

Г. В. Кирик, д.т.н., проф., президент, Лауреат Государственной премии (Концерн «NICMAS», г. Сумы, Украина), В. Б. Тарельник, д.т.н., проф. (СНАУ, г. Сумы, Украина), О. П. Гапонова, к.т.н., доц. (СумГУ, г. Сумы, Украина), Е. В. Коногланченко, к.т.н., доц., В. Н. Колодненко, ст. преподаватель, П. Н. Бало, ст. преподаватель (СНАУ, г. Сумы, Украина)

Исследование свойств жаростойких функциональных покрытий, сформированных методом электроискрового легирования

Рассмотрены особенности структурно-фазового состояния алитированных покрытий, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ) на образцах из стали 20. Установлено, что с увеличением энергии разряда возрастает толщина и микротвердость "белого" и диффузионного слоев, шероховатость поверхности, а также изменяется химический и фазовый составы. При низких энергиях разряда формируется слой, состоящий преимущественно из α -Fe и оксидов алюминия. Установлено, что с увеличением энергии разряда слой состоит из интерметаллидов железа и алюминия, а также свободного алюминия. Сравнительные исследования жаростойкости алитированных покрытий, полученных по классической технологии (в расплаве алюминия) и методом ЭИЛ алюминиевым электродом показал, что электроискровые покрытия характеризуются высокой жаростойкостью.

Ключевые слова: электроискровое легирование, алитирование, микроструктура, покрытие, поверхность, рентгеноструктурный анализ, рентгеноспектральный анализ, микротвердость, шероховатость, жаростойкость.

Розглянуто особливості структурно-фазового стану алітованих покриттів, отриманих методом електроіскрового легування (ЕІЛ) на зразках зі сталі 20. Встановлено, що зі збільшенням енергії розряду зростає товщина і микротвердість "білого" і дифузійного шарів, шорсткість поверхні, а також змінюється хімічний і фазовий склад. При низьких енергіях розряду формується шар, що складається переважно з α -Fe і оксидів алюмінію. Встановлено, що зі збільшенням енергії розряду шар складається з інтерметалідів заліза і алюмінію, а також вільного алюмінію. Порівняльне дослідження жаростійкості алітованих покриттів, отриманих за класичною технологією (в розплаві алюмінію) і методом ЕІЛ алюмінієвим електродом показав, що електроіскрові покриття характеризуються високою жаростійкістю.

Ключові слова: електроіскрове легування, алітування, микроструктура, покриття, поверхня, рентгеноструктурний аналіз, рентгеноспектральний аналіз, микротвердість, шорсткість, жаростійкість.

There are considered the features of the structural and phase state of the aluminized coatings obtained by the method of electric spark alloying (ESA) on the specimens made of 20 steel grades. It has been found out that with increasing discharge energy, there is increased the thickness and microhardness of the white and diffusion layers, as well as the surface roughness, and also there are changed the chemical and phase compositions. At low discharge energies, there is formed a layer predominantly consisting of α -Fe and aluminum oxides. It has been stated that increasing discharge energy results in obtaining the layer consisting of iron and aluminum intermetallics and free aluminum as well. The comparative studies of the heat resistance of the aluminized coatings, which had been obtained with the use of the classic technology, that is, in aluminum melt, and by the ESA method with the use of an aluminum electrode, showed that electric spark coatings were characterized by a higher heat resistance.

Key words: electric spark alloying, aluminizing, microstructure, coating, surface, X-ray diffraction analysis, X-ray spectral analysis, microhardness, roughness, heat resistance.

Постановка проблемы в общем виде

Необходимость в покрытиях на деталях, которые работают при повышенных температурах, таких как элементы газотурбинных энергетических установок, газотурбинных компрессоров, можно обосновать невозможностью необходимого повышения физико-химических свойств даже при использовании новых материалов с улучшенным комплексом химических, физических, механических и других свойств. Из этого следует, насколько важна разработка методов и технологий нанесения защитных покрытий на поверхность материалов.

Анализ последних исследований и публикаций

Авторы [1] предлагают методы управления свойствами поверхности делить на следующие основные группы: нанесение покрытий [2, 3], легирование поверхности [4], модификация структуры поверхностного слоя [5, 6]. Выбор поверхностной обработки всегда основан на обеспечении полного набора требований к поверхности изделия в предполагаемых условиях эксплуатации.

Перспективными методами поверхностного упрочнения и модификации являются методы, основанные на обработке концентрированными потоками энергии и вещества (КПЭ). К числу современных методов обработки металлических поверхностей КПЭ относится электроискровое легирование (ЭИЛ), что позволяет по-

лучать поверхностные структуры с уникальными физико-механическими и трибологическими свойствами. Преимуществом ЭИЛ является экологическая безопасность процесса, высокая прочность сцепления легированного слоя и материала основы, возможность нанесения на поверхность любых токопроводящих материалов, низкая энергоемкость процесса, простота выполнения технологических операций [7]. Электроискровое легирование, обладая широкими возможностями формирования в поверхностях определенной структуры, фазового и химического состава, позволяет улучшить их эксплуатационные свойства.

Цель работы:

- провести анализ особенностей структурообразования поверхностных слоев углеродистых сталей после алитирования методом электроискрового легирования;
- изучить влияние энергетических параметров алитирования методом ЭИЛ на качественные параметры полученных слоев;
- оценить жаростойкость алитированных покрытий, полученных методом ЭИЛ.

Методика исследований

Исследования проводили на образцах из конструкционных качественных сталей марок 20, размерами 15×15×8 мм. Алитирование методом ЭИЛ проводили на установке с ручным вибратором модели "Элитрон-52А",

в качестве легирующего электрода применяли стержни из алюминиевой проволоки марки СвА99 (ГОСТ 7871-75) диаметром 4 мм и длиной 45 мм (табл. 1). Режимы ЭИЛ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Режимы ЭИЛ

Номер режима	Энергия разряда, W_p , Дж	Производительность, $\text{см}^2/\text{мин}$
1	0,52	1,0–1,3
2	1,30	1,3–1,5
3	2,60	1,5–2,0
4	4,60	2,0–2,5
5	6,80	2,5–3,0

Для проведения металлографического анализа полученных покрытий использовали оптический микроскоп МИМ-7, электронный микроскоп JSM 7100f (JEOL Ltd., Япония), для дюриметрических исследований – прибор ПМТ-3.

Рентгенографические исследования проводили в

Си- K_{α} -излучении на дифрактометре PROTO AXRD. Для проведения локального микрорентгеноспектрального анализа полученных покрытий использовали электронный микроскоп, оснащенный рентгеноспектральным микроанализатором ISIS 300 (Oxford instruments, Великобритания).

Шероховатость поверхности после ЭИЛ изучали путем снятия и обработки профилограмм на приборе профилограф-профилометр модели 201.

Результаты исследования

Микроструктура алюминиевого покрытия на стали 20 в зависимости от энергии разряда W_p представлена на рис. 1. Металлографический анализ полученных покрытий показал, что микроструктура состоит из 3-х зон: 1) “белого” слоя, неподдающегося травлению обычными реактивами; 2) диффузионной зоны; 3) основного металла, имеющего ферритно-перлитную структуру.

В табл. 2 представлены параметры формирующихся зон микроструктуры в зависимости от энергии разряда.

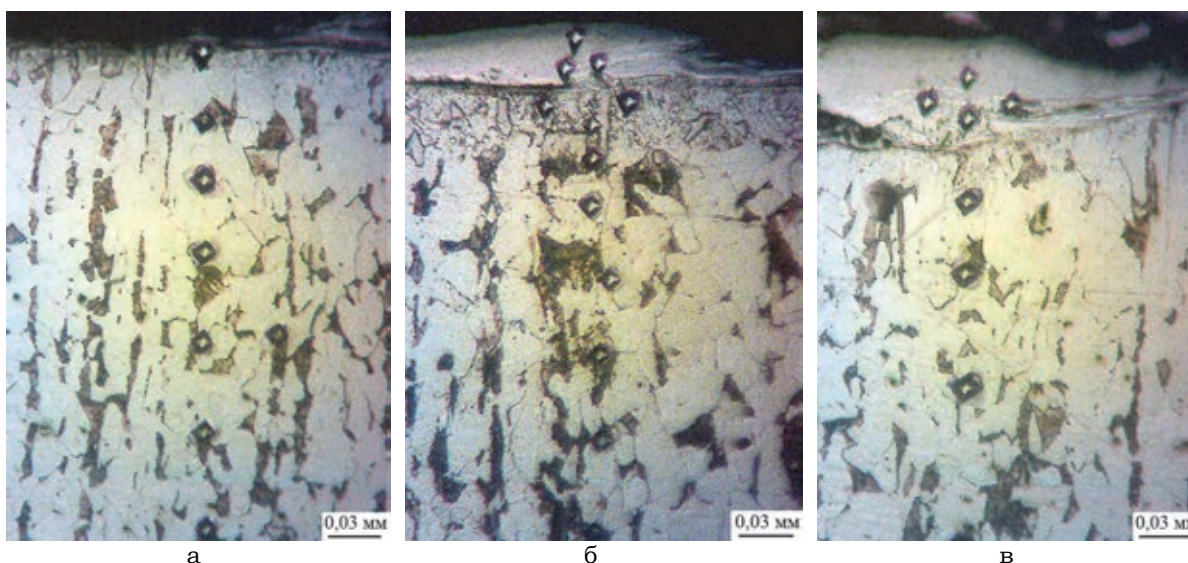


Рис. 1. Микроструктура поперечного сечения образцов из стали 20 с алюминиевым покрытием, полученных методом ЭИЛ: а – $W_p = 0,52$ Дж, б – $W_p = 1,30$ Дж, в – $W_p = 2,6$ Дж.

Таблица 2. Качественные параметры алитированных покрытий, полученных методом ЭИЛ

W_p , Дж	Толщина, мкм		Микротвердость, H_r , МПа		Шероховатость, мкм			Сплошность “белого” слоя, %
	“Белый” слой	Переходная зона	“Белый” слой	Переходная зона	R_a	R_z	R_{max}	
Сталь 20								
0,52	10–12	20–30	2000 ± 70	1900 ± 50	1,3	2,3	9,3	60
1,30	30–50	30–40	2050 ± 70	1850 ± 80	1,9	6,2	21,6	80
2,60	40–50	30–50	2700 ± 70	2000 ± 200	3,3	9,3	23,2	85
4,60	50–70	40–60	5010 ± 90	2250 ± 200	6,2	16,3	40,6	95

При ЭИЛ по режиму 1 (табл. 1) формируется тонкий слой переходной зоны толщиной 20–30 мкм, сплошность которой стремится к 100%. Встречаются отдельные участки “белого” слоя (до 60%) толщиной 10–12 мкм. С увеличением энергии разряда толщина “белого” слоя и переходной зоны увеличиваются. При $W_p = 1,30$ Дж толщина “белого” слоя и переходной зоны равна 30–50 и 30–40 мкм, а при $W_p = 4,60$ Дж – 50–70 и 40–60 мкм соответственно (табл. 2).

С увеличением W_p увеличивается сплошность поверхностного слоя. Так, при $W_p = 2,60$ Дж (режим 3) сплошность диффузионного слоя стремится к 100%, а “белого” слоя – к 85%.

На рис. 2 представлены результаты дюриметрического анализа распределения микротвердостей покрытий по мере углубления от поверхности. Из рисунка видно, что максимальная твердость достигается на поверхности образцов и плавно снижается до микротвердости основы 1600–1700 МПа. Микротвердость зон покрытия определяют из энергетических параметров ЭИЛ: чем больше энергия разряда, тем более высокую твердость имеет “белый” слой и, соответственно, переходная зона. Такое изменение микротвердости, по-видимому, связано с диффузией алюминия в подложку, а также вызвано изменением фазового состава слоя.

Согласно диаграммы состояния Fe–Al [8] в алитиро-

ванном слое, полученном методом ЭИЛ, возможно формирование интерметаллидов (это подтверждает высокая твердость покрытия). Также нельзя исключить формирование нитридов и оксидов [9], поскольку покрытие наносили в воздушной среде. Весьма вероятны небольшие объемы чистого материала электрода.

Фазовый состав сформированных после ЭИЛ покрытий определяли посредством рентгеноструктурного анализа. Дифрактограммы (рис. 3) были сняты с поверхности образца при нанесении алюминиевого покрытия, полученного в режиме 1 (табл. 1). Они указывают на наличие дифракционных максимумов двух твердых растворов на основе фазы с ОЦК-структурой – α -Fe и α -Fe' (пространственная группа 229) и оксида алюминия γ -Al_{2,67}O₄ (пространственная группа 227). Как показано в работе [10] фазы α -Fe и α -Fe' отличаются только периодом решетки, что, по-видимому, является следствием макронапряжений, возникающих в результате ускоренного охлаждения после ЭИЛ.

С ростом энергии разряда появляются новые фазовые составляющие. Если в режиме 1 (табл. 1 и 3) возникает только твердый раствор алюминия в железе и небольшое количество оксида алюминия, так как ЭИЛ осуществлялось в воздушной атмосфере, то в режиме 2 создаются условия для образования фазы с моноклинной структурой Fe₄Al₁₃ (пространственная группа 12) и чистого алюминия (пространственная группа 225). По-видимому, появление интерметаллических фаз способствует повышению твердости покрытия и увеличению энергии разряда (рис. 2).

Нами, как и авторами работ [11, 12] на парах Mo-Fe, Cu-Fe, показано, что увеличение энергии разряда при взаимодействии на воздухе алюминия с железом (сталью) приводит к росту толщины формирующегося покрытия и диффузионной зоны. На образцах, полученных в режимах 1 и 2, толщина диффузионной зоны алюминия в железе составляет 34 и 50 мкм соответственно (рис. 4). Отметим, что количество алюминия в железе также возрастает: при $W_p = 1,30$ Дж на поверхности образца формируется тонкий слой (до 4 мкм), содержащий в ~1,5–2 раза больше алюминия. Наличие свободного алюминия в слое подтверждают данные рентгеноструктурного анализа (табл. 3).

Исследование шероховатости поверхностного слоя после алитирования методом ЭИЛ стали 20 показала, что с повышением энергии разряда увеличивается шероховатость поверхности (табл. 2): $R_a = 1,3$ мкм при $W_p = 0,52$ Дж и $R_a = 3,3$ мкм при $W_p = 2,60$ Дж. Дальнейшее повышение энергии разряда до 6,8 Дж сопровождается значительным увеличением шероховатости поверхности:

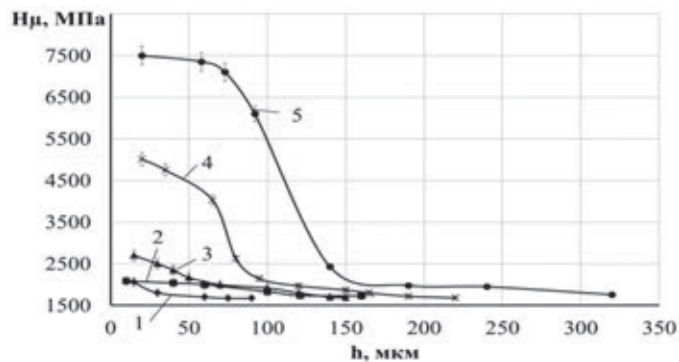


Рис. 2. Зависимость микротвердости (H_{μ}) от глубины слоя (h) образцов из стали 20:
1 – $W_p = 0,52$ Дж, 2 – $W_p = 1,30$ Дж, 3 – $W_p = 2,6$ Дж,
4 – $W_p = 4,6$ Дж, 5 – $W_p = 6,8$ Дж.

Таблица 3. Параметры кристаллических решеток фаз и количественный фазовый анализ после алитирования

Номер режима	Фаза	Параметры кристаллических решеток, нм	Содержание фаз, % (мас.)
1	α -Fe	$a = 0,2887$	36
	α -Fe'	$a = 0,2907$	47
	γ -Al _{2,67} O ₄	$a = 0,7980$	17
2	Al	$a = 0,4056$	19
	Fe ₄ Al ₁₃	$a = 1,5403,$ $b = 0,8134,$ $c = 1,2473$	81

$R_{max} = 58,305$ мкм, $R_a = 9,039$ мкм и $R_z = 18,142$ мкм.

Таким образом, при ЭИЛ алюминиевым электродом стали 20 с увеличением энергии разряда возрастают такие качественные параметры поверхностного слоя, как шероховатость, толщина, микротвердость “белого” слоя и переходной зоны (табл. 2). Сплошность “белого” слоя при $W_p = 0,52$ Дж низкая – 50–60%, а при последующем увеличении энергии разряда до $W_p = 6,8$ Дж она возрастает до 100%.

Для снижения шероховатости поверхности после ЭИЛ алюминиевым электродом, мы предлагаем проводить последующую обработку этим же электродом (алюминием), но при меньших энергиях разряда. При этом электрический разряд протекает между вершиной выступа шероховатости и алюминиевым электродом, в ре-

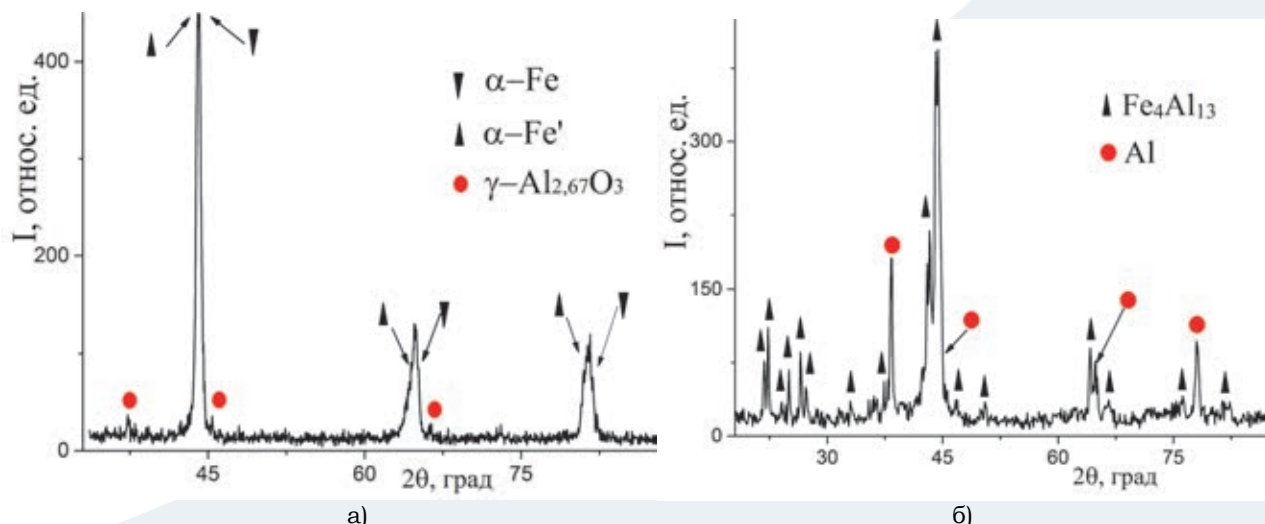


Рис. 3. Дифрактограммы поверхности стали 20 после алитирования методом ЭИЛ:
а – $W_p = 0,52$ Дж, б – $W_p = 1,30$ Дж

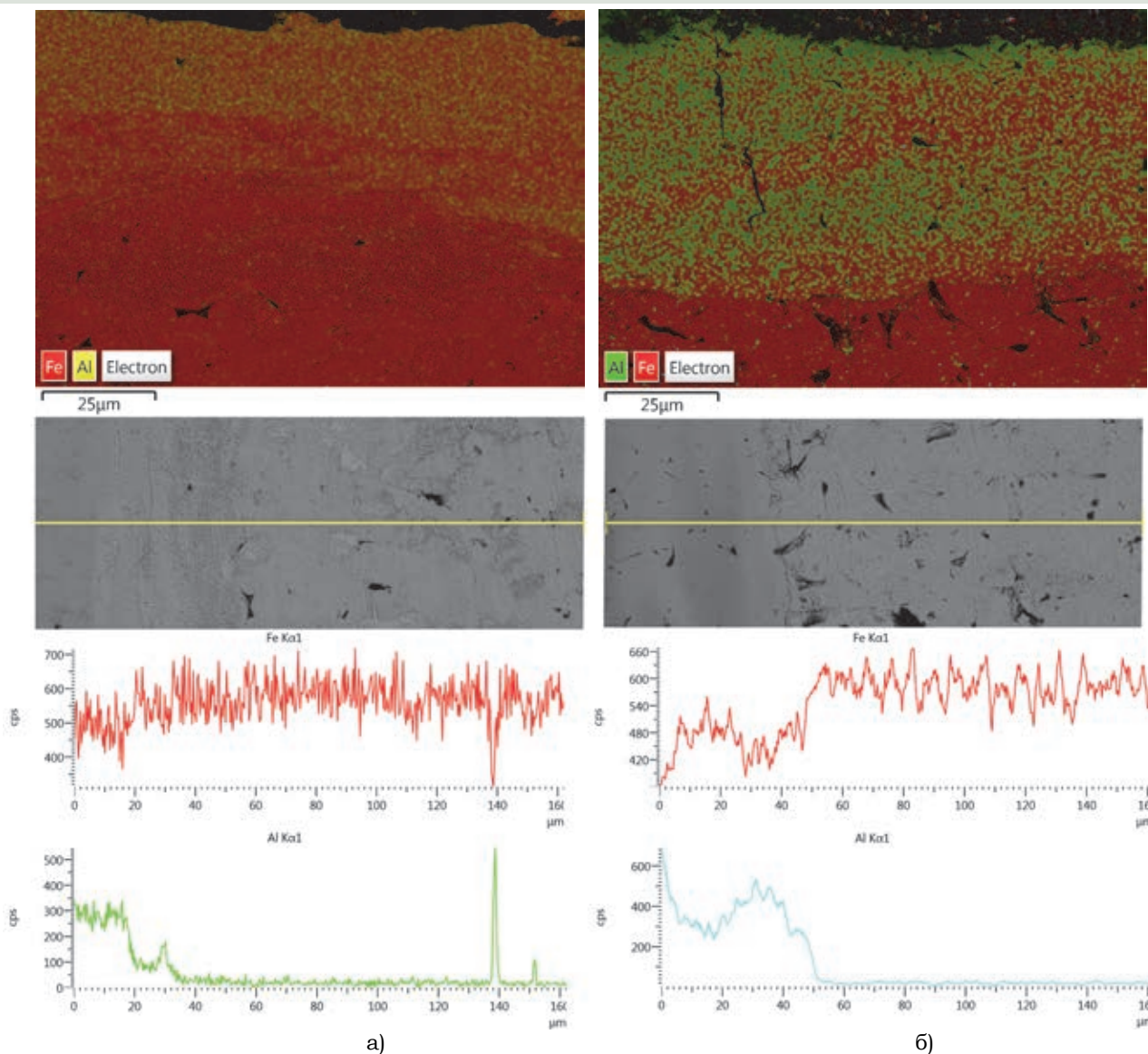


Рис. 4. Концентрационные кривые распределения железа и алюминия в покрытии, полученном методом ЭИЛ: а – $W_p = 0,52$ Дж, б – $W_p = 1,30$ Дж

зультате чего вершина выступа разрушается, а величина шероховатости поверхности снижается. В предыдущих исследованиях показано [13, 14], что такая технология ЭИЛ является эффективной.

Оценка жаростойкости алитированных поверхностных слоев, полученных методом ЭИЛ

Известно, что алитированные покрытия обеспечивают железоуглеродистым сплавам повышенную жаростойкость. В связи с этим, актуальной задачей является исследование жаростойкости алитированных покрытий, полученных методом ЭИЛ. В качестве подложки использовали сталь 20, слои методом ЭИЛ получали за два прохода, сначала при энергии разряда $W_p=2,6$ Дж и производительностью $1,8 \text{ см}^2/\text{мин}$, а затем, при $W_p=1,3$ Дж и производительностью $0,8 \text{ см}^2/\text{мин}$. Как показали исследования, после такой обработки формируются качественные покрытия (сплошность 100%) с низкой шероховатостью (табл. 2).

Для сравнительной оценки показателей жаростойкости (Δg – потеря массы на единицу площади поверхности испытываемых образцов, $\text{мг}/\text{см}^2$) исследовались образцы из стали 20 после классической технологии алитирования (алитирование в расплаве алюминия) и без покрытия. Испытания, проведенные на воздухе при температуре 980°C в течение 50 часов показали, что ЭИЛ покрытия характеризуются высокой жаростойкостью, даже несколько выше, чем после классической технологии алитирования в расплаве, что дает возмож-

ность рекомендовать технологию ЭИЛ алюминиевым электродом с целью повышения устойчивости стали к окислению при повышенных температурах (рис. 5).

Проведены металлографические исследования характера окисления образцов после испытания на жаростойкость. На всех образцах наблюдается наличие оксидных включений, особенно интенсивно окислились об-

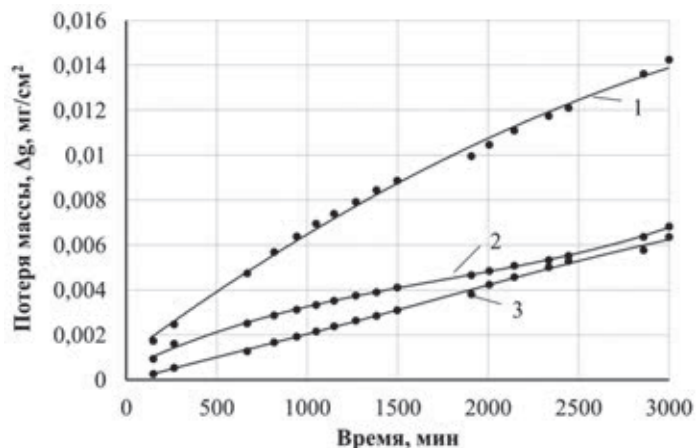


Рис. 5. Жаростойкость алитированных покрытий на стали 20 (испытания на воздухе при 980°C , 50 ч): 1 - без покрытия; 2 - алитирование методом ЭИЛ; 3 - алитирование в расплаве алюминия.

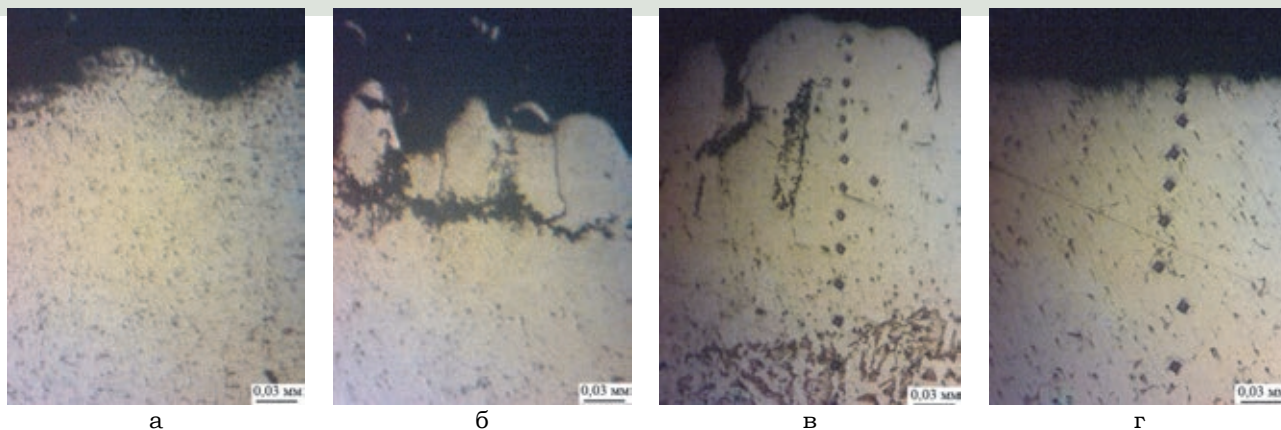


Рис. 6. Микроструктуры алитированных покрытий на стали 20 после испытания на жаростойкость (испытания на воздухе при 980 °С, 50 ч): а – без покрытия (нетравленный шлиф); б – алитирование в расплаве алюминия (нетравленный шлиф); в – алитирование в расплаве алюминия (после травления в 3-5% растворе HNO₃); г – алитирование методом ЭИЛ (после травления в 3-5% растворе HNO₃).

разцы без защитного покрытия (рис. 6, а).

После жидкостного алитирования в поверхностном слое расположена зона из алюминия, оставшегося после прекращения процесса алитирования (рис. 6, б, в). После испытания на жаростойкость (рис. 6, б) наблюдается окисление металла под покрытием, о чем свидетельствует наличие окисленного слоя, который отделяет поверхностный слой и основной металл. Очевидно, подобный характер разрушения покрытия и, следовательно, окисления основного металла приводит к уменьшению массы образцов при высокотемпературных испытаниях (рис. 5).

На образцах с алитированным покрытием, полученным методом ЭИЛ, наблюдается уменьшение толщины «белого» слоя (рис. 6, г), т.к. при высокотемпературных испытаниях происходит разрушение поверхностного слоя, и потеря массы связана с физико-химическими процессами, происходящими преимущественно в поверхностном слое, а не в основном металле. Кроме того, несмотря на окисление, поверхностный слой сохраняет повышенную твердость (рис. 7).

Таким образом, алитированные покрытия, полученные в расплаве алюминия и методом ЭИЛ, сохраняют повышенную твердость, защищают от окисления основной металл, о чем свидетельствуют результаты испытаний на жаростойкость (рис. 5), а также меньшее количество оксидов в приповерхностном слое основного

металла (рис. 6).

Выводы

Рассмотрены особенности структурообразования при алитировании стали 20 в различных режимах ЭИЛ. Показано, что структура слоя состоит из трех участков: «белого» слоя, диффузионной зоны и основного металла. С увеличением энергии разряда возрастают такие качественные параметры поверхностного слоя, как толщина, микротвердость «белого» слоя и переходной зоны, а также шероховатость. При $W_p = 0,52$ Дж сплошность «белого» слоя низкая — 50–60%, а при увеличении энергии разряда до $W_p = 6,8$ Дж сплошность возрастает до 100%. Повышение энергии разряда при ЭИЛ приводит к изменению химического и фазового состава слоя: при низких энергиях разряда формируется слой, состоящий преимущественно из α -Fe и оксидов алюминия. По данным локального микрорентгеноспектрального анализа установлено, что с увеличением энергии разряда слой состоит из интерметаллидов железа и алюминия, а также свободного алюминия.

Для практического применения можно рекомендовать алитирование методом ЭИЛ, используя режимы 4 и 5 ($W_p=4,6-6,8$ Дж и производительность 2,0–3,0 см²/мин), которые обеспечивают формирование «белого» слоя толщиной 70–130 мкм, $H_n=5000-7500$ МПа, $R_a=6-9$ мкм и сплошностью 95–100%.

С целью снижения шероховатости поверхностного слоя и получения сплошных покрытий рекомендуется проводить ЭИЛ этим же электродом (алюминием), но с меньшей энергией разряда (способ [15, 16]).

Сравнительные исследования жаростойкости алитированных покрытий, полученных по классической технологии (в расплаве алюминия) и методом ЭИЛ алюминиевым электродом показал, что электроискровые покрытия характеризуются высокой жаростойкостью. Проведенный металлографический анализ характера окисления образцов после испытания на жаростойкость свидетельствует о том, что после испытания основной металл окисляется, о чем свидетельствует наличие оксидов в поверхностном слое. Особенно интенсивно окисляются образцы без защитного покрытия. Алитированные покрытия, полученные в расплаве алюминия и методом ЭИЛ, сохраняют повышенную твердость, защищают от окисления основной металл, о чем свидетельствуют результаты испытаний на жаростойкость, а также меньшее содержание оксидов в приповерх-

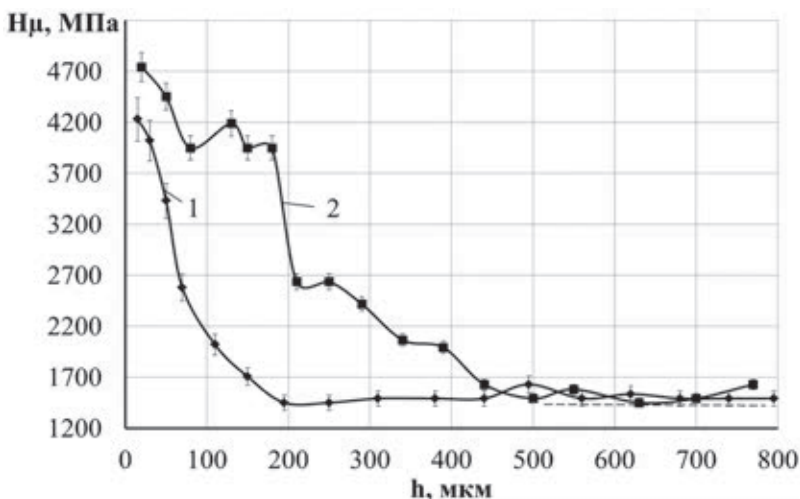


Рис. 7. Микротвердость алитированных покрытий на стали 20 после испытания на жаростойкость (испытания в воздухе при 980 °С, 50 ч): 1 – алитирование методом ЭИЛ; 2 – алитирование в расплаве алюминия.

ностном слое основного металла и достаточная твердость покрытия. Результаты исследования дают возможность рекомендовать технологию ЭИЛ алюминированных электродом с целью повышения устойчивости стали к окислению при повышенных температурах.

Литература:

1. Інженерія поверхні. Учебник / Юценко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. – К.: Наукова думка, 2007. – 557 с.
2. Martsinkovsky V. Designing Radial Sliding Bearing Equipped with Hydrostatically Suspended Pads / V. Martsinkovsky, V. Yurko, V. Tarel'nik, Yu. Filonenko // *Procedia Engineering*. – 2012. – V. 39. – P. 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.020>
3. Tarel'nik V.B. / V. B. Tarel'nik, V. S. Martsinkovskii, A.N. Zhukov // *Chem Petrol Eng.* –2017. – V. 53– P. 266-272. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0333-7>.
4. Antoszewski B. Influence of Laser Surface Texturing on Scuffing Resistance of Sliding Pairs / B. Antoszewski // *Advanced Materials Research*. –2014. –V. 874. –P. 51-55.
5. Specific Features of the Microstructure and Properties of Multielement Nitride Coatings Based on TiZrNbAlYCr / A.D.Pogrebnyak, V.M.Beresnev, O.V.Bondar, Y.O.Kravchenko, B.Zholyubekov, A.I.Kupchishin // *Technical Physics Letters*. –2018. –V. 44. – P. 98-101
6. Pogrebnyak O.D. Features of thermodynamic processes on contact surfaces of multicomponent nanocomposite coatings with hierarchical and adaptive behavior / O.D.Pogrebnyak, K.O.Dyadyura, O.P.Gaponova // *Metallorfizikai Noveishie Tekhnologii*. –2015. –V. 37. –P. 899-919.
7. Гитлевич А. Е. Электроискровое легирование металлических поверхностей / А. Е. Гитлевич, В. В. Михайлов, Н. Я. Парканский, В. М. Ревутский. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 196 с.
8. Matysik P. Characterization of Low-Symmetry Structures from Phase Equilibrium of Fe-Al System – Microstructures and Mechanical Properties / P. Matysik, S. Jóźwiak, T. Czujko // *Materials*. – 2015. – 8(3). – P. 914-931; doi:[10.3390/ma8030914](https://doi.org/10.3390/ma8030914)
9. Мулин Ю. И. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из мине-

рального сырья / Ю. И. Мулин, А. Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 110 с.

10. Kirik G.V. Quality Analysis of Aluminized Surface Layers Produced by Electrospark Deposition/ G.V.Kirik, O.P.Gaponova, V.B.Tarel'nyk, O.M. Myslyuchenko, B.Antoszewski // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. – 2018. – P. 1-9.

11. Мазанко В. Ф. Взаимодействие алюминия с железом и газами воздуха при электроискровом легировании / В. Ф. Мазанко, Д. С. Герурикен, В. М. Миронов и др. // Сб. материалов 11-й Междунар. конф. “Взаимодействие излучений с твердым телом” (23–25 сентября 2015, Минск, Беларусь). – Минск, 2015. – С. 240–242.

12. Герурикен Д. С. Взаимодействие никеля и молибдена с газами воздуха под действием искровых разрядов / Д. С. Герурикен, В. Ф. Мазанко, ЧаоШенжу и др. // Сб. материалов 50-го Междунар. науч. симпозиума “Актуальные проблемы прочности” (27 сентября–1 октября 2010, Витебск, Беларусь). – Витебский гос. техн. ун-т, 2010. – Ч. 1. – С. 164–167.

13. Пат. 2468899 Российская Федерация, МПК В 23Н 9/00. Способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием / В. С. Марцинковский, В. Б. Тарельник, М. П. Братушак. – Оpubл. 10.12.2012, Бюл. № 34. – 3 с.

14. Пат. 101715 Украина, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / В. С. Марцинковський, В. Б. Тарельник, М. П. Братушак. – Оpubл. 25.01.2013, Бюл. № 8. – 6 с.

15. Патент України на корисну модель UA 119316 U МПК (2017.01) C23C 10/48 (2006.01) B23H9/00. Спосіб обробки поверхонь сталевих деталей / Тарельник В.Б. Марцинковський В.С. Білоус А.В. Гапонова О.П. Коноплянченко Є.В. Антошевський Б. Кундера Ч. Жуков О.М. – № u201701845; заявл. 27.02.2017; опубл. 25.09.2017. – Бюл. № 18/2017.

16. Патент України на корисну модель UA 119707 U МПК (2017.01) C23C 10/48 (2006.01) B23H 9/00. Спосіб алітування сталевих деталей/ Тарельник В.Б. Марцинковський В.С. Білоус А.В. Гапонова О.П. Коноплянченко Є.В. Антошевський Б. Кундера Ч. Жуков О.М. – № u201701844; заявл. 27.02.2017; опубл. 10.10.2017. – Бюл. № 19/2017.

КОМПРЕОЛ

www.orelcompressormash.ru

Смазочные Масла Компреол ШН, Компреол С, Компреол ХС, Компреол НГ

г. Орел, ул. Цветаева 1Б, Россия
тел.: +7 (4862) 42-11-59
факс.: +7 (4862) 42-11-59



**ГРУППА КОМПАНИЙ
«ОРЕЛКОМПРЕССОРМАШ»**

e-mail: info@orelcompressormash.ru