

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 (2024)

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/ZSHT7059>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.,

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә. Б. *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцен;</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.	<i>технический редактор</i>

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

МРНТИ 44.31.31

<https://doi.org/10.48081/XONN2800>

***М. К. Даутбеков¹, Л. Г. Журерова³, З. А. Самбаева^{1,2},
Н. М. Магазов²**

^{1,3}ТОО «PlasmaScience», Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

^{3,4}Восточно - Казахстанский технический университет имени
Д. Серикбаева, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск;

²Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩИХ В НАГРУЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

В работе показаны сравнение поведения покрытия Cr_3C_2-NiCr , нанесенного методом детонационного напыления (d-gun) и ферритно-перлитной стали 12Х1МФ (DIN 14MoV63) в коррозионной, эрозионной и высокотемпературной среде с учетом того, что покрытия были нанесены при различных расходах газов кислорода, пропана и расстояния нанесения. Проведены эксперименты на высокотемпературное окисление и коррозию образцов с однородным и градиентным покрытием Cr_3C_2-NiCr и стали 12Х1МФ без покрытия. Описана установка для исследования эрозии частицами при повышенной температуре, конструкция которой позволяет проводить испытания в различных условиях, включая различные эрозионные вещества и распределения их по размерам, температурам и углу атаки поверхности. В данной установке температура образца может достигать 900 С, а скорость частиц – 33 м/с. Результаты экспериментального исследования показали, что пористость существенно влияет на устойчивость к коррозии и эрозионному износу. Результаты экспериментов показали что коррозия влияет на характеристики микрорастрескивания и деформационного износа, воздействуя на

твёрдость, что приводит к разрыхлению структуры. Качественный анализ совместного действия коррозии и эрозии может служить руководством при проектировании деталей.

Ключевые слова: коррозия, поверхности нагрева котла, высокотемпературное окисление, тепловые станции, Cr_3C_2 -NiCr, детонационное напыление, сталь 12X1МФ.

Введение

Немалую долю в мировой выработке электроэнергии занимают угольные тепловые электростанции. Так как по данным Международного энергетического агентства (IEA) в 2022 году, доля генерации электроэнергии угольными источниками в общемировом производстве составило около 36 %. Это говорит о том, что эффективность тепловых электростанций значительно влияет на производительность большинства отраслей экономики.

Эффективность высокотемпературных электростанций и сильно зависит от коррозии и эрозии твердых частиц, особенно при повышенных температурах. Этот процесс повреждения может снизить КПД турбин на целых 7–10 %, а в случае крупной электростанции вызвать дополнительный выброс 250 000 тонн CO_2 в течение срока службы станции. Причина и тип коррозии и эрозии твердыми частицами различаются в зависимости от отрасли и места на предприятии, например, частицы могут представлять собой летучую золу в котлах, отслоившуюся накипь в паровых турбинах или минеральные вещества при добыче нефти [1; 2].

Коррозия и эрозионный высокотемпературный износ труб теплообменников и других конструкционных деталей угольных котлов стал ключевой проблемой при проектировании и эксплуатации тепловых электростанций и признан одной из основных причин простоев. Также, очень высоки затраты на техническое обслуживание и ремонт изношенных труб. Высокотемпературное окисление, коррозия и эрозия вызванные воздействием летучей золы и частиц несгоревшего углерода, являются основными проблемами, которые необходимо решить в этих оборудованных, особенно в тех местах, где температура поверхности компонентов превышает 600 °C [3]. Типичными отказами котельных труб,

встречающимися на тепловых электростанциях, являются эрозия, коррозия со стороны воды, коррозия со стороны топки, длительный перегрев, кратковременный перегрев, отказы из-за сварки и усталость.

Содержание свободного кислорода в среде топки котлов электростанций достаточно для объяснения комбинированного процесса эрозии-коррозии, которая состоит из окисляющего газа при повышенной температуре и несущего эрозионную летучую золу. Эти эрозионные частицы могут осаждаться или внедряться на исследуемой поверхности в весьма значительных количествах, а на эродирующей поверхности могут развиваться химические реакции эрозионных частиц и оксидных отложений. Так что скорость коррозии и эрозии также зависит от кинетики окисления и реактивности эрозионных частиц.

Эрозионные и комбинированные эрозионно-коррозионные процессы приводят к тяжелым повреждениям деталей оборудования в различных отраслях промышленности. Эти процессы проявляются в широком диапазоне условий эксплуатации, применяемых в промышленных деталях, таких как эксплуатация пароводяных труб [4], эксплуатация деталей используемых в подготовке твердого топлива и в сжигании топлива в топке котла [5], движение пара и ее соударение о лопасти турбин [6]. Знание таких случаев необходимо для выбора подходящих материалов для изготовления и проектирования деталей работающих в нагруженном состоянии. Особенно уязвимыми являются промышленные субъекты использующие твердое топливо, например производство электроэнергии. Общие механизмы коррозии основаны на механических эффектах относительного движения газа или жидкости (второе тело), а также заключенных твердых частиц (третье тело), сопровождающихся окислительными и коррозионными процессами, приводящими к повышенному износу. Таким образом, открытая объемная поверхность подвержена химическим реакциям с взаимодействующими окислителями, содержащимися в стекающей жидкой или газообразной среде [7].

Большая часть оборудования тепловых электростанции Казахстана выработала свой парковый и нормативный ресурс, что обуславливает снижение его надежности, вследствие накопления внутренних и внешних повреждений из за влияния эрозии и коррозии на поверхности нагрева энергетического оборудования, соответственно, вопросы предотвращения

отказов оборудования тепловых электростанции путем повышения надежности уже имеющегося оборудования остается весьма актуальной.

Разработка технологий нанесения защитных покрытий поверхностей нагрева котлов с применением термического напыления, требует тщательной оценки эксплуатационных характеристик котла. Эта оценка должна помочь установить влияние характеристики топки котла на свойства защитного покрытия.

Детонационное напыление покрытий является одним из перспективных методов нанесения широкого спектра материалов и движения с высокими скоростями (более 800 м/с) в процессе детонационного напыления, что приводит к незначительному разложению материала. Таким образом, можно получить плотные покрытия с превосходной адгезионной прочностью, низкой пористостью и остаточными напряжениями сжатия. Однако имеется мало информации о тепловом расширении и рекристаллизации таких высокотемпературных покрытий [8].

В работе [9] сделано заключение о том, что некоторые детали тепловых станций возможно могут быть использованы для последующей эксплуатации, хотя установленный срок службы выработан, при условии назначения надлежащего контроля в процессе эксплуатации.

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 (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан), который обладает системой электромагнитных газовых клапанов [10].

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

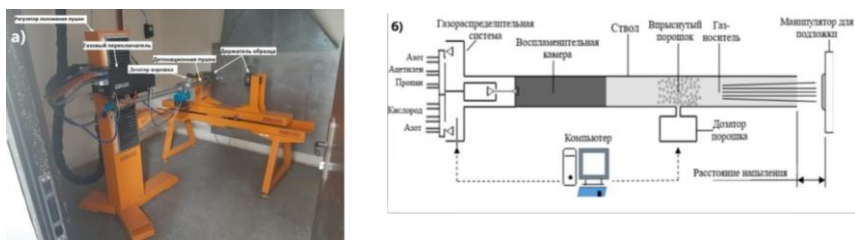


Рисунок 1. – а) Компьютеризированный детонационный комплекс CCDS2000: общий вид (а) и принципиальная схема установки (б)

В результате детонации во взрывчатой смеси образуется детонационная волна, которая затем переходит в ударную волну. Продукты детонации (нагретые до 3500°C) и газа-носителя (нагретый ударной волной до $1000\text{--}1500^{\circ}\text{C}$) 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 H.C. Starck: $584.054 \text{ Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ (75%/25%) с размером частиц порошка 10-45 мкм [10; 11].

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) показаны в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Химический состав стали 12X1МФ (%)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	Cu
0.1-0.15	0.17-0.37	0.4-0.7	≤ 0.3	≤ 0.025	≤ 0.03	0.9-1.2	0.25-0.35	0.15-0.3	≤ 0.2

Для напыления было выбрано соотношение $C_2H_2/C_3H_8=1,026$. По мере увеличения объема взрывчатой смеси (от 57 % до 73 % от объема ствола) увеличивается температура, до которой частицы нагреваются во время движения внутри ствола [12]. Режимы, при которых получены покрытия на основе Cr_3C_2 -NiCr показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технологические параметры получения покрытий Cr_3C_2 -NiCr

Образец	Метод нанесения покрытия, (объем заполнения ствола)	Дистанция напыления, mm	Количество выстрелов
№1	73 %	150	30
№2	57-73 %		
№3	без покрытия	нет	нет

Испытание на циклическое высокотемпературное окисление проводилось в муфельной печи SNOL 3/1100 (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан) при температуре 900°C в течение пятидесяти циклов. Перед исследованием окисления образцы были взвешены с помощью аналитических весов GIBERTINI CRYSTAL 100 CAL CE (НАО «ВКУ им.С.Аманжолова», г.Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан) и фиксировали первоначальный вес образцов. Затем образцы выдерживали в предварительно нагретой муфельной печи до температуры 900°C в течение 1 часа с последующим охлаждением при комнатной температуре в течение 20 минут. Исследование окисления проводилось в течение 50 циклов, так как этого периода времени достаточно для достижения устойчивого состояния окисления [13; 14]. Затем после каждого цикла вес измерялся вместе с визуальным осмотром.

Экспериментальные испытания на коррозию проводили в камере нейтрального солевого тумана (Sakarya University, г.Сакарья, Турция) в соответствии с ГОСТ 34388—2018. Поверхности образцов для испытания были расположены вверх и под углом $25 \pm 5^\circ$ к вертикали и расположены так, чтобы не соприкасаться друг с другом и корпусом. Материал, используемый для подвешивания испытуемых образцов, была из

синтетической проволоки. Периодически проводятся коррозионные проверки образцов. Продолжительность испытания – 720 часов.

Нами была разработана установка (Рисунок 2) в соответствии с ASTM G-76 и ASTM G211-14 на базе ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, ВКО, Казахстан, позволяющая проводить испытания стали на высокотемпературную эрозию и коррозию.

Установка, по замыслу, позволит испытывать котельные трубы при температуре до 950 °С и скоростях частиц до 25 м/с. При повышенной температуре за эрозией может следовать значение потери толщины, а не потери веса, поскольку окисление усложняет измерения веса. Два материала сталь 12Х1МФ с однородным покрытием и градиентным покрытием Cr₃C₂-NiCr тестировали на текущей установке при 650°С со скоростью частиц 10 м/с. Тестирование показало, что сталь с покрытием работает лучше, чем без покрытия, скорость эрозии первого на 20% ниже, чем у последнего.

Результаты и их обсуждения

Испытания на разработанной установке проводились при методике ускоренных испытаний на высокотемпературную газовую коррозию и эрозию. Эти испытания проходили в условиях, схожих с эксплуатационными условиями пароперегревателя угольного котлоагрегата. Исследовательский диапазон температур варьировался от окружающей среды до 650 °С. Для ускорения частиц эрозионного материала также использовался воздух. В качестве эрозионного агента использовался оксид алюминия Al₂O₃.

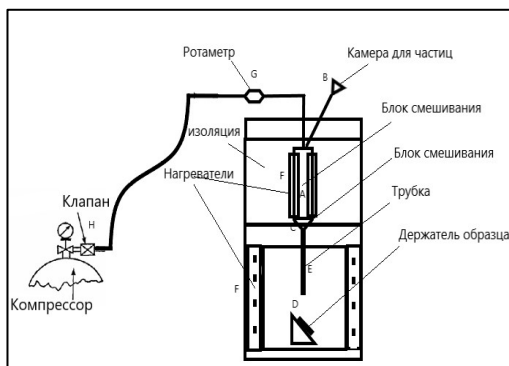
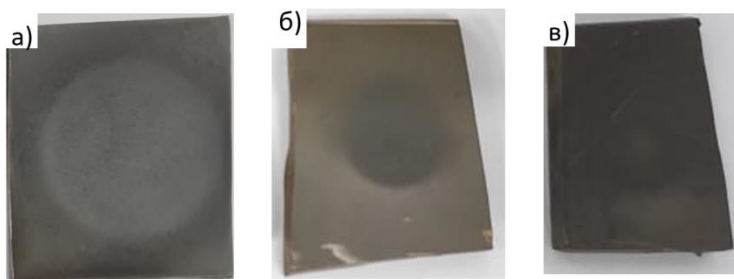


Рисунок 2 – а) Стенд на абразивный износ,

б) Принципиальная схема стенда

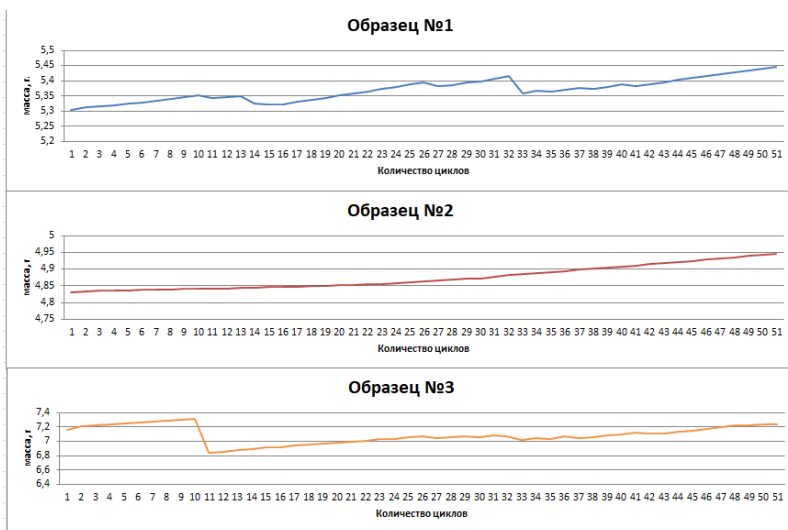
Полученные результаты (см. Рисунок 3) показали, что образец №2 проявил более стабильное увеличение веса. Это, вероятно, связано с тем, что покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ успешно защищало поверхность образца от воздействия кислорода и агрессивных среды, предотвращая окисление и образование окалины. В отличие от этого, на образцах №1 и №3 наблюдались резкие скачки изменения веса, которые, вероятно, связаны с процессом образования и отслаивания окалины. Кроме того, на Рисунке 3 можно заметить уменьшение площади кратера эрозии, которое составило почти 23% по сравнению с образцом без покрытия.



а) Образец №1; б) Образец №3; в) Образец №2

Рисунок 3 – Фото результатов испытаний на стенде

Исследована стойкость образцов с градиентным покрытием, с однородным покрытием а также образца без покрытия к высокотемпературному окислению. Эксперименты проводили согласно ГОСТ 6130-71 при температуре 900 °С, количество циклов составило 50. После выдерживания при указанной температуре в течении 1 ч охлаждали в воздухе в течение 20 мин. Эту процедуру можно рассматривать как один цикл высокотемпературного окисления. После каждого цикла измеряли массу каждого образца рисунок 4.



а) Образец №1; б) Образец №2; в) Образец №3

Рисунок 4 – График изменения массы образцов при испытаний к высокотемпературному окислению, количество циклов 50

Как видно на Рисунке 4, на 10 цикле эксперимента у Образца № 3 и на 33 цикле у образца Образца №1 наблюдается резкое изменение массы, что показывает об отслоении образовавшейся окалины, тем временем, у образца с градиентным покрытием рост массы идет стабильными темпами, без отслоения окалины.

На рисунке 5 показаны поверхности образцов после 50 циклов экспериментальных испытаний.

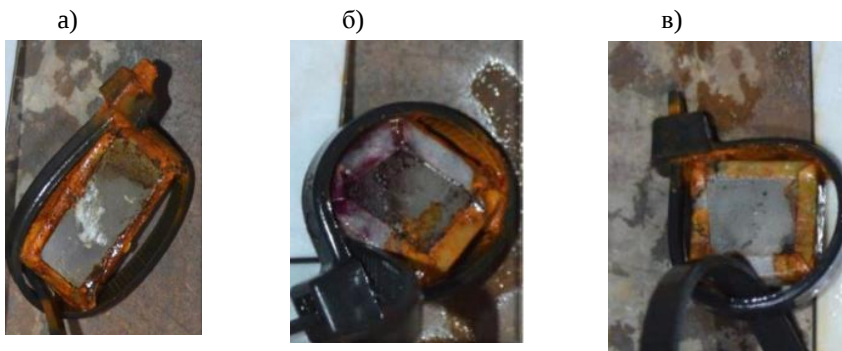


а) Образец №2; б) Образец №1; в) Образец №3

Рисунок 5 – Результаты испытаний к высокотемпературному окислению, количество циклов 50 циклов

По результатам экспериментального исследования на коррозию в Образце №3 были обнаружены уже через 53 часа с начала эксперимента, а в Образце №1 были обнаружены признаки коррозии через 456 часов эксперимента. В образце №2 коррозия не была обнаружена и после 1000 часов эксперимента.

Морфология поверхности трех образцов при длительном воздействии (1000 часов) представлена на рис. 6.



а) Образец №2; б) Образец №1; в) Образец №3

Рисунок 6 – Результаты испытаний на коррозию в солевом тумане

Солевой туман легко проникал через покрытие в границу раздела с увеличением пористости, усиливая гальваническую коррозию и разрыхляя границу раздела покрытия с подложкой, при этом вероятно, из за разности в объемах заполнения ствола детонационной пушки возникают разные термические напряжения при нанесении покрытия и, как следствие,

покрытия с градиентной структурой имеет разную пористость которая может сдерживать распространение коррозии по порам.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № BR21882370 «Разработка и внедрение технологии сверхзвуковой дуговой металлизации для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственных машин».

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Покрытие $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ в целом успешно действует как «хранилище» для образования защитных оксидов и, следовательно, может увеличить срок службы стали.

Оксидная окалина Образцов №1 и №3 показали тенденцию к растрескиванию и отслаиванию при испытании на высокотемпературное окисление. Напротив, Образец №2 показал положительные результаты, так как покрытие оказалось стойким к окислению во время экспериментов;

Эксперимент в солевом тумане показал отсутствие признаков коррозии в Образце №2 при экспонировании в камере солевого тумана в течении 1000 часов, а в Образцах №1 и №3 была обнаружена коррозия уже через 53 и 456 часов соответственно;

В проведенном эксперименте на разработанном стенде можно заметить уменьшение почти на 23 % площади кратера эрозии в Образце №2 по сравнению с образцом №3;

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Fry A. et al.** Metrology to Enable High Temperature Erosion Testing – A New European Initiative [Text] // Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants: Proceedings from the Seventh International Conference. – <https://doi.org/10.31399/asm.cp.am-epri-2013p0400>.

2 **Rapp, R. A.,** Hot corrosion of materials: a fluxing mechanism? [Text] // Corrosion Science, – Volume 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).

3 **Hidalgo, V. Higuera et al.** A comparative study of high-temperature erosion wear of plasma-sprayed NiCrBSiFe and WC–NiCrBSiFe coatings under simulated coal-fired boiler conditions [Text] // Tribology International 34 – (2001). : P. 161–169.

4 **Jonas, O.** (1985). Control erosion/corrosion of steels in wet steam. [Text] // Power. 129(3). P. 102–103.

5 **Wang Y. et al.** Corrosion and erosion–corrosion behaviour of activated combustion high-velocity air fuel sprayed Fe-based amorphous coatings in chloride-containing solutions, [Text] // Corrosion Science, Volume 98, 2015, P. 339–353, ISSN 0010-938X, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.05.044>.

6 **Levy A. V., Jahanmir S.** Corrosion–Erosion Behavior of Materials [Text] // Metallurgical Society of AIME, Pennsylvania. – 1980.

7 **Varga, M., Rojacz, H., Widder, L. et al.** High Temperature Erosion-Corrosion of Wear Protection Materials. [Text] // Bio Tribo Corros 7, 87. 2021.– <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00504-9>.

8 **Purushotham, N., Santhy, K., Suresh Babu, P. et al.** In Situ High-Temperature X-ray Diffraction Study on Atmospheric Plasma and Detonation Sprayed Ni-5 wt.%Al Coatings. [Text] // Therm Spray Tech 32, 2091–2103 2023– <https://doi.org/10.1007/s11666-023-01627-w>.

9 **Zrilic, 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.

10 **Kakimzhanov D, Rakhadilov B, Sulyubayeva L, Dautbekov M.** Influence of Pulse-Plasma Treatment Distance on Structure and Properties of Cr₃C₂-NiCr-Based Detonation Coatings. [Text] // Coatings – 2023. – 13(11):–1824. <https://doi.org/10.3390/coatings13111824>.

11 **Kakimzhanov, D. N., Rakhadilov, B. K., Tyurin, Yu., Dautbekov, M.K.,** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of Cr₃C₂-NiCr coatings, [Text] // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials 5 (1), <https://doi.org/10.32523/ejpfm.2021050106>.

12 **Bauyrzhan Rakhadilov, Daur Kakimzhanov, Merkhata Dautbekov, Zhuldyz Sagdoldina, Meruyert Adylkanova, Riza Abylkalykova,** «Influence of Spraying Parameters on the Structure and Tribological Properties of Cr₃C₂-

NiCr Detonation Coatings» [Text] // Advances in Tribology, Vol. 2023, Article ID 6684656, 9 p. 2023. – <https://doi.org/10.1155/2023/6684656>.

13 **Sukhpal Singh Chatha, Hazoor S. Sidhu, Buta S. Sidhu**, High temperature hot corrosion behaviour of NiCr and Cr_3C_2 -NiCr coatings on T91 boiler steel in an aggressive environment at 750 °C, [Text] // Surface and Coatings Technology, – Volume 206, – Issues 19–20, 2012, P. 3839-3850, – ISSN 0257-8972, – <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.01.060>.

14 **Kumar S. et al.** High temperature oxidation and erosion-corrosion behaviour of wire arc sprayed Ni-Cr coating on boiler steel [Text] // Materials Research Express. – 2020. – Vol. 6. No. 12. P. 125533.

Поступило в редакцию 28.04.24.

Поступило с исправлениями 15.04.24.

Принято в печать 02.06.24.

*М. К. Даутбеков¹, Л. Г. Журерова³, З. А. Сатбаева^{1,2} Н. М. Магазов¹

¹С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

²«PlasmaScience» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

³Д. Серикбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қ.;

28.03.24 ж. баспаға түсті.

15.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЫЛУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ҚОЛАЙСЫЗ ОРТАДА ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ ЭКСПЛУАТАЦИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Бұл мақалада детонациялық бұрқу (d-gun) және 12Х1МФ (DIN 14MoV63) ферритті-перлит болат жабындардың әртүрлі жағдайларда қолданылуын ескере отырып, оттегінің газ шығыны, пропан және қолдану қашықтығын әр түрлі вариацияда, коррозиялық ортада қолданылатын Cr_3C_2 -NiCr жабынының әрекетін салыстыру көрсетілген. Cr_3C_2 -NiCr және 12Х1МФ

болатпен қапталған үлгілердің жоғары температурадағы тотығуы және коррозия төтеп беруі бойынша тәжірибелер жүргізілді. Жоғары температурада бөлшектермен эрозияны зерттеуге арналған қондырғы сипатталған, оның конструкциясы әртүрлі жағдайларда, соның ішінде әртүрлі эрозиялық заттарды және олардың көлемі, температурасы және бетінің шабуыл бұрышы бойынша таралуын тексеруге мүмкіндік береді. Бұл қондырғы конструкциясында үлгі температурасы 900 С, ал бөлшектердің жылдамдығы 33 м/с жетуі мүмкін. Нәтижелер кеуектіліктің коррозияға және эрозиялық тозуға төзімділікке айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Кеуектілік өнімділікке әсер етеді, ал коррозия қаттылыққа әсер ету арқылы микрокрекинг және деформациялық тозу сипаттамаларына әсер етеді, нәтижесінде құрылымның қопсытуына әкеледі. Коррозия мен эрозияның біріккен әсерін сапалы талдау тротуардың дизайнын бағыттау алады.

Кілтті сөздер: коррозия, қазандықтың қыздыру беттері, жоғары температуралық тотығу, жылу станциялары, Cr₃C₂-NiCr, детонациялық бүрку, болат 12Х1МФ.

*M. K. Dautbekov¹, L. G. Zhurerova³, Z. A. Satbaeva^{1,2} N. M. Magazov¹.

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

²D. Serikbayev East Kazakhstan technical university,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk;

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

Received 28.04.24.

Received in revised form 15.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

INCREASE OF OPERATIONAL PROPERTIES OF POWER EQUIPMENT PARTS WORKING IN LOADED CONDITION

The paper shows a comparison of the behavior of Cr₃C₂-NiCr coating applied by detonation spraying (d-gun) and ferritic-perlitic steel

12X1MF (DIN 14MoV63) in a corrosive environment, taking into account that the coatings were applied at different flow rates of oxygen and propane gases and application distance. Experiments on high-temperature oxidation and corrosion of Cr₃C₂-NiCr coated specimens and 12X1MF steel were carried out. A rig for studying particle erosion at elevated temperature is described, the design of which allows testing under a variety of conditions, including different erosion agents and distributions in terms of size, temperature and surface angle of attack. In this plant design, the specimen temperature can reach 900 C and the particle velocity can reach 33 m/s. The results showed that porosity significantly affects the corrosion and erosion wear resistance. Porosity affects the performance, whereas corrosion affects the micro-cracking and strain wear performance by affecting the hardness, which leads to loosening of the structure. A qualitative analysis of the combined effect of corrosion and erosion can guide pavement design.

Keywords: corrosion, boiler heating surfaces, high-temperature oxidation, thermal stations, Cr₃C₂-NiCr, detonation spraying, steel 12H1MF.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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