

# Влияние размера зерна карбида вольфрама в анодном материале ВК8 на формирование легированного слоя стали 35

А. А. Бурков, Л. А. Коневцов\*, М. И. Дворник, Н. М. Власова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, 680042, Россия  
\*e-mail: [konevts@narod.ru](mailto:konevts@narod.ru)

Поступила в редакцию 27.01.2021

После доработки 19.03.2021

Принята к публикации 22.03.2021

Изучено влияние размера зерна карбида вольфрама вольфрамокобальтового твердого сплава, полученного для использования в качестве анодного материала при электроискровом легировании (ЭИЛ) стали 35, на его эрозионную стойкость, привес материала подложки, коэффициент электромассопереноса. Показано, что при получении новых анодных материалов с различными структурой, плотностью, пористостью, прочностью на излом, размером зерна карбида вольфрама, использовались шихта для прессования с добавками  $0,4\%Cr_3C_2-0,4\%VC$  ингибиторов роста зерна, измельчение в спирте и атмосфере аргона при времени измельчения от 20 до 320 мин. Приведены результаты эрозионной стойкости и использования полученных новых анодных материалов для ЭИЛ стали 35. При выполнении кинетических исследований выявлен ряд показателя эффективности формирования легированного слоя с учетом полученных значений величин привеса катода, времени  $t_{эил}$ , удельной площади поверхности  $1\text{ см}^2$  и коэффициента электромассопереноса при ЭИЛ исследуемыми анодными материалами. Показаны результаты исследований структуры, толщины, состава легированного слоя, жаростойкости и износостойкости покрытия. Выявлено, что среди созданных новых анодных материалов лучшая жаростойкость покрытия после ЭИЛ с выбранными режимами обработки получена при использовании нового нанодисперсного анодного материала  $WC8\%Co-0,4\%Cr_3C_2-0,4\%VC$  со средним размером зерна  $WC$  0,18 мкм.

**Ключевые слова:** электроискровое легирование, карбид вольфрама, зернистость, легированный слой, износостойкость, жаростойкость

УДК 621.9.048.4

<https://doi.org/10.52577/eom.2021.57.5.13>

## ВВЕДЕНИЕ

Благодаря высоким эксплуатационным свойствам покрытия на основе карбида вольфрама широко используются в области инженерии поверхности для повышения износостойкости металлических деталей, подвергающихся трибологическим нагрузкам [1, 2]. В настоящее время для приготовления покрытий из карбида вольфрама используют различные технологии: газопламенное напыление [1–3], лазерную наплавку [4, 5], гальваническое осаждение [1, 6], электроискровое легирование (ЭИЛ) [7, 8].

Технология ЭИЛ основана на явлении полярного переноса металла с анода на катод в процессе воздействия множества микродуговых разрядов. Благодаря высокой скорости охлаждения материала после прекращения разряда формируется покрытие с исключительно мелкозернистой структурой [9, 10]. Кроме того, ЭИЛ характеризуется слабым термическим влиянием на подложку и высокой адгезией формируемого слоя. Однако при нанесении  $WC-Co$  материала на стальной катод происходит обезуглероживание карбида вольфрама при его взаимодействии с расплавом железа в условиях воздей-

ствия разряда [11–13]. Высокие скорости остывания материала после прекращения разряда способствуют формированию аморфной фазы в  $WC-Co$  покрытиях [13]. В номенклатуре  $WC-Co$  инструментальных твердых сплавов различают среднезернистые, особомелкозернистые и ультрамелкозернистые материалы. В работе [5] показано, что снижение размера зерна в порошке  $WC-12Co$  улучшает механические свойства газопламенного (HVOF) покрытия. В результате в данной работе исследовалось влияние размера зерна в  $WC-8Co$  электродных материалах на кинетику электроискрового осаждения, а также на структуру, жаростойкость и триботехническое поведение покрытий.

## МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

Покрытия наносились на поверхность образцов-катодов из стали 35 в форме цилиндра диаметром 12 мм, высотой 10 мм. Для испытания на циклическую жаростойкость были изготовлены образцы – кубики с ребром 6 мм. В качестве анодных материалов для ЭИЛ использовались сплавы ВК8: средне-зернистый (ВК8), особомелкозернистый

Таблица. Электродные материалы

№	Состав	Время измельчения, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пори- стость, %	Средний размер зерна, мкм	Прочность на излом, МПа
0	WC–8%Co (BK8УМ)	0	14	2%	0,18	1210
1	WC–8%Co (BK8)	80	14,285	2,5%	1,16	1100
2	WC–8%Co	160	14,37	1,9%	–	626
3	WC–8%Co–0,4%Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> – 0,4%VC	160	14,205	3,0%	–	1296
4	WC–8%Co–0,4%Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> – 0,4%VC (BK8ОМ)	320	14	4,4%	0,87	1221
5	WC–8%Co (BK8)	–	14,65	0,0%	1,07	947

(BK8ОМ) и ультрамелкозернистый (BK8УМ). Электродные материалы (см. таблицу) были изготовлены по традиционной технологии порошковой металлургии. В качестве исходных компонентов использовались порошки крупнозернистого карбида вольфрама (КЗТС, марка WC3, чистота 99,9%), нанодисперсного карбида вольфрама Hongwu (80–100 нм) и кобальта (Kokkola, чистота 99,9%). При получении электродных материалов № 0, 3, 4 (см. таблицу) в качестве ингибиторов роста зерна использовались порошки карбида хрома в соотношении 0,4% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> (Донецкий завод химреагентов, чистота 99,9%) и 0,4% карбида ванадия VC (ЗАО «Вектон», чистота 99,9%). Гранулирование смесей для получения среднезернистого и субмикронного сплавов производили после смешивания с раствором каучука в бензине 1 вес.%. Шихту для прессования смешивали и измельчали в планетарной мельнице Retsch PM400 в спирте и атмосфере аргона при 250 мин<sup>-1</sup>, времени измельчения от 20 до 320 мин. Соотношение масс мелющих тел к обрабатываемому материалу 10:1.

Прессование образцов производили под давлением 250 МПа. Спекали образцы в трубчатой печи CarboliteSTF в вакууме в течение 1 часа при относительно низкой температуре 1390 °С, что позволило ограничить рост зерен электродных материалов. Для исследования использовались полученные образцы твердых сплавов разных составов. Размер полученных образцов анодных материалов (20×6,5×5,25 мм) и методика определения прочности соответствовали ИСО 3327–82. Прочность определяли на испытательном прессе ИП–250. В качестве генератора импульсов при формировании легированного слоя (ЛС) методом электроискрового легирования (ЭИЛ) использовали установку Института материаловедения ИМЭИЛ со следующими режимами обработки: длительность разрядных импульсов  $t_p = 20$  мкс, скважность  $t_{ск} = 80\%$ , частота электрических разрядных импульсов  $f = 500$  Гц, ток в импульсе 180 А при напряжении 40 В.

Структура покрытий исследовалась с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 в Cu-K $\alpha$  излучении и растрового электронного микроскопа (СЭМ) Sigma 300 VP, оснащенного микрорентгеноспектральным анализатором (МРС) INCA Energy. Твердость покрытий измерялась на микротвердомере ПМТ–3М при нагрузке 0,5 Н по методу Виккерса. Износостойкость покрытий исследовалась по стандарту ASTM G99–04 при сухом трении скольжения с применением контртела в виде диска из быстрорежущей стали P6M5 (65HRC) на скорости 0,47 мс<sup>-1</sup> при нагрузке 25 Н соответственно. Коэффициент трения был измерен на скорости 0,47 мс<sup>-1</sup> при нагрузке 70 Н. Испытания на жаростойкость проводили в печи при температуре 700 °С на воздухе. Общее время тестирования составляло 100 часов. Образцы выдерживали при заданной температуре в течение ~6 ч, затем удаляли и охлаждали в эксикаторе до комнатной температуры. Во время испытания все образцы помещались в корундовый тигель для учета массы отслоившихся оксидов. Изменение массы всех образцов измеряли с использованием лабораторных весов с чувствительностью 0,1 мг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На общем виде срезов полученных анодных материалов № 0, 1, 4, 5 (рис. 1) видно, что карбидная фаза образца № 0 имеет более мелкозернистую структуру (0,18 мкм) с пористостью 2,0% в сравнении с другими, например № 1 (1,16 мкм) с пористостью 2,5% и № 5 (со средним зерном 1,07 мкм), отличающимся наибольшей плотностью (14,65 г/см<sup>3</sup>) и наименьшей пористостью.

На рис. 2 показаны NURBS-кривые кинетики процесса ЭИЛ при  $t = 5$  мин стали 35 при  $t_{ск}/t_p = 80/20$  анодными материалами № 0, 1, 2, 3, 4, 5: суммарной эрозии электродов ( $\Sigma\Delta_k$ ), суммарного привеса катода ( $\Sigma\Delta_k$ ) и среднего суммарного коэффициента электропереноса ( $\Sigma K_n$ ). Величины эрозии исследованных

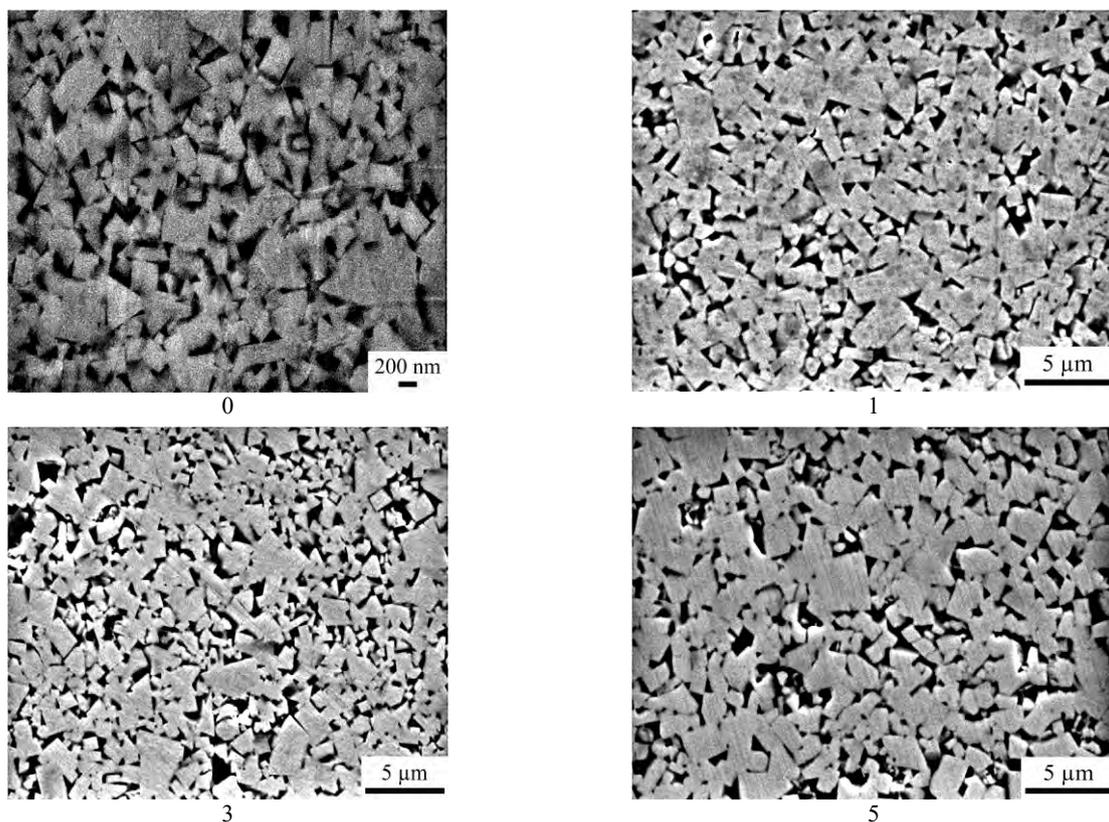


Рис. 1. Общий вид срезов поверхности полученных анодных материалов: № 0, 1, 3, 5.

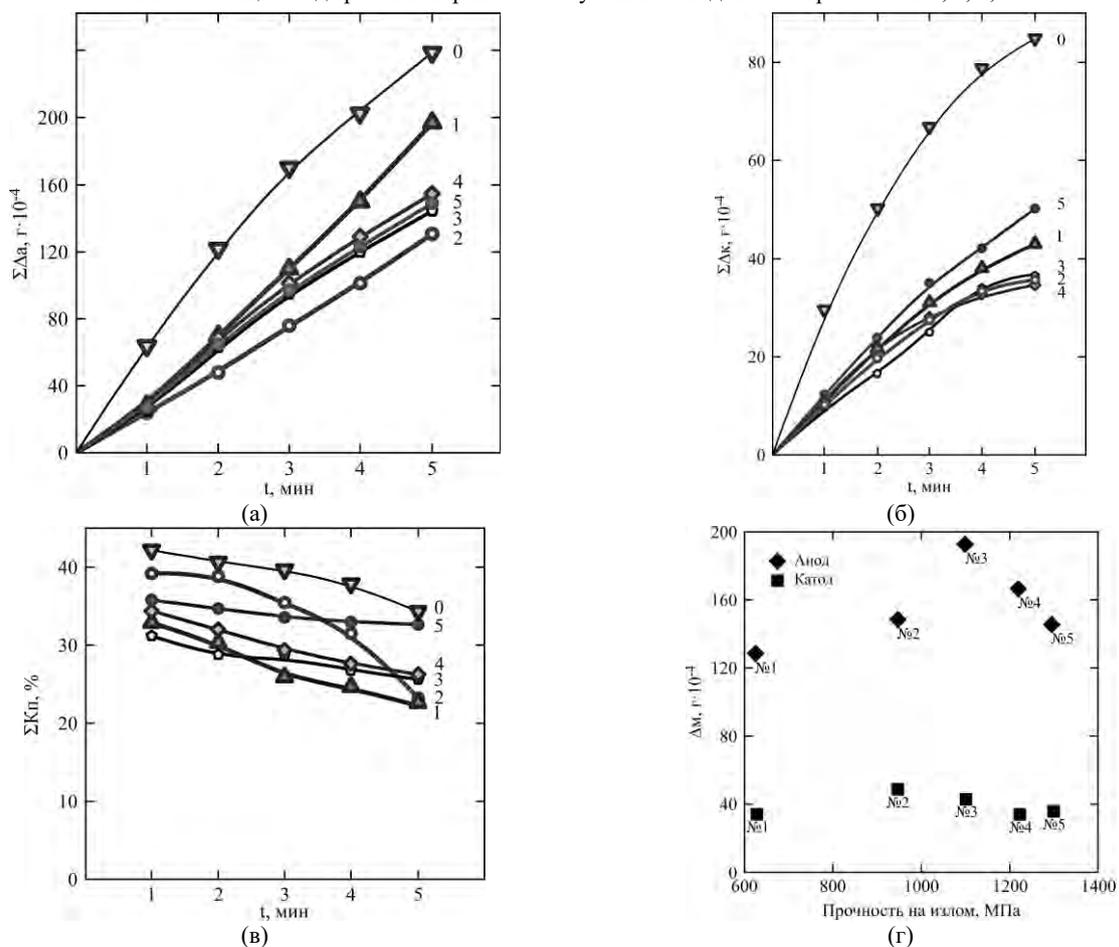


Рис. 2. NURBS-кривые кинетики процесса ЭИЛ стали 35 с режимами  $t_{ck}/t_p = 20/80$  анодными материалами № 0; 1; 2; 3; 4; 5: (а) – суммарная эрозия анода; (б) – суммарный привес катода; (в) – суммарный коэффициент массопереноса; (г) – зависимость суммарной эрозии анодного материала от прочности на излом.

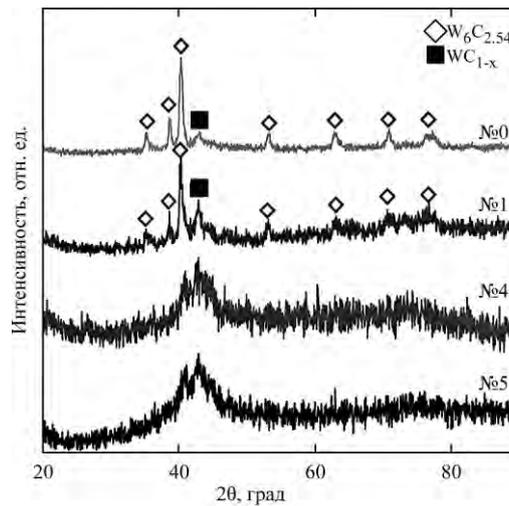


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы покрытий.

анодных материалов достигали значений  $\Sigma\Delta_{a(5 \text{ мин})} = 136\text{--}248 \text{ г} \times 10^{-4}$  (рис. 2а). В соответствии с полученным рядом эрозионной стойкости анодных материалов (1<sup>\*</sup>): (0) → (1) → (4) → (5) → (3) → (2) наибольшей эрозионной стойкостью отличаются анодные материалы № 2 и 3 (соответственно  $\Sigma\Delta_{a(5 \text{ мин})} = 136$  и  $143 \text{ г} \times 10^{-4}$ ). С ростом прочности электродных материалов выше 1100 МПа их эрозия начинала снижаться (рис. 2г).

Все кривые привеса катода (рис. 2б) при формировании ЛС относятся к классу «кривых Лазаренко» [14]. Значения величин массопереноса для исследуемых анодных материалов при ЭИЛ удельной площади поверхности  $1 \text{ см}^2$  при  $t_{\text{эил}} = 5$  мин наблюдались в пределах  $36\text{--}727 \times 10^{-4}$  г. Полученный ряд привеса катода для исследуемых анодных материалов (2<sup>\*</sup>): (4) → (2) → (3) → (1) → (5) → (0) показал, что выбранные условия ЭИЛ обеспечивают привес  $\Sigma\Delta_{k(5 \text{ мин})} = 36\text{--}84 \text{ г} \times 10^{-4}$ .

При этом получен следующий ряд средних значений величин коэффициента массопереноса ( $\Sigma K_{\text{п}}, \%$ ) исследуемых анодных материалов (3<sup>\*</sup>): (1) → (2) → (3) → (4) → (5) → (0), который имеет невысокие величины значений для выбранного режима ЭИЛ ( $\Sigma K_{\text{п}} = 27\text{--}42 \%$ ).

С учетом полученных значений величин привеса катода, времени  $t_{\text{эил}}$ , удельной площади поверхности  $1 \text{ см}^2$  и коэффициента электро-массопереноса при ЭИЛ исследуемых анодных материалов и режимов обработки выявлен ряд  $\gamma_{\text{эфф ф ЛС}}$  показателя эффективности формирования ЛС [15]:

$$\gamma_{\text{эфф ф ЛС}} = \Sigma\Delta_{\text{к}} \times t_{\text{эил}} \times \Sigma K_{\text{п}}; \text{ где: } \Sigma K_{\text{п}} = \Sigma\Delta_{\text{к}} / \Sigma\Delta_{\text{а}}.$$

В соответствии с данным рядом показателя эффективности (4<sup>\*</sup>): (4) → (3) → (2) → (5) → (1) → (0) формирование ЛС при использовании режима обработки лучшее для анодных материалов № 1 и 0.

На рис. 3 показаны результаты рентгенофазового анализа электроискровых покрытий. Из него следует, что в составе покрытий № 0 и 1 преобладают фазы субкарбида вольфрама ( $\text{W}_6\text{C}_{2,54}$ ) и  $\beta$ -карбида вольфрама ( $\text{WC}_{1-x}$ ). Рентгеноструктурный анализ образцов № 0 и 1 показал смещение рефлексов фазы  $\text{W}_6\text{C}_{2,45}$  в сторону больших углов, то есть межплоскостные расстояния в решетке данной фазы были меньше по сравнению с эталоном картотеки PDF-2. На дифрактограммах покрытий № 4 и 5 наблюдается широкое гало в области углов  $2\theta = 35\text{--}50^\circ$  без каких-либо острых брэгговских рефлексов. Это указывает на преобладание аморфной фазы в составе покрытий. В спектрах образцов не обнаружены рефлексы фазы карбида вольфрама  $\alpha\text{WC}$ . Таким образом, карбид вольфрама в процессе электроискрового переноса на подложку полностью подвергся деструкции.

Изображения поперечного сечения покрытий образцов № 0 и 1 в обратно отраженных электронах (рис. 4а,г) показали, что в структуре покрытий наблюдаются поры, образовавшиеся в результате выделения газов в условиях действия разряда. На границе ЛС и подложки не наблюдались продольные трещины, что может свидетельствовать о хорошей адгезии покрытия со стальной основой. Энергодисперсионный анализ показал однородное распределение элементов (Fe, W, C, Co) по сечению покрытия (рис. 4б,д). Концентрация железа в составе покрытия достигала 30–50 ат.%, что указывает на интенсивное конвективное перемешивание перенесенного анодного материала со стальной подложкой при ЭИЛ. Размер переходной зоны был невелик (1,5–3 мкм).

В микроструктуре покрытий наблюдаются равноосные кристаллиты, более богатые вольфрамом по сравнению с окружающей их аморфной матрицей (рис. 4в,е). Размер кристаллитов для покрытия №0 составил  $0,17 \pm 0,04$  мкм,

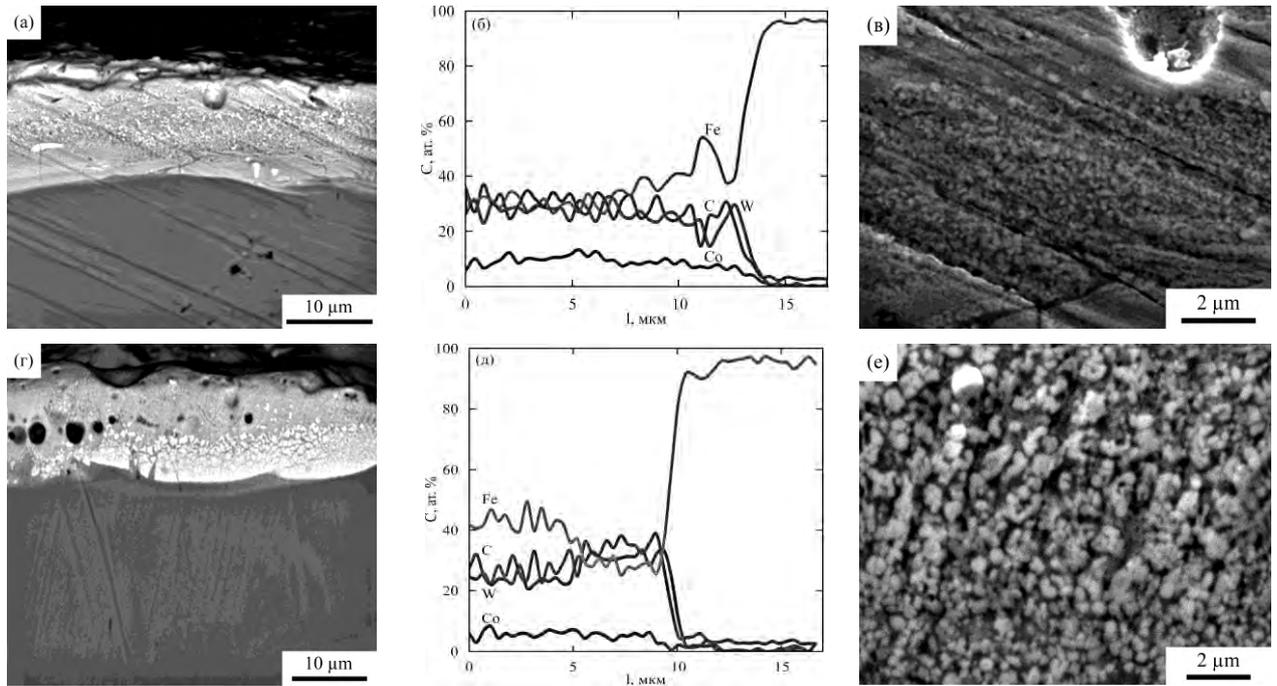


Рис. 4. СЭМ-изображения поперечного сечения покрытий №0 (а, в) и №1 (г, е) при увеличениях  $5000^{\times}$  (а, г) и  $20000^{\times}$  (в, е), а также распределение элементов по толщине покрытия, согласно данным энергодисперсионного анализа (б, д).

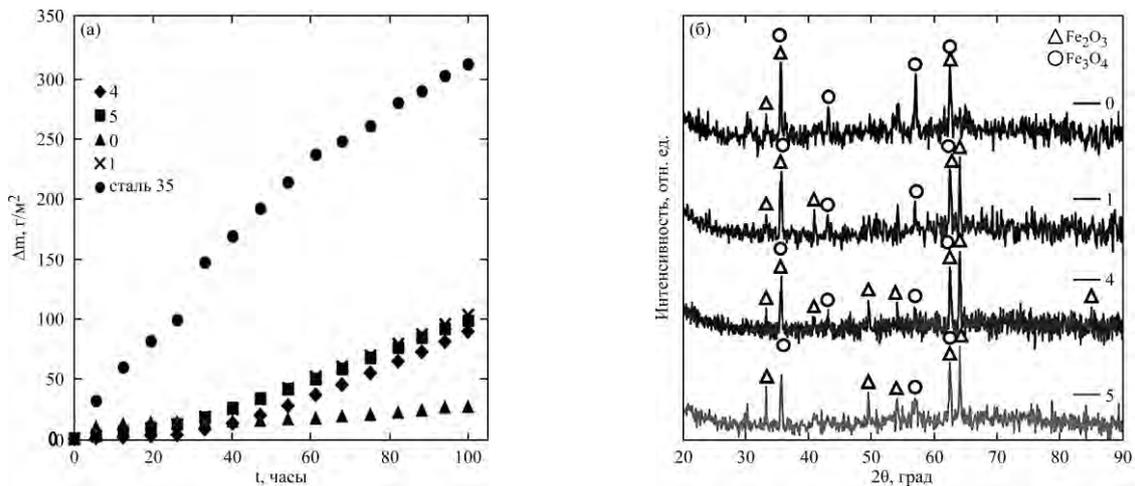


Рис. 5. Циклическая жаростойкость покрытий из стали 35 при температуре  $700^{\circ}\text{C}$ .

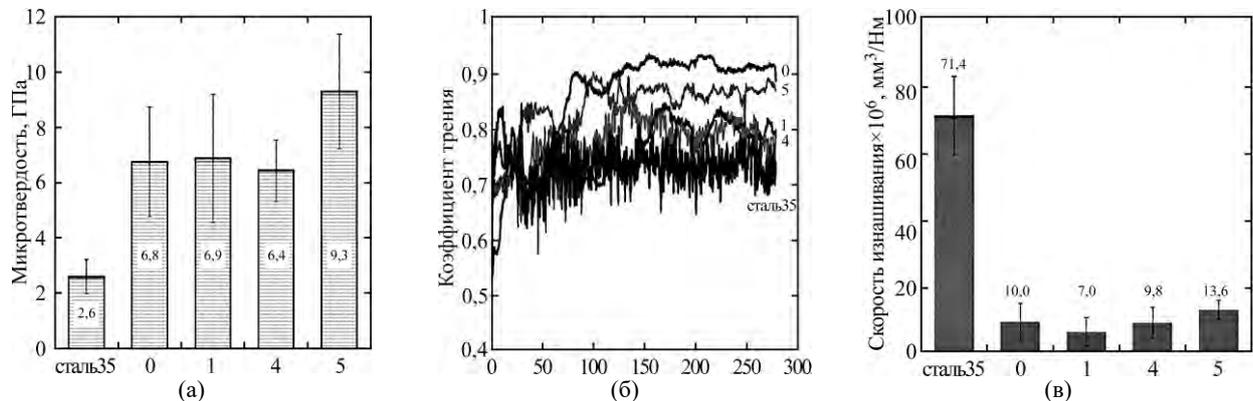


Рис. 6. Микротвердость (а), коэффициент трения (б) и интенсивность изнашивания покрытий (в) по сравнению со сталью 35.

что значительно меньше по сравнению с покрытием №1 ( $0,5 \pm 0,3$  мкм). Средняя толщина покрытий различалась незначительно – 12–15 мкм.

Для аморфных материалов на основе железа, как известно, характерно некоторое повышение

физико-химических и эксплуатационных свойств за счет увеличения растворимости легирующих элементов в твердых растворах, дробления структурных составляющих, образования метастабильных кристаллических и аморфных фаз. На рис. 5а показана кинетика изменения

массы образцов с покрытиями и стали 35 при температуре 700 °С и выдержке 100 часов. Привес образцов обусловлен фиксацией кислорода на поверхности образцов в виде оксида железа в модификации гематита [16]. За 100 часов испытаний образцы с покрытиями в 3–12 раз меньше подверглись окислению, чем сталь без покрытия, вследствие ограничения контакта кислорода. Для образцов №4 и 5 с преобладанием аморфной фазы ожидалась повышенная жаростойкость по сравнению с другими образцами. Однако проведенные испытания позволяют заключить, что аморфизация Fe–W–C–Co системы не способствует улучшению жаростойкости. На рис. 5б показаны рентгеновские дифрактограммы поверхности покрытий после испытания на жаростойкость. В составе окарины преобладал гематит (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), тогда как в прилегающем к покрытию слое из-за затрудненной диффузии кислорода формировался магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Лучшая жаростойкость наблюдалась у покрытия, полученного с использованием ультрамелкозернистого электрода.

Средняя твердость покрытий находилась в диапазоне от 6,4 до 9,3 (рис. 6а). Твердость стали 35 составила 2,6±0,6 ГПа. Наибольшей твердостью обладало аморфное покрытие, осажденное с использованием стандартного твердого сплава ВК8. Средний коэффициент трения покрытий находился в диапазоне от 0,76 до 0,86 (рис. 6б). Коэффициент трения покрытий был выше, чем у стали 35 (0,73), по причине абразивного изнашивания контртела более твердыми покрытиями. Коэффициент трения покрытий хорошо коррелирует с их твердостью; так, наименее твердое покрытие №4 показало самый низкий коэффициент трения. Несмотря на более высокие коэффициенты трения WC–Co покрытий интенсивность их изнашивания была от 5 до 10 раз ниже по сравнению со сталью 35 без покрытий (рис. 6в). При этом наиболее низкие значения износа имело покрытие, которое было сформировано с использованием электродного материала №1. Высокий уровень шума в случае стали 35 и наименее твердого покрытия №4 предполагает периодическое отложение и отслоение переносимого между трущимися поверхностями материала и может быть связано с окислительным механизмом износа.

## ВЫВОДЫ

1. В зависимости от добавок ингибиторов роста зерна (0,4% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> и 0,4% VC) и времени измельчения (40–320 мин) в полученных анодных материалах наблюдалось изменение размера зерна карбида вольфрама

(0,18–1,16 мкм), плотности (14–14,65 г/см<sup>3</sup>), пористости (0,0–4,4 %), структуры и прочности на излом (947–1296 МПа).

2. При ЭИЛ стали 35 для полученных анодных материалов выявлены ряды эрозионной стойкости, привеса катода, коэффициента массопереноса, показателя эффективности формирования ЛС. Показана закономерность повышения эрозионной стойкости электродных материалов с ростом их прочности на излом, которая начинает сказываться при  $\sigma \geq 1100$  Мпа.

3. ЛС не имеют четкой границы с подложкой и продольных трещин, что свидетельствует о хорошей адгезии к стали 35. В ЛС наблюдаются равноосные кристаллиты, причем при использовании ультрамелкозернистого электрода их размер был существенно меньше (0,17 мкм), чем в случае мелкозернистого электрода (0,5 мкм). Средняя толщина покрытий составляла от 12 до 15 мкм.

4. При температуре 700 °С и выдержке 100 часов образцы с покрытиями в 3–12 раз меньше подверглись окислению, чем без покрытия, вследствие ограничения контакта кислорода. Покрытия с преобладанием кристаллических фаз (W<sub>6</sub>C<sub>2,54</sub> и WC<sub>1-x</sub>) не уступали в жаростойкости аморфным образцам. Лучшая жаростойкость получена при ЭИЛ ультрамелкозернистым анодным материалом.

5. ЭИЛ стали 35 новыми анодными материалами повышает ее износостойкость от 5 до 10 раз, а наиболее высокие величины значений износостойкости были получены с использованием среднезернистого анодного материала.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшенко, Б.А., Подчерняева, И.А., Коневцов, Л.А., Козырь, А.В., и др., *Материаловедение покрытий титановых сплавов методами физикохимии и электроискрового легирования: монография в 2 ч. Ч. 1: Покрытия методами физикохимии*, Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2019. 413 с.
2. Vashishtha, N., Khatirkar, R.K., Sapate, S.G., Tribological behaviour of HVOF sprayed WC-12Co, WC-10Co-4Cr and Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-25NiCr coatings, *Tribol. Int.*, 2017, vol. 105, p. 55.
3. Komarov, P., Jech D., Tkachenko S., Slámečka K., Dvořák K., Čelko L., Wetting Behavior of Wear-Resistant W C-Co-Cr Cermet Coatings Produced by HVOF: The Role of Chemical Composition and Surface Roughness. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2021, vol. 30, p. 285.
4. Maurizi Enrici, T., Dedry, O., Boschini, F., Tchuindjang, J.T., Mertens, A., Microstructural and

- Thermal Characterization of 316L + WC Composite Coatings Obtained by Laser Cladding. *Advanced Engineering Materials*. 2020, vol. 22, 2000291.
5. Zhang, J., Lei, J., Gu, Z., Tantai, F., Tian, H., Han, J., Fang, Y., Effect of WC-12Co content on wear and electrochemical corrosion properties of Ni-Cu/WC-12Co composite coatings deposited by laser cladding. *Surface and Coatings Technology*. 2020, vol. 393, 125807.
  6. Ahmadiyeh, S., Rasooli, A., Hosseini, M.G., Corrosion and Wear Study of Ni-W-B/WC Composite Coatings Electroplated by Pulse Plating, *Advanced Engineering Materials*. 2020, vol. 22, 2000426.
  7. Ляшенко, Б.А., Подчерняева, И.А., Коневцов, Л.А., Козырь, А.В., Коваленко, С.В., Каминский А.В., *Материаловедение покрытий титановых сплавов методами физикохимии и электроискрового легирования: монография в 2 ч. Ч. 2: ЭИЛ-покрытия*. 2020, 347 с.
  8. Salmaliyan, M., MalekGhaeni, F., Ebrahimnia, M., Effect of electro spark deposition process parameters on WC-Co coating on H13 steel, *Surface and Coatings Technology*, 2017, vol. 321, p. 81.
  9. Shafyey, H., Salehi, M., Bahrami, A., Fabrication, microstructural characterization and mechanical properties evaluation of Ti/TiB/TiB<sub>2</sub> composite coatings deposited on Ti<sub>6</sub>Al<sub>4</sub>V alloy by electro-spark deposition method, *Ceramics International*, 2020, vol. 46, p. 15276.
  10. Zhao, H., Gao, C., Wu, X.Y., Xu, B., Lu, Y.J., Zhu, L.K., A novel method to fabricate composite coatings via ultrasonic-assisted electro-spark powder deposition, *Ceramics International*, 2019, vol. 45, p. 22528.
  11. Nikolenko, S.V., Burkov, A.A., Dvornik, M.I., Zaitsev, A.V., Sui, N.A., Effect of Parameters of Electric Spark Discharge on the Physico-Chemical Characteristics of Steel 45 Surface after the ESA Electrodes Based on WC-8%Co with Chromium-Carbide Additives, *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2019, vol. 55, p. 251.
  12. Wang, R.J., Qian, Y.Y., Liu, J., Interface Behavior Study of WC92-Co8 Coating Produced by Electrospark Deposition, *Applied Surface Science*, 2005, vol. 240, no. 1-4, p. 42. doi: 10.1016/j.apsusc.2004.05.299.
  13. Zamulaeva, E.I., Levashov, E.A., Kudryashov, A.E., Vakaev, P.V., Petrzhik, M.I., *Surf. Coat. Technol.*, 2008, vol. 202, 3715.
  14. Верхотуров, А.Д., Гордиенко, П.С., Достовалов, В.А., Коневцов, Л.А., Панин, Е.С., Достовалов, Д.В., *Высокоэнергетическое локальное воздействие на вольфрамсодержащие материалы и металлы*. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2012. 472 с.
  15. Иванов, В.И., Коневцов, Л.А., Методологические аспекты применения электроискрового легирования. Ч. 2: Разработка методологии исследования, критериев и показателей эффективности, *Технический сервис машин*, 2020, т. 141, № 4, с. 100.
  16. Бурков, А.А., Кулик, М.А., Композиционные электроискровые покрытия на основе аморфной матрицы с включениями боридов вольфрама, *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*, 2018, т. 15, № 3, с. 320.

### Summary

The influence of the grain size of tungsten carbide of tungsten-cobalts hard alloy, received as anode material for the electro-spark deposition (ESD) of steel 35, on its erosion resistance, on the weight gain of the substrate material, and on the coefficient of electro-mass transfer. It is shown that in the preparation of new anode materials with different structure, density, porosity, fracture strength, and grain size of tungsten carbide, a pressing charge with additives of 0.4% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-0.4% VC grain growth inhibitors and grinding in alcohol and argon atmosphere at a grinding time of 20 to 320 minutes was used. The results of the erosion resistance and the use of the obtained new anode materials in the ESD of steel 35 are shown. When performing kinetic studies, a number of indicators of the efficiency of the formation of the doped layer were identified, taking into account the obtained values of the of additional weight of the cathode, the time of the ESD, the specific surface area of 1 cm<sup>2</sup>, and the coefficient of electro-mass transfer at the ESD of the studied anode materials. The results of the studies of the structure, thickness, composition of the doped layer, and of the heat resistance and wear resistance of the coating are shown. It was revealed that among the created new anode materials, the best oxidation resistance of the coating after ESD with the selected processing modes were obtained using a new nanodispersed anode material WC8%Co-0.4%Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-0.4%VC, with an average grain size of 0.8 microns WC.

*Keywords:* electric spark alloying, tungsten carbide, grain size, alloyed layer, wear resistance, heat resistance