

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/DZDM1098>

***Б. К. Рахадилев¹, Д. Н. Какимжанов², М. К. Даутбеков³,
О. В. Колисниченко⁴**

¹ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

²Восточно – Казахстанский технический университет
имени Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

³Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

⁴Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Украина, г. Киев.

e-mail: dauir_97@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ДУПЛЕКСНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Металлокерамические сплавы карбид хрома – никель – хром применяют в качестве кислотоупорных материалов в промышленности и для изготовления износостойких деталей. Они конкурируют в этом отношении со сплавами WC–Ni–Cr и TiC–Ni(Co)–Cr. В связи с высокой температурой плавления, твердостью и химической стойкостью высший карбид хрома Cr₃C₂ применяется как компонент наплавочных сплавов.

В данной работе исследуется и предлагается новая технология для защиты деталей энергетических оборудования работающих в экстремальных условиях. Эта технология включает в себя нанесение покрытий из сплавов карбида хрома – никель-хром (Cr₃C₂-NiCr) с использованием детонационного устройства и последующую импульсно-плазменную обработку. Определено, что импульсно-плазменная обработка (ИПО) приводит к улучшению характеристик покрытия. Коэффициент трения покрытия снижается примерно в два раза, микротвердость материала покрытия Cr₃C₂-NiCr увеличивается с примерно 12 ГПа (начальное значение) до около 16,2 ГПа, а износостойкость увеличивается вдвое по сравнению с необработанным покрытием. Кроме того, обнаружено, что после импульсно-плазменной обработки покрытие Cr₃C₂-NiCr

становится более устойчивым к абразивному износу и эрозии. Таким образом, предлагаемая дуплекс технология позволяет создавать высококачественные покрытия из металлокерамического материала Cr_3C_2-NiCr .

Ключевые слова: металлокерамические покрытия, напыление, импульсно-плазменная обработка, покрытие, твердость, износостойкость, эрозия

Введение

В Казахстане около 72 % электроэнергии вырабатывается из угля, причем более половины тепловых электростанции (ТЭС) имеют средний срок эксплуатации выше 30 лет. Большая часть оборудования ТЭС выработала свой проектный и нормативный ресурс, что обуславливает снижение его надежности, вследствие накопления внутренних и внешних повреждений. Поэтому, вопросы предотвращения отказов оборудования ТЭС является актуальным. Одной из причин отказа оборудования ТЭС является разрушение металла поверхностей нагрева и ухудшение их эксплуатационных свойств.

Коррозионные и эрозионные процессы на поверхности нагрева (наружной поверхности труб) зависят от топлива, на котором работает котел, и состава газообразных продуктов горения. Низкосортный уголь содержит ванадий, натрий и серу в качестве примесей. Эти соединения (зола) накапливаются на поверхности нагрева и ведут к коррозии. Золотые отложения разрушают защитный оксидный слой, который всегда образуется на материале естественным путем, и приводят к деградации материала вследствие горячей коррозии. Последствия данного процесса – прекращение работы установки, и необходимость её технического ремонта. Чтобы преодолеть все эти негативные явления, материал, используемый в энергетических установках, может быть либо заменен другими сплавами, либо на поверхность наносятся не растворимые покрытия, которые защищают материалы в течение более длительного времени, тем самым увеличивая срок их службы.

Защита от агрессивных внешних воздействующих факторов деталей энергетических оборудований путем нанесения эрозионно-коррозионноустойчивых покрытий является экономически целесообразным. Покрытие Cr_3C_2-NiCr является наиболее распространенным выбором для уменьшения износа в условиях высоких температур и агрессивных сред, благодаря его отличной устойчивости к окислению и коррозии по сравнению с WC-Co. [1–6]. Для получения покрытия Cr_3C_2-NiCr применяется несколько процессов распыления, таких как детонационное распыление, атмосферное

плазменное распыление (APS), а также высокоскоростное кислородное и воздушно-топливное распыление (HVOF и HVAF) [7–10].

В работе [11–12] было обнаружено, что покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, полученное методом детонационного напыления значительно уменьшает скорость эррозионно-коррозионных процессов и окисления, по сравнению с покрытиями, полученных другим газотермическими методами.

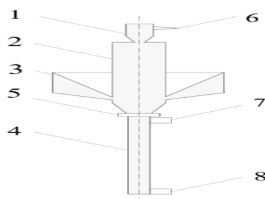
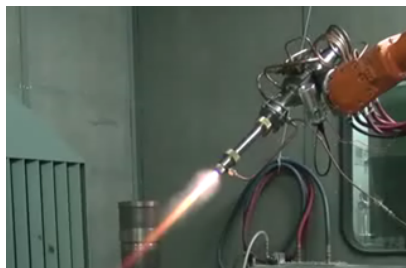
Значительное повышение свойств детонационных покрытий может быть достигнуто за счёт внешним высокоэнергичным воздействием. Наиболее эффективная технология – это комплексная импульсно-плазменная обработка, включающая модифицирование поверхности: магнитным полем, электрическим током (потоком заряженных элементарных частиц), высоко градиентной тепловой струей (плазмой), содержащей металлические и неметаллические легирующие элементы [13–14].

Целью настоящей работы является изучение возможности повышения комплекса физико-механических и трибологических свойств материала энергетического оборудовании тепловых станции получением покрытия из порошка $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ с применение современных методов кумулятивно-детонационного нанесения покрытий и последующей их импульсно-плазменной обработки.

Материалы и методы

В качестве напыляемого материала использовали порошок $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ (75/25) (фирмы Н.С. Starck: AMPERIT® 584.054) с дисперсностью 10–45 мкм. Покрытия наносили на образцы из стали 12Х1МФ методом детонационного напыления (ДН) на многокамерной детонационной установке [17]. Устройство обеспечивает образование струи продуктов сгорания для ускорения и нагрева напыляемый порошка и нанесения высококачественных металлических и керамических покрытий.

На рисунке 1 показан общий вид многокамерного детонационного устройства [15]. Конструктивные особенности многокамерного детонационного устройства обеспечивает возможность детонационного сгорания бедных горючих смесей, что снижает температуру продуктов сгорания, практически без снижения их скорости. Для ускорения и нагрева в ствол подается доза порошка.



1 – форкамера; 2 – цилиндрическая камера; 3 - кольцевая полусферическая камера; 4 – ствол; 5 – кольцева щель; 6 – свеча для инициирования детонации; 7, 8 – датчики давления

Рисунок 1 – Многокамерная детонационная установка: общий вид (а) и принципиальная схема установки (б)

Частота следования детонации составляет 20 Гц и выше. Подача газов и порошка в детонационное устройство осуществляется непрерывно, от стандартного порошкового питателя. Расход порошка – 0,9 кг/час и выше. Дозирование газов и порошка и выдача их в устройство осуществляется газодинамическими устройствами за счет энергии продуктов сгорания.

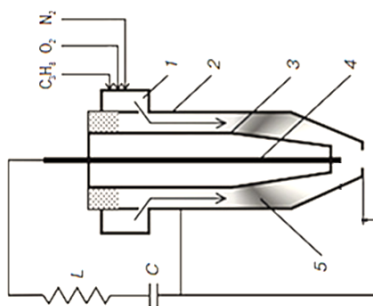
Таблица 1– Расход компонентов горючей смеси детонационного устройства.

Компоненты смеси:		Расход, м3/час
1 камера	O ₂	2.92
	воздух	1.33
	C ₃ H ₈	0.66
2 камера	O ₂	2.93
	воздух	1.43
	C ₃ H ₈	0.66
Транспортирующий газ:		0,9

Для модифицирования полученного детонационного покрытия на поверхности изделия использовали импульсно-плазменную технологию (РРТ). Генерирование импульсной плазмы осуществляли на установке «Импульс-б» [15].

Импульсный электрический ток выделяет тепловую энергию на ослабленных участках материала покрытия, имеющих повышенное

резистивное сопротивление. Это нагревает их, вплоть до плавления, активирует диффузионные процессы и в конечном итоге «залечивает» дефекты (микротрещины, поры), увеличивая адгезионные и когезионные характеристики [15].



1 – детонационная камера; 2,3 – коаксиальные электроды;
4 – эродируемый электрод; 5 – межэлектродный зазор; 6 – изделие;

H – расстояние до поверхности изделия.

Рисунок 2 – Устройство для импульсно-плазменной обработки общий вид (а) и принципиальная схема установки (б).

Параметры импульсно-плазменной обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры импульсно-плазменной обработки

Параметр	Величина
Напряжение на конденсаторной батарее (В)	3200
Емкость конденсаторной батареи (мкФ)	960
Индуктивность разрядного контура (мкГн)	30
Частота плазменных импульсов (Гц)	1.2
Скорость перемещения (мм/сек)	5
Расстояние до поверхности (мм)	50

Фазовый состав покрытий DS и DS/PPT изучали с использованием метода рентгеноструктурного анализ на рентгеновском дифрактометре X³PertPRO (Philips Corporation, Амстердам, Нидерланды) с Cu-K α -излучением ($\lambda = 2,2897 \text{ \AA}$). Микротвердость поперечного сечения образцов измеряли в соответствии с ГОСТ 9450–76 на микротвердомере Металаб 502 (Металаб, Россия). Трибологические испытания на трение скольжения проводили на трибометре TRB³ (Anton Paar Srl, Peseux, Швейцария) с использованием стандартной методики «шар-диск» (международные стандарты ASTM G 133-

95 и ASTM G99), где в качестве контртела использовали шарик диаметром 6,0 мм, из стали с покрытием SiC, при нагрузке 6 Н и линейной скорости 15 см/сек, радиусом кривизны износа 5 мм, пути трения 1200м. Испытание на абразивный износ проводилось на экспериментальном стенде с жестко закрепленными абразивными частицами по схеме «вращающийся ролик - плоская поверхность» по ГОСТ 23.208-79.

Испытания на эрозионную стойкость при комнатной температуре проводились на специальном стенде в соответствии с ASTM G76-04. Тест использовал трубку сопла с диаметром 3 мм, расположенным на расстоянии 10 мм от образца угол наклона насадки по отношению к образцу было 90°. Испытания проводились с использованием абразива кварца диаметром зерна 50 мкм. Продолжительность теста составляла 5 мин.

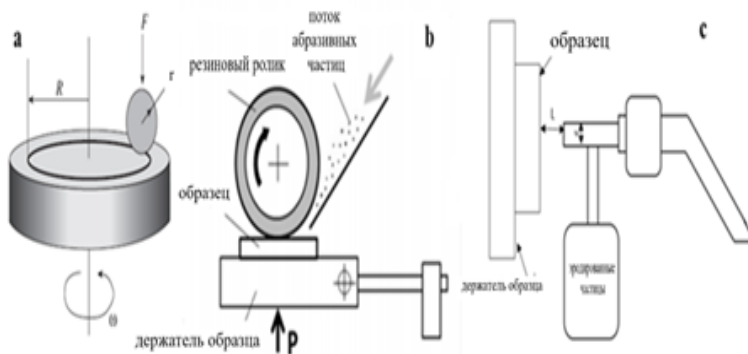


Рисунок 3 – Процесс испытаний образцов: испытания на сухое трение по схеме «шар-диск» (а), испытание на абразивный износ в соответствии ГОСТ 23.208-79 (b), испытания на эрозионную стойкость в соответствии ASTM G76-04 (c)

Результаты и обсуждение

На рисунке 5 представлены рентгенограммы поверхности покрытия до (DS) и после импульсно-плазменной обработки (DS/PPT). В покрытиях до импульсно-плазменной обработки обнаружены следующие фазовые составляющие: Ni-Cr-Fe, Cr_3C_2 , Ni-Cr-Fe/ Cr_7C_3 и Cr_7C_3 фазы (рис.4а). После ИПО на поверхности обнаружены фазы оксида хрома Cr_2O_3 (рис.5b). При этом, после ИПО на рентгенограмме наблюдается рост интенсивности пиков карбида хрома Cr_3C_2 , (рис.5b), причиной которому является кратковременная активизация поверхности покрытия из за импульсной плазмы, где плазма содержащая активный углерод и кислород обуславливает протекания

двух взаимоисключающих химико термических процессов окисления и карбюризации. Сочетание твердых фаз оксида и карбида хрома в упрочненной металлической матрице существенно повышает стойкость полученного материала в условиях абразивного износа.

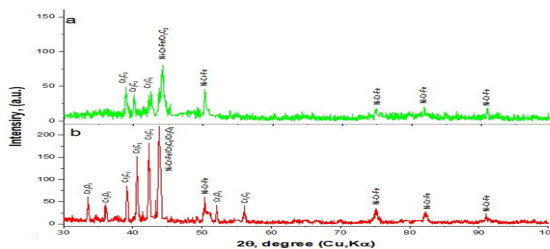


Рисунок 5 – Рентгенограммы поверхности материала покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ до (а) и после (б) импульсно- плазменной обработки

На рисунке 6 показан график распределения микротвердости по толщине покрытия до и после импульсно-плазменной обработки. График зависимости микротвердости от толщины материала покрытия $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ (Рис.6) показывает неравномерное распределение твердости: материал покрытие вблизи поверхности детали имеет большее значение микротвердости в отличие от приповерхностных слоев. Из этого профиля следует, что на величину твердости влияет содержание твердой фазы и ее распределение в покрытии. Одним из основных свойств отвечающих за долговечность изделий является трибологические параметры, которые в настоящей работе оценивалось значением объема износа покрытий до и после ИПО по схеме «шар-диск» (Рис.7а). По полученным значениям профилометра были построены профилограммы, а так же с использованием специальной

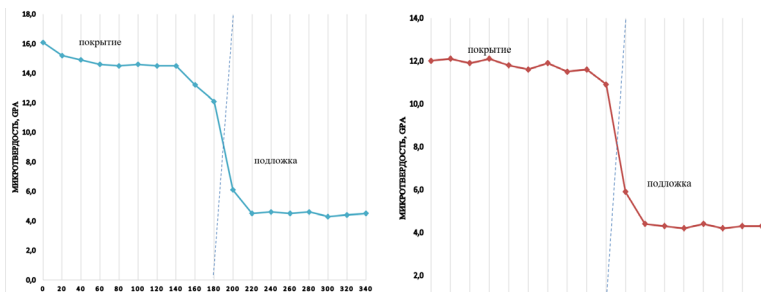


Рисунок 6 – График распределение твердости по глубине покрытий Cr₃C₂-NiCr до (а) и после ИПО (б)

программы были получены значения для расчета объемов износа до и после ИПО. Результаты испытания показали, что после ИПО покрытие имеет повышенную износостойкость согласно подтверждению РДА это вероятнее всего связано с повышением долей Cr₃C₂ карбидной фазы, которая обладает высокой стойкостью к износу. Согласно исследованию трибологических характеристик поверхности покрытия установлено, что импульсно плазменная обработка оказала существенное влияние на значение коэффициента трения поверхности покрытия (понижена в 2 раза) и износостойкость (повышена почти в 3 раза по сравнению с значениями до ИПО).

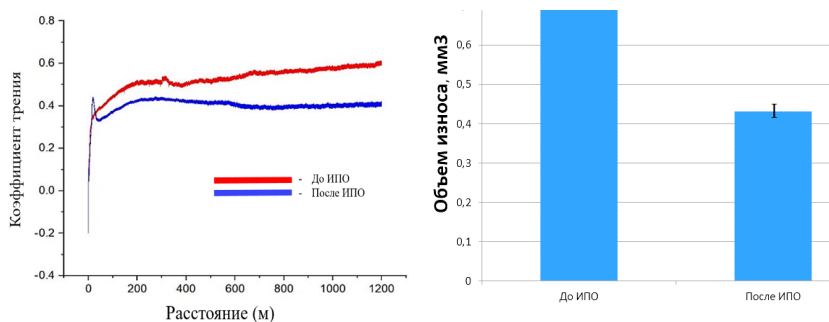


Рисунок 7– Результаты трибологических испытаний покрытий Cr₃C₂-NiCr до и после ИПО а)коэффициент трения б) объем износа

Абразивный износ – основной фактор, ограничивающий работоспособность большинства деталей оборудования различного назначения. Для оценки стойкости покрытий Cr₃C₂-NiCr до и после ИПО к абразивному износу были проведены испытания на специальном стенде.

После каждого испытания определяли потерю массы образцов и оценивали ее среднее значение со стандартным отклонением. Результаты испытаний на абразивный износ показали, что значение потери массы материала покрытия с ИПО было меньше (0.0056 г), чем до ИПО (0.016 г) в 2-3 раза, что свидетельствует о повышенной стойкости материала к абразивному износу. Это можно связать с наличием в материале покрытия после ИПО большей доли упрочняющей карбидной фазы и твердых оксидов хрома.

Результаты испытаний на эрозию подтвердили, что покрытия Cr_3C_2 -NiCr с ИПО значительно повышает стойкость к эродированным частицам. Расчетная относительная потеря веса составила 0,1124 г. и 0,0616 г. для образца без ИПО и образца с ИПО, соответственно. Это так же можно связать с наличием в материале покрытия после ИПО большей доли упрочняющей карбидной фазы и твердых оксидов хрома.

Выводы

Путем оценки и анализа всех собранных данных, можно сформулировать следующие основные выводы данного исследования. Дуплекс технологии нанесения покрытий обеспечивают, на оптимальных режимах, формирование качественных покрытий из металлокерамического материала системы Cr_3C_2 -NiCr. Импульсно-плазменная обработка (ИПО) способствует снижению значения коэффициента трения покрытия ~ 2 раза, увеличению микротвердость материала покрытий Cr_3C_2 -NiCr от ~ 12 ГПа (исходная) до $\sim 16,3$ ГПа и износостойкости в 2 раза по сравнению с необработанным покрытием;

После импульсно-плазменной обработки повышается стойкость покрытий Cr_3C_2 -NiCr к абразивному изнашиванию и стойкость к эрозии.

Можно рекомендовать дуплекс технологий нанесения покрытий, включающей детонационного напыления и последующей импульсно-плазменной обработки, как оптимальный способ защиты поверхностей деталей, работающих в экстремальных условиях эрозионного и абразивного износа.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № AP09261164 «Повышение стойкости стальных элементов котлов теплоэлектростанции к коррозионному и эрозионному износу».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Lu H. et al. Erosion and corrosion behavior of shrouded plasma sprayed Cr₃C₂-NiCr coating //Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 388. – С. 125534.

2 **Pogrebnyak A. D., Tyurin Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets //Physics-Uspekhi. – 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 487.

3 **Li C. J.** et al. Dominant effect of carbide rebounding on the carbon loss during high velocity oxy-fuel spraying of Cr₃C₂-NiCr //Thin Solid Films. – 2002. – Т. 419. – №. 1-2. – С. 137–143.

4 **Janka L.** et al. Influence of heat treatment on the abrasive wear resistance of a Cr₃C₂NiCr coating deposited by an ethene-fuelled HVOF spray process //Surface and Coatings Technology. – 2016. – Т. 291. – С. 444–451.

5 **Matikainen V., Koivuluoto H., Vuoristo P.** A study of Cr₃C₂-based HVOF-and HVAF-sprayed coatings: Abrasion, dry particle erosion and cavitation erosion resistance //Wear. – 2020. – Т. 446. – С. 203188.

6 **Korpiola K.** et al. High temperature oxidation of metal, alloy and cermet powders in HVOF spraying process. – Helsinki University of Technology, 2004.

7 **Kakimzhanov D. N.** et al. Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr₃C₂-NiCr coatings //Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2021. – Т. 5. – № 1. – С. 45–51.

8 **Ulianitsky V. Y.** et al. The experience of research and application of technology for applying detonation coatings //Izv. RAS SamSC. – 2010. – Т. 12. – С. 569–575.

9 **Roy M.** et al. Abrasive wear behaviour of detonation sprayed WC–Co coatings on mild steel //Surface Engineering. – 1999. – Т. 15. – №. 2. – С. 129–136.

10 **Ulianitsky V. Y.** et al. Detonation spraying behaviour of refractory metals: Case studies for Mo and Ta-based powders //Advanced Powder Technology. – 2018. – Т. 29. – № 8. – С. 1859–1864.

11 **Rakhadilov B.** et al. Structure and tribological properties of Ni–Cr–Al-based gradient coating prepared by detonation spraying //Coatings. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 218.

12 **Ji G. C.** et al. Microstructural characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr₃C₂-NiCr coating //Surface and Coatings Technology. – 2006. – Т. 200. – № 24. – С. 6749–6757.

13 **Dumitru G.** et al. Laser processing of hardmetals: Physical basics and applications //International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2005. – Т. 23. – №. 4–6. – С. 278–286.

14 **Akamatsu H.** et al. Surface treatment of steel by short pulsed injection of high-power ion beam //Surface and coatings technology. – 2001. – Т. 136. – № 1–3. – С. 269–272.

15 **Тюрин, Ю. Н., Жадкевич, М. Л.** Плазменные упрочняющие технологии. – Киев : Наукова думка, – 2008. – 218

REFERENCES

- 1 **Lu H.** et al. Erosion and corrosion behavior of shrouded plasma sprayed Cr₃C₂-NiCr coating // *Surface and Coatings Technology*. – 2020. – Т. 388. – С. 125534.
- 2 **Pogrebnyak A. D., Tyurin Y. N.** Modification of material properties and coating deposition using plasma jets // *Physics-Uspekhi*. – 2005. – Т. 48. – № 5. – С. 487.
- 3 **Li C. J.** et al. Dominant effect of carbide rebounding on the carbon loss during high velocity oxy-fuel spraying of Cr₃C₂-NiCr // *Thin Solid Films*. – 2002. – Т. 419. – №. 1–2. – С. 137–143.
- 4 **Janka L.** et al. Influence of heat treatment on the abrasive wear resistance of a Cr₃C₂NiCr coating deposited by an ethene-fuelled HVOF spray process // *Surface and Coatings Technology*. – 2016. – Т. 291. – С. 444–451.
- 5 **Matikainen V., Koivuluoto H., Vuoristo P.** A study of Cr₃C₂-based HVOF-and HVOF-sprayed coatings : Abrasion, dry particle erosion and cavitation erosion resistance // *Wear*. – 2020. – Т. 446. – С. 203–188.
- 6 **Korpiola K.** et al. High temperature oxidation of metal, alloy and cermet powders in HVOF spraying process. – Helsinki University of Technology, 2004.
- 7 **Kakimzhanov D. N.** et al. Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr₃C₂-NiCr coatings // *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. – 2021. – Т. 5. – №. 1. – С. 45–51.
- 8 **Ulianitsky, V. Y.** et al. The experience of research and application of technology for applying detonation coatings // *Izv. RAS SamSC*. – 2010. – Т. 12. – С. 569–575.
- 9 **Roy, M.** et al. Abrasive wear behaviour of detonation sprayed WC–Co coatings on mild steel // *Surface Engineering*. – 1999. – Т 15. – № 2. – С. 129–136.
- 10 **Ulianitsky, V. Y.** et al. Detonation spraying behaviour of refractory metals: Case studies for Mo and Ta-based powders // *Advanced Powder Technology*. – 2018. – Т. 29. – № 8. – С. 1859–1864.
- 11 **Rakhadilov, B.** et al. Structure and tribological properties of Ni–Cr–Al-based gradient coating prepared by detonation spraying // *Coatings*. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 218.
- 12 **Ji G. C.** et al. Microstructural characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr₃C₂-NiCr coating // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – Т. 200. – № 24. – С. 6749–6757.
- 13 **Dumitru, G.** et al. Laser processing of hardmetals: Physical basics and applications // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2005. – Т. 23. – № 4-6. – С. 278–286.

14 Akamatsu H. et al. Surface treatment of steel by short pulsed injection of high-power ion beam // Surface and coatings technology. – 2001. – Т. 136. – № 1-3. – С. 269–272.

15 Tyurin, Yu.N., Zhadkevich, M. L. Plazmennyye-uprochnyayushchie tekhnologii [Plasma hardening technologies] – Kyiv, Naukova-dumka – 2008. – P.218.

Принято к изданию 18.09.23.

*Б. К. Рахадиллов¹ Д. Н. Кәкімжанов² М. К. Даутбеков³ О. В. Колисниченко⁴

¹«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ;

³С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.,

⁴Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты, Украина, Киев қ.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫҢ БӨЛШЕКТЕРІНЕ ДУПЛЕКСТІ ЖАБЫНДАРДЫ ЖАҒУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Металл-керамикалық қорытпалар хром – никель-хром карбиді өнеркәсіпте қышқылға төзімді материалдар ретінде және тозуға төзімді бөлшектер жасау үшін қолданылады. Олар осыған байланысты WC–Ni–Cr және TiC– Ni(Co)–Cr қорытпаларымен бәсекелеседі. Жоғары балқу температурасына, қаттылығына және химиялық төзімділігіне байланысты жоғары хром карбиді Cr₃C₂ балқыту қорытпаларының құрамдас бөлігі ретінде қолданылады.

Бұл жұмыс экстремалды жағдайларда жұмыс істейтін энергетикалық жабдықтардың бөлшектерін қорғаудың жаңа технологиясын зерттейді және ұсынады. Бұл технология детонациялық құрылғыны пайдаланып хром – никель-хром (Cr₃C₂-NiCr) карбиді қорытпаларын жабуды және одан кейінгі импульсті-плазмалық өңдеуді қамтиды. Импульсті-плазмалық өңдеу (ИПӨ) қамту сипаттамаларының жақсаруына әкелетіні анықталды. Жабынның үйкеліс коэффициенті шамамен екі есе төмендейді, Cr₃C₂-NiCr жабын материалының микроқаттылығы шамамен 12 ГПа-дан (бастапқы мән) шамамен 16,2 ГПа-ға дейін артады, ал тозуға төзімділік өңделмеген жабынмен салыстырғанда екі есе артады. Сонымен қатар, импульсті-плазмалық өңдеуден кейін Cr₃C₂-

NiCr жабыны абразивті тозуға және эрозияға төзімді болатыны анықталды. Осылайша, ұсынылған дуплекс технологиясы Cr_3C_2 -NiCr металл керамикалық материалынан жоғары сапалы жабындар жасауға мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: металл-керамикалық жабындар, бүрку, импульсті-плазмалық өңдеу, жабын, қаттылық, тозуға төзімділік, эрозия

*B. K.Rakhadilov¹, D. N. Kakimzhanov², M. K. Dautbekov³, O. V. Kolisnichenko⁴

¹Plasmascience LLP, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

²D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,

Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

S. Amanzholov East Kazakhstan University

Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan;

⁴E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

Accepted for publication on 18.09.23

TECHNOLOGY OF DUPLEX COATING ON POWER EQUIPMENT PARTS

Metal-ceramic alloys chromium carbide - nickel-chromium are used as acid-resistant materials in industry and for the manufacture of wear-resistant parts. They compete in this respect with WC-Ni-Cr and TiC-Ni(Co)-Cr alloys. Due to their high melting point, hardness and chemical resistance, the highest chromium carbide Cr_3C_2 is used as a component of surfacing alloys.

This paper investigates and proposes a new technology for the protection of parts of power equipment operating under extreme conditions. This technology includes coating of chromium carbide-nickel-chromium carbide (Cr_3C_2 -NiCr) alloys using a detonation device and subsequent pulse-plasma treatment. It is determined that pulse plasma treatment (PPI) leads to an improvement in the performance of the coating. The friction coefficient of the coating is reduced by about half, the microhardness of the Cr_3C_2 -NiCr coating material is increased from about 12 GPa (initial value) to about 16.2 GPa, and the wear resistance is doubled compared to the untreated coating. In addition, it is found that the Cr_3C_2 -NiCr coating becomes more resistant to abrasion and erosion after pulse plasma treatment. Thus, the proposed duplex technology makes it possible to create high-quality coatings of Cr_3C_2 -NiCr metal-ceramic material.

Key words: ceramic metal coatings, sputtering, pulse plasma treatment, coating, hardness, wear resistance, erosio

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz