном металлографическом микроскопе Olympus BX-61. Электроннооптические исследования и определение химического состава осуществляли на сканирующем электронном микроскопе Phenom XL. Рентгеноструктурный анализ выполняли на дифрактометре Bruker D8 ADVANCE ECO. Расшифровку фазового состава осуществляли с помощью программного обеспечения к дифрактометру Diffrac.EVA (version 4.2.1).

Результаты и их обсуждение

Исследование покрытий, полученных на поверхности сталей Ст3 и 12Х18Н10Т, а также сплава Х15Ю5 при их алитировании погружением в расплав алюминия в течение 1 мин, показало следующее.

УЗ воздействие при алитировании приводит к снижению общей толщины формируемого покрытия в 3 раза для Ст3 и в 5–5,5 раз для Х15Ю5 и 12Х18Н10 (рис. 1). Вместе с этим наблюдается значительное снижение толщины ДЗ

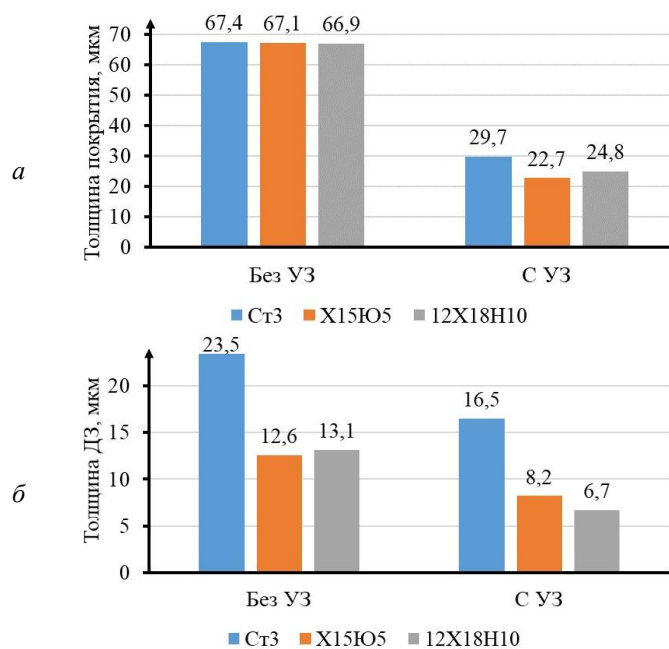


Рис. 1. Влияние ультразвукового воздействия при алитировании в расплаве алюминия (780 °С, 1 мин) на толщину покрытия (а) и ДЗ (б)

в составе покрытия (рис. 2), что может быть обусловлено более активным ее отделением от поверхности раздела фаз и растворением ДЗ в алюминиевой матрице [9].

Кроме влияния на толщину формируемого покрытия, УЗ воздействие значительно улучшило адгезию алюминиевого расплава к подложке. В процессе классического алитирования погружением в расплав важно качественно подготавливать поверхность изделия для обеспечения взаимодействия алюминия с материалом подложки по всей поверхности. Присутствие на поверхности изделия оксидных пленок, загрязнений или жировых следов приводит к несплошности покрытия и его частичному или полному отслаиванию. Кроме этого, для некоторых материалов (например, сплав X15Ю5) требуется применение флюсов и увеличение времени выдержки в расплаве

из-за плотной оксидной пленки, формирующейся при комнатной температуре и препятствующей диффузии алюминия. УЗ воздействие способствует разрушению оксидных пленок на поверхности изделия, отделению загрязнений, повышению смачиваемости материала расплавом алюминия, что приводит к формированию сплошного покрытия по всей площади поверхности.

Для оценки сплошности покрытия было проведено измерение протяженности покрытия, плотно прилегающего к подложке без пор, трещин или разрушения ДЗ по отношению к периметру образца в плоскости микрошлифа. Результаты измерений (рис. 2) показали, что в случае хорошо алитируемой стали Ст3 воздействие УЗ позволило увеличить сплошность покрытия на 12 %, а в случае сплавов X15Ю5 и 12X18Н10 на 59 и 28 %, соответственно.

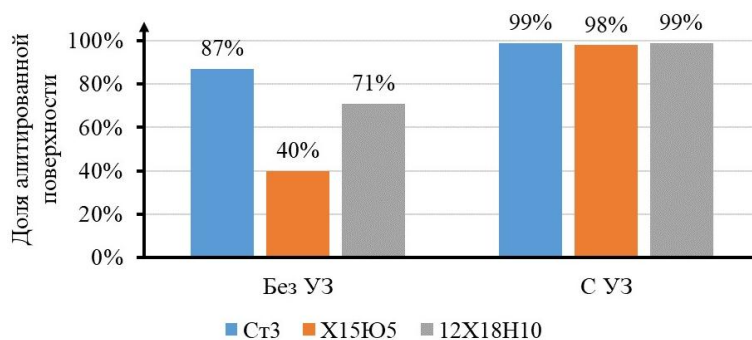


Рис. 2. Влияние ультразвукового воздействия при алитировании в расплаве алюминия (780 °С, 1 мин) на сплошность формируемого покрытия

Данные рентгенофазового и энергодисперсионного анализа показали, что воздействие УЗ в процессе алитирования, не оказывая влияния на фазовый состав формируемого покрытия и ДЗ в его составе, подавляет рост прослойки

интерметаллида Fe_2Al_5 в составе ДЗ. Так, например (рис. 3), на сплаве X15Ю5 под воздействием УЗ толщина прослойки интерметаллида Fe_2Al_5 с ~ 5–7 мкм (без УЗ) уменьшилась до ~ 0,5–1 мкм (с УЗ).

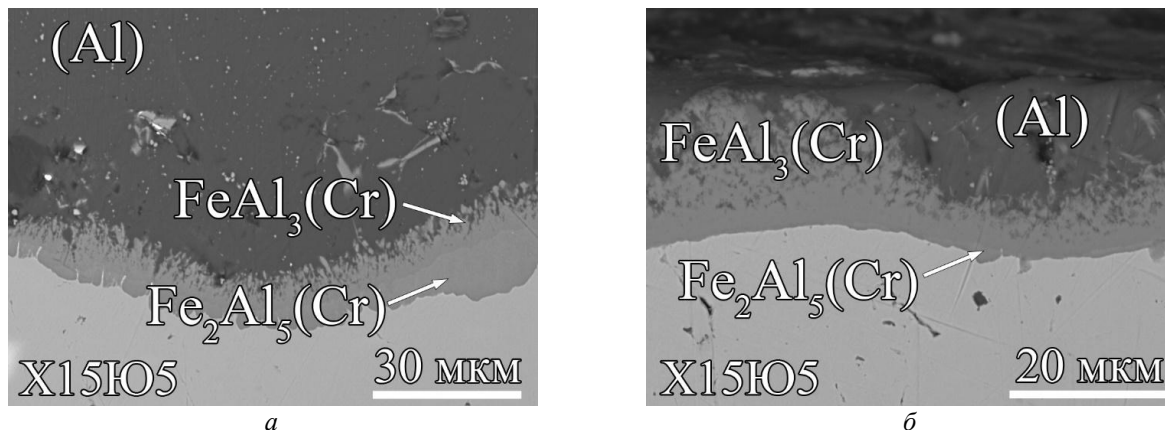


Рис. 3. Структура покрытия после алитирования сплава X15Ю5 в расплаве алюминия (780 °С, 1 мин) без воздействия УЗ (а) и с УЗ (б)

Вывод

Экспериментально доказано, что при алитировании погружением воздействие ультразвука на расплав, не оказывая влияния на фазовый состав диффузионной зоны, формирующейся в результате протекания гетерогенных реакций на границе алюминия со сплавами на основе железа, приводит к уменьшению ее толщины на 30–50 % при частоте подводимых акустических колебаний 18–20 кГц и амплитуде 10–15 мкм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рябов, В. П. Алитирование стали / В. П. Рябов. – Москва : Металлургия, 1973. – 239 с.
2. Алитирование поверхности сплава X15Ю5 погружением в расплав / В. Г. Шморгу́н [и др.] // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – С. 88–91.
3. Aluminizing of the Cr15Al5 alloy surface by hot-dipping in the melt / V. G. Shmorgun [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 537. – №. 2. – С. 022069.
4. Шморгу́н, В. Г. Особенности диффузионного взаимодействия в сталеалюминиевом композите после сварки взрывом и алитирования погружением в расплав / В. Г. Шморгу́н, О. В. Слаутин, В. П. Кулевич // Металлург. – 2019. – №. 7. – С. 84–89.
5. Formation behavior of an intermetallic compound layer during the hot dip aluminizing of cast iron / S. Kang et al. // ISIJ international. – 2012. – Т. 52. – №. 7. – С. 1342–1347.
6. Microstructure and phase composition of diffusion coating formed in NiCr alloys by hot-dip aluminizing / V. G. Shmorgun et al. // Surfaces and Interfaces. – 2021. – Т. 23. – С. 100988.
7. Study on the green remanufacturing of ultrasonic vibration aided hot-dip aluminizing and micro arc oxidation / Z. W. Niu [et al.] // Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2010. – Т. 139. – С. 394–397.
8. Study on the Factors Influencing Plating Coat Thickness in Ultrasonic-Aided Hot-Dip Aluminizing Facing Remanufacturing / Z. W. Niu [et al.] // Advanced Materials Research. – Trans Tech Publications Ltd, 2012. – Т. 490. – С. 3643–3647.
9. Shmorgun, V. G. Formation of Intermetallic Coating on 20880 Steel in the Liquid-Phase Inter-Reaction with Aluminum / V. G. Shmorgun, A. I. Bogdanov, V. P. Kulevich // Solid State Phenomena. – Trans Tech Publications Ltd, 2020. – Т. 299. – С. 914–919.