

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 669.716:621.785

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-10-293-6-10

О. В. Слаутин

ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ ЖЕЛЕЗА*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: slautin@vstu.ru

Показано, что формирование покрытия на стальной поверхности воронки бункера смесителя анодной массы из алюминидов железа FeAl/Fe₃Al/Fe(Al) уменьшает ее налипаемость на стенки воронки при загрузке. Последнее обусловлено сохранением высокой температуры анодной массы за счет низкой теплопроводности контактирующего с ней покрытия.

Ключевые слова: алюминиды железа, анодная масса, налипаемость, теплопроводность, покрытие

O. V. Slautin

ASSESSMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY OF COATINGS BASED ON IRON ALUMINIDES*

Volgograd State Technical University

It is shown that the formation of a coating from FeAl/Fe₃Al/Fe(Al) iron aluminides on the steel surface of the hopper of the anode mass mixer reduces its sticking to the walls of the funnel during loading. The latter is due to the maintenance of a high temperature of the anode mass due to the low thermal conductivity of the coating in contact with it.

Keywords: iron aluminides, anode mass, adhesion, thermal conductivity, coating

Введение

При изготовлении обожженных или инертных анодов для потребности электролизного производства в металлургии алюминия применяется целый спектр технологического (накопительного, смешивающего, прессового, транспортирующего, и т.д.) оборудования, которое подвержено контакту с разогретым сырьем, в частности - с анодной массой (АМ) [1, 2]. Технология изготовления анодов является многоэтапной, предусматривающей при смешивании, формовании и прессовании АМ ее разогретое (до 300 °С) состояние для сохранения вязкости, что повышает склонность АМ к налипанию на стенки оборудования [3, 4]. Периодическая механическая чистка контактирующих с АМ металлических поверхностей гарантированно приводит к их ускоренному износу.

Предложенная нами технологическая схема (рис. 1) формирования на поверхности контактирующих с АМ стенках воронки бункера смесителя из углеродистых или низколегированных сталей покрытий на основе алюминидов железа FeAl и Fe₃Al [5] обеспечивает достаточно высокие показатели твердости и износостойкости [6]. Однако внутренние поверхности воронки бункера смесителя АМ с покрытием из алюминидов железа помимо высокой адгезионной прочности и стойкости к абразивному износу должны иметь и пониженные значения теплопроводности, поскольку интенсивное охлаждение стенок воронки за счет теплоотвода сопряжено со снижением вязкости контактирующих с ними фрагментов АМ и увеличением склонности к налипанию.

В открытой технической литературе практически отсутствуют данные, по теплопровод-

© Слаутин О. В., 2024.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00231, <https://rscf.ru/project/24-29-00231/>.

ности покрытий на основе алюминидов железа, полученных методом сварки взрывом с последующей термообработкой, что и определило постановку настоящего исследования.

Материалы и методы исследования

Процесс получения покрытий системы Fe-Al на поверхности стали Ст3 осуществлялся в соответствии с технологической схемой, представленной на рис. 1.

Замеры теплопроводности при комнатной температуре выполняли на установке КИТ-02Ц, а после нагревов до 300 °С на установке LFA 427 путем измерения температуропроводности и удельной теплоемкости по методике, подробно изложенной в [7]. Электроннооптические исследования проводили на растровом двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D Dual Beam.



Рис. 1. Технологическая схема получения покрытий системы Fe-Al [8]

Результаты и их обсуждение

Расчетное значение коэффициента теплопроводности покрытия (1) на основе алюминидов железа 9,0–9,2 Вт/(м·К), полученное с использованием правила смеси:

$$\lambda_{\text{покp.}} = \frac{\delta_{\text{покp.}}}{\frac{\delta_{\text{СКМ}}}{\lambda_{\text{СКМ}}} + \frac{\delta_{\text{подл.}}}{\lambda_{\text{подл.}}}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{покp.}}$ – толщина покрытия; $\delta_{\text{СКМ}}$ – толщина всего композита; $\delta_{\text{подл.}}$ – толщина материала подложки; $\lambda_{\text{СКМ}}$, $\lambda_{\text{подл.}}$ – экспериментальные значения коэффициентов теплопроводности композита и материала подложки, соответственно; и данные замеров коэффициентов теплопроводности алюминия АД1, стали Ст3, и Ст3 с покрытием на установке КИТ-02Ц, представлены на рис. 2.

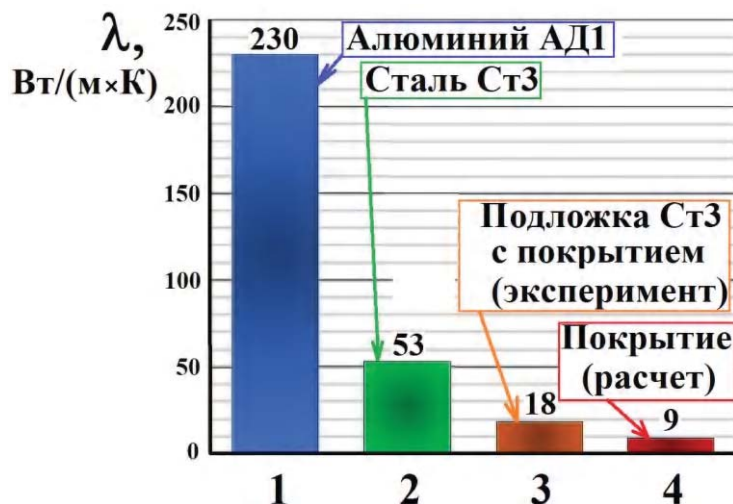


Рис. 2. Значения коэффициентов теплопроводности для алюминия АД1 (1), стали Ст3 (2), образца подложки из Ст3 с покрытием (3) и рассчитанное по правилу смеси покрытия на основе алюминидов железа (4)

Расчетные значения коэффициента теплопроводности стали Ст3 без и с алюминидным покрытием в температурном диапазоне 20–300 °С представлены на рис. 3. Расчет осуществляли по формуле (2):

$$\lambda = a \cdot C_p \cdot \rho, \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с; C_p – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; после измерения температуропроводности (рис. 3, а) и удельной теп-

лоемкости (рис. 3, б) на установке LFA 427.

Анализ представленных на рис. 3 зависимостей показал, что коэффициент теплопроводности для Ст3 снижается с повышением температуры, а формирование на ней алюминидного покрытия приводит к его практически двукратному снижению. Коэффициент теплопроводности для покрытия, рассчитанный по правилу смеси, составил 12,2 Вт/(м·К) при комнатной температуре и 15,9 Вт/(м·К) при 300 °С.

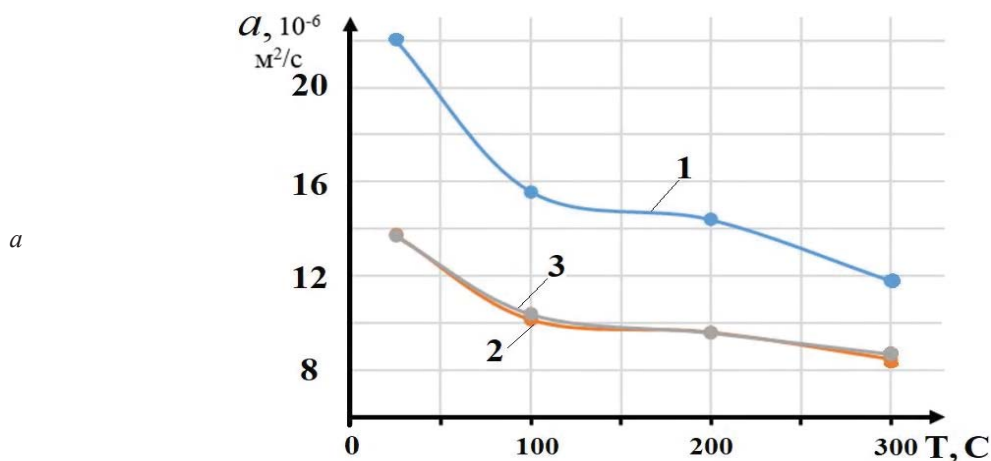


Рис. 3. Результаты измерений температуропроводности (а), удельной теплоемкости (б) и расчета коэффициента теплопроводности (в) в зависимости от температуры:
1 – Ст3; 2 – Ст3 + алюминидное покрытие; 3 – Ст3 + алюминидное покрытие после термообработки по режиму 400 °С, 1000 ч (см. также с. 9)

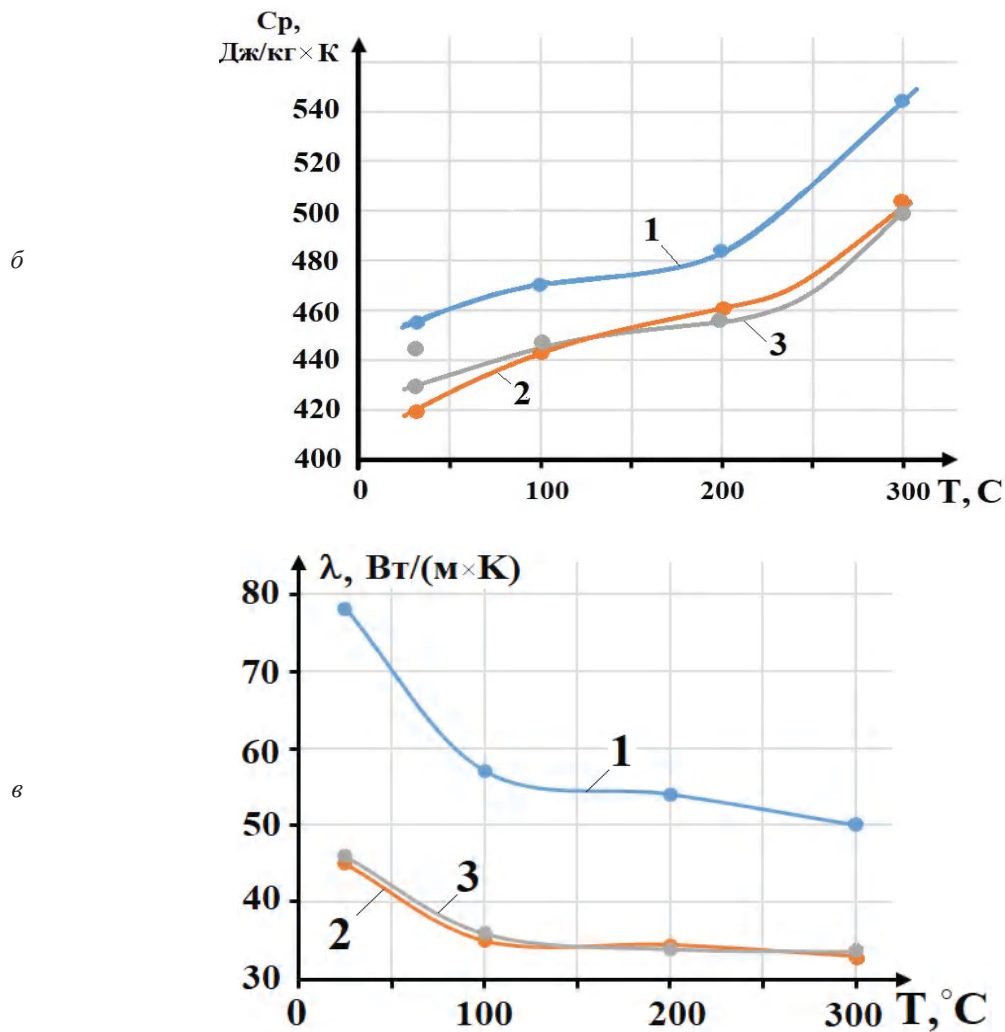
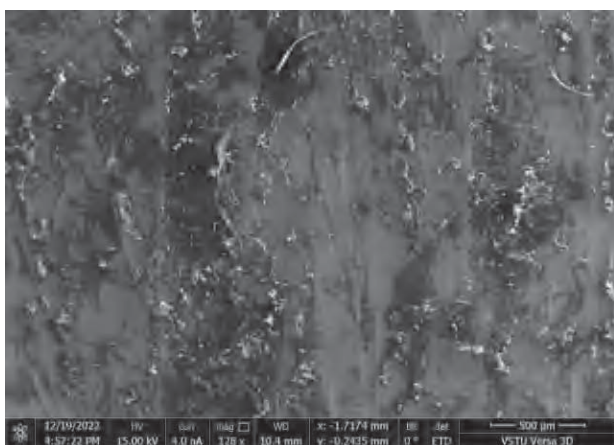


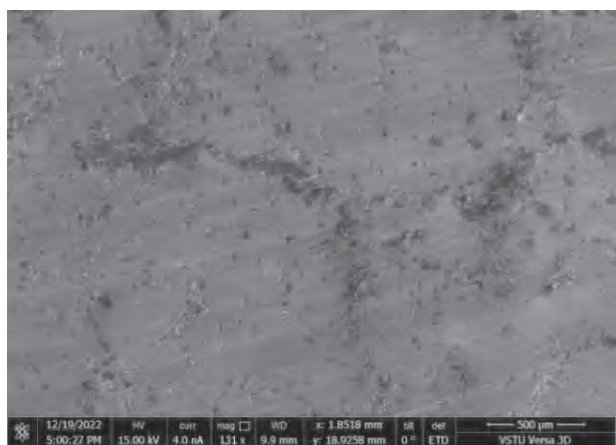
Рис. 3. Окончание

Визуальный осмотр внутренних поверхностей бункеров с алюминидным покрытием показал, что налипание АМ на их стенки меньше,

чем в бункерах без покрытия. Это подтверждается и результатами электроннооптических исследований (рис. 4)



а



б

Рис. 4. СЭМ-изображение внутренней поверхности воронки бункера, подвергнутой воздействию АМ в процессе загрузки:
а – без покрытия (Ст3); б – с алюминидным покрытием

Вывод

Наличие на стенках бункера из стали покрытия на основе алюминидов железа приводит к практически двукратному понижению коэффициента теплопроводности. Низкая теплопроводность стенки бункера уменьшает потерю температуры и сохраняет вязкость контактирующей с ней анодной массы и, в итоге, снижает способность разогретой анодной массы к налипанию. В результате потребность в механической очистке стенок бункера сокращается, что позволяет повысить его ресурс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минцис, М. Я. Электрометаллургия алюминия / М. Я. Минцис, П. В. Поляков, Г. А. Сиразутдинов. – Новосибирск : Наука, 2001. – 368 с.
2. Троцкий, И. А. Metallurgy of aluminum / И. А. Троцкий, В. А. Железнов. – Москва : Metallurgy, 1977. – 392 с.
3. Янко, Э. А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э. А. Янко. – М. : Издательский дом «Руда и металлы», 2001. – 674 с.
4. Ageel S. A., Saleem A. M., B. B. Farhad M. Abdul Mujeebu and J. M. Alalkawi. Cold Extrusion of Carbon Electrodes Using Dies of CRHS Concept and Performance Analysis, Modern Applied Science (Journal of Canadian Center of Science and Education), 2009, Vol. 3, No. 3, pp. 44–54.
5. Shmorgun V. G., Slautin O. V., Kulevich V. P. Features of diffusion interaction in steel-aluminum composite after explosive welding and aluminizing by melt immersion // Metallurgist. – 2019. – Т. 63. – С. 766–774.
6. Шморгун, В. Г. Оценка износостойкости слоистых FeAl/Fe₃Al/Fe(Al) покрытий / В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, В. П. Кулевич, Д. В. Проничев, С. А. Кузнецов // Metallurg. – 2024. – № 1. – С. 74–78. – DOI: 10.52351/00260827_2024_1_74.
7. Оценка теплопроводности полученных сваркой взрывом биметаллов состава сталь Ст3 + алюминий АД1 после их термообработки с использованием ультразвукового воздействия / Д. В. Проничев, О. В. Слаутин, В. П. Кулевич, С. А. Кузнецов, И. А. Соколенко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (273) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 15–19. – DOI: 10.35211/1990-5297-2023-2-273-15-19.
8. Шморгун, В. Г. Исследование износостойкости покрытий на основе алюминидов железа, сформированных на стальных поверхностях / В. Г. Шморгун, О. В. Слаутин, В. П. Кулевич, С. А. Кузнецов, М. Д. Романенко // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 6 (289) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 24–29. – DOI: 10.35211/1990-5297-2024-6-289-24-29.