

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

№ 2 (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/ABAC7746>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

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., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/KBQY4184>

***Б. К. Рахадиллов¹, М. К. Даутбеков², Л. Г. Журерова³
О. А. Степанова⁴, А. М. Акаев⁵**

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

^{2,5}Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

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

⁴Университет имени Шакарима, Республика Казахстан, г. Семей

*e-mail: merkhatd@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ДЕТАЛЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ

В настоящей статье изложены результаты исследования покрытий Cr_3C_2NiCr нанесенных детонационным способом напыления на образцах теплоустойчивой стали 12X1MФ (DIN 14MoV63). Для проведения эксперимента была выбрана детонационная пушка с одним дозатором. Детонационное напыление - это один из способов термического напыления, известный своей способностью создавать твердые, износостойкие и плотные микроструктурированные покрытия. В качестве газового топлива была использована смесь ацетилена и кислорода, которая является наиболее распространенным выбором при детонационном напылении порошковых материалов. После каждой детонации ствол был продуван импульсом азота или воздуха. Проведены экспериментальные исследования взаимосвязи между технологическими параметрами процесса нанесения покрытия и получаемой микроструктурой и свойствами покрытий в зависимости от режима работы детонационной пушки. Выявлено, что при детонационном напылении структурно-фазовый состав и трибологические свойства наносимого покрытия меняется в зависимости от степени заполнения ствола газовой смесью C_2H_2/C_3H_8 . Методом рентгеноструктурного анализа получены результаты влияния параметров процесса на микроструктуру и свойства

покрытий, согласно которым были установлены фазы Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Cr_3O_4 , Cr_2O_3 , $Cr_{23}C_6$ и $CrNi_3$, определены физические характеристики покрытия как микротвердость, шероховатость и трибологические свойства.

Ключевые слова: теплоэнергоцентральный, поверхности нагрева котла, Cr_3C_2 -NiCr, детонационное напыление, сталь 12Х1МФ.

Введение

В докладе Министра энергетики на заседании Правительства Республики Казахстан от 20 декабря 2022 года, а также информации в работе [1] сказано, что средний износ оборудования Теплоэнергоцентралей в Республике Казахстан составил 66 %, средний срок эксплуатации – 61 год. При этом, согласно Приказу Министра энергетики Республики Казахстан от 20 января 2023 года № 20 «Об утверждении прогнозных балансов электрической энергии и мощности на 2023–2029 годы» планируется увеличение производства электроэнергии к 2029 году на 9 % по сравнению с 2023 годом. По ежеквартальным отчетам АО «Казахстанский оператор рынка электрической энергии и мощности», в Казахстане более 79 % электроэнергии вырабатывается угольными тепловыми станциями. В связи с этим, в настоящее время актуальным остается вопрос повышения надежности и долговечности изделий, эксплуатационные характеристики которых определяются свойствами их рабочих поверхностей.

В работах [2,3,4] сказано, что некоторые детали тепловых станций возможно могут быть использованы для последующей эксплуатации, при том что установленный срок службы выработан.

Ранее спроектированные тепловые станции в Казахстане были предназначены для определенных сортов твердого топлива. Однако, в последнее время на тепловых станциях все чаще используется неспроектированный уголь, на который не проводились тепловые расчеты оборудования. Использование неспроектированного угля приводит к более интенсивному разрушению основного и вспомогательного оборудования [5–6].

В процессе горения сера и натрий вступают в реакцию, образуя Na_2SO_4 , а ванадий соединяется с кислородом, образуя V_2O_5 и золовые отложения. Эти отложения могут повредить защитный оксидный слой и вызвать горячую коррозию. Чтобы избежать этого, материал в энергетических установках тепловых станций можно заменить на более устойчивые сплавы или на его поверхность можно нанести специальные покрытия, устойчивые к Na_2SO_4 [6,7].

Нанесение на поверхности изделий функциональных покрытий с применением различных методов напыления является одним из наиболее

эффективных способов улучшения эксплуатационных свойств и продления их срока службы [8].

Среди разных видов покрытий, покрытия из порошка $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ наиболее широко используются для снижения износа при высоких температурах (500–900 °С) и в агрессивных средах благодаря своей превосходной окислительной и коррозионной стойкости [9,10]. В дополнение к этим особенностям коэффициент теплового расширения Cr_3C_2 ($10,3 \times 10^{-6}$ °С⁻¹) почти такой же, как у железа ($11,4 \times 10^{-6}$ °С⁻¹) и никеля ($12,8 \times 10^{-6}$ °С⁻¹), составляющие основу большинства жаропрочных сплавов.

Нанесение покрытий из порошка $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ можно выполнять с помощью разных методов газотермического напыления, в том числе такие как HVOF, холодное газодинамическое напыление, детонационное напыление, атмосферное плазменное напыление и другие. Покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, полученное методом детонационного напыления значительно уменьшает интенсивность эррозионно-коррозионных процессов и окисления. Это может быть связано с образованием оксидной пленки Cr_2O_3 . Определено влияние Cr_2O_3 на окислительно-эрозийные свойства котельных сталей, так как образование богатой оксидом Cr_2O_3 пленки способствует лучшему сопротивлению котельной стали к окислению и эрозии [11].

Детонационное напыление является одним из методов газотермического напыления покрытий, который осуществляется с помощью специальной детонационной пушки [12].

Данная статья направлена на исследование воздействия технологических параметров процесса детонационного напыления на фазовый состав, твердость и трибологические свойства покрытий, созданных на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, которые могут быть применены на поверхностях деталей, используемых в энергетическом оборудовании тепловых станций.

Материалы и методы

Данная работа содержит результаты экспериментальных исследований, проведенных с покрытиями из порошка $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$, нанесенными с помощью детонационного комплекса CCDS2000, который обладает системой электромагнитных газовых клапанов [13].

Нижепредставленный рисунок 1 демонстрирует общий вид детонационной пушки и ее основную схему.

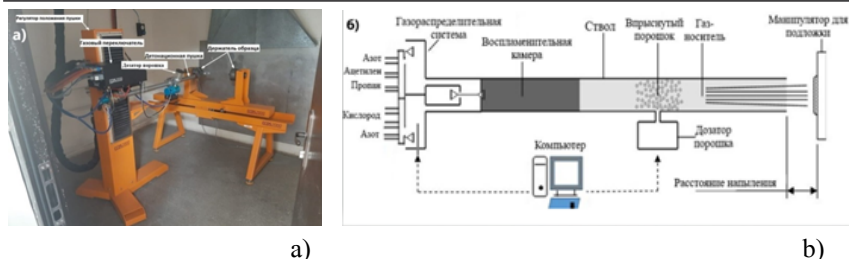


Рисунок 1 а) – Компьютеризированный детонационный комплекс CCDS2000: общий вид (а) и принципиальная схема установки (б)

В результате детонации во взрывчатой смеси образуется детонационная волна, которая затем переходит в ударную волну. Продукты детонации (нагретые до 3500–4500 К) и газа-носителя (нагретый ударной волной до 1000–1500 К) движутся со сверхзвуковой скоростью к выходу из ствола детонационной пушки.

Диаметр прямого ствола используемого детонационного комплекса составляет 20 мм. В качестве газа-носителя использовался азот (N). В качестве напыляемого материала использовали композитный порошок фирмы Н.С. Starck: 584.054 Cr₃C₂-NiCr (75 % / 25 %) с размером частиц порошка 10–45 мкм. [14,15].

В качестве образца для подложки была выбрана сталь теплоустойчивая 12X1МФ (DIN 14MoV63), используемая для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии в течение длительного времени.

Химический состав стали 12X1МФ (DIN 14MoV63) по стандарту ГОСТ 20072-74 (DIN 17175): С(0.10–0.18); Si (0.15–0.35); Mn(0.30–0.60); Ni(до 0.3); S(до 0.035); P(до 0.035); Cr(0.9–1.2); Mo(0.50–0.65); V(0.25–0.35); Cu(до 0.2).

Для напыления было выбрано соотношение C₂H₂/C₃H₈=1,026. По мере увеличения объема взрывчатой смеси (от 61 до 73 % от объема ствола) увеличивается температура, до которой частицы нагреваются во время движения внутри ствола [15]. Режимы, при которых получены покрытия на основе Cr₃C₂-NiCr показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технологические параметры получения покрытий Cr₃C₂-NiCr

Номер образца	Отношение C ₂ H ₂ /C ₃ H ₈	Объем заполнения ствола, %	Дистанция напыления, мм	Количество выстрелов
№1	1,026	61	150	20
№2		67		
№3		73		

Дифракционные исследования образцов выполнялись с использованием традиционных методов рентгеновской дифракции (РДА), а именно, анализ угловых положений, интенсивностей и профилей дифракционных отражений методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре X'PertPRO. Съёмку дифрактограмм проводили с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) при напряжении в трубке $U = 40 \text{ кВ}$; ток трубки $I = 30 \text{ мА}$ время экспозиции 1 с ; шаг съёмки $0,02^\circ$. Расшифровка полученных результатов проводилась с помощью программы HighScore. Шероховатость поверхности покрытий оценивалась с использованием параметра Ra по стандарту ГОСТ 2789-73 (DIN 4768) с помощью профилометра модели 130 на отрезке длиной 7 мм на поверхности образца. Микротвёрдость образцов измерялась в соответствии с ГОСТ 9450-76 (ASTM E384-11) по методу Виккерса на микротвердомере «Метолаб-502», при нагрузках на индентор 1 Н и времени выдержки 10 с . Трибологические испытания на трение и скольжение проводили на трибометре TRB3 с использованием стандартной методики «шар-диск» (стандарты ASTM G 133-95 и ASTM G 99). В качестве контртела использовался шарик диаметром $6,0 \text{ мм}$ из стали ШХ15. Испытание проводилось при нагрузке 10 Н и линейной скорости 2 см/с , радиусом кривизны износа 3 мм , путь трения составил 22 м .

Результаты и их обсуждения

В результате экспериментальных работ были получены микроснимки поперечных сечений образцов на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ с помощью металлографического микроскопа модели Альтами MET 5S, фотографии которых представлены на рисунке 2.

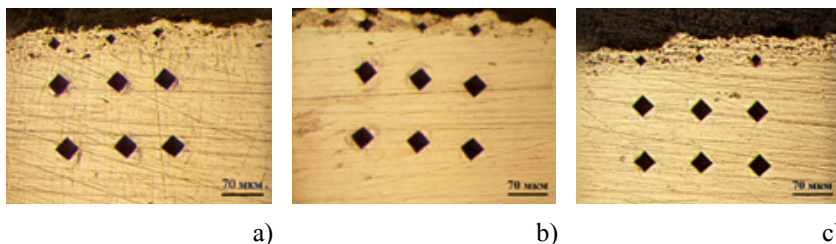


Рисунок 2 – Микроснимки поперечного сечения:
а) образец № 1, б) образец № 2, в) образец № 3

Микроснимки поперечного сечения детонационного покрытия на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ демонстрировали чистую, высокую плотность покрытий на границе раздела подложки. Результаты микроснимков показали образование слоисто-пористой структуры покрытий толщиной $30\text{--}65 \text{ мкм}$ и отсутствие на границе раздела пор и трещин.

Микротвердость равномерно распределена по толщине подложки. Средняя микротвердость покрытий на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ получились следующим образом: образец № 1 – 1208 HV, образец № 2 – 1339 HV и образец № 3 – 1076 HV.

Поверхности покрытий оценены по результатам измерения шероховатости покрытий, полученных на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ и приведены на рисунке 3.

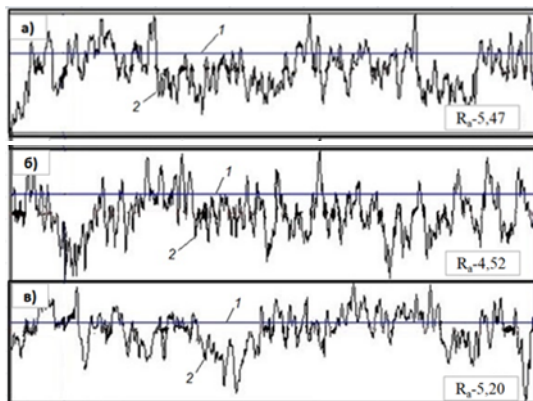


Рисунок 3 – Шероховатость покрытий на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ образца № 1 (а), образца № 2 (б), образца № 3 (в).

Ra: а – 5.47; б – 4.52; в – 5.20; 1 – Средняя линия профиля; 2 – Профиль шероховатости

Поверхности всех покрытий имеют неоднородную слоистую структуру с порами и волнообразным расположением структурных составляющих. Для измерения шероховатости поверхности был выбран параметр Ra, который определяется как средняя высота пиков и впадин профиля шероховатости относительно базовой плоскости на определенной длине выборки. Параметр шероховатости покрытий Ra образцов № 1, № 2 и № 3, имеет разные значения такие как – Ra=5.47, Ra=4.52 и Ra=5.20 соответственно. Это может быть обусловлено различием воздействия ударной волны, что вызывает уплотнение покрытия.

На рисунке 4 представлены результаты рентгенограммы покрытия. Во всех образцах покрытий были обнаружены фазовые составляющие, такие как Cr_3C_2 , Cr_3O , Cr_2O_3 и Cr_{23}C_6 . Однако, из приведенных ниже рисунков видно, что интенсивность этих фазовых составов меняется в зависимости от степени заполнения ствола (Рис. 4). Сочетание твердых фаз оксида хрома и карбида

хрома значительно повышает износостойкость получаемого покрытия. А при заполнения ствола в 61 % происходит увеличение интенсивности карбидных фаз.

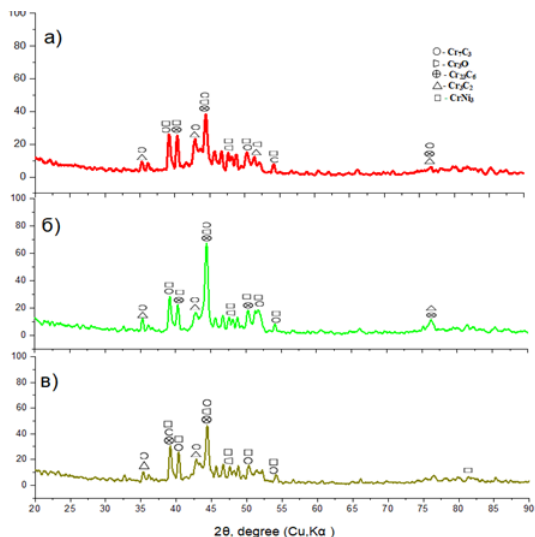


Рисунок 4 – Дифрактограммы покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$:
(а) образец № 1, (б) образец № 2, (в) образец № 3

К примеру, в образце №3 на дифрактограммах наблюдается уменьшение интенсивности фаз Cr_3C_2 (ICDD/JCPDS № 96-154-0071), CrNi_3 (ICDD/JCPDS № 96-152-5115), Cr_{23}C_6 (ICDD/JCPDS № 96-210-7333). Как правило, больший объем заполнения приводит к более высокой температуре внутри ствола во время процесса термического напыления. Это связано с тем, что больший объем материала генерирует больше тепла из-за большего количества энергии, передаваемой материалу. В результате температура внутри ствола может повышаться и температура в зоне реакции может достигнуть до 3000–4000 °С в зависимости от расстояния ствола детонационной пушки до подложки.

Ниже приведены графики коэффициента трения покрытия (рис.5). Все покрытия имеют коэффициент трения в интервале 0,08–0,41.

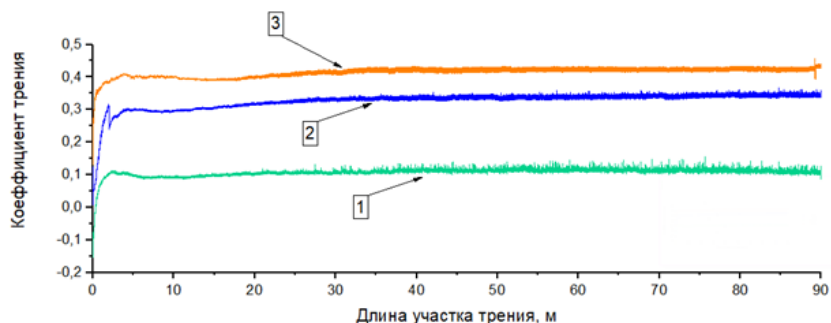


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента трения от длины участка трения покрытий $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ образца № 1 (1), образца № 2 (2), образца № 3 (3)

Кривые коэффициента трения полученных покрытий, в начале процесса испытания (до наработки) имеют скачки. Возможно, это связано с тем, что покрытия имели высокие значения шероховатости ($R_a = 4,52$ до $5,47$).

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».

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- Получены детонационные покрытия на поверхности теплоустойчивой стали 12X1MФ (DIN 14MoV63) на основе $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$;
- Установлено что основными структурными составляющими полученных покрытий являются: Cr_3C_2 , Cr_3O_4 , Cr_2O_3 , Cr_{23}C_6 и CrNi_3 ;
- На основе трибологических и механических испытаний определено, что в зависимости от заполнения ствола, покрытия имеют следующие характеристики: разные значения коэффициента трения в интервале $0,08\text{--}0,41$; микротвердость от 1076HV до 1339HV ; значение шероховатости R_a от $4,52$ до $5,47$. Данные экспериментальные результаты показали, что в зависимости от технологических режимов детонационного напыления можно получать покрытия с необходимыми свойствами.

Список используемых источников

1 «KAZENERGY» [Text] // Информ.-аналит. журн. Учредитель и издатель ТОО «ENERGY FOCUS» – 2021, ноябрь –. – двухмес. – 2021. – №6.

2 **Zrilić, M., Aleksić R.** The effect of long term exposure to elevated temperature on steam line steel properties [Text] // Thermal Science. – Vol.7. – 2003. – No. 1. – P. 33–46.

3 **Rapp, R. A.** Hot corrosion of materials: a fluxing mechanism? [Text] // Corrosion Science. – Vol. 44. – Issue 2. – 2002. – P. 209–221. – ISSN 0010-938X. – [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00057-9).

4 **Galetz, M. C., Bauer, J. T., Schütze, M. et al.** Resistance of Coatings for Boiler Components of Waste-to-Energy Plants to Salt Melts Containing Copper Compounds [Text] // Therm Spray Tech. – 22. – 2013. – P.828–837. – doi.org/10.1007/s11666-013-9908-9.

5 **Shi, Y. et al.** On-line monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for convective heat exchanger in coal-fired power plant boiler [Text] // Applied Thermal Engineering. – V. 78. – 2015. – P. 39–50. – ISSN 1359-4311. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.002>.

6 **Балтрян, В. Н., Ефимов, Н. Н., Цхяев, А. Д.** К вопросу модернизации котельного оборудования угольных ТЭС [Text] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2017. – № 1. – ISSN 1560-3644. – <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-1-50-53>.

7 **Heng, Ch., Jian, J., Peiyuan, Pan., Qinxin, Zh., and Yungang, W.** Deposit Formation of the Low-Pressure Economizer in a Coal-Fired Thermal Power Plant [Text] // Energy & Fuels. – 2017. – 31(5). – P. 4791–4798. – <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03507>.

8 **Buitkenov, D. B., Rakhadilov, B. K., Sagdoldina, Zh. B., Erbolatuly, D.** Reserach of the mechanic-tribological characteristics of Ti_3SiC_2/TiC coatings after annealing [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2020. – № 4 (1). – P. 86–92.

9 **Bhatia, R., Singh, H. & Sidhu, B.S.** Hot Corrosion Studies of HVOF-Sprayed Coating on T-91 Boiler Tube Steel at Different Operating Temperatures. [Text] // J. of Materi Eng and Perform. – 23. – P. 493–505. – 2014. – <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0771-0>.

10 **Dautbekov, M.K., Rakhadilov, B.K., Zhurerova, L.G. et al.** A Technology for Making Detonation Coatings on Power Equipment Parts Made of Grade 12Kh1MF Steel [Text] // Therm. Eng. – 69. – P. 989–995. – 2022. – <https://doi.org/10.1134/S0040601522120011>.

11 **Shukla, V. N., Harshit, Trivedi, Hemant, Kumar etc.** Surface engineering analysis of d-gun sprayed cermet coating in aggressive environment [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4. – P. 10212–10215.

12 **Kilic, M., Ozkan, D., Gok, M. S., Karaoglanli, A. C.** Room- and high temperature wear resistance of MCrAlY coatings deposited by detonation gun

(D-gun) and supersonic plasma spraying (SSPS) techniques [Text] // Coatings. – 2020. – 10. – 1107. – <https://doi.org/10.3390/coatings10111107>.

13 **Rakhadilov, B. K., Buitkenov, D. B., Tuyakbaev, B. T., Sagdoldina, Zh. B., Kenesbekov, A. B.** Structure and properties of detonation coatings based on titanium carbosilicide [Text] // Key Eng. Mater. – 2019. – 821. – P. 301–306.

14 **Ulianitsky, V. Y., Dudina, D. V., Shtertser, A. A., Smurov, I.** Computer-Controlled Detonation Spraying : Flexible Control of the Coating Chemistry and Microstructure [Text] // Metals. – 2019. – 9. – 1244. – <https://doi.org/10.3390/met9121244>.

15 **Kakimzhanov, D.N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M. K.** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 5(1). – <https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106>.

References

1 “KAZENERGY” [Text]: inform.-analyt. zhurn./ uchreditel’ i izdatel’ TOO ENERGY FOCUS [Information and analytical magazine “KAZENERGY”] - 2021, November - two months - 2021, No. 6

2 **Zrlic, M., Aleksic R.** The effect of long term exposure to elevated temperature on steam line steel properties [Text] // Thermal Science. – Vol.7. – 2003. – No. 1. – P. 33–46.

3 **Rapp, R. A.** Hot corrosion of materials: a fluxing mechanism? [Text] // Corrosion Science. – Vol. 44. – Issue 2. – 2002. – P. 209–221. – ISSN 0010-938X. – [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00057-9).

4 **Galetz, M. C., Bauer, J. T., Schütze, M. et al.** Resistance of Coatings for Boiler Components of Waste-to-Energy Plants to Salt Melts Containing Copper Compounds [Text] // Therm Spray Tech. – 22. – 2013. – P.828–837. – doi.org/10.1007/s11666-013-9908-9.

5 **Shi, Y. et al.** On-line monitoring of ash fouling and soot-blowing optimization for convective heat exchanger in coal-fired power plant boiler [Text] // Applied Thermal Engineering. – V. 78. – 2015. – P. 39–50. – ISSN 1359-4311. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.002>.

6 **Baltyan, V. N., Efimov, N. N., Tskhyaev, A. D.** «K voprosu modernizacij kotel’nogo oborudovaniya ugol’nykh TETs» [On the issue of modernization of boiler equipment of coal-fired thermal power plants] [Text] // News of Higher Education Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences. – 2017. – No. 1. – ISSN 1560-3644. – <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2017-1-50-53>

7 **Heng, Ch., Jian, J., Peiyuan, Pan., Qinxin, Zh., and Yungang, W.** Deposit Formation of the Low-Pressure Economizer in a Coal-Fired Thermal

Power Plant [Text] // Energy & Fuels. – 2017. – 31(5). – P. 4791–4798. – <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03507>.

8 **Buitkenov, D. B., Rakhadilov, B. K., Sagdoldina, Zh. B., Erbolatuly, D.** Reserach of the mechanic-tribological characteristics of Ti_3SiC_2/TiC coatings after annealing [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2020. – № 4 (1). – P. 86–92.

9 **Bhatia, R., Singh, H. & Sidhu, B.S.** Hot Corrosion Studies of HVOF-Sprayed Coating on T-91 Boiler Tube Steel at Different Operating Temperatures. [Text] // J. of Materi Eng and Perform. – 23. – P. 493–505. – 2014. – <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0771-0>.

10 **Dautbekov, M.K., Rakhadilov, B.K., Zhurerova, L.G. et al.** A Technology for Making Detonation Coatings on Power Equipment Parts Made of Grade 12Kh1MF Steel [Text] // Therm. Eng. – 69. – P. 989–995. – 2022. – <https://doi.org/10.1134/S0040601522120011>.

11 **Shukla, V. N., Harshit, Trivedi, Hemant, Kumar etc.** Surface engineering analysis of d-gun sprayed cermet coating in aggressive environment [Text] // Materials Today: Proceedings. – 2017. – V. 4. – P. 10212–10215.

12 **Kilic, M., Ozkan, D., Gok, M. S., Karaoglanli, A. C.** Room- and high temperature wear resistance of MCrAlY coatings deposited by detonation gun (D-gun) and supersonic plasma spraying (SSPS) techniques [Text] // Coatings. – 2020. – 10. – 1107. – <https://doi.org/10.3390/coatings10111107>.

13 **Rakhadilov, B. K., Buitkenov, D. B., Tuyakbaev, B. T., Sagdoldina, Zh. B., Kenesbekov, A. B.** Structure and properties of detonation coatings based on titanium carbosilicide [Text] // Key Eng. Mater. – 2019. – 821. – P. 301–306.

14 **Ulianitsky, V. Y., Dudina, D. V., Shtertser, A. A., Smurov, I.** Computer-Controlled Detonation Spraying : Flexible Control of the Coating Chemistry and Microstructure [Text] // Metals. – 2019. – 9. – 1244. – <https://doi.org/10.3390/met9121244>.

15 **Kakimzhanov, D.N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M. K.** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr_3C_2 -NiCr coatings [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 5(1). – <https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106>.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.

Б. К. Рахадиллов¹, М. К. Даутбеков², Л. Г. Журерова³,

О. А. Степанова⁴, А. М. Акаев⁵

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

^{2,5}Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

³С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

⁴Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

Қазақстан Республикасы, Семей қ.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ БӨЛІКТЕРІНЕ ДЕТОНАЦИЯЛЫҚ БҮРКУ АРҚЫЛЫ ЖАБЫНДАРДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Бұл мақалада 12Kh1MF (DIN 14MoV63) ыстыққа төзімді болат үлгілеріне детонациялық бүрку арқылы қолданылатын Cr₃C₂-NiCr жабындарын зерттеу нәтижелері берілген. Детонациялық қондырғының жұмыс режиміне байланысты қаптау процесінің технологиялық параметрлері мен нәтижесінде жабындардың микроқұрылымы мен қасиеттері арасындағы байланысты эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Детонациялық бүрку кезінде бөшкені C₂H₂/C₃H₈ газ қоспасымен толтыру дәрежесіне байланысты қолданылатын жабынның құрылымдық-фазалық құрамы мен трибологиялық қасиеттері өзгеретіні анықталды. Процесс параметрлерінің жабындардың микроқұрылымы мен қасиеттеріне әсер ету нәтижелері рентгендік дифракциялық талдау арқылы алынды, оған сәйкес Cr₃C₂, Cr₇C₃, Cr₃O₄, Cr₂O₃, Cr₂₃C₆ және CrNi₃ фазалары анықталды, жабынның физикалық сипаттамалары анықталды. микроқаттылық, кедір-бұдырлық және трибологиялық қасиеттер ретінде анықталады.

Кілтті сөздер: жылу-электр станциясы, қазандықтың жылыту беттері, Cr₃C₂-NiCr; детонациялық бүрку, болат 12X1MF.

¹B. K. Rakhadilov, ²M. K. Dautbekov, ³L. G. Zhurerova,

⁴O. A. Stepanova, ⁵A. M. Akaev

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

^{2,3}D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

³S. Amanzholov East Kazakhstan University,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

⁴Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semei.

Material received on 20.06.23.

**TECHNOLOGY OF OBTAINING COATINGS
BY DETONATION COATING ON PARTS OF POWER
EQUIPMENT OF THERMAL POWER PLANTS**

This article presents the results of a study of Cr_3C_2 -NiCr coatings applied by detonation sputtering on samples of heat-resistant steel 12Kh1MF (DIN 14MoV63). Experimental studies of the interdependence between the technological parameters of the coating process and the resulting microstructure and properties of coatings, depending on the operating mode of the detonation gun, have been carried out. It was found that during detonation spraying, the structural-phase composition and tribological properties of the applied coating change depending on the degree of filling the barrel with the C_2H_2/C_3H_8 gas mixture. The results of the influence of process parameters on the microstructure and properties of coatings were obtained by X-ray diffraction analysis, according to which the phases Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Cr_3O_4 , Cr_2O_3 , $Cr_{23}C_6$ and $CrNi_3$ were determined, the physical characteristics of the coating were determined as microhardness, roughness and tribological properties.

Keywords: combined heat and power plant, boiler heating surfaces, Cr_3C_2 -NiCr, detonation spraying, steel 12Kh1MF.

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
17,5 Мб RAM
Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.
Электронное издание
17,5 Мб RAM
Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Мыржикова
Корректор: А. Р. Омарова
Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik-energy.tou.edu.kz